

EL COMPLEJO CAMINO DE LOS PROCESOS QUÍMICOS SINGULARES

Arturo Romero Salvador

Facultad de Ciencias Químicas. Universidad Complutense de Madrid

Texto del discurso de ingreso como Académico Correspondiente
de la Real Academia Canaria de Ciencias, pronunciado el 21 de noviembre de 2014

Rector Magnífico de la Universidad de Las Palmas de GC
Ilmos. Sr. Académicos de la Real Academia Canaria de Ciencias
Señoras y Señores,

Permítanme que mis primeras palabras sean de agradecimiento a los miembros de esta prestigiosa Institución por admitirme como Académico Correspondiente. Considero un gran honor haber sido propuesto y elegido, y espero corresponder con mi trabajo. Durante muchos años he colaborado con el Departamento de Ingeniería de Procesos de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria en numerosas actividades, y también, aunque en menor medida, con el Departamento de Ingeniería Química de la Universidad de La Laguna. Por ello, estoy seguro que será muy fácil colaborar con la Real Academia Canaria de Ciencias. Debo una gratitud especial a mi amigo Juan A. Ortega Saavedra que presentó e impulsó mi candidatura, y que es un ejemplo a seguir por su pasión y dedicación a la actividad investigadora.

El continuo progreso tecnológico e industrial de nuestras sociedades está basado en el consumo de energía. Petróleo, gas natural y carbón son las fuentes de energía primaria que aportan el 80% de la energía total que consumimos. El 20% restante procede de la energía nuclear, de la hidroeléctrica y de otras energías renovables. A medida que ha crecido la demanda de combustibles fósiles durante las últimas décadas han aumentado las emisiones de dióxido de carbono. Como las vías naturales de fijación de CO₂ por las plantas (fotosíntesis) o por los océanos (formación de carbonato cálcico) no son capaces de absorber las grandes cantidades de este gas que proceden de la combustión, se ha producido un incremento de su concentración en la atmósfera. El Panel Intergubernamental de Cambio Climático de la ONU identifica este incremento de concentración de CO₂ en la atmósfera como el principal responsable del calentamiento global debido al efecto invernadero. Uno de los mayores retos a los que debemos enfrentarnos en este siglo es a la implantación de nuevas tecnologías que permitan hacer frente a las necesidades energéticas de una forma sostenible y compatible con el medio ambiente.

El documento de síntesis del Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de expertos en Cambio Climático de la ONU, presentado el 2 de octubre de 2014 en Copenhague, dice que la concentración de CO₂ en la atmósfera ha alcanzado valores sin precedentes, en al menos 800.000 años, y que el nivel del mar ha crecido 19 cm entre 1901 y 2010. Alcanzar el objetivo de limitar el aumento de

temperatura en la superficie del planeta a finales de este siglo a dos grados con respecto a los niveles preindustriales, implica la realización de recortes “substanciales” y “sostenidos” de las emisiones durante las próximas décadas, comenzando por descensos del 40 al 70% entre 2010 y 2050 para finalizar con emisión cero en 2100.

Son bien conocidas las herramientas que deben utilizarse para compatibilizar, empleando la infraestructura existente, el objetivo de desarrollo con la reducción de emisiones:

- Mejorar la eficiencia de los sistemas de generación y uso de energía.
- Utilizar energías renovables y menos contaminantes.
- Investigar y desarrollar nuevas tecnologías en procesos de tratamiento de CO₂

El último procedimiento implica el secuestro, almacenamiento y valorización de este gas generado en procesos de obtención de energía. Los métodos más efectivos, todavía en fase de demostración, son los de captura (absorción, adsorción y procesos de membrana) y posterior almacenamiento geológico de CO₂. Sin embargo, el transporte y acumulación de grandes cantidades de CO₂, ya sea en formaciones geológicas o depósitos subterráneos, es costoso y presenta incertidumbres sobre sus efectos medioambientales a medio/largo plazo. Otro posible enfoque, que está suscitando interés en los últimos años, es el desarrollo de procesos de valorización de CO₂ que sean capaces de consumir una fracción significativa de las emisiones. En la actualidad, apenas un 1% del total de CO₂ emitido es reutilizado y valorizado directamente como fluido tecnológico y en las industrias agroquímica y de alimentación o mediante su transformación en productos de interés, urea, carbonatos inorgánicos y pigmentos, ácido salicílico o carbonato de propileno.

El empleo de dióxido de carbono como materia prima para obtener productos químicos y combustibles a gran escala, aportando la energía necesaria mediante fuentes renovables, es un reto comparable al que supuso hace más de un siglo la síntesis de amoníaco. El camino seguido por los que afrontaron el desafío de fertilizar el suelo para facilitar alimentos a la humanidad puede ayudar a los que buscan reducir la concentración de CO₂ en la atmósfera utilizándolo para sintetizar compuestos útiles.

Uno de los logros más importantes de la industria química es la producción de amoníaco a gran escala. El desarrollo de este proceso por Carl Bosch, partiendo del trabajo experimental de Fritz Haber, es un hito en la historia de la Ingeniería Química. La síntesis de amoníaco, no sólo resolvió un problema fundamental en la producción de alimentos, el aporte de nitrógeno en formas asimilables por las plantas, sino que, estableció los fundamentos de la tecnología de alta presión, los principios fundamentales de la producción a gran escala y ha sido el modelo que han seguido los procesos químicos posteriores. Han pasado 100 años desde que la primera planta de fabricación de amoníaco aportara 23 toneladas de este compuesto químico al día. El desarrollo que siguió este proceso sigue teniendo utilidad para abordar retos de importancia similar un siglo después.

En las primeras décadas del siglo XIX había aumentado la población y la producción agrícola. Leibig plantea en 1840 la necesidad de disponer de fertilizantes artificiales. Su llamamiento se dirigía a la fertilidad del suelo. Gracias a que se produjo

un aumento del uso de la fertilización, la producción de los cultivos aumentó rápidamente lo que hizo crecer la demanda de los fertilizantes nitrogenados. En 1889 el

químico inglés William Crookes pedía a los químicos que trabajaran para fijar el nitrógeno atmosférico porque consideraba que era uno de los grandes descubrimientos que les correspondía hacer. Tuvieron que pasar más de 10 años para que se encontrara la solución al problema y 15 años (1914) para que la primera planta en el mundo convirtiera el nitrógeno del aire en amoníaco.

Cuando se inician los primeros trabajos sobre la fijación del nitrógeno atmosférico y sobre las posibilidades de comercializar un procedimiento industrial, el panorama no era muy alentador, aunque se pueden encontrar algunas realizaciones industriales en las que buscar conocimientos científicos, técnicos y comerciales en los que apoyarse. Mediante el método Le Blanc se fabrica sosa para abastecer a droguerías y farmacias. A mediados del XIX se establecen factorías para fabricar productos con los que obtener los fertilizantes que necesitan los cultivos. En las siguientes décadas se establecen procesos cuyo objetivo es la obtención de colorantes sintéticos, productos que se difunden en el mercado con gran rapidez al disponerse de la materia prima en grandes cantidades. El alquitrán destinado a la obtención de colorantes era un subproducto del proceso de obtención del gas ciudad. En estos años los procesos eran discontinuos y los equipos bastante primitivos. Los artesanos y operarios de talleres mecánicos del lugar trabajaban bajo la dirección de los químicos que se encargaban de diseñar los equipos necesarios y lo hacían aumentando la escala de los aparatos que usaban en sus laboratorios.

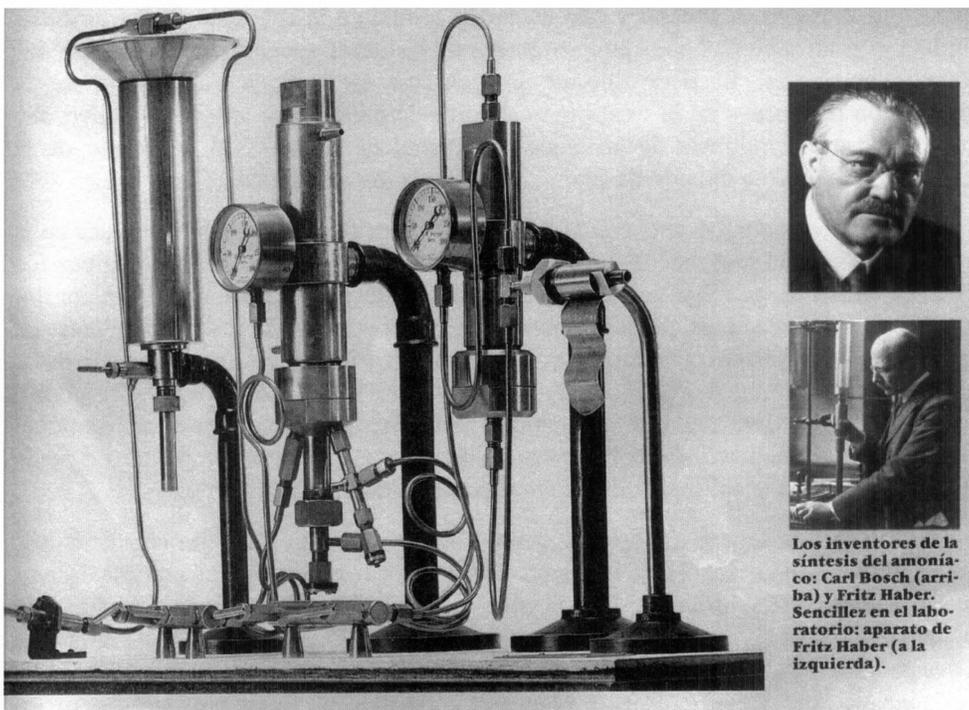
Al crecer el mercado de los colorantes aumentó la demanda de las materias primas utilizadas en su síntesis y esta demanda condujo a la aparición de los procesos continuos en las factorías que suministraban los productos necesarios para fabricar los distintos colorantes. El desarrollo de la industria electrolítica cloro/álcali, de la licuefacción de cloro y de la oxidación catalítica de naftaleno a anhídrido ftálico, fue una consecuencia indirecta de la síntesis industrial de índigo y el desarrollo de la oxidación catalítica de dióxido de azufre, de la obtención de alizarina.

Puede considerarse que, con la fabricación de ácido sulfúrico, se introduce en la industria química el prototipo de un proceso catalítico en fase gas. Por primera vez fue necesario manejar grandes volúmenes de gases y de purificarlos para eliminar las impurezas de los reactivos que se comportaban como venenos de los catalizadores. La consecución del óptimo económico implicaba la realización de estudios sistemáticos de eliminación de calor, de equilibrio de reacción y de cinética de un proceso heterogéneo. Bosch aplicó los fundamentos desarrollados en este proceso cuando desarrolló el convertidor de amoníaco. Probablemente su trabajo anterior en una planta de ácido sulfúrico le facilitó la aplicación del mismo procedimiento al nuevo proceso.

También la separación del nitrógeno y oxígeno del aire tiene las características que representan una tecnología moderna y una clara relación con el proceso Haber-Bosch. Linde consiguió en 1885 la licuefacción del aire aprovechando el efecto de enfriamiento causado por la expansión adiabática después de atravesar un estrechamiento. Por tanto, cuando se inicia el desarrollo del proceso de fijación del nitrógeno del aire ya se tenía experiencia de trabajar a elevadas presiones, pero los

requerimientos eran muy diferentes en ambos procesos. En la síntesis de amoniaco había que operar a elevadas temperaturas y conseguir que las instalaciones fueran totalmente impermeables para evitar las fugas de gases inflamables que provocarían explosiones.

A finales del siglo XIX se consideraba, incluso por el propio Leibig, que no se podía desarrollar un método económico capaz de combinar el hidrógeno y el nitrógeno. Sin embargo, en 1900 Ostwald ofreció a BASF un proceso para la síntesis de amoniaco que consistía en hacer pasar nitrógeno e hidrógeno sobre hierro metálico a presión atmosférica y elevada temperatura. Haber investigaba en la Universidad Técnica de Karlsruhe el equilibrio nitrógeno/hidrógeno/amoniaco a 1000°C y presión atmosférica, pero los resultados que obtenía eran rechazados por Nernst basándose en razonamientos teóricos. Esta discrepancia fue un aliciente para que Haber realizara nuevas medidas de equilibrio, este vez alimentado amoniaco a dos reactores en serie (ver fotografía) y separando el amoniaco que no se había transformado en hidrógeno y nitrógeno en el primero. La concentración de amoniaco formada en el segundo reactor era exactamente igual a la concentración de amoniaco en los gases de salida del primer reactor. Por tanto, sus medidas de equilibrio eran correctas aunque desgraciadamente el bajo rendimiento ofrecía pocas posibilidades para que este proceso fuera económico. Cuando extrapolaba sus medidas de constantes de equilibrio a menores temperaturas observaba que se podían obtener concentraciones más altas, pero no disponía de catalizadores eficientes para efectuar la reacción a esas temperaturas, y la aplicación de presión estaba fuera de su alcance en este momento.



Ante la imposibilidad de desarrollar este proceso de obtención de amoníaco, la industria, necesitada de algún procedimiento viable, cambia de orientación y busca otros métodos de fijación del nitrógeno atmosférico. En 1910 aparecen varios métodos y dos logran su implantación industrial aunque con mejores resultados el de arco eléctrico. El oxígeno y el nitrógeno se combinan a 3000 °C para formar óxido de nitrógeno con un consumo de energía de 700 GJ por tonelada de amoníaco. A pesar del elevado coste, la acuciante necesidad de amoníaco explica que se implantara este proceso en dos localidades que disponían de energía hidroeléctrica muy abundante y barata.

Los investigadores que trabajaban en la síntesis directa continuaron con su método y en 1907, Nernst publicó unos resultados en los que se observaban porcentajes de amoníaco del 0,9% operando a presiones de 75 bares en presencia de diferentes catalizadores, especialmente en aquellos que contenían hierro. En vista de las bajas concentraciones, Nernst decidió que sus resultados no podían aplicarse a nivel industrial, pero Haber consideró lo contrario. Para él estas bajas concentraciones de amoníaco permitirían un proceso viable técnicamente siempre que el amoníaco formado fuera retirado a elevada presión y se reciclara el gas no transformado.

En la famosa patente de 1908 se describen las principales características que siguen estando presentes en las plantas de síntesis de amoníaco. Haber considera que la producción puede ser optimizada trabajando en condiciones que favorezcan altas velocidades de reacción, aunque el equilibrio termodinámico sea desfavorable, aplicando elevada presión y desarrollando mejores catalizadores que los disponibles en esos años. En su regreso a BASF, Haber centra su investigación en la búsqueda de un mejor catalizador y obtiene un excelente rendimiento, 6% en volumen, trabajando a presiones de 175-200 bares y temperaturas de 550-600°C, rendimiento que podía aumentarse operando a tiempos espaciales mayores. Estos resultados eran esperanzadores pero se dudaba de que fuera posible trabajar a escala técnica a más de 100 atmósferas a las elevadas temperaturas que se debían alcanzar. Bosch consideró que sí era posible la operación industrial argumentando que conocía la capacidad de la industria alemana del acero.

Con este apoyo, Haber pudo continuar su trabajo y construir en Karlsruhe un aparato de laboratorio con el que realizar experimentos con gas de reciclaje a altas presiones de acuerdo con su planteamiento. Este nuevo reactor a escala de laboratorio permitía obtener 80 gramos de amoníaco por hora operando a 175 atmósferas y demostraba, en julio de 1908, el éxito de la síntesis de amoníaco a los representantes de BASF, quienes tomaron la decisión de concentrar todos sus esfuerzos en la síntesis directa de amoníaco y abandonar cualquier otra actividad de fijación de nitrógeno, incluyendo el avanzado proyecto del arco eléctrico que dejó de funcionar en 1912. Es admirable que la empresa asumiera el riesgo de financiar un proceso con tantas incertidumbres. Ni el catalizador, ni los equipos en los que efectuar las operaciones de un proceso tan complejo, ni los gases de alimentación para la síntesis, estaban disponibles en esos años.

Carl Bosch, entonces tenía 35 años, lideró el proyecto y organizó un gran equipo de excelentes profesionales para poner en marcha un programa de investigación que tenía tres objetivos principales:

- Encontrar un catalizador eficiente y estable que se basara en elementos químicos de los que pudiera disponerse con facilidad. Esta tarea se la encomendó a su compañero Alwin Mittasch.
- Desarrollar un equipo apropiado para la síntesis a altas presiones. Bosch y su ingeniero jefe Franz Lappe se encargaron de este problema.
- Idear métodos baratos para producir hidrógeno y nitrógeno en grandes cantidades.

El hidrógeno necesario para los ensayos de la planta piloto procedía de la electrolisis de cloruro sódico y se lograba la relación estequiométrica de nitrógeno a hidrógeno necesaria para la síntesis por combustión parcial con aire. La unidad de electrolisis sólo permitía obtener 0,4 toneladas/día de amoníaco, lo que obligaba a buscar otras fuentes de hidrógeno para las instalaciones comerciales. Se seleccionó el gas de agua como fuente independiente de hidrógeno y se propusieron dos procesos diferentes para la transformación. Aunque se podían emplear ambos procesos porque se utilizaban en operaciones industriales para producir hidrógeno, fue la necesidad de eliminar las impurezas del gas, principalmente monóxido y dióxido de carbono que actuaban como venenos que desactivaban el catalizador de la síntesis de amoníaco, la que determinó la elección a favor del proceso criogénico.

Se habían definido todos los elementos que constituían el proceso y se había demostrado su funcionamiento a escala de laboratorio y planta piloto. Faltaba el último paso: diseñar, construir y operar una planta comercial con la que obtener 300.000 toneladas/año. De este fase del trabajo se encargó un amplio equipo de físicos, químicos e ingenieros que debía superar las innumerables dificultades que les esperaban hasta alcanzar el objetivo. El camino fue tan arduo y peligroso que en muchos momentos aparecieron tentaciones para abandonar el proyecto, que afortunadamente se superaron.

El camino que se está siguiendo para resolver el problema que actualmente plantea el CO₂ es bastante parecido al que se siguió en su época para fijar el nitrógeno atmosférico: partir de los conocimientos y tecnología disponibles y explorar diferentes opciones hasta que una de ellas, satisfaciendo los requisitos, ambientales, técnicos y económicos que implica su implantación comercial, se imponga al resto.

Los vegetales transforman la energía luminosa en energía química y retienen dióxido de carbono para formar la biomasa. El procesamiento de la biomasa puede realizarse en instalaciones específicas, biodiesel y bioetanol, o en instalaciones integradas, biorrefinería, destinadas a la obtención de combustibles y de productos básicos para la industria química. En las últimas décadas del siglo XX se fueron desarrollando procedimientos de transformación de diferentes tipos de biomasa para obtener biocombustibles.

El empleo de biomasa terrestre o acuática para fabricar productos químicos y combustibles es un procedimiento que permite valorizar el dióxido de carbono en dos etapas diferentes. En la primera, la fotosíntesis permite fijar el CO₂ de la atmósfera en forma de celulosa, lignina y otros componentes minoritarios. En la segunda, se someten algunos de estos compuestos a procesos químicos o biológicos para obtener productos útiles o combustibles. El balance de CO₂ y de energía son los principales efectos

positivos que se esperan del empleo de biomasa como materia prima y el impacto sobre la biodiversidad, el funcionamiento hidrológico o la protección del suelo los efectos ambientales evitar.

El uso de la biomasa o de sus derivados puede considerarse neutro en términos de emisiones si el CO₂ producido como consecuencia de su empleo con fines energéticos equivale al carbono que previamente había absorbido en el proceso de fotosíntesis y además, si se extrae en cantidades que no superen a la producción neta del ecosistema. En su aprovechamiento industrial, puesto que resulta inevitable el empleo de otras fuentes de energía (en la construcción de la maquinaria, en el transporte de materiales, en el empleo de maquinaria agrícola durante el cultivo de la materia prima, en la fabricación de fertilizantes y pesticidas, en las operaciones necesarias para las transformaciones, etc.), hay que contabilizar las emisiones producidas por cada una de ellas. La relación entre el contenido energético del biocombustible y la energía gastada en su obtención es el balance neto de energía. Este parámetro depende de la forma de emplear la biomasa y es siempre inferior, entre 5 y 30 veces menor, al de los combustibles fósiles.

También puede emplearse el CO₂ para sintetizar combustibles sin recurrir a los grandes espacios de cultivo que se necesitan por la lentitud con que se realiza el proceso de fotosíntesis. La enorme cantidad de CO₂ que se emite a la atmósfera como consecuencia del excesivo consumo de recursos naturales en la industria o en la producción de energía, constituye una fuente potencial de carbono. Se dispone de una materia prima natural muy abundante, relativamente barata y no tóxica, que puede transformarse en productos químicos destinados a fines energéticos o industriales. Una futura economía basada en el dióxido de carbono depende de que los resultados que aporten la ciencia y la tecnología permitan desarrollar procedimientos que satisfagan los requisitos de la comercialización. El principal obstáculo que deben superar los procesos que tienen como objetivo utilizar el CO₂ como fuente de carbono es la gran estabilidad de esta molécula. También es necesario desarrollar tecnologías de separación y purificación eficientes y económicamente rentables.

La activación de la molécula de CO₂ es el punto crítico para lograr su transformación en productos químicos útiles. Este objetivo puede alcanzarse mediante un reactivo apropiado o utilizando un catalizador muy activo. Los catalizadores homogéneos se caracterizan por ser más activos que sus homólogos heterogéneos. Sin embargo, se prefieren los procesos que utilizan los heterogéneos por las grandes ventajas tecnológicas que derivan de la separación, manejo, estabilidad y reutilización del catalizador. Se necesita que los catalizadores heterogéneos sean muy eficientes para que la operación se realice a presiones y temperaturas moderadas y se reduzca el coste de producción en la fabricación a gran escala. Combinar las propiedades de los catalizadores homogéneos frente a la reacción química, con las propiedades tecnológicas de los catalizadores heterogéneos es el reto que permite explorar nuevas oportunidades y desarrollar nuevos conceptos para la industria química.

Entre los procesos estudiados para transformar CO₂ en productos químicos mediante catalizadores heterogéneos se pueden destacar la carboxilación de olefinas, o de otros sustratos, y la producción de carbonatos lineales o cíclicos. También se está

investigando la síntesis de otros productos cuyo destino es la industria química y la producción de energía. Un ejemplo representativo es la generación de gas de síntesis por reformado seco de metano. El gas de síntesis se puede emplear en la producción de hidrocarburos de cadena larga (diesel y gasolina) por medio de la síntesis Fischer-Tropsch. Pero es la producción de metanol el proceso emblemático entre los métodos que permiten el aprovechamiento de CO₂ a gran escala, con la ayuda de catalizadores heterogéneos.

La síntesis catalítica de metanol por reacción entre CO₂ y H₂ se considera como una tecnología fundamental para resolver el problema del CO₂. El metanol es una materia prima para la industria química y una alternativa a los combustibles fósiles a escala industrial. Actualmente el metanol se produce a partir de gas de síntesis, monóxido de carbono e hidrógeno, procedente del reformado catalítico o de la gasificación. El cambio del proceso convencional de síntesis de metanol por el nuevo proceso implica la sustitución de CO por CO₂. Aceptar el gran desafío que supone obtener metanol partiendo del CO₂, presente en las emisiones a la atmósfera, y de hidrógeno es una de las formas económicas de evitar el calentamiento global y, a la vez, de impulsar las empresas químicas y de energía hacia un uso más sostenible de los recursos.

La estequiometría de la síntesis directa de metanol, reacción principal, muestra que se necesitan tres moles de hidrógeno y un mol de CO₂ para formar un mol de producto, pero al poner en contacto CO₂ e hidrógeno se produce también otra reacción en paralelo, reacción secundaria, en la que sólo se necesita un mol de hidrógeno por mol de CO₂ para formar monóxido de carbono. A estas dos reacciones en paralelo hay que añadir otras reacciones secundarias como la formación de otros alcoholes o de hidrocarburos que, aunque son minoritarias, producen una disminución del rendimiento del proceso. Los valores de las variables de operación, presión y temperatura, que favorecen la reacción principal y conducen a elevados rendimientos de metanol, se deducen de la estequiometría, termodinámica y cinética de las reacciones que tienen lugar al poner en contacto dióxido de carbono e hidrógeno. La aproximación a los valores óptimos sólo es posible si se dispone de un catalizador muy activo, muy selectivo y que no pierda su actividad en contacto con el agua formada en el proceso.

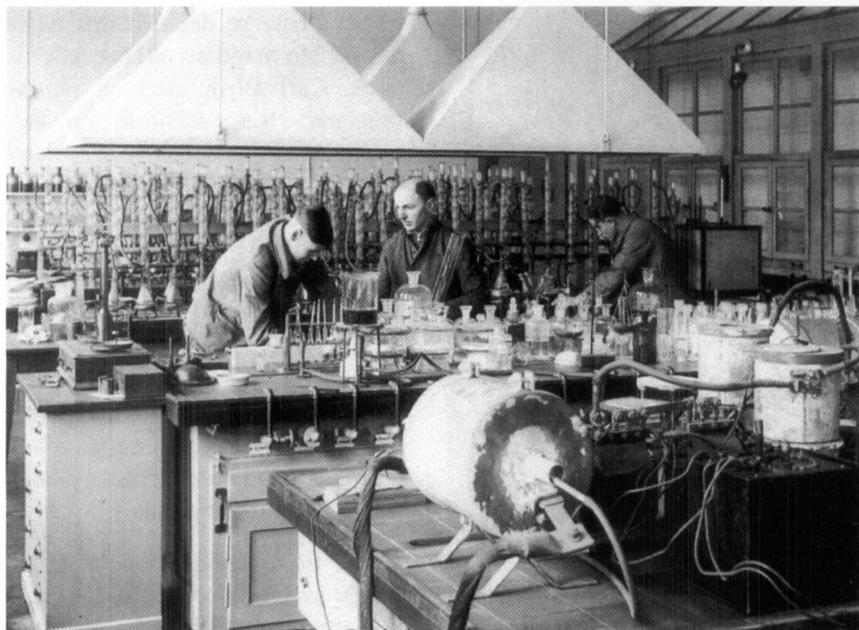
Gran parte de los catalizadores ensayados en la hidrogenación de CO₂ se han diseñado modificando los que se utilizan en la hidrogenación de CO, pero son dos procesos demasiado diferentes para que sea adecuado este procedimiento de búsqueda del catalizador para un proceso tan complejo. Pueden obtenerse mejores aproximaciones si el diseño y control de las propiedades catalíticas se basa en las etapas que constituyen el mecanismo de la transformación. Hasta la fecha no se dispone de un catalizador heterogéneo capaz de activar la molécula de CO₂ con la efectividad que requieren las aplicaciones comerciales.

La síntesis catalítica de metanol no es el único proceso que puede consumir grandes cantidades de CO₂ como materia prima. Entre las opciones más o menos viables que se están explorando se puede destacar la fotosíntesis artificial. Mimetizar el comportamiento de las plantas para producir combustibles y productos de interés industrial es un gran desafío científico destinado a valorizar CO₂ mediante fotocatalisis

en condiciones similares a las ambientales y empleando luz solar como fuente de energía. La fotosíntesis artificial se basa en dos procesos diferentes que es preciso acoplar:

- En uno se produce la reducción del CO_2 gracias a un proceso multielectrónico que tiene lugar a una escala temporal muy corta.
- En otro se produce la oxidación de compuestos para que el proceso redox global tenga un balance neto de cargas igual a cero. Estos donadores de electrones tienen que ser compuestos abundantes y baratos para que el procedimiento permita utilizarse para grandes producciones con un coste competitivo. El compuesto a oxidar, donador de electrones, más adecuado es el agua, al igual que ocurre durante la fotosíntesis. Teniendo en cuenta que en los procesos de combustión de hidrocarburos los productos finales son CO_2 y H_2O , la posibilidad de convertir estos dos productos, de nuevo, en combustibles es muy atractiva, pero para llevar a cabo con éxito esta transformación es necesario todavía superar numerosas barreras científicas y tecnológicas.

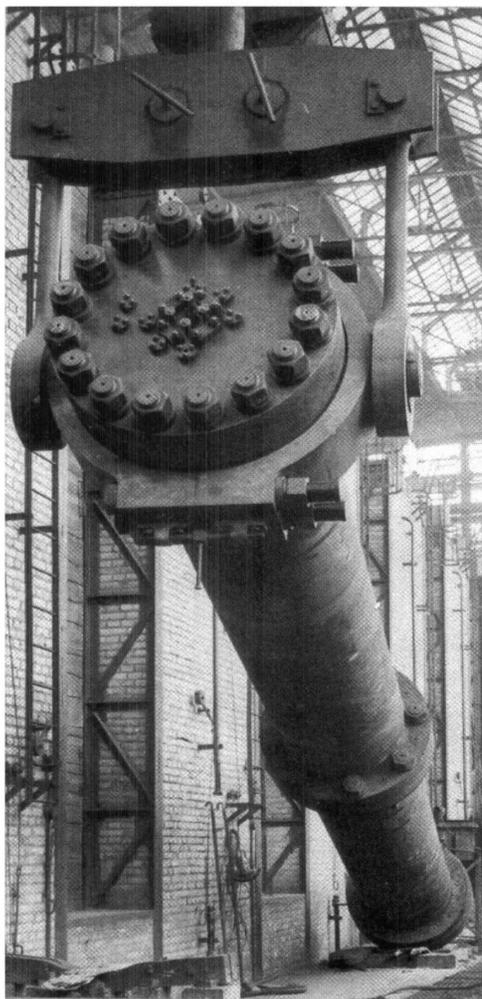
Al volver a la historia de la síntesis de amoníaco encontramos un gran número de nuevos problemas que tuvieron que resolverse. Los recipientes a presión y los tubos instalados en casamatas de hormigón reventaban constantemente y amenazaban con hacer fracasar la realización técnica del procedimiento Haber-Boch. Para solucionar el problema de seguridad que planteaba el comportamiento de los equipos se crea en 1912 el primer taller de ensayo de materiales (ver fotografía) de la industria química y se inicia la construcción de una planta industrial con una capacidad de 30 toneladas/día en Oppau, a 5 km de las instalaciones que tenía BASF en Ludwigshafen. La planificación de la planta incluía un gran desconocimiento de lo que podía ocurrir en sus operaciones.



Las unidades individuales se colocaron según un concepto uniforme en un área de 500.000 m²: transporte de carbón y coque, producción de gas de agua y generación de gas, unidad de separación de gases, compresión y síntesis de amoníaco, proceso de transformación del amoníaco en sulfato amónico, almacenamiento de este producto en silos y envío.

En 1913 comenzó la producción y alcanzó su plena capacidad en 1914, 7.200 toneladas/año. Es sorprendente que no tardaran más de cuatro años y medio, desde que se inició el desarrollo del proceso, para que una planta industrial basada en una tecnología radicalmente nueva produjera en continuo.

La introducción de la tecnología de altas presiones supuso una revolución en la tecnología química. En cualquier lugar de la planta había equipos y aparatos que nunca se habían empleado en la industria química o que eran completamente desconocidos: reactores de alta presión con diámetros internos de 500 mm (ver fotografía), actuadores magnéticos para cerrar válvulas, instrumentos de funcionamiento continuo para medir concentración de oxígeno, flujos, densidades y composiciones de gas a alta presión. Se diseñaron nuevas juntas, sistemas de cierre, válvulas y otros componentes capaces de operar correctamente en las condiciones tan severas que requería este proceso.



El 21 de septiembre de 1921 se produce una gigantesca explosión en la fábrica de Oppau (ver fotografía) en la que murieron más de 500 personas y la instalación sufrió grandes desperfectos. El accidente se debió a una explosión del sulfato amónico almacenado en una nave. Carl Bosh dice en las honras fúnebres: “La catástrofe no ha sido originada ni por defecto ni por descuido. Nuevas fuerzas de la naturaleza, que todavía nos son inescrutables, han ridiculizado nuestros esfuerzos. Precisamente la sustancia que estaba destinada a dar alimento y llevar vida a millones de personas en nuestra patria y que nosotros producimos y repartimos desde hace años, se presenta de repente como un enconado enemigo, por causas que todavía desconocemos, y convierte nuestra fábrica en ruinas.”

Esta actitud ante la adversidad puede servir de ejemplo para afrontar las continuas dificultades que aparecen



La fábrica de Oppau después de la explosión de 1921.

cuando se acometen grandes desafíos. Lo fue en el siglo XIX la obtención de amoníaco haciendo reaccionar dos gases, nitrógeno e hidrógeno, y lo es en el siglo XXI la fijación del dióxido de carbono utilizando energía procedente de fuentes renovables. Gracias al trabajo de científicos y técnicos como Haber y Bosch y de empresas como BASF, las fábricas de amoníaco extendidas por todo el mundo aportan la mayor parte de los nutrientes nitrogenados que necesitan los vegetales de los que directa o indirectamente nos alimentamos. Los 30 millones de toneladas de CO₂ que se liberan cada año a la atmósfera ofrecen una gran oportunidad para fabricar productos químicos y combustibles. Primero hay que superar la inercia química del dióxido de carbono utilizando la energía procedente de fuentes renovables y después todas las dificultades técnicas, ambientales y económicas que aparecerán hasta que la humanidad disponga de instalaciones comerciales con las que controlar el efecto invernadero.

Muchas gracias por su atención.

Material utilizado: La fotografías han sido extraídas de la obra “*La Química para el futuro*” BASF Aktiengesellschaft, Ludwigshafen, Abril 1990. ISBN 3-87261-069-4.