

Refining Review

Año 8, No. 16, Edición 02/21

**DESARROLLO
SOSTENIBLE**



Refining Review # 16
Diciembre 2021



issuu.com/RefiningReview



twitter.com/RefiningReview



facebook.com/RefiningReview



youtube.com/RefiningReview



REFERENCIA

Al citar este documento se debe señalar como: Refining Review. (2021). Desarrollo Sostenible. Refining Review No. 16. UMSA. Facultad de Ingeniería. Carrera de Ingeniería Petrolera. La Paz, Bolivia.

Nota a la edición: Los artículos, entrevistas y trabajos presentados son plena responsabilidad de cada uno de sus autores y no refleja la opinión de los editores, ni de la Universidad Mayor de San Andrés.

EDITORIAL

La revista REFINING REVIEW es un paso importante en el campo del desarrollo académico y la investigación en el sector de los hidrocarburos. En su decimoquinta edición, brindamos aportes académicos a todos aquellos interesados en el tema de desarrollo sostenible.

El presente trabajo cuenta con entrevistas y artículos de profesionales expertos en áreas de ciencias económicas e ingeniería, así como con proyectos de investigación realizados por los estudiantes de la materia de Refinación del Petróleo.

En el proceso de redacción de esta edición, se tuvieron en cuenta temas específicos y representativos respecto a la subvención de hidrocarburos, buscando fortalecer la comprensión y conocimiento de los lectores.

AGRADECIMIENTO

La publicación de la presente revista es posible gracias al arduo trabajo y desempeño realizado por los estudiantes de la asignatura de Refinación del Petróleo, siendo miembros de las carreras de Ingeniería Petrolera e Ingeniería Petroquímica de la Facultad de Ingeniería de la casa de estudios superiores Universidad Mayor de San Andrés.

Agradecemos al Ing. Ramiro Flores Rodríguez, docente de la materia, quien nos motiva a ser mejores personas y estudiantes comprometidos con nuestro país. Así también, a todos los profesionales que transmitieron sus conocimientos de forma que la revista genere un contenido de impacto académico e investigativo para los lectores.

CONTENIDO

<i>ARTÍCULOS</i>	5
<i>ENTREVISTAS</i>	17
<i>INVESTIGACIÓN</i>	22
<i>ACTIVIDADES</i>	41



ARTÍCULOS

ARTÍCULOS

LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN BOLIVIA



CARLOS ALBERTO
TORRICO BORJA

La energía desempeña un papel fundamental en el desarrollo y la prosperidad de nuestro país y en nuestra vida cotidiana, como sociedad o sectores de la sociedad.

Considerando que la electrificación y la descarbonización gradual siguen siendo tendencias mundiales importantes, mejoras en la eficiencia energética permitirán atenuar la demanda mundial de energía coadyuvando a ralentizar o disminuir su impacto en el cambio climático.

En ese sentido, resulta vital la definición de una Política Energética Integral que contemple, además de lineamientos de evaluación de las fuentes, sistemas y servicios de energía relativos a nuestro país, el desarrollo y/o adquisición e implementación de tecnología emergente, que viabilice tanto el desarrollo sustentable de los recursos de gas natural no convencional que existen en nuestro país, como la implementación de más y mejores servicios energéticos limpios, fiables y asequibles.

Palabras Clave: energía, descarbonización, política energética, recursos no convencionales.

INTRODUCCIÓN

Los escenarios económicos adversos que, desde aproximadamente más de una década vienen experimentando la industria del gas natural y petróleo crudo, conjuntamente las acciones realizadas para disminuir el calentamiento global provocaron que tanto las empresas como los países busquen otras fuentes y portadores de energía (I. Dincer, 2021) o formas de energía usadas como recursos y formas de energía procesada,

creadas por tratamiento de las fuentes en determinados procesos.

Si bien los mercados mundiales del petróleo crudo, aunque se recuperaron del impacto negativo de la pandemia por COVID-19 en la demanda, aún enfrentan un alto grado de incertidumbre relacionada al comportamiento de la pandemia (International Energy Agency, 2021) e implementación de energías limpias que sustituyan a los combustibles fósiles o fuentes con alto contenido de carbono.

El gas natural, al ser el combustible más limpio, se ha convertido en uno de los pilares de la energía mundial, porque reemplaza combustibles más contaminantes, mejora la calidad del aire y limita las emisiones de dióxido de carbono [...], la contribución del gas a las transiciones energéticas varía mucho entre regiones, entre sectores y a lo largo del tiempo, por lo que la prioridad es minimizar las emisiones a lo largo de la cadena y especialmente las emisiones de metano mediante el biometano o el hidrógeno de bajas emisiones y tecnologías de captura, utilización y almacenamiento de carbono (International Energy Agency, 2019).

DESARROLLO Y DISCUSIÓN

Si bien el 25 de diciembre de 2015 se adoptaron un conjunto de Objetivos de Desarrollo Sostenible con el fin de erradicar la pobreza, proteger el planeta y garantizar la prosperidad de todos, uno de los objetivos principales está focalizado a garantizar el acceso de todos a energía asequible, fiable, sostenible y moderna. Al respecto, a nivel mundial existen diversas posturas de y en los países desarrollados, como la expresada en el CERAWEEK 2021 de marzo de 2021, por el enviado especial de EE. UU. para el clima, John Kerry: "...el objetivo del Acuerdo de París es reducir las emisiones, no apuntar a combustibles, tecnologías o vías concretas. No se hará justicia si la consecución de los objetivos de París implica acciones que obstaculicen el crecimiento económico y la prosperidad, o que nieguen a miles de millones de personas el acceso a la tan necesaria energía asequible y a los combustibles limpios para cocinar...". De igual manera la Unión Internacional del Gas sostiene que: "una transición alcanzable es aquella que proporciona energía limpia, segura y asequible, utilizando electrones y moléculas de gas natural e hidrógeno, y la infraestructura necesaria para ayudar a los países a cumplir los Metas de Desarrollo Sostenible de la Organización de Naciones Unidas y los de París...".

El contexto energético nacional, de acuerdo con lo señalado en el documento Situación Energética de Bolivia y Desafíos, se encuentra enmarcado en la política energética que tiene como prioridad el acceso del 100% de la

población a los servicios de energía eléctrica y luz, que a su vez requiere el aprovechamiento del potencial hidroeléctrico y energías renovables de gran capacidad de generación eólica, biomasa, geotérmica, principalmente. (WWF Bolivia, 2020)

Asimismo, en el documento Propuesta de Hoja de Ruta del Plan de Transición Energética de Bolivia, Primera Edición, 2021, se señala que: "Bolivia es rica en fuentes de Energías Renovables (EERR), particularmente solar e hídrica de modo que, en principio, no debería ser difícil planificar una transición gradual y ordenada hacia la diversificación de la matriz energética de generación y consumo para prevenir una crisis de seguridad energética que se cierne sobre el país de seguir con el modelo actual."

Considerando que en el marco del Escenario de Desarrollo Sostenible, más de una docena de países y la Unión Europea, que representaron alrededor del 10% de las emisiones mundiales de CO₂ en 2019, tienen objetivos de emisiones netas cero en ley (Noruega, Reino Unido, Dinamarca, Nueva Zelanda, Suecia, Hungría, Francia, Alemania), en una legislación propuesta (Unión Europea, España, Chile, Irlanda, Eslovenia, Luxemburgo) o a nivel de documento para análisis o discusión, como los grupos en los que se encuentran Uruguay y México respectivamente (International Energy Agency, 2020), y la sostenibilidad energética es un concepto holístico que requiere el uso sostenible de la energía en los sistemas energéticos, la energía no usada es la mejor fuente de suministro de energía, en nuestro país se debería elaborar una propuesta de Política Energética Integral, a partir de la evaluación de todos los recursos o fuentes de energía primaria existentes en el País.

En ese sentido, considerando el enfoque de la COP26 que persigue una jerarquía de gestión del carbono y, en consonancia con las normas y lineamientos, adopta como prioridad la reducción o minimización del carbono y una compensación sólo en el caso de las emisiones residuales, es decir, las que no pueden reducirse a cero, como es el caso de las producidas por algunos combustibles fósiles (26th UN Climate Change Conference

of the Parties (COP26), 2021), el gas natural se constituye a nivel global como la mejor opción para satisfacer las necesidades energéticas y aportar a la descarbonización.

Asimismo, abordando adecuadamente el derroche de energía y/o la reducción de la energía utilizada en la industria y edificaciones gubernamentales, municipales, multifamiliares y viviendas familiares, se aportaría a la reducción de emisiones, que de acuerdo a lo señalado en el artículo: “Why energy efficiency is the unsung hero of the fight against climate change”, publicado en el World Economic Forum por el Presidente y CEO de Schneider Electric, Jean-Pierre Tricoire, son responsables de aproximadamente el 40% del consumo mundial de energía y aproximadamente un tercio de las emisiones globales de gases de efecto invernadero.

En relación a los antecedentes expuestos, la evaluación de todos los recursos o fuentes de energía primaria debe contemplar además del avance y aprendizaje tecnológico, tanto los servicios como usos finales de la energía, dado que el país se adhirió al Acuerdo de París en el año 2016 con un compromiso de reducción de emisiones en el sector eléctrico de más de 0.4 kg/kWh hasta el 2030, pero principalmente porque se debe garantizar el acceso a las fuentes de energía que presenten precios asequibles para promover un mayor desarrollo económico y social en el país.

Dentro de este marco, resulta vital promover la generación de más información técnica relacionada a los recursos prospectivos asociados a la Llanura Chaqueña y Cuenca Madre de Dios y a nivel convencional, con el fin de coadyuvar a la toma de decisiones e iniciar el desarrollo sustentable del gas natural como recurso no renovable, dado que se requiere complementar el conocimiento y la infraestructura existente con tecnología emergente para captura y uso de dióxido de carbono, adicionalmente a la reducción de las quemaduras de gas en exceso, con el fin de aportar a la descarbonización y transición energética.

En función de lo planteado, considerando que la descarbonización en nuestro país requiere, además de energía renovable y electrificación

limpia, el desarrollo sustentable del gas como una medida con bajo contenido de carbono en relación con los demás combustibles de origen fósil y el desarrollo de un marco para la implementación de procesos de eficiencia energética, dado que, aunque su legislación resulte compleja, su incidencia es relevante, resultaría adecuado promover mecanismos de concientización y estímulo, así como campañas de información, para que se establezca a nivel nacional que la eficiencia energética es de interés público, dado el contexto adverso asociado al cambio climático y, por tanto, debería traducirse en una política pública, que no solo incluya acciones puntuales para evitar el uso excesivo de energía y disminuir las pérdidas de energía, sino que también abarque o se aboque a la guía, supervisión y control del uso de energía con el fin de alcanzar un nivel continuo mínimo.

En ese sentido, es necesario plantear la implementación de una política dinámica que contemple, en el corto plazo, al menos:

- Regulación, acorde a los escenarios de las energías primarias.
- Mejora continua y nuevas tecnologías.
- Determinación de precios por sistemas de energía y grupos o sectores
- Supervisión del uso de energía por sistemas.

En lo referido a la regulación, resulta vital la coordinación entre los diferentes niveles del estado, para que con un marco apropiado para la eficiencia energética y con funciones y responsabilidades particulares, se viabilice y contribuya a su aplicación y evaluación en todos los sectores de la sociedad.

Considerando las particularidades del sector energético, la regulación a implementarse, además de definir el alcance e incentivos, debería contemplar con mediana claridad, apoyo técnico y financiero por segmentos o grupos de usuarios, como el financiamiento en factura, entre otros mecanismos, dado que la sostenibilidad energética, que es sumamente importante para alcanzar el desarrollo sostenible de nuestro país, presenta desafíos medioambientales, sociales y económicos,

como el cambio climático, emisiones de gases de efecto invernadero, asequibilidad y desigualdad social.

Al respecto, si bien deberían incluirse metas de mejora de la intensidad energética en relación con la tendencia normal, es primordial que se identifique el sector que puede ser abordado en primera instancia, dado que los resultados tangibles de su implementación al verse en el menor tiempo posible permitirán la réplica en otros sectores. En tal entendido, el sector público, por sus características, sería el indicado para centrar la promoción de la eficiencia energética.

CONCLUSIONES

La disminución del consumo de energía tanto a nivel central del Estado como a nivel subnacional y municipal permitiría minimizar la energía utilizada y por ende, además de aportar a la eficiencia energética, sería favorable para la reducción de emisiones.

De acuerdo con el enfoque de la COP26, que persigue una jerarquía de gestión del carbono, el gas natural se constituye a nivel global como la mejor opción para satisfacer las necesidades energéticas y aportar a la descarbonización.

Los recursos no convencionales de gas natural que existirían en nuestro país representan la mejor alternativa para satisfacer las necesidades energéticas de los sectores de nuestra sociedad y aportar a la descarbonización.

Se hace necesaria la determinación de precios de cada sistema de energía, además de grupos de sectores y usuarios, para que, al establecerse incentivos y precios diferenciados o financiamientos focalizados, ya no se afecte la eficiencia energética ni se distorsionen los mercados energéticos.

REFERENCIAS

- I. Dincer. (2021). Geothermal Energy Systems. Amsterdam: Elsevier.
- International Energy Agency. (2019). The Role of Gas in Today's Energy Transitions. IEA. 26th UN Climate Change Conference of the Parties (COP26). (2021). Carbon Management Plan Executive Summary. ARUP.
- International Energy Agency. (2020). World Energy Outlook. EIA.
- International Energy Agency. (2021). Market Report: Oil 2021 - Analysis and forecast to 2026. IEA.
- WWF Bolivia. (2020). Situación Energética de Bolivia y Desafíos. Energética.

CARLOS ALBERTO TORRICO BORJA.

Socio Director en ENERGY FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT-eSD Ingeniero en Petróleo, Gas y Procesos de la UMSA, Magister Scientiarum en Ingeniería Petrolera, con estudios en Energía. Docente de la Carrera de Ingeniería Petrolera de la Universidad Mayor de San Andrés (UMSA). Fue Viceministro y Director General de Exploración y Explotación de Hidrocarburos y exMiembro del Directorio de YPFB, además de ser miembro del Comité Ejecutivo y Comité Científico del Instituto de Investigación del Gas del Foro de Países Exportadores de Gas.

MOVILIDAD DEL MAÑANA



JOHNNY RAMIRO
FLORES RODRÍGUEZ

Cabe señalar que ninguna energía es perfecta: de hecho, el objetivo de cualquier política energética es encontrar el equilibrio ideal para proporcionar energía de forma fiable, limpia y asequible. La confiabilidad debe responder a la pregunta: ¿existe suficiente energía para todos? Lo más probable es que los recursos energéticos sigan estando disponibles en un futuro próximo. Las reservas de petróleo, gas natural y carbón dependen de los precios, y mientras estemos dispuestos a pagar, los recursos se producirán y se entregarán al consumidor final.

Lo mismo se aplica a las energías renovables. Dado que su caudal es constante, la energía renovable no implica restricciones de suministro. La dificultad radica en nuestra capacidad para obtener energía del sol, el

viento, la biomasa o el océano. Además, debido a que los paneles solares, las turbinas eólicas o las baterías requieren cantidades limitadas de metales y tierras raras, su suministro puede verse limitado debido a esta limitación física.

El segundo problema es el precio. El diseño de la matriz energética basada en un 80% de combustibles fósiles, se basa principalmente en el hecho de que el carbón, el petróleo y el gas natural son las fuentes de energía más asequibles para sostener el desarrollo económico mundial en el siglo XX.

Esta situación está cambiando rápidamente debido a que los costos técnicos de la generación solar fotovoltaica y eólica se han reducido drásticamente en los últimos años.

Al examinar el costo total de producción de electricidad a lo largo de todo el ciclo de vida de la tecnología global, la energía solar y eólica son altamente competitivas en comparación con las fuentes de energía tradicionales.

EL PROBLEMA DEL CAMBIO CLIMÁTICO

El desafío más urgente es, sin duda, el cambio climático. Dado que los combustibles fósiles representan la mayor parte del consumo en la actualidad, los gases de efecto invernadero emitidos durante el proceso de combustión se acumularán en la atmósfera y provocarán un aumento de la temperatura global.

En consecuencia, el cambio climático destruiría la vida tal como la conocemos de

una manera sin precedentes en la historia de la humanidad. La reducción del hielo marino y la capa de nieve, el aumento del nivel del mar, los cambios en las precipitaciones y los fenómenos meteorológicos extremos más frecuentes, afectarán a las poblaciones de diversas formas, obligándolas a adaptarse o trasladarse a lugares más habitables.

HACIA UN MUNDO DE CERO EMISIONES NETAS

En respuesta a este problema, todos los estados miembros de la Convención de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático llegaron a un acuerdo en 2015 durante la aprobación del Acuerdo de París para mantener el aumento de temperatura por debajo de los 2 °C de los niveles preindustriales.

Para el IPCC¹, el objetivo de +2 °C es imperativo: en la segunda mitad del siglo XXI, todos los países deben trabajar juntos para lograr cero emisiones netas de gases de efecto invernadero lo antes posible. Esto no significa necesariamente el fin de los combustibles fósiles, pero significa que en un momento dado, todas las emisiones deben almacenarse bajo tierra (lo que llamamos captura y almacenamiento de carbono) o compensarse con emisiones negativas (como la forestación o la captura directa de dióxido de carbono en el aire).

En 2010, la matriz energética basada en carbón, petróleo y gas natural representaba el 80% del suministro energético mundial. Donde las emisiones de gases de efecto invernadero van en aumento, así como la consecuente contaminación local en un mundo cada vez más urbano, lo que nos lleva a señalar que se constituirán en los principales desafíos del siglo (Lambert-Lalitte, 2014).

Para resumir, no existe una única fuente perfecta de energía: es necesario encontrar el equilibrio correcto entre fiabilidad, asequibilidad y preservación del medioambiente. Puesto que los recursos energéticos seguirán estando disponibles en el futuro cercano, donde

el cambio climático se considera como el principal problema del próximo siglo.

El objetivo es claro, debemos llegar cuanto antes a un mundo con cero emisiones netas a fin de evitar los efectos devastadores de un clima inestable, donde las personas realizan actividades económicas que requieren energía suministrada, principalmente, por fuentes emisoras de CO₂.

LAS CAUSAS DE LAS EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO

La ecuación Kaya, propuesta por el economista japonés Yoichi Kaya en los años 90, es un modelo para valorar fácilmente los factores que provocan el aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero. Para Kaya, la evolución de las emisiones de carbono es el producto de cuatro factores:

- La evolución del contenido de carbono en la energía que consumimos (CO₂/energía),
- La intensidad energética de nuestra actividad económica (medida generalmente por la cantidad de energía consumida por unidad del PIB),
- La riqueza por habitante (PIB per cápita)
- El aumento de la población

En París, los países miembros de la ONU acordaron alcanzar un nivel de cero emisiones netas lo antes posible en la segunda mitad del siglo XXI, para ajustarse al objetivo de limitar el aumento de las temperaturas a +2 °C. Diversos escenarios permiten explorar las tendencias futuras compatibles con este objetivo. Una forma simplificada de limitar el aumento de las temperaturas a 2 °C es dividir por 3 nuestras emisiones, de forma conjunta, de aquí al 2050. De acuerdo con las estimaciones más recientes de la ONU, la población mundial aumentará en un 30% para el 2050. Al mismo tiempo, si el PIB mundial per cápita aumenta durante los próximos 35 años tan rápido como lo hizo en los últimos 35, su crecimiento para el 2050 será, aproximadamente de un 60%.

En resumen, para dividir las emisiones

mundiales por tres en 2050, con una población adicional del 30% y un PIB per cápita 60% más alto, se debe dividir los otros dos términos de la ecuación, $\text{CO}_2/\text{energía}$ o $\text{energía}/\text{PIB}$, por más de seis.

En otras palabras, cada año debemos reducir en más de 5% el contenido de CO_2 en la energía que consumimos o reducir la cantidad de energía requerida para producir una unidad del PIB.

REDUCIR EL CONTENIDO DE CO_2 DE LA MATRIZ ENERGÉTICA

La Figura 1, representa el ciclo de vida de las emisiones de gases de efecto invernadero de diversas fuentes de electricidad. Las barras muestran los resultados de una serie de estudios sobre el contenido de CO_2 (expresado aquí en gramos de equivalente de CO_2) por cada kilovatio-hora de electricidad producida. Claramente, la descarbonización de la matriz energética implica pasar de una matriz basada en un 80% en combustibles fósiles a fuentes de baja emisión de carbono como la hidroeléctrica, la eólica, la solar o la bioenergía. Otras formas de reducir nuestras emisiones de CO_2 y suplir nuestras necesidades energéticas incluyen el uso de la energía nuclear o la captura y el almacenamiento del carbono emitido por las fuentes de combustibles fósiles.

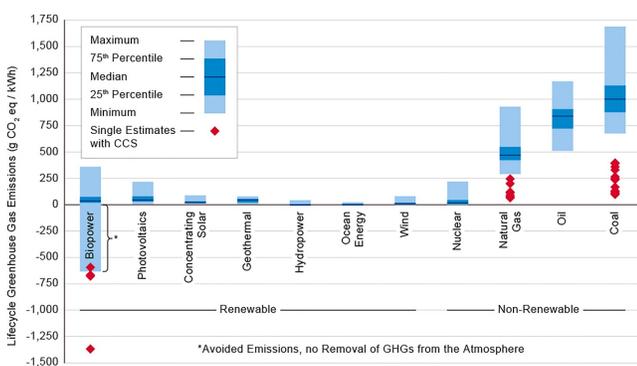


Figura 1: Comparación de las emisiones de GEI de la evaluación del ciclo de vida publicada para las tecnologías de generación de electricidad. (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2012)

Hoy en día, la intensidad de CO_2 en el suministro mundial de energía primaria es la misma que hace 30 años. Después de una ligera reducción en la década de los 90, aumentó nuevamente después del 2000, debido al apresurado desarrollo económico

de algunos países asiáticos, sostenido por un consumo intensivo de carbón y petróleo. Sin lugar a dudas, la descarbonización de nuestro consumo energético es un desafío clave para los próximos años.

Si observamos el contenido energético del PIB, que es una buena variable para medir los incrementos en la eficiencia energética, el panorama es ligeramente distinto. En promedio, la energía primaria requerida para producir una unidad adicional de PIB ha disminuido en un 1% anual, lo que es una muestra de las mejoras en nuestros procesos industriales, pero también de la expansión del sector servicios en el PIB mundial (cuyo consumo energético es menor en comparación con las industrias pesadas). Sin embargo, todavía estamos lejos de cumplir la exigencia de disminuir en un 5% anual la intensidad de CO_2 mundial del PIB, objetivo esperado en el escenario de +2 °C.

En consecuencia, las emisiones de gases de efecto invernadero obedecen al aumento de la población, a su actividad económica, así como a la intensidad energética del PIB y a la intensidad de CO_2 de la energía que consumimos. Puesto que, probablemente, la población y el PIB seguirán aumentando en el futuro, debemos reducir la intensidad energética del PIB y la intensidad de CO_2 de la matriz energética en un 5% anual para cumplir el objetivo a largo plazo del Acuerdo de París.

Diversas soluciones son posibles; más energías renovables, más energía nuclear o la captura y el almacenamiento de las emisiones causadas por la combustión de combustibles fósiles. Lo cual nos permite plantear la siguiente pregunta o línea de investigación: Cuáles son las soluciones para pasar a una matriz energética asequible, fiable y descarbonizada, capaz de suplir las necesidades de un planeta que pronto contará con diez mil millones de habitantes?

Para responder de alguna manera a este cuestionamiento, es posible abarcar sectores estratégicos. La necesidad de cuidar el medio ambiente, nos podría llevar a la necesidad de descarbonizar nuestra movilidad, lo cual nos lleva a preguntarnos: cómo mejorar la eficiencia energética de los vehículos? cuál es el rol de la planificación urbana? y que de los cambios en

nuestros hábitos de movilidad para ayudarnos a hacer la movilidad más sostenible?

RETOS POR DELANTE

¿Cuáles son los cinco principales retos que se ciernen sobre el sector del transporte?

1. Gases de efecto verde: en particular, las emisiones de CO₂ liberadas a la atmósfera a través de la combustión de gasolinas o diesel oil. Donde el sector del transporte representa el 14% de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero de producción artificial y, por lo tanto, debe ser parte de la solución.
2. Disponibilidad y costos de los combustibles: los precios de la gasolina y diesel oil han crecido aproximadamente un 150% en la última década.
3. Contaminación local: cuando se alcanza ciertos niveles, los gases de combustión de combustibles, pueden ser una amenaza para la salud pública.
4. Congestión del tráfico: el conductor promedio perdió 8 días hábiles en congestión de tráfico en 2012, según el índice de tráfico de TomTom (TomTom Traffic Index, 2021).
5. Aparcamiento urbano: como 2 de cada 3 seres humanos, y usuarios potenciales de automóviles, vivirán en una ciudad a mediados de este siglo (efecto migratorio). La disponibilidad de espacio y el tiempo dedicado a encontrar un lugar de estacionamiento será un problema importante.

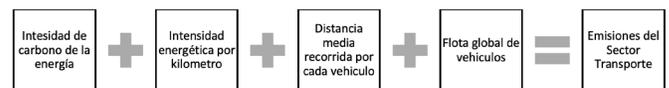
ECUACIÓN DE KAYA PARA EL TRANSPORTE

Estos desafíos se pueden resumir a través de una ecuación muy simple, derivada de la ecuación de Kaya. Donde es posible mostrar todos los factores que influyen en el crecimiento de las emisiones de gases de efecto invernadero. Aplicando esta ecuación al sector del transporte, tenemos:

$$[T]CO_2 = \left(\frac{[T]CO_2}{[T]energía} \right) \left(\frac{[T]energía}{kilometros} \right) \left(\frac{kilometros}{vehiculos} \right) (vehiculos)$$

Donde: “[T]CO₂”, son las emisiones de todos los vehículos; “[T]energía”, representa la energía consumida en el sector transporte; “kilómetros”, es la distancia recorrida por todos los vehículos; y “vehículos”, es el número total de vehículos en las vías y carreteras.

En otras palabras, las emisiones del sector transporte pueden considerarse como el producto de cuatro factores:



Si necesitamos dividir nuestras emisiones por 3 antes de 2050, como nos dicen la mayoría de los científicos del clima, tendremos que dividir por 3 al menos uno de estos cuatro factores. Los otros permanecen constantes. Estos cuatro factores pueden considerarse como los principales gravámenes sobre los que tenemos que actuar para llevar nuestro sistema de transporte a un camino más sostenible.

DESCARBONIZACIÓN DEL TRANSPORTE

Como el 97% del sector transporte todavía depende del petróleo, esto aboga por un cambio profundo de combustible hacia automóviles híbridos, biocombustibles o vehículos eléctricos a batería (Lambert-Lallite, 2014).

Sin embargo, los vehículos eléctricos son tan “limpios” como la combinación de electricidad utilizada para alimentar a los automóviles. Por ejemplo, un vehículo eléctrico alimentado con electricidad a base de carbón nos conducirá a un aumento del 40% de las emisiones de CO₂ correspondientes a “Well-to-Wheel”(del pozo a rueda), en comparación con el nivel promedio de emisiones de los automóviles vendidos. En cuanto que para la electricidad a base de gas natural, solo reduciría las emisiones en un 15%. El problema radica en que el carbón representa el 41% de la mezcla mundial de electricidad, el

gas natural el 22% y el petróleo el 5%; donde el sector eléctrico representa una cuarta parte de las emisiones de gases de efecto invernadero de producción artificial.

Sobre la base de este tipo de mezcla de electricidad, la electrificación de todos los vehículos no tendrá un gran impacto en las emisiones globales de CO₂. Es decir, la descarbonización de la movilidad necesitaría primero una descarbonización del mix energético.

MEJORA DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LOS VEHÍCULOS

El segundo término de la ecuación, la intensidad energética por kilómetro, es una buena manera de describir la eficiencia energética global de un vehículo. Mejorar por un lado el contenido energético de los combustibles existentes y por otro lado la eficiencia de los motores nos ayudará a reducir el consumo de combustible. La eficiencia del combustible de los vehículos ha mejorado mucho en los últimos años, a medida que se establecen estándares cada vez más estrictos.

La reducción de peso, la mejora de la aerodinámica y la reducción de la resistencia a los rodadura de los automóviles, pueden ayudar a disminuir aún más el consumo de combustible de los vehículos. La conducción ecológica, donde los conductores adaptan sus hábitos de conducción para optimizar el rendimiento del motor, puede ayudar a reducir el consumo de combustible entre un 10 y un 15%.

PLANIFICACIÓN DE CIUDADES INTELIGENTES Y VIDA SOSTENIBLE

El tercer término de la ecuación, la distancia media recorrida en vehículo, es una cuestión de estilos de vida y planificación urbana.

Reducción de la distancia media

Aumento de la densidad urbana: Históricamente, los asentamientos humanos comenzaron con personas agrupadas alrededor

de un pozo, y el tamaño de ese asentamiento era aproximadamente la distancia que uno podía caminar con una vasija de agua en la cabeza. Eso se mantuvo sin cambios durante miles de años. Luego, con la industrialización, todo comenzó a centralizarse. Las fábricas se trasladaron a las afueras de las ciudades; la producción se centralizó en las plantas de ensamblaje; se aprendió a ir a la escuela; ir de compras a grandes centros comerciales, etc. Y se construyeron automóviles, carreteras y estacionamientos para conectarse. Este es un patrón que se ve a menudo en todas las ciudades, es lo que llamamos “expansión urbana”. Por tanto, la densidad urbana tiene un gran impacto en el consumo de energía. A medida que una ciudad extiende su superficie, observamos un aumento en la demanda de movilidad, y en base a nuestro sistema de movilidad actual, inevitablemente aumenta el consumo de energía.

Para el 2050, al menos 2 mil millones de personas adicionales se irán a las ciudades. En consecuencia, el modelo urbanístico tendrá un gran impacto en el consumo energético, así como en las emisiones.

Teletrabajo: El teletrabajo también puede ser una buena forma de reducir nuestra necesidad de movilidad. El teletrabajo, puede definirse como un arreglo de trabajo en el que los empleados no se desplazan a un lugar central de trabajo. Pueden trabajar desde casa, desde bibliotecas públicas, desde oficinas compartidas cerca de donde viven. En nuestras sociedades donde cada vez más interacciones se basan en los servicios, ¿realmente necesitamos llevar nuestro coche todos los días para ir a trabajar? Actualmente y gracias a la emergencia sanitaria, hemos logrado encaminar esta idea.

Por tanto, el desarrollo de un arreglo de trabajo de este tipo reduciría la necesidad de movilidad, los kilómetros recorridos, de ahí las emisiones de CO₂. Pero el teletrabajo también ha demostrado beneficios sobre el tiempo de trabajo y la productividad.

Movilidad compartida

El último término de la ecuación, el número de vehículos disponibles; donde se puede incluir muchos gravámenes para optimizar nuestro sistema de movilidad.

La pregunta es: ¿qué buscamos en última instancia en un vehículo? ¿Es la posesión, o es el servicio de la movilidad? En el medio del siglo 20, poseer un automóvil era un signo de riqueza y éxito social. Pero hoy en día, cada vez más personas prefieren comprar un servicio de movilidad que un automóvil. Debemos tener en cuenta que, en promedio, un automóvil está en la carretera solo el 5% del tiempo.

Los servicios de “carpooling” y “car-sharing” (movilidad compartida), han tenido un auge en los últimos años como respuesta a este problema. Lo que ha hecho posible utilizar de manera más eficiente una red ya existente: ¡la carretera!

El carpooling se puede definir como un viaje compartido en automóvil, de modo que más de una persona viaja en un vehículo. El propietario del coche es generalmente uno de los viajeros.

Esto es diferente al uso compartido de automóviles, en el que una flota de automóviles es propiedad conjunta de los usuarios. Carpooling explota los coches que ya son propiedad de las personas, el coche compartido explota los coches comprados precisamente para el grupo de coches compartidos. Los usuarios del carpooling, mutualizan el costo del viaje, el consumo energético y las emisiones. Los usuarios de car-sharing, mutualizan los costos fijos del vehículo (compra del coche, seguro, mantenimiento, etc.).

Por último, pero no menos importante: el transporte público eficiente, disponible, asequible y limpio es crucial para reducir la energía per cápita requerida para el transporte. Al elegir su medio de transporte, las personas compararán el costo, la disponibilidad, la confiabilidad y la comodidad de cada sistema. Estos son todos los factores que les convencerán de pasar de los coches de propiedad privada y

de uso privado, hacia un sistema de movilidad más colectivo y sostenible. Al final, todos estos son los gravámenes sobre los que podemos actuar para reducir las emisiones y satisfacer al mismo tiempo nuestras crecientes necesidades de movilidad.

ABORDAR MÚLTIPLES DESAFÍOS

Si el beneficio no es seguro para las emisiones globales, los vehículos eléctricos definitivamente tienen un impacto positivo sobre la contaminación del aire local, en parte causada por las partículas provenientes del escape de los motores automotrices.

El teletrabajo y la movilidad compartida ayudan a reducir el número de vehículos en la carretera, reduciendo así la congestión del tráfico y la necesidad de infraestructura de estacionamiento.

El diseño urbano inteligente y la disponibilidad de modos de transporte colectivos eficientes en las ciudades también reducen el tráfico, la necesidad de estacionamiento, la contaminación local y el consumo de combustible.

La gente responde a los incentivos (ya sea en función del costo, el tiempo o la comodidad): a nadie le gusta quedar atrapado en el tráfico, pasar tiempo buscando un lugar de estacionamiento, en otras palabras, gastar dinero para alimentar su automóvil.

Conocemos las soluciones, algunas ya están aquí, técnicamente disponibles y asequibles. Y pueden beneficiar a cada uno de nosotros y a la sociedad en su conjunto. Los incentivos deben implementarse adecuadamente para ayudar a nuestra sociedad a desencadenar este cambio de un sistema de transporte individual y superado, a una vía de movilidad más colectiva, más eficiente y sostenible.

CONCLUSIONES

Para garantizar una movilidad humana más sostenible, uno de los objetivos más importantes del sector del transporte es la reducción de los

contaminantes transportados por el aire y, sobre todo, de las emisiones de gases de efecto invernadero. Para alcanzar este objetivo, podemos utilizar cuatro palancas principales:

Comportamiento de las personas

En los próximos años, la población mundial seguirá creciendo, dando lugar a una mayor necesidad en la movilidad de las personas. Al mismo tiempo, esperamos que las personas también adopten modos de transporte más respetuosos con el medio ambiente (caminar, andar en bicicleta, conducir de forma ecológica, car-sharing) e incluso reducir sus necesidades de movilidad a través de nuevas organizaciones como el teletrabajo.

Infraestructura

La segunda palanca es la mejora de la eficiencia global de los sistemas de transporte a través del desarrollo de la infraestructura, las instalaciones públicas y la organización del transporte. Esto significa: transporte público, estacionamientos, carreteras inteligentes, estaciones de carga eléctrica, etc. Sin embargo, esto lleva mucho tiempo y requiere una gran inversión pública.

Eficiencia energética de vehículos y sistemas de propulsión

La tercera palanca es la tecnología del vehículo, que se puede utilizar para mejorar la eficiencia energética del vehículo y reducir las emisiones contaminantes. De hecho, la industria del automóvil está invirtiendo considerablemente en innovadores motores de combustión interna y sistemas de postratamiento, así como en la electrificación de vehículos. Sin olvidar otras mejoras como la reducción de la resistencia aerodinámica del vehículo, la reducción de las pérdidas a través de los neumáticos o la reducción del peso del vehículo. Se puede lograr una reducción simultánea significativa de las emisiones de contaminantes de escape y el consumo de combustible mediante una combinación de todos estos medios.

Energía descarbonizada

Para disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero, la última palanca es aumentar la cuota de energías descarbonizadas. La electricidad descarbonizada puede, por ejemplo, derivarse de

fuentes renovables (hidráulica, solar, eólica, biomasa) y de fuentes nucleares. Los biocombustibles y los combustibles con bajo contenido de carbono, como el gas natural, también se constituyen en un medio para descarbonizar los combustibles.

Para concluir, la industria del transporte es una industria pesada y estos cambios drásticos son difíciles de implementar rápidamente. Los usuarios del transporte también pueden ser reacios a cambiar sus hábitos. Por ejemplo, la Agencia Internacional de la Energía espera que el transporte siga dependiendo del petróleo para más del 90% de su energía en 2035 (Pinchon, 2014).

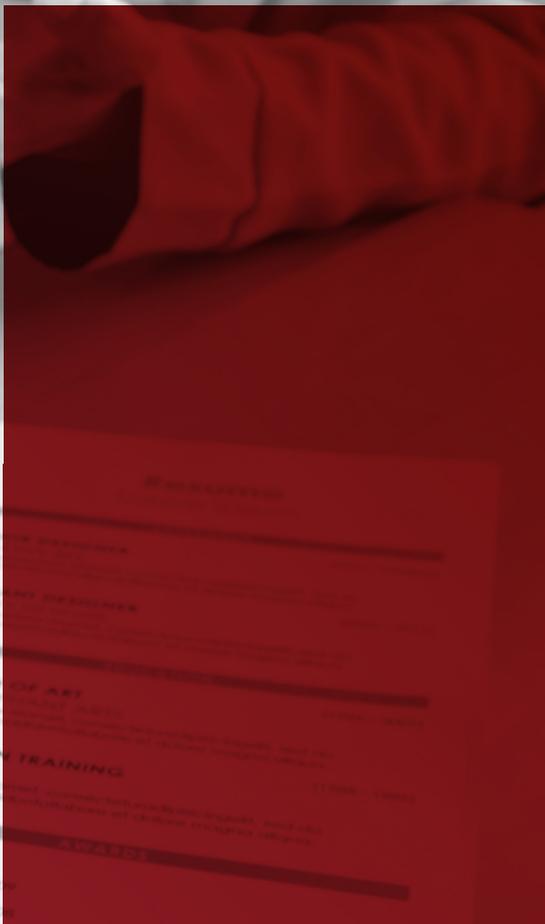
En consecuencia, la tecnología, pero no la tecnología por sí sola, desempeñará un papel importante y habrá que desarrollar e implementar muchas soluciones tecnológicas.

REFERENCIAS

- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2012). Renewable Energy in The Context of Sustainable Development.
- Lambert-Lalitte, S. (2014). Las presiones de la demanda energética. En I. School, Transición Energética (págs. 4-5). Paris: IFP.
- Lambert-Lalitte, S. (2014). Mobility of tomorrow. En Sustainable Mobility (págs. 142-147). IFP.
- Pinchon, P. (2014). Technical and environmental challenges for the automotive sector. IFP.
- TomTom Traffic Index. (09 de 12 de 2021). TomTom Traffic Index. Obtenido de https://www.tomtom.com/en_gb/traffic-index/

RAMIRO FLORES

CEO - IFSA GROUP / DIRECTOR REFINING REVIEW
Ingeniero Químico, graduado en la Universidad Mayor de San Andrés, con estudios de post grado en Chile, Brasil y Noruega. Ph.Dc en Ciencias de la Economía. Fue Director de Refinerías, Plantas Petroquímicas y Unidades de Proceso - Superintendencia de Hidrocarburos. Profesor e Investigador en la UMSA.



ENTREVISTA

ENTREVISTA

ENTREVISTA



RODOLFO MAURICIO
ÁLVAREZ VELASCO

¿En su opinión las sanciones impuestas por el gobierno están siendo lo suficientemente severas como para frenar la contaminación?

Pienso que más allá de imponer sanciones severas, las estrategias para mitigar la contaminación del medio ambiente deben estar enfocadas en la educación y concientización de la población, el gobierno no puede estar presente en todos los rincones del territorio realizando controles o inspecciones para imponer sanciones a infractores, además, existirán personas o entidades que conseguirán burlar la legislación vigente.

Debe crearse una conciencia colectiva de que el planeta es nuestro único hogar y debemos cuidarlo, debemos cambiar el pensamiento egoísta que muchas personas tienen, que

piensan que el problema del medio ambiente es para las generaciones futuras, por tal motivo, como indica una de las metas del Objetivo 13 de Acción por el Clima de la Agenda 2030, la educación y la sensibilización juegan un papel determinante para mitigar los efectos del cambio climático.

¿Durante la cumbre mundial de desarrollo sostenible de Naciones Unidas celebrada en Nueva York, se establecieron compromisos al 2030 que incluyen cuidar el planeta como nuestro hogar, conservando el medio ambiente, la biodiversidad y luchando contra el cambio climático, en su opinión Bolivia está en la línea de cumplir este objetivo?

Tal como menciona el objetivo 13 de Acción por el Clima de la Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible, el cambio climático es un reto global que no respeta las fronteras nacionales, y por tanto se requiere cooperación y acuerdos entre naciones para combatir el cambio climático y sus efectos, por ejemplo, en la COP26 realizada en Glasgow, Bolivia y Venezuela fueron los únicos países de la región que no firmaron la declaratoria que protege a los bosques y respeta derechos indígenas, Bolivia es el segundo país con mayor tasa de deforestación en la región, solo por detrás de Brasil, desde el año 2000 se perdió un 9,5% de área boscosa, ya sea con fines agropecuarios o de urbanización, es necesario destacar que la deforestación conlleva a la pérdida de biodiversidad y acelera el cambio climático.

Además de la deforestación, es necesario

considerar que en el país las actividades mineras, principalmente en el norte de La Paz, que en algunos casos llega a ser ilegal y se encuentra cerca o en algunos casos invade áreas protegidas, contribuyen con la contaminación de efluentes de agua debido a la pasividad del gobierno, que no toma mayores medidas para frenar estas actividades.

También es necesario considerar el cumplimiento del objetivo 7 de la Agenda 2030, que dentro de una de sus metas busca aumentar considerablemente la proporción de energías renovables en el conjunto de fuentes energéticas, el cumplimiento de esta meta contribuiría directamente a disminuir la emisión de gases de efecto invernadero, actualmente, Bolivia es dependiente de los combustibles fósiles y el sector transporte contribuye con más del 50% de las emisiones de gases de efecto invernadero, algo que puede ir incrementándose con los años debido al crecimiento del parque automotor, alrededor de 5% por año, y la ausencia del uso de biocombustibles alternativos.

Los ejemplos mencionados son un indicativo de que Bolivia, al menos en el área ambiental, no se encuentra en línea de cumplir los Objetivos de la Agenda 2030,

¿Cuál cree que será el impacto de las biorrefinerías en la industria energética para el futuro?

Debido al agotamiento de las reservas de hidrocarburos y a las consecuencias ambientales que trae el uso de estos, una alternativa potencial es la obtención de diversos productos con valor agregado, como químicos, combustibles y energía, a través de biomasa en biorrefinerías, ya sea mediante cultivos energéticos o mediante el aprovechamiento de residuos orgánicos, es así que, el desarrollo tecnológico juntamente con la propagación de estas instalaciones permitirá disminuir la dependencia de los hidrocarburos, pasando así de una economía del petróleo a una economía basada en recursos naturales de origen biológico, sin comprometer la seguridad

alimentaria.

¿Cuáles son los mayores obstáculos para convencer a gobiernos o inversores privados de la importancia de la rentabilidad de apostar por las energías renovables?

En la medida del desarrollo tecnológico, las acciones por el cambio climático y el agotamiento de las reservas de hidrocarburos, en los últimos años inversiones para el uso de energías renovables han ido ganando terreno, y más gobiernos y empresarios se encuentran interesados en apostar por ellas, es así que, la resistencia al uso de renovables y a su inversión va disminuyendo.

Por ejemplo, algunos de los avances significativos en la región se dieron en Brasil, donde la demanda de etanol hidratado aumentó aproximadamente en 3 mil millones de litros, además la Agencia Nacional de Petróleo, Gas Natural y Biocombustibles (ANP) aprobó la resolución No. 798, que establece que el porcentaje mínimo de biodiesel adicionado al gasoil sea de 11% y el porcentaje máximo sea de 15%; en Colombia se incrementó la capacidad de generación eléctrica a partir de energía solar, mediante la construcción de los Parques Solares Castilla y El Paso, permitiendo así, que hasta el año 2022 la generación de energía eléctrica mediante energía solar pase de 50 MW a 2200 MW; en Chile se llegó a superar los 13.200 GWh producidos mediante el uso de energías renovables, debido a la construcción de 53 solares, 2 parques eólicos, 2 mini eléctricas, 1 central geotérmica y 1 central de biogás; en Uruguay fueron inauguradas la Planta Solar Fotovoltaica Hikari y la Planta Fotovoltaica de la Base Artigas; entre otros avances en el uso de renovables.

Además, de acuerdo a la Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible, se tiene, de acuerdo a las metas del objetivo 7, que debe aumentarse considerablemente la proporción de energía renovable en el conjunto de fuentes energéticas, además, debe incrementarse la cooperación internacional para facilitar a la investigación y la tecnología relativa la energía

limpia, incluidas las renovables, promoviendo la inversión en infraestructura energética y tecnologías limpias, principalmente en los países subdesarrollados.

¿Qué importancia tienen los nuevos tipos de energía para la industria petrolera?

En los últimos años, la matriz energética mundial ha sufrido una diversificación en las fuentes de energía, estamos dejando de ser una sociedad completamente dependiente de los combustibles fósiles, pero esto no significa que de un día para otro dejemos de utilizarlos, ya que actualmente, el conjunto de energías renovables no sería capaz de satisfacer las demandas de energía de la sociedad.

Se espera que, en un futuro, las energías renovables sean la principal fuente de energía en el mundo, tanto por temas relacionados con el cambio climático como por temas de agotamiento de reservas de las reservas de hidrocarburos, pero, la sociedad aún continuará utilizando combustibles fósiles en menor medida.

¿Cuál es la importancia de eliminar las impurezas del petróleo?

Dependiendo de las características del petróleo producido, este puede presentar en su composición diferentes compuestos que llegan a ser contaminantes, tales como compuestos sulfurados, nitrogenados, metales pesados, o hidrocarburos aromáticos policíclicos, que si no son eliminados adecuadamente, además de causar problemas técnicos en equipos, como la corrosión en las operaciones de refinación del petróleo, pueden causar serios problemas ambientales, por ejemplo, la combustión de combustibles derivados del petróleo que presenten compuestos sulfurados y nitrogenados pueden provocar lluvias ácidas.

¿Qué tipos de fuentes abastecerán la demanda de energía en el mundo en los próximos años?

Actualmente la principal fuente de energía en el mundo son los combustibles fósiles, como el petróleo, el gas natural y el carbón, es a partir del 2005 que existe un crecimiento en el uso de energías renovables, llegando a generar el 5% de la energía del mundo en 2020. Según el Energy Outlook de 2020 de BP, se espera que hasta el año 2050 las energías renovables sean la principal fuente de energía en el mundo, generando aproximadamente el 60% de la energía del mundo, entre fuentes renovables y combustibles no fósiles, esto debido a su implementación en más países, al desarrollo tecnológico y al agotamiento de las reservas de hidrocarburos y carbón, se espera que el resto de la energía del mundo provenga en un 22% de gas natural, 16% de petróleo y un 2% de carbón, cabe destacar que el carbón fue la principal fuente de energía a inicios del año 1900, representando más del 90% en la matriz energética mundial y en un futuro se espera que sea la menor fuente de energía.

¿En su opinión cambiar el desarrollo energético será un problema energético?

La implementación de energías renovables en el mundo conlleva a una reestructuración y remodelación de la matriz energética de los países, que a su vez conlleva a grandes cambios, como la eliminación de la dependencia de los combustibles fósiles, la diversificación de las fuentes de energía, y brinda oportunidades para el desarrollo tecnológico, la generación de empleos y la conservación del medio ambiente. La transición de una matriz energética dependiente de los hidrocarburos hacia una matriz diversificada por la inclusión de energías renovables, puede provocar que no se satisfagan los requerimientos energéticos de la sociedad, ya que, actualmente las energías renovables por si solas no serían capaces de cubrir la demanda de energía, por tal motivo, es vital que la generación de energía aún contemple el uso de hidrocarburos, y la implementación de energías renovables y la transición de la matriz energética sea realizada de acuerdo al avance tecnológico y los requerimientos de la sociedad.

¿Qué tipo de energía renovable produce Bolivia?

Actualmente, de acuerdo a datos de la Agencia Internacional de las Energías Renovables, Bolivia ocupa el antepenúltimo lugar en Sudamérica en relación al consumo de energías renovables, solamente por delante de Argentina y Venezuela, siendo dependientes principalmente de los combustibles fósiles, si deseamos cumplir la Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible, debemos implementar mayores proyectos relacionados con el uso de energías alternativas.

Es así que, en el marco de la política de energías renovables para el sector eléctrico, el gobierno cuenta con el Plan para el Desarrollo de las Energías Alternativas 2025, En Bolivia, hasta 2025 se pretende incursionar con más fuerza en la energía eólica, mediante la construcción de 3 parques eólicos en el departamento de Santa Cruz, siendo estos los parques eólicos de Warnes, El Dorado y San Julián, que generarán 108 MW, la fase 3 del parque Qollpana; además se pretende instalar plantas solares fotovoltaicas en los departamentos de Oruro, Potosí, Tarija y Pando.

¿Cuál es la prospección a futuro sobre el uso del gas natural en todos los sectores consumidores?

Actualmente, el gas natural es utilizado a nivel mundial, principalmente como combustible de uso doméstico, comercial e industrial, en algunos países, como Bolivia, también es utilizado como combustible vehicular siendo una alternativa de remplazo de combustibles como la gasolina.

Cabe destacar, que el gas natural es un combustible menos contaminante, que presenta menor emisiones de gases de efecto invernadero, actualmente es la tercera fuente de generación de energía en el mundo, por detrás del petróleo y el carbón, y se espera que hasta el 2050 sea la segunda fuente de generación de energía en el mundo, por debajo de las energías renovables

¿Se tiene proyectos relacionados con el uso de combustibles diferentes a los hidrocarburos?

Muchos países de la región han adoptado por el uso de biocombustibles, como etanol o biodiesel, para disminuir la dependencia de los combustibles fósiles, pero estos no son capaces de sustituir completamente a los combustibles tradicionales, por tal motivo, recurren a prácticas como a la mezcla de ambos combustibles en diferentes proporciones, estando el biocombustible en menor proporción.

Bolivia no es un país con elevada producción de petróleo, es así que, para satisfacer la demanda interna de combustibles que se encuentran en fracciones más pesadas, el país recurre a su importación, que en 2019 alcanzó un costo de 913 MUSD y 569,9 MUSD para diésel y gasolina respectivamente. Una alternativa para no depender de la importación de combustibles y para mitigar los efectos del cambio climático, es la producción de biocombustibles.

Actualmente, Bolivia cuenta el producto Super Etanol 92, que es una mezcla de gasolina convencional con hasta 12% de alcohol anhidro como alternativa y se prevé que hasta el año 2024, sea instalada una planta de diésel renovable con capacidad de producir aproximadamente 9.000 bpd de este producto, a partir de materia prima natural como la jatropha, totaí, entre otros, además de poder utilizar aceites usados.

RODOLFO MAURICIO ÁLVAREZ VELASCO

Ingeniero petrolero, con Maestría en Ingeniería Química en la línea de investigación en Petróleo, Petroquímica y Biocombustibles - UFRRJ, actualmente doctorante del programa de Ciencias del Desarrollo - CIDES.



INVESTIGACIÓN

INVESTIGACIÓN

TECNOLOGÍA P2X Y EL HIDROGENO VERDE DESCARBONIZACIÓN DEL SECTOR ENÉRGETICO



ROSALIA
VILLANUEVA QUISPE



FRANZ RAMIRO
COLOMO AGUILAR

RESUMEN

Bolivia se encuentra en un proceso de transición energética con el uso de la energía renovable, para mitigar el cambio climático global, que promueve el desarrollo sostenible y la baja emisión de carbono al medio ambiente. Fuera de compromisos formales, la industria eléctrica boliviana puede contribuir en los esfuerzos regionales de descarbonizar el sector energético. Un factor importante que impedía este desarrollo para poder ser competitivo fue el elevado costo de la electricidad producida por energías renovables, con el transcurso de los años esta situación fue cambiando, gracias a la innovación tecnológica.

De hecho, en nuestro país existe un enorme potencial de generación de electricidad, utilizando sistemas fotovoltaicos como ser el nivel de irradiación en el altiplano boliviano, las importantes corrientes de vientos y abundantes recursos hídricos.

En el presente trabajo se analiza el rol que el hidrógeno verde puede protagonizar en tal cometido, permitiendo plantear una estrategia nacional, empleando las tecnologías del Power-to-X (P2X) para la producción de hidrógeno verde en Bolivia, colaborando así a la descarbonización del sector energético siguiendo los pasos de otros países de la región y del mundo.

Palabras clave: descarbonizar, estrategia, transición energética, tecnología.

INTRODUCCIÓN

La demanda de energía y recursos naturales es cada vez mayor y está poniendo al planeta bajo un estrés insostenible, que de no ser controlado, conducirá a una serie de cambios climáticos y medioambientales que transformarán nuestras vidas negativamente. Las fuentes de energía renovable como la solar y la eólica son excelentes oportunidades para resolver este problema, sin embargo, no pueden resolver el dilema energético y ambiental porque tienen sus propios desafíos y limitaciones, como la intermitencia y ubicación, dado que suelen ser más abundantes en zonas alejadas de las ciudades y áreas industriales, donde se utilizará la electricidad que generan. Por ello, representan un desafío considerable para la red de transmisión (Asociación Nacional de Energía Solar, 2020, p. 21).

En la actualidad, Bolivia se encuentra en la transición energética, con el objetivo de descarbonizar el medio ambiente. Asimismo, en el país se encuentra en curso el cambio de la matriz energética, con el impulso a la generación de energía eléctrica mediante el uso de las energías renovables. Actualmente se tiene en funcionamiento los proyectos eólicos de Qollpana, proyectos solares de Yunchará, Uyuni y Oruro (Miguel Fernández et al., 2020, p. 19). Ver (figura 1)

De igual manera se encuentra en curso los proyectos destinados a la producción de hidrógeno verde, haciendo uso de las energías renovables, considerando el potencial de generación de energía eléctrica, mediante sistemas fotovoltaicos y tomando en cuenta el nivel de irradiación en el Altiplano boliviano. A través del proceso químico de electrólisis con el uso de energía eléctrica de centrales fotovoltaicas, se facilita la producción de hidrógeno verde. El hidrógeno proveniente del proceso de electrólisis del agua tiene como subproducto al oxígeno sin cantidades de gases de efecto invernadero (José Luis et al., 2021, p. 3).

Si la electricidad utilizada proviene de energías renovables, el hidrógeno se llama hidrógeno verde. Este es el combustible potencial para descarbonizar el sector eléctrico en Bolivia. Se toma en cuenta que no emite carbono al medio ambiente y que eventualmente puede provocar en la economía nacional un gran superávit (Angel, 2021, p. 11).

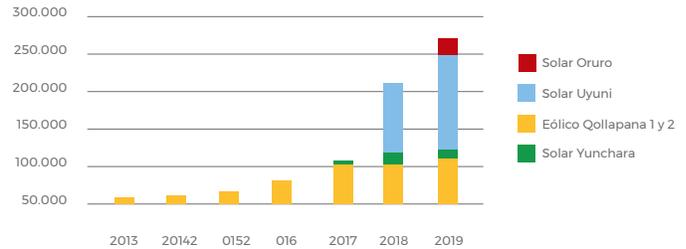


Figura 2. Evolución de la generación con energía renovables intermitentes (en MWh)

Fuente: Comité Nacional de Despacho de Carga (CNDC)

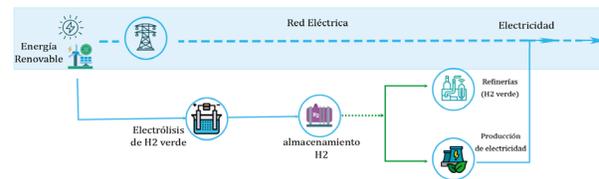


Figura 3. El rol del hidrógeno verde como vector energético y acoplamiento sectorial (Power-to-X).

Fuente: Technical and economic conditions for injecting hydrogen into natural gas networks - Final report June 2019. France (2019). Elaboración: Propia

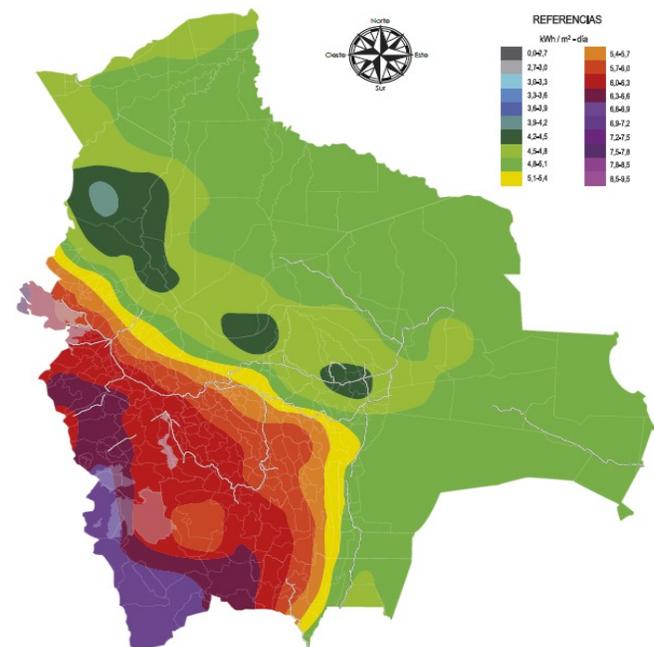


Figura 4: Mapa Potencial de Energía Solar kWh/m2/día

Fuente: Ministerio de Hidrocarburos y Energía. (2014). Plan para el Desarrollo de las Energías Alternativas 2025

ANTECEDENTES DEL PROCESO DE DESCARBONIZACIÓN

De acuerdo a las posibilidades en el sector eléctrico nacional, es posible utilizar las instalaciones existentes en el sector, para conseguir dicho proceso de descarbonización. Como se está realizando en diferentes proyectos:

El proyecto Intermountain Power Project - IPP

(Estado de Utah), en el cual se tiene la siguiente visión, tiende a que, en 2045 en Los Ángeles, California ya se pueda optar por una electricidad limpia y descarbonizada, que decide convertir la planta de electricidad que se sustenta a base de carbón con una capacidad de 1800 MW a una planta de ciclo combinado de gas natural que opere con hidrógeno verde con capacidad de 800 MW o con gas natural que tendría la capacidad de rendir 1200 MW. Estas instalaciones contarán con energía renovable, de fuente eólica de varios afluentes de Estados Unidos y algunas fuentes hidroeléctricas de compañías canadienses. Para dicho proceso es necesario comprar estos tipos de energía tanto en CC (corriente continua) y como en CA (corriente alterna). Todo el hidrógeno producido se almacenará en una formación subterránea salina geológicamente estudiada que tenga las características de estanqueidad y de sello. Se estima que para el año 2026 las turbinas ya empiecen a operar con gas natural con un 20% de hidrógeno verde y para el año 2040 el hidrógeno verde este en su 100%.

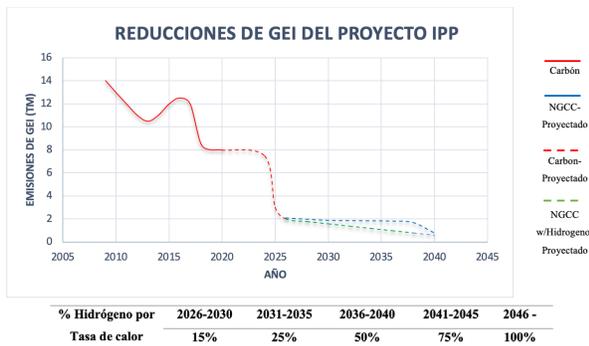


Figura 5. Reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero del Proyecto Intermountain Power Project localizado en Utah para abastecer de electricidad a la ciudad de Los Angeles California. Fuente: Angel, Z. (2021). El rol del hidrógeno verde en la descarbonización del sector eléctrico y la posible generación de excedentes en la economía de Bolivia. 9-14

POTENCIAL DE LA DESCARBONIZACIÓN DEL SECTOR ENERGÉTICO EN BOLIVIA.

Conociendo el ejemplo anterior y tomando en cuenta el espacio a ser utilizado en el sector eléctrico nacional, se puede percibir teóricamente la estrategia de descarbonización de cualquier sector y de acuerdo a los compromisos internacionales que se tiene.

Algunos críticos consideran que debería desestimarse las inversiones realizadas en plantas de generación de ciclo combinado en base a gas natural, a efectos de lograr la

descarbonización del sector eléctrico boliviano. Para desestimar tales afirmaciones, se puede ver los enormes recursos invertidos en las instalaciones.

Total inversiones en proyectos de generación y ciclos combinados 2010-2019

AÑO	INVERSIONES Millones de USD
Al 2005	-
Al 2015	377
Al 2019	1.772

Figura 6a: Inversiones realizadas de ENDE ANDINA en el periodo 2010-2019 Fuente: Angel, Z. (2021). El rol del hidrógeno verde en la descarbonización del sector eléctrico y la posible generación de excedentes en la economía de Bolivia. 9-14

Planta	Ciclo Abierto millones de USD	Ciclo Combinado Millones de USD	Total por Planta Millones de USD
ENTRE RIOS	84 (120 MW)	463 (360 MW)	547 (480 MW)
SUR	123 (160 MW)	464 (320 MW)	587 (480 MW)
WARNES	170 (200 MW)	468 (320 MW)	638 (520 MW)
TOTAL GENERAL	377 (120 MW)	1.395 (1000 MW)	1.772 (1480 MW)

Figura 6b: Inversiones realizadas de ENDE ANDINA en el periodo 2010-2019 Fuente: Angel, Z. (2021). El rol del hidrógeno verde en la descarbonización del sector eléctrico y la posible generación de excedentes en la economía de Bolivia. 9-14

La figura anterior, corresponde a los discursos pronunciados por ejecutivos de la Empresa Nacional de Electricidad (ENDE Andina) en eventos de la industria, se puede ver el monto de la inversión en turbinas de tecnología moderna de la marca Siemens en diferentes ubicaciones de la empresa, las cuales no deben ser ignoradas bajo ninguna circunstancia. Si se considera el establecimiento del Grupo de EU Turbinas en Europa con el fin de que los trabajadores puedan adecuar sus unidades para lograr la transición de la generación eléctrica renovable, para lograr la descarbonización del sector eléctrico. En ese sentido, Siemens, el suministrador y fabricante de la mayoría de las unidades de ciclo combinado del sector eléctrico boliviano, ha participado en tales compromisos.

Ante la situación anterior y la posibilidad de instalar productores de hidrógeno verde en Bolivia, se pueden realizar ajustes a las instalaciones de ciclo combinado a base de gas natural incorporando gradualmente el plan de descarbonización del sector eléctrico boliviano para proponer un paso a paso plan de hidrógeno verde, similar al ya mencionado

anteriormente, de lo propuesto en el proyecto Intermountain Project.

LA ESTRATEGIA DEL HIDROGENO VERDE EN BOLIVIA

Es necesario tener una idea del hidrogeno verde y el potencial de la comercialización para poder pensar en el desarrollo nacional de este combustible. Según el Dr. John Massey de Grey Cells Energy, da a conocer el consumo de hidrógeno al año 2020 (Ver figura 7) (Angel, 2021, p. 5).

	Demanda (MTM-año)	Acumulada (MTM-año)	Puro o mezclado
Otros usos	34	122	H ₂ mezclado
Como reductor director para la fabricación de acero	3	88	H ₂ mezclado
Metanol y Combustibles Sintéticos	10	85	H ₂ mezclado
Otros	3	75	H ₂ puro
Plantas de Fertilizantes	34	72	H ₂ puro
Refinerías	38	38	H ₂ puro

Figura 7. Demanda global de Hidrógeno 2020
Fuente: Angel, Z. (2021). El rol del hidrógeno verde en la descarbonización del sector eléctrico y la posible generación de excedentes en la economía de Bolivia. 9-14

El hidrogeno gris tiene una alta proporción cuando nos referimos al hidrogeno convencional, este es el derivado de fósiles que se utiliza en la industria como demanda a las aplicaciones energéticas.

Tenemos que tomar en cuenta que los datos del año 2020 en el mercado es de 75 M TM/año debido a la sustitución del hidrogeno gris por el hidrogeno verde.

Estos últimos años es relevante conocer la consecuencia que tienden los compromisos del acuerdo de Paris, que muchas naciones se basan en que el hidrogeno es una estrategia energética y no así que es el petróleo de mañana o que sustituirá al mismo. Otro propósito es el cómo incrementar la capacidad de baterías y la de generar opciones de almacenamiento de energía. Como una buena noticia estamos conociendo una alternativa complementaria que puede generar enormes ingresos en un futuro.

Una posibilidad muy importante que se tiene en el altiplano boliviano es la de montar una industria fotovoltaica, estos recursos eólicos e hidroeléctricos que existen en el país o la vía de cooperación de la planta geotérmica de Laguna Colorada son recursos ingentes y necesarios, en nuestro país como objetivos

podemos encarar a esta estrategia del hidrogeno verde. Esta estrategia se basa en la descarbonización del sector eléctrico. Así mismo se debe apoyar la descarbonización de las refinerías y el transporte pesado y de aviación, por ejemplo las refinerías de petróleo lo utilizan como insumo para los procesos de fraccionamiento, que producen hidrocarburos cortos (hidrocracking) (Patrick et al., 2020).

En el caso del transporte de aviación se piensa en la vía de generación de combustibles sintéticos verdes que sustituya a los combustibles fósiles. Por otra parte, se debe pensar en una industria de exportación de esta energía verde al resto del mundo.

En consecuencia, sería beneficioso plantear una estrategia energética en la que, relacionando el desarrollo de las fuentes energéticas renovables, se pueda incorporar la síntesis de hidrógeno, posiblemente metanol y amoníaco verde. Esto se lo puede realizar a un menor costo integrando su producción con las industrias existentes y utilizando la mayor infraestructura existente posible en el país. Para incorporar la tecnología del P2X, necesitamos implementar un plan de desarrollo integral.

“Esta Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde marca un punto de partida esencial para una transformación profunda de la identidad productiva” (Ministerio de Energía, 2020, p. 5). Una de las primeras opciones sería la reactivación del oleoducto Sica-Sica hasta Arica para convertirlo en un ducto de transporte de hidrogeno y montar una planta de licuefacción para la exportación de energía verde al resto del mundo.

Por otra parte, otra alternativa es construir un ducto de transporte de hidrogeno a Ilo en la franja de “Bolivia Mar” donde se puede construir una planta de amoníaco verde y una planta de licuefacción de hidrogeno y así poder exportar energía verde (José Luis et al., 2021).

La consideración que se debe tomar como punto clave es el uso del hidrógeno y consecutivamente los usuarios potenciales.

La Agencia Nacional de Energía (IEA), dio a conocer que la demanda del hidrogeno en la actualidad tiende a una necesidad de, (33%) para la refinación del petróleo, (27%) para la producción de amoníaco y un (11%) para la producción del metanol.

Es importante considerar que el hidrógeno es corrosivo, volátil además de que su almacenamiento y transporte son costosos, por lo tanto, su sitio de producción idealmente debe estar cerca de su industria de uso final, de manera similar, la producción de hidrógeno debe ubicarse cerca de fuentes de energía renovables, de lo contrario, los costos de transmisión de electricidad aumentarían. En la siguiente figura se presenta un estimado de los costos de producción de Hidrógeno en Europa en el 2030. (Asociación Nacional de Energía Solar, 2020, p. 24).

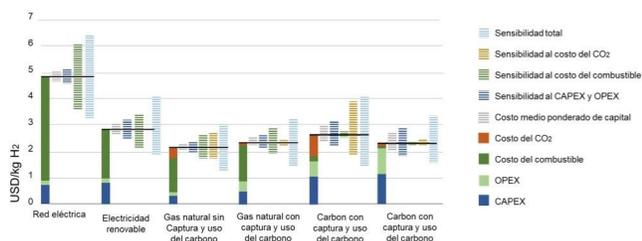


Figura 8. Costos estimados para la producción del hidrógeno en Europa en el 2030 con intervalos de sensibilidad para los costos relevantes (IEA, 2019). Fuente: Asociación Nacional de Energía Solar. (2020). Energías renovables. Anes, 04, 1-26.

COMO IMPLEMENTAR LA TECNOLOGÍA DEL P2X.

Incorporar la tecnología del P2X, es importante para proceder un plan de desarrollo integral, que tiene como base los siguientes aspectos:

- Las fuentes renovables de energía solar y eólica son la solución para frenar el problema, sin embargo, estas por sí mismas no serán capaces de dar una solución a la disyuntiva energética y medio ambiental, esto representan desafíos y limitaciones como su localización e intermitencia, con frecuencia es abundante en regiones alejadas de zonas urbanas donde se aprovecha la electricidad que genera. Por este caso representa una disyuntiva considerable para la transición energética.
- Celdas de electrólisis alcalina (AEC). El desarrollo y estabilidad de esta tecnología tiene un estimado de (100.000 h) de duración y ofrece relativamente costos de capital bajos para su proceso. Sin embargo, los tiempos de puesta en marcha, la entrada de energía variable, la baja densidad de corriente y la presión de funcionamiento son claras debilidades de esta tecnología. Sin embargo, el enfoque del desarrollo es aumentar la densidad de

corriente y la presión de trabajo, así como mejorar el diseño de operación dinámica. (Zheng, 2010).

Planteamos implementar la tecnología P2X, que consiste en emplear el excedente de generación para la producción de combustibles o vectores energéticos en los que la energía pueda almacenarse para un uso posterior.

El Power to-X (P2X), es fundamental para la descarbonización, en el sector químico, marítimo y de aviación proporcionando importantes soluciones de almacenamiento de energía. La X en esta tecnología proviene de la conversión de energía de combustibles líquidos y gaseosos o productos químicos como metanol, amoníaco, metano, gas de síntesis e hidrógeno verde.

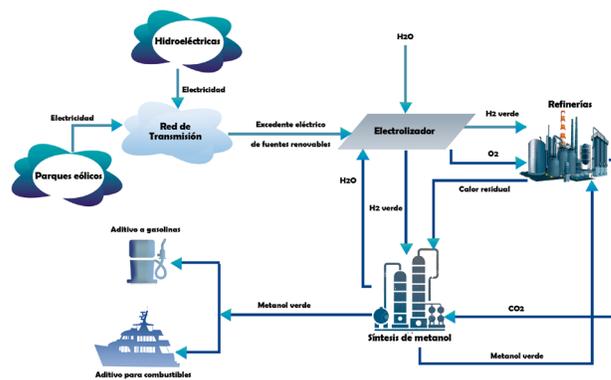


Figura 9. Tecnología P2X Fuente: (Asociación Nacional de Energía Solar, 2020). Elaboración: Propia

CONCLUSIONES

Siendo que las energías renovables no son económicamente competitivas con las tecnologías convencionales, las tecnologías del Power-to-X (P2X) ofrecen una posible solución al respecto, ofrecen ventajas como para poder justificar su desarrollo. El principal obstáculo se encuentra en el costo de la electricidad y el progreso de electrolizadores, no obstante, los costos de las energías renovables continúan disminuyendo y las investigaciones de electrolizadores más modernos están avanzando, por lo que se puede considerar que en un periodo de 10 años el hidrógeno verde llegue a ser competitivo.

La estrategia nacional de hidrógeno verde, debe plantearse a corto, mediano y largo plazo, considerando incentivos para el mercado interno y de exportación, desarrollo social y

territorial de las comunidades del altiplano boliviano, adecuando al marco regulatorio (regulación de producción y uso) y la formación de capacidades en los recursos humanos del estado boliviano. Posibilitando contribuir a la descarbonización de distintos sectores: como el sector energético, las refinerías, la industria petroquímica, y más adelante la química hasta llegar al sector del transporte.

REFERENCIAS

- Angel, Z. (2021). El rol del hidrógeno verde en la descarbonización del sector eléctrico y la posible generación de excedentes en la economía de Bolivia. 9-14. https://parlamericas.org/uploads/documents/ESP_
- Asociación Nacional de Energía Solar. (2020). Energías renovables. Anes, 04, 1-26.
- Comité Nacional de Despacho de Carga. (2018). Memorias CNDC 2018. Cochabamba.
- Grtgaz, Technical and economic conditions for injecting hydrogen into natural gas networks - Final report June 2019. France (2019).
- José Luis, J. C., Juan Antonio, T. V., Marco Antonio, Y. C., & Gabriel Israel, Y. P. (2021). Uso y producción del hidrógeno renovable. Universidad Mayor de San Andrés.
- Miguel Fernández, F., Carlos Fernández, V., & Gustavo, R. C. (2020). Situación energética de Bolivia y desafíos. https://wwflac.awsassets.panda.org/downloads/1_situacion_energetica_bolivia_25_02_optimized.pdf
- Ministerio de Energía. (2020). Estrategia nacional de hidrógeno verde. 33.
- Ministerio de Hidrocarburos y Energía. (2014). Plan para el Desarrollo de las Energías Alternativas
- Patrick, M., Julián, G., & Carlos Andrés, L. (2020) Hidrógeno : Una revolución para impulsar los sectores de energía y transporte sostenible en América Latina. Hincio, 1-7. latinamerica@hinicio.com

Zheng K, Z. D. (2010). Recent progress in alkaline water electrolysis for hydrogen production and applications. *Progress in Energy and Combustion Science*, 36(3), 307-326.

Zheng K, Z. D. (2010). Recent progress in alkaline water electrolysis for hydrogen production and applications. *Progress in Energy and Combustion Science*, 36(3), 307-326.

Colomo Aguilar Franz Ramiro

“Procuraremos siempre que nuestros actos, dejen una huella verde en nuestro camino”

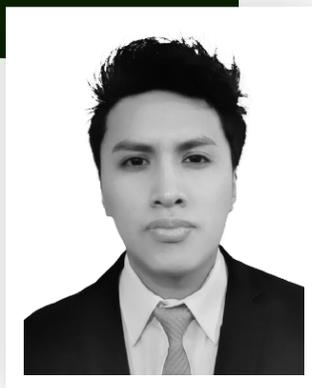
Villanueva Quispe Rosalía

“Todos tus sueños pueden hacerse realidad si tienes el coraje de perseguirlos”

“Esta Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde marca un punto de partida esencial para una transformación profunda de la identidad productiva”

Fuente: (Ministerio de Energía, 2020, p. 5).

“SB REFINERIA, UNA INSTALACION NUEVA E INTEGRADA PARA REDUCIR EL IMPACTO AMBIENTAL”



VICTOR ALFREDO
CHAVEZ HERRERA



MILENKA ESTHER
SAIZA

RESUMEN

El artículo, presenta un concepto integrado, que con ayuda de métodos de unificación de procedimientos se expone un esquema de una nueva instalación denominada Semi Bio Refinería o también nombrada como SB Refinería. Esta es una instalación que integra procesos y equipamiento de una refinería tradicional con una biorrefinería obteniendo productos amigables con el medio ambiente como biogás y productos tradicionales de una refinería convencional con un cierto valor agregado como el etanol-gasolina. La SB refinería es capaz de obtener electricidad por medio de la cogeneración para cubrir con sus gastos energéticos y subproductos que son utilizados para distintos procedimientos en la instalación como la de solventes para aceites lubricantes. Se destacan tres aspectos para la implementación de procedimientos, técnico, económico y ambiental. En los resultados se exponen los esquemas integrados de una biorrefinería y SB Refinería, destacando los productos, subproductos y sus distintas aplicaciones. Se resalta la aplicación de la integración de procedimientos en la región de Santa Cruz Bolivia en virtud de que dicha región cuenta con la refinería Guillermo Elder Bell y un número considerable de agroindustrias.

Palabras clave: SB Refinería, Integración de procesos, biogás, etanol-gasolina, esquema de instalación.

INTRODUCCION

En vista del aumento de los precios del petróleo y el impacto ambiental de muchos procesos petroquímicos, la gente está reconsiderando las aplicaciones químicas actuales y las tecnologías energéticas basadas en combustibles fósiles. La descarbonización de nuestro modelo de producción (es decir, minimizar o incluso frenar nuestras emisiones de gases de efecto invernadero) se ha convertido en uno de los mayores desafíos que deben enfrentar los científicos, técnicos y políticos. En los últimos años, las tecnologías verdes o limpias (bien conocidas, tecnologías que emiten poco o nada de gases de efecto invernadero) han comenzado a ganar la batalla contra los combustibles fósiles en el sector energético, y la contribución de las energías renovables (especialmente la solar y la eólica) está creciendo rápidamente mundo.

Por ello, paulatinamente se introducen tecnologías cada vez más sostenibles para utilizar materias primas renovables para producir energía y productos químicos, entre los que destaca la energía de biomasa. En los últimos años, el concepto de biorrefinería se ha desarrollado por analogía con las refinerías de petróleo, haciendo referencia a diversas estructuras de producción integradas para optimizar el procesamiento de la biomasa, hacerlo más eficiente y minimizar el impacto en el medio ambiente. La instalación de calderas de biomasa en lugar de combustibles fósiles puede reducir las emisiones y mejorar la calidad del aire en las zonas urbanas.

El desarrollo sostenible representa la transición de la sociedad actual a una sociedad más respetuosa con el medio ambiente. Es un modelo de desarrollo cuyo objetivo es garantizar un equilibrio entre el crecimiento económico, la protección del medio ambiente y el bienestar social.

El presente trabajo ha sido elaborado con el fin de contribuir con la propuesta de implementación de la agroindustria en refinerías para su conversión en una SB Refinería, para integrar los procesos y el equipamiento de conversión de biomasa e hidrocarburos, producir combustibles, electricidad y productos químicos. Esto con el

fin de reducir la carga ambiental que tiene una refinería tradicional.

En consecuencia, se pretende establecer una visión de una instalación integrada para realizar este aporte en busca de un desarrollo sostenible.

Semi - Bio - Refinería (SB-Refinería)

Las Bio Refinerías son instalaciones en donde se busca la producción de combustibles, energía y químicos derivados del empleo de la biomasa como materia prima. (Vargas, 2012) Por esa razón se integra el concepto que busca darle una cualidad única a las instalaciones que complementen los procedimientos de biomasa con procedimientos de refinación de hidrocarburos.

Una SB Refinería es la instalación que integra los procesos, operaciones y el equipamiento de conversión de biomasa e hidrocarburos, para producir combustibles, electricidad y productos químicos. Esto con el fin de reducir la carga ambiental que tiene una refinería tradicional.

MATERIALES Y METODOS

La integración de procesos es la herramienta que se empleará para conseguir el objetivo, con esta herramienta se busca una integración entre corrientes de procesos provenientes de la transformación de biomasa y las refinerías cercanas tradicionales, se observa las oportunidades de aprovechamiento en conjunto de los recursos materiales y energéticos del proceso principal como de los procesos secundarios.

Aplicando la integración es posible obtener distintos resultados, de los cuales 3 son los que resaltan.

- Disminuir el requerimiento energético.
- Mejorar la eficiencia de los procesos.
- Optimización de procesos.

Para Dunn (2000), la aplicación de esta herramienta puede seguir distintos métodos, a continuación, se presentan los métodos más destacados.

- Mezcla de flujos.
- Reciclo de flujos.

- Intersección de equipos.
- Cambios en el diseño.
- Cambios en la tecnología.

Las herramientas de integración pueden ser empleadas como una guía para el diseño de una SB Refinería, siempre tomando en cuenta el objetivo de esta, el cual es cumplir con el requerimiento energético y reducir el impacto ambiental en la industria.

Para el desarrollo del esquema SB Refinería se consideran aspectos importantes que se describen a continuación:

El primer aspecto es el económico, la industria de los hidrocarburos debe cumplir su requerimiento energético y otorgar costos aceptables para el consumidor, por esta razón que los productos que se obtengan en la planta deben contar con una buena calidad y presentar un producto rentable.

El aspecto técnico es el segundo que se debe analizar, es importante cumplir con la calidad técnica necesaria, si obtenemos gasolina, debe cumplir con un cierto octanaje por este motivo que al realizar la integración se busca cumplir con las especificaciones técnicas establecidas por el Decreto Supremo N°1499, para el producto final, incluyendo los procedimientos secundarios.

El último aspecto que se destaca, es el ambiental, en busca del desarrollo sostenible no se deben descuidar los recursos naturales, por esta razón que para obtener una buena integración en los procedimientos se debe tener en cuenta el daño ambiental que conllevan los procesos y operaciones en las industrias, asimismo las posibles soluciones del daño producido.

Conforme a lo expresado por (Armas Ríos, 2019), se debe considerar el análisis de la viabilidad técnica, económica y ambiental si se busca implementar nuevas instalaciones. El diseño de una SB Refinería debe cumplir con los 3 elementos expuestos, un gran reto que se debe lograr, que se encuentre fundamentado y tenga las bases de su funcionamiento. Para realizar la integración se deben conocer los subproductos obtenidos en una biorrefinería que se integraran en una refinería tradicional.

El fraccionamiento de biomasa obtiene distintos sub productos, celulosa la más destacada por su tratamiento como polímero, hemicelulosa que es tratada como un monómero que tiene un amplio espectro de aplicaciones, como producto cosmético, producto farmacéutico y fuente de alimentación animal. (González Cortés, 2014)

El fraccionamiento de la biomasa puede otorgar distintas aplicaciones que son importantes y en conjunto con las herramientas de integración de procesos se expone una SB Refinería que cuente con los requerimientos necesarios.

RESULTADOS Y DISCUSION.

En la figura 1 se expone cómo trabaja una biorrefinería clásica integrada en una planta productora de azúcar, se aprecia que esta biorrefinería tiene como productos finales electricidad, lignina, furfural, dióxido de carbono, alcohol, biogás y torula. (González Cortés, 2013). Estos productos obtenidos gracias al fraccionamiento pueden ser aprovechados e integrados en una refinería tradicional con el fin de reducir su carga ambiental.

El esquema presentado en la figura 1 es una integración de procesos para una planta de azúcar, se observa que con las herramientas de integración es posible hacer una biorrefinería a partir de una industria que obtenga biomasa como materia prima. Esto se puede llevar a un nivel adelante y es realizar la integración de este esquema de biorrefinería con una refinería tradicional.

Los productos y subproductos en el esquema de biorrefinería son:

- Electricidad
- Lignina
- Furfural
- Dióxido de carbono
- Etanol
- Torula
- Biogás

Gracias a la integración de procesos de Dunn se realizará el acoplamiento de la electricidad como fuente de energía para una refinería tradicional, la refinería tradicional cuenta con

un gran número de procesos y operaciones, motivo por el que la instalación tiene una gran magnitud, la electricidad proveniente de la cogeneración no puede cubrir tal escala, empero puede reducir el gasto energético en alguna sección de la refinería. (González Cortés, 2016)

En cuanto a la lignina esta puede ser tratada por hidrólisis, hidrogenación, pirolisis, termólisis, oxidación enzimática y tratamiento con alcalis para obtener distintos productos con valor agregado. (Chávez Sifontes, 2013)

El tratamiento a destacar es el de pirolisis rápida que produce ácido acético, fenol, metano y monóxido de carbono. Este último puede ser tratado mediante una síntesis de Fischer Tropsch para producir hidrocarburos sintéticos líquidos. Introduciendo una novedosa tecnología en las refinerías, esto gracias a la integración de procesos. (Schuls, 1999)

El furfural obtenido es generalmente utilizado como solvente para la refinación de aceites lubricantes, esto en la industria hidrocarbúrfica. Con las herramientas de integración el furfural se integrará como parte del procedimiento para la refinación de aceites (Kemp et al., 1948). El etanol producido puede ser utilizado como potenciador de octanaje para los productos obtenidos como el diésel o la gasolina, que es el punto clave en la integración de los procesos, y mejorará la calidad del producto sin ningún cambio significativo en el precio, beneficiará al medio ambiente y al consumidor, es lo que SB Refinería puede lograr. (Castillo et al., 2011)

Por último, está la producción de Biogás, la refinería convencional no obtendría biogás por ningún método y la biorrefinería produce biogás, pero no puede competir con los combustibles tradicionales, esta es la ventaja de una SB Refinería ya que esta producirá biogás y combustibles tradicionales. Todos los procedimientos expuestos anteriormente son presentados en el esquema de la figura 2.

Todos los esquemas de integración deben ser evaluados para que cumplan con el requerimiento energético y la rentabilidad.

La integración de los procedimientos se puede dar en el proceso principal o en procesos

secundarios, la materia prima con la que trabaja la SB Refinería por parte esta otorgada por una planta de azúcar que a su vez se integra en una refinería tradicional. Obteniendo una mejora en sub procedimientos como en los productos finales.

Respecto a Bolivia, es posible realizar la integración de procesos proveniente de las agroindustrias. La refinería Guillermo Elder Bell tiene una ubicación privilegiada, según el sistema integrado de información productiva de Bolivia, el mayor número de agroindustrias que trabajan con caña de azúcar se encuentran en la región de Santa Cruz. En consecuencia, la refinería ya mencionada tiene la posibilidad de recibir un gran aporte de materia prima, el bagazo de caña de azúcar puede ser tratado en la refinería si está realiza la integración de procesos, mejorando sus productos finales y reduciendo sus impactos ambientales.

CONCLUSION

Las aplicaciones de las herramientas de integración permiten realizar distintos diseños para distintas instalaciones.

Con ayuda de estos métodos se plantea una nueva instalación, la cual integra procesos de transformación de biomasa y de hidrocarburos. Generando así un el concepto de una semi bio refinería o también nombrado como SB-Refinería.

La SB Refinería tiene la capacidad de obtener productos provenientes netamente de una biorrefinería como el biogás y productos con un valor agregado como etanol-gasolina y es lo que la hace una buena elección para los retos ambientales presentados en la actualidad.

La nueva instalación es la propuesta en busca del desarrollo sostenible, se destacó su aplicación en el sector de Santa Cruz Bolivia, resaltando la ubicación por la gran cantidad de agroindustrias que presenta dicho sector.

REFERENCIAS

Armas Ríos, V. S. (2019). Determinación de la viabilidad técnica, económica y ambiental de una planta papelera con fibra del bagazo de caña de azúcar.

Tesis, Universidad Nacional Federico Villareal, Lima, Peru. <http://repositorio.unfv.edu.pe/handle/UNFV/3601>

Castillo P., et al. (2011). Análisis de las propiedades fisicoquímicas de gasolina y diesel mexicanos reformulados con Etanol. Ingeniería, investigación y tecnología, 13(3).

Chávez Sifontes, et al. (2013). Lignina, estructura y aplicaciones: métodos de despolimerización para la obtención de derivados. Avances en Ciencias e Ingeniería, 4(4).

Dunn, R. F. (2000). Uso de tecnología de integración de procesos para una producción mas limpia. Journal of Cleaner Production, 8.

González Cortés, M. (2013). Análisis de factibilidad de la integración de los procesos de producción de azúcar y alcohol. Afinidad, 70.

González Cortés, M. (2014). La integración de procesos en el esquema de una biorrefinería. Afinidad.

González Cortés, M. (2016). Evaluación de esquemas de cogeneración de energía a partir de bagazo de caña de azúcar. Centro Azúcar, 43(1).

Kemp L.C., et al. (1948). Furfural como disolvente selectivo en la refinación de petróleo. Ind. Eng. Chem.

Schuls, H. (1999). Breve historia y tendencias actuales de la síntesis de Fischer-Tropsch. Catálisis aplicada A: General, 186, 3-12.

Vargas, R. C. (2012). Biorefinerías para la producción de biocombustibles de segunda generación. Instituto de Ingeniería Energetica, 10.

Chavez Herrera Víctor Alfredo

“La mejor manera de predecir el futuro es crearlo”

Saisa Milenka Esther

“En la naturaleza no hay recompensas ni castigos, hay consecuencias”

Una SB Refinería es la instalación que integra los procesos, operaciones y el equipamiento de conversión de biomasa e hidrocarburos.

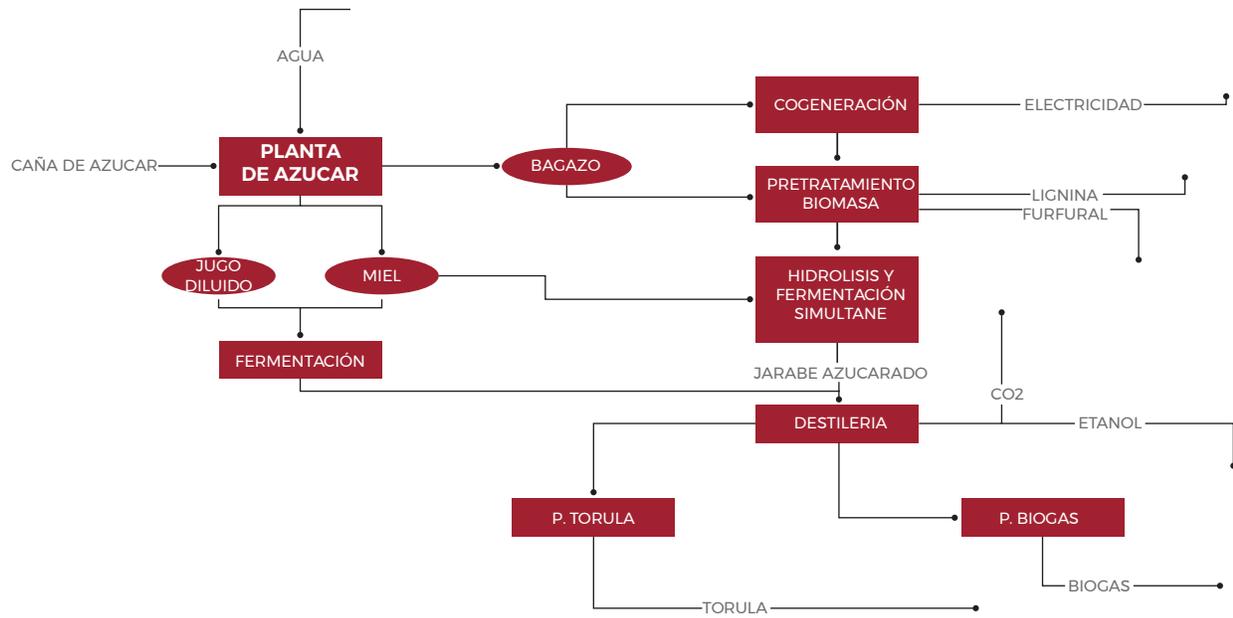


Figura 10. Esquema Bio Refinería
Fuente: Elaboración propia a partir de (González Cortés, 2014).

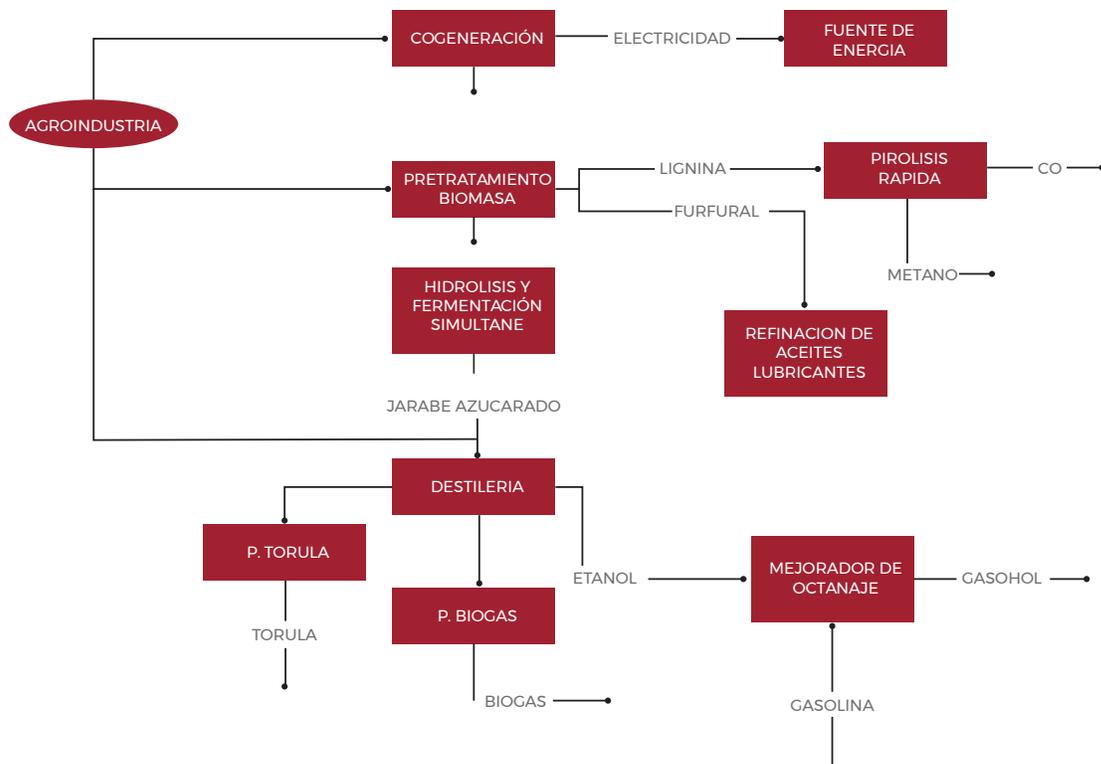


Figura 11. Esquema SB Refinería
Fuente: Elaboración propia

EVALUACIÓN DEL EMPLEO DE ZEOLITAS BOLIVIANAS COMO ABSORBENTES PARA LA REMOCIÓN DE H_2S Y CO_2

RESUMEN

La remoción del sulfuro de hidrógeno (H_2S) y dióxido de carbono (CO_2) de las corrientes de gas provenientes de la industria petrolera y del gas natural tiene importantes repercusiones económicas y medioambientales dentro del procesamiento de productos de valor agregado. Las técnicas tradicionales de remoción de estos compuestos se centran en el empleo de tamices moleculares y algunos adsorbentes basados en amidas; sin embargo, si bien estos procesos presentan rendimientos satisfactorios, los costos involucrados llegan a ser bastante elevados. Siguiendo esta línea, muchos estudios en cuestión han optado por el empleo de zeolitas como adsorbentes eficaces para la remoción de (H_2S) y (CO_2).

En este sentido, el presente estudio plantea empleo de dos zeolitas naturales provenientes de reservorios minerales en Bolivia como alternativa a la remoción de (H_2S) y (CO_2).

Con el fin de visualizar un posible empleo de estos materiales zeolíticos dentro de la industria petrolífera en Bolivia, se realiza un análisis comparativo con otros métodos de remoción de (H_2S) y paralelamente se identifica algunos indicadores clave para su evaluación tomando en cuenta factores económicos, técnicos y ambientales.

A partir de la caracterización cristaloquímica y análisis del intercambio catiónico de adsorción se logró evidenciar la relación de la estructura cristaloquímica de zeolitas bolivianas con sus propiedades de adsorción de (H_2S) y (CO_2).

Palabras clave: Adsorción, Sulfuro de hidrógeno, Objetivos de Desarrollo Sostenible, Zeolita



ALEJANDRA MARCELA
RODRIGUEZ GUZMAN



MÓNICA
QUISBERT BATALLANOS

INTRODUCCIÓN

El crecimiento exponencial de la industria petrolera y del gas natural han traído consigo enormes impactos ambientales debido a la generación de compuestos indeseables con altos contenidos de azufre (Mariano & La Rovere, 2017).

Dentro del marco boliviano es importante notar que el gas natural posee elevadas concentraciones de CO_2 y H_2S ; estos compuestos al ser bastante ofensivos e indeseables desde una perspectiva ambiental y técnica, requieren de un tratamiento previo de endulzamiento mediante el cual se logra disminuir la concentración de estos, hasta valores inferiores a los límites permisibles.

Uno de los métodos que se proyecta como uno de los más prometedores en cuanto a eficiencia y rentabilidad en el procesamiento de estos contaminantes, es el empleo de adsorbentes obtenidos a partir de zeolitas naturales o artificiales. Las ventajas de estos materiales radican más allá de sus beneficios ambientales y económicos, adicionalmente poseen características físicas y químicas que los convierte en sistemas mucho más adecuados en comparación con las aminas en el tratamiento de corrientes de gases con una alta relación de $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{S}$ a bajas y altas concentraciones.

En Bolivia, se han encontrado recientemente ocurrencias de mineral zeolítico de diversa índole. Si bien los estudios realizados en estos depósitos hasta ahora son preliminares, algunos estudios certifican la presencia de zeolitas en regiones de La Calera del departamento de Sucre y Corque del departamento de Oruro (Quispe, 2019).

Teniendo en cuenta las consideraciones anteriormente mencionadas, el presente trabajo se centra en la evaluación de dos zeolitas (clinoptilolita y mordenita) provenientes de reservorios bolivianos como adsorbentes de H_2S y CO_2 . Para lograr este objetivo, se realiza una recopilación de datos exhaustivo, con la finalidad de adaptar procesamientos industriales empleados a nivel mundial y los más recientes avances en R&D dentro el panorama nacional.

HIPÓTESIS

El empleo de zeolitas bolivianas del tipo clinoptilolita y mordenita como adsorbentes

para la remoción de H_2S y CO_2 coadyuva con el objetivo de desarrollo sostenible, energía accesible y no contaminante.

ESTADO DE ARTE

La literatura relacionada con las tecnologías de remoción de H_2S , así como la experiencia industrial a nivel nacional, es moderadamente amplia. La descripción y conocimiento de variables importantes en cada uno de los métodos empleados en el procesamiento de estos contaminantes nos puede dar un panorama apropiado de la importancia y magnitud de este tipo de tratamientos en industria. En este sentido, el conocimiento de los procesos generalmente empleados puede hacer posible conocer e identificar las limitaciones de las tecnologías actuales en relación a la calidad de los productos finales y proponer sistemas de remoción más eficientes. De manera muy general, el procesamiento industrial del gas natural involucra cuatro etapas: endulzamiento - descarbonización, reformado, conversión y purificación.

El tipo de proceso a ser aplicado posteriormente depende fuertemente del tipo de producto final deseado. No obstante, una etapa crucial de la que dependerá la calidad del producto final es la etapa del endulzamiento donde se procesa el gas natural con altos contenidos de H_2S y CO_2 para obtener un gas comúnmente denominado "dulce" y pueda ser apto para su tratamiento posterior.

REMOCIÓN DE H_2S

Generalmente, el H_2S se genera a partir de procesos industriales como el refinado de petróleo, el gas natural, el procesamiento de vertederos y biogás, la gasificación del carbón y las obras de tratamiento de aguas residuales. Debido a su toxicidad y naturaleza corrosiva afecta a los equipos de acero, envenena los catalizadores utilizados dentro de los procesos y contribuye a la formación de lluvia ácida (Charisiou, Baklavaridis, Papadakis, & Goula, 2016). Por lo tanto, la eliminación de H_2S de los gases industriales es una problemática crucial que debe ser abordada, para esto, se han desarrollado y adoptado comercialmente varios métodos fisicoquímicos como la oxidación química, el tratamiento biológico, la conversión catalítica, la precipitación, la eliminación electroquímica, la catálisis por adsorción y el lavado químico (Vikrant et al., 2018). Muchos de estos procesos resultan eficientes en la remoción de contaminantes, sin embargo

requieren una alta inversión de capital y no son energéticamente viables. En este sentido, el método más utilizado para aplicaciones a gran y pequeña escala es la adsorción, un proceso en seco con un rendimiento superior en términos de eficiencia de eliminación de H_2S incluso a bajas concentraciones y temperaturas que es un aspecto fundamental al considerar las características del gas natural boliviano.

Siguiendo esta línea, los adsorbentes que se utilizan normalmente en los procesos de desulfuración por adsorción en seco son carbones activados, óxidos metálicos y zeolitas naturales o sintéticas (Ozekmekci, Salkic et al. 2015); estos últimos, al provenir de materia prima económica y poseer propiedades extraordinarias, se proyectan como materiales prometedores en la remoción de H_2S .

ZEOLITAS

Las zeolitas son materiales arcillosos que poseen una estructura cristalina establecida. Debido a sus excelentes propiedades morfológicas y estructurales como ser su alta superficie específica, alta porosidad y la facilidad que tienen para funcionalizarse, estas pueden ser empleadas como adsorbentes de gran eficiencia dentro de la industria del gas natural y el petróleo (Sigot, Ducom, & Germain, 2016).

Estos materiales de estructura cristalina pueden ser adaptados tanto a macro como a nano escala, y adicionalmente pueden modificarse aún más para alterar sus propiedades fisicoquímicas, mejorando así su capacidad de adsorción hacia las moléculas objetivo.

Adicionalmente, el empleo de zeolitas posee una ventaja adicional en el proceso de adsorción conjunta de CO_2/H_2S , asunto que resulta benéfico considerando las características propias del gas natural boliviano que contienen altas relaciones molares de moléculas polares ($CO_2/H_2S/H_2O$) y no polares (CH_4). Debido a estas características del gas, el uso tradicional de aminas presenta ciertas limitaciones debido a que el CO_2 tiene una mayor acidez en comparación con el H_2S y tiene un efecto cercano al de los grupos amina (Georgiadis et al. 2020), por lo tanto, no se puede lograr una separación altamente eficiente de CO_2/H_2S mediante el empleo de aminas, entendiéndose que el H_2S tiene que ser adsorbido selectivamente.

Estudios recientes han utilizado compuestos

de zeolita refinada como adsorbente/ oxidante de H_2S . Sin embargo, los resultados sugirieron que las zeolitas naturales exhiben mejores propiedades que las sintéticas en la separación comercial de estos contaminantes (Ozekmekci et al. 2015).

ANÁLISIS DE TECNOLOGÍAS ACTUALES DE REMOCIÓN DE H_2S

La tabla 1 proporciona un resumen de las tecnologías de desulfuración disponibles. Los costos de capital y de operación varían de acuerdo con el volumen de reactor. Así como la presión, temperatura y el consumo de hidrógeno.

Rodriguez Guzman Alejandra Marcela

“El éxito es la suma de pequeños esfuerzos repetidos día tras día”

Quisbert Batallanos Monica

“Pon tu corazón, mente y alma incluso en los actos más pequeños. Ese es el secreto del éxito”

“La nanotecnología modifica la estructura molecular de los materiales para crear objetos inteligentes. Su universo microscópico ofrece posibilidades gigantescas para la ciencia y la industria contemporáneas”

Proceso	Comentarios	Condiciones de Operación	Propiedades del Producto	Costo
Hidrotratamiento previo al cracking	<p>Hidrogenación de fluidos de abastecimiento a la unidad de cracking (FCC)</p> <p>Reduce niveles de gasolina y azufre al mismo tiempo</p>	<p>Altas temperaturas y presiones requeridas</p> <p>Volúmenes elevados de reactor requeridos</p>	<p>Los productos requieren mayor desulfuración para alcanzar niveles de bajo azufre</p> <p>Reduce nitrógeno y metales que interfieren con la unidad de cracking (FCC)</p>	\$100 millones de costo de capital y altos costos de operación
Hidrocracking	<p>Hidrogenación de naftas de la unidad de cracking catalítico (FCC)</p> <p>Nuevos catalizadores y procesos están reduciendo condiciones de severidad y pérdida de octanaje</p>	<p>Presión: 50-56 [bar]</p> <p>Temp: 320-350 [°C]</p> <p>Consumo de hidrógeno</p>	<p>Pérdida de octanaje:</p> <p>Rangos dependientes de procesos y calidad de naftas 1 a 1,000 [ppm] (Exxon's Scafining 1 with Exomer)</p>	\$20-40 millones de costos de capital y moderados costos de operación
Adsorción de azufre	<p>Uso de un solvente en lecho fluidizado de reactor</p> <p>Tecnologías comercialmente disponibles</p>	<p>Presión: 6-21 bar</p> <p>Temp: 370- 420 [°C]</p> <p>Bajo consumo de hidrógeno</p>	<p>Pérdida de Octanaje:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 1.2 a 1,435 [ppm] - 1.0 a 675 [ppm] - 0.1 a 220 [ppm] 	\$15-30 millones de costo de capital y bajos costos de operación
Oxidación química y extracción	<p>Involucra la formación de una emulsión de agua con diésel.</p>	<p>Desconocidos debido a que se encuentra en fase de prueba piloto.</p>	<p>Procesos adicionales de refinería serían requeridos en esta tecnología para alcanzar los niveles deseados de azufre.</p>	Costos de capital altos aproximadamente de 35 millones de dólares.
Bidesulfación	<p>Uso de enzimas bacterianas para remover el contenido de azufre.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Presión: 34 [bar] - Temp: 370-420 [°C] <p>Requerimientos Moderados de Volumen de Reactor</p>	<p>Sin cambios en el número de cetano del producto</p>	Costos de capital altos aproximadamente de 35 millones de dólares.

Figura 12. Tecnologías de desulfuración.
Fuente: Elaboración propia, 2021.

FACTORES IMPORTANTES DE LA IMPLEMENTACIÓN DE ZEOLITAS COMO ADSORBENTES DE H₂S EN BOLIVIA

Informes recientes dentro del marco nacional, muestran el empleo de zeolitas provenientes de minerales bolivianos como posibles adsorbentes o filtros naturales. Los estudios en cuestión muestran que los principales tipos de

zeolitas nacionales son las del tipo Clinoptilolita y mordenita (Quispe, 2019). Mismas pueden ser concentradas y funcionalizadas dependiendo la aplicación en las cual serán empleadas. En este sentido, se cuenta con la información estructural y morfológica adecuada para proceder a plantear la posible aplicación de estas dentro de sistemas de remoción de H₂S.



Figura 13. Ubicación de la Zeolita clinoptilolita en Bolivia
Fuente: Estudio de la relación entre la cristalografía de las nanoestructuras en nanozeolitas naturales bolivianas (Adaptación), 2021.

Se encontraron dos tipos de nano zeolitas en dos minerales zeolíticos naturales de la región de La Calera la Clinoptilolita y de la región de Corque la Mordenita del 39%. La remoción de H₂S usando la zeolita natural fue aproximadamente del 94%, y se obtuvo una mayor eficiencia después de cuatro días debido a que la zeolita se podía regenerar fácilmente.

En consecuencia, se llevaron a cabo pruebas dinámicas a temperatura ambiente para evaluar las capacidades de los adsorbentes para la remoción de H₂S en condiciones

húmedas. Se empaquetaron muestras de adsorbente (tamaño de gránulos de 2 a 3 mm) en una columna (longitud 60 mm, diámetro interno 9 mm, volumen del lecho 6 cm³). Las mencionadas pruebas pertinentes al proyecto de “Materiales no metálicos” financiado por la cooperación sueca ASDI.

RESULTADOS

Las zeolitas originarias de las regiones de La Calera del departamento de Sucre y Corque

del departamento de Oruro, se encontró que la muestra proveniente de Sucre es altamente concentrada en zeolita del tipo clinoptilolita; por otro lado, la muestra de Oruro presenta una fase zeolítica del tipo mordenita con altos contenidos de arcilla montmorillonita, la cual se separó para concentrar la fase zeolítica. A partir de la caracterización por DRX, SEM y posterior refinamiento estructural Rietveld (Figura 2) se determinó la cristalografía logrando ubicar las posiciones de cationes de compensación como Na⁺, K⁺, Ca²⁺ y Mg²⁺ en determinadas cavidades nanométricas, tanto para la zeolita Clinoptilolita como para la Mordenita. (Figura 3) Se determinó además la capacidad de intercambio catiónico de iones amonio NH₄⁺ de cada zeolita, hallando un valor de 1.25 meq-g NH₄⁺ para la clinoptilolita y un valor de 1.62 meq-g NH₄⁺ para la mordenita. Se estudió el proceso de adsorción de iones de amonio en soluciones acuosas de zeolitas naturales concentradas.

La adsorción se llevó a cabo a 298 K a diferentes concentraciones iniciales de amonio de 400, 600, 800 y 1000 mg NH₄⁺/l. (Figura 4 a) Se ha encontrado que el modelo de isoterma de Langmuir y el estudio cinético de segundo orden ajustaron mejor los resultados de adsorción obteniendo una capacidad máxima de adsorción en monocapa de 22.5 mg NH₄⁺/g para la clinoptilolita y de 29.5 mg de NH₄⁺/g para la mordenita. (Figura 4b) Por último, los resultados de adsorción fueron relacionados y discutidos tomando en cuenta los resultados de la caracterización cristalografía y asociado al estudio de localización de densidades de carga (mapas de Fourier) obtenidos de ambas nano estructuras zeolíticas (Figura 4 c). Demostrando que existe una adsorción en monocapa.

CONCLUSIONES Y DISCUSIÓN

- Realizada la comparativa, se procede a la confirmación de la hipótesis planteada en efecto El empleo de zeolitas bolivianas del tipo clinoptilolita y mordenita como adsorbentes para la remoción de H₂S y CO₂ coadyuva con el objetivo de desarrollo sostenible, energía accesible y no contaminante.
- La caracterización cristalografía y análisis del intercambio catiónico de adsorción se logró evidenciar la relación de la estructura cristalografía de zeolitas bolivianas con sus propiedades de adsorción de H₂S y CO₂.
- Se encontraron dos tipos de nano zeolitas en dos minerales zeolíticos naturales de la región de La Calera la Clinoptilolita de pureza del 95 % y de la región de Corque

la Mordenita del 39%, logrando concentrar hasta un 92%.

- Realizadas las comparaciones, se deduce que las zeolitas son una materia prima con alto potencial para la remoción de contaminantes en Bolivia.
- Está claro que los adsorbentes con buena regeneración y estructura estable son eficientes en remover H₂S, en general factores como la porosidad, superficie de contacto, grupos funcionales, y activación de agentes juegan un papel vital respecto a la capacidad de adsorción.

REFERENCIAS

- Charisiou, N. D., Baklavaridis, A., Papadakis, V. G., & Goula, M. A. (2016). Synthesis Gas Production via the Biogas Reforming Reaction Over Ni/MgO-Al₂O₃ and Ni/CaO-Al₂O₃ Catalysts. *Waste and Biomass Valorization*, 7(4), 725-736. doi:10.1007/s12649-016-9627-9
- Georgiadis, A. G., Charisiou, N. D., & Goula, M. A. (2020). Removal of Hydrogen Sulfide From Various Industrial Gases: A Review of The Most Promising Adsorbing Materials. 10(5), 521.
- Mariano, J., & La Rovere, E. (2017). *Environmental impacts of the oil industry: LAP Lambert Academic Publishing.*
- Ozekmekci, M., Salkic, G., & Fellah, M. F. (2015). Use of zeolites for the removal of H₂S: A mini-review. *Fuel Processing Technology*, 139, 49-60.
- Quispe, A. (2019). Study of the relationship between the crystallochemistry of the nanostructures in Bolivian natural nanozeolites with their adsorption properties of NH₄⁺ ammonium ions. (Magister Thesis), UMSA.
- Shah, M. S., Tsapatsis, M., & Siepmann, J. I. J. C. r. (2017). Hydrogen Sulfide Capture: From Absorption in Polar Liquids to Oxide, Zeolite, and Metal-Organic Framework Adsorbents and Membranes. 117 14, 9755-9803.
- Sigot, L., Ducom, G., & Germain, P. (2016). Adsorption of hydrogen sulfide (H₂S) on zeolite (Z): Retention mechanism. *Chemical Engineering Journal*, 287, 47-53.
- Vikrant, K., Kailasa, S. K., Tsang, D. C. W., Lee, S. S., Kumar, P., Giri, B. S., ... Kim, K.-H. (2018). Biofiltration of hydrogen sulfide: Trends and challenges. *Journal of Cleaner Production*, 187, 131-147.



ACTIVIDADES

ACTIVIDADES







PARTICIPACIÓN EN WEBINARS INTERNACIONALES



Álvaro Ríos

“Gas Natural – Gas Natural Licuado Situación Actual y Perspectivas de su utilización en el campo internacional”

Socio director Gas energy Latín América



Gustavo Navarro

“Precio del GLP en el Perú ¿Qué Alternativas de Subsidio Son Posibles?”

Socio Director en el Perú – Gas energy Latín América



Edgar Vásquez

“Precio del GLP en el Perú ¿Qué Alternativas de Subsidio Son Posibles?”

Consultor en Hidrocarburos



Walter Espinoza

“Precio del GLP en el Perú ¿Qué Alternativas de Subsidio Son Posibles?”

Gerente General - Villaverde Consultores



Jesús Tamayo

“Precio del GLP en el Perú ¿Qué Alternativas de Subsidio Son Posibles?”

Ex Presidente - OSINERGMIN



Jorge Valencia

“Gas Natural – Clave para la reactivación y la transición energética”

Director de la CREG



Amadeo Arrarte

“Marco Normativo y Regulatorio del Gas Natural – Balance de Aspectos Económicos”

Socio- CALDEN CONSULTORÍA





José Lanza

“Análisis regional de la legislación para el incentivo de las energías renovables y el impulso de la generación distribuida”
Especialista en Energías Renovables



William Ojeda

“Refinación y procesamiento de Hidrocarburos Líquidos y de Gas Natural”
Experto en Hidrocarburos



Adrian Moreno

“Análisis regional de la legislación para el incentivo de las energías renovables y el impulso de la generación distribuida”
Socio Director De Ecuador y Especialista en Energías Renovables



Mónica Contreras

“Gas Natural - Clave para la reactivación y la transición energética”
Presidenta de la Transportadora de Gas Internacional



Sofía Arcena

“Presencia escénica y beneficio de la correcta expresión”
Presentadora de Televisión y Radio/ Modelo/ Abogada



EQUIPO REFINING REVIEW #16

Aguilar Suxo Edith Carolina
Carvajal Gutierrez Cristhian
Colomo Aguilar Franz Ramiro
Chávez Herrera Victor Alfredo
Chui Cruz Adriana Yasminka
Castillo Choquevillca Cinthia Jhovana
Galileo Aliaga Andrés Miguel
Jimenes Soria Darwin Hector
Mamani Chambi Sonia
Navarro Gutierrez Roger Edson
Nina Amarro Jonatan Alquilino
Paye Velazques Ricardo Yhamil
Poca Zambrana Diego Efrain
Quisbert Batallanos Monica
Rodriguez Guzman Alejandra Marcela
Saisa Milenka Esther
Villanueva Quispe Rosalía
Zapana Poma Roger Gonzalo



“El éxito no es un accidente, es trabajo duro, perseverancia, aprendizaje, estudio y lo más importante de todo, amor por lo que estás haciendo o aprendiendo a hacer.”

-- Pelé --

