

RESOLVER CON CIENCIA

AHORA, PENSAR EN LA SOCIEDAD

DESPUÉS: LA FÓRMULA QUÍMICA

PARA EL CAOS

Álvarez Olivares Mercedes y Rojo Cabral Jesús Alfredo



Resumen

A lo largo de la historia, la comunidad científica ha unido esfuerzos en la búsqueda del conocimiento; sin embargo, en ocasiones los avances en ciencia y tecnología no han sido empleados en beneficio de la humanidad. En este artículo se analiza el potencial de algunos desarrollos científicos, con especial énfasis en el proceso Haber-Bosch, considerado uno de los avances más relevantes del siglo XX por su impacto en la producción de fertilizantes y en la seguridad alimentaria mundial. Gracias a este proceso, millones de personas han podido acceder a alimentos para su subsistencia. No obstante, su aplicación también ha generado problemáticas sociales y ambientales, al no considerar los contextos históricos ni las consecuencias derivadas del uso indebido de la química. Frente a este escenario, se plantea la necesidad de que las futuras generaciones científicas desarrollen investigaciones orientadas a la solución de problemas desde un enfoque integral, interdisciplinario y éticamente responsable.

Reactivos y condiciones de reacción: Necesidad urgente y voluntad científica

A finales del siglo XVIII, en Europa occidental la población aumentó de 192 a 239 millones en un periodo de 30 años (Nature,

1910), Imagínate eso, es un crecimiento del 25 % en unos pocos años. Naturalmente surgió una problemática urgente: ¿cómo alimentar a tanta población? En un principio, podríamos suponer que cultivando más y ya, pero eso suponía otro gran problema, ya que los suelos se estaban desgastando a una velocidad alarmante (Figura 1). Esto quiere decir que el tiempo de los procesos naturales de mineralización, en los que los microorganismos transforman la materia orgánica en nutrientes más fáciles de absorber para las plantas, era mayor que el tiempo de producción. Así que, para generar mejores cosechas, se requería añadir nutrientes por fuera; aquí entra en juego un viejo conocido: el guano (descrito por primera vez por Humboldt en 1802, pero esa es otra historia). El guano es el término con el que se denomina, casi siempre, el excremento de aves y de algunos animales marinos, alto en contenido de nitrógeno (en forma de amoníaco) y de fósforo (ambos macronutrientes vitales para las plantas). Este guano procedía de tierras lejanas para los europeos (América del Sur), por lo que trasladarlo no era nada sencillo, y mucho menos barato, y tenía asociadas condiciones de explotación laboral e imperialismo (Meseguer, 2023). Más de un científico soñaba con hallar una fuente de nitrógeno biodisponible que fuera más cercana, más asequible y, por supuesto, menos escatológica y esclavizante; por lo que muchas academias de ciencias (y empresas) en Europa, especialmente las de química, buscaron formas de recuperar nitrógeno del aire y transformarlo en amoníaco.

Productos primarios: Soluciones rápidas

Aquí entra Fritz Haber (químico alemán), quien fue uno de los pioneros en el desarrollo de procesos de combustión, electrolisis y catálisis, así como en la vinculación entre la investigación académica y el desarrollo industrial (Willis, 2023). En 1904 Haber se interesó por el problema de la escasez de alimentos provocada por el desgaste del suelo y se sumó a muchos químicos que intentaban dominar la producción de amoníaco, la idea podría parecer muy simple, hacer reaccionar nitrógeno con hidrógeno, pero el proceso era difícil, ya que estas dos moléculas son altamente estables por separado y difícilmente se pueden hacer reaccionar en condiciones normales en un laboratorio, lo que obligó a Haber a buscar las condiciones idóneas de presión y temperatura, además de un catalizador viable para acelerar la reacción.

Haber construyó un dispositivo que toleraba altas presiones y temperaturas, y, como catalizador, utilizó una placa de osmio (altamente costosa para la época), lo que provocó que los enlaces de nitrógeno diatómico se rompieran y así este pudiera reaccionar con hidrógeno para formar amoníaco. El éxito brilló en los ojos de Haber al haber generado un mililitro de amoníaco. Solo un mililitro bastó para iniciar el combate a la problemática del uso de fertilizantes en la producción de alimentos, pues proporcionó la primera pieza para escalar el método a un proceso industrial. En este punto cabe destacar que, las

aportaciones del científico Carl Bosch quien fue indispensable al proponer la sustitución del osmio por óxido de hierro fue lo que aumentó la rentabilidad del proceso industrial (Phillips, 2021). Pero no todo lo que brilla es “nitrógeno para el bien”.



Figura 1. Erosión del suelo por la falta de nutrientes nitrogenados. Diseñada por Álvarez y Rojo-Cabral (2025). Generada con Leonardo.Ai, fotografía de Fritz Haber, (National Geographic, 2023)

Productos secundarios: problemas a largo plazo

A inicios de los años 1900, otra crisis mundial estalla, y muchos científicos se apresuran a poner sus conocimientos al servicio de la guerra (bajo pretexto de culmi-

narla lo antes posible y “salvar vidas”, como bien ocurrió con Oppenheimer tan solo unas décadas después). Haber no fue la excepción. El nitrógeno es un elemento que puede aumentar su volumen rápidamente cuando pasa de sólido a gas (lo que constituye una explosión), por lo que puede utilizarse en la síntesis de detonantes (y como precursor de otras armas químicas). Con el proceso optimizado y calibrado, fue cuestión de tiempo generar armas explosivas a partir de amoníaco, que fueron utilizadas en trincheras y campos de batalla (Figura 2). El saldo final de las armas químicas tan solo en la Primera Guerra Mundial fue de al menos 90 mil personas (López-Muñoz y Romero, 2022), la mayoría de ellos soldados de entre 18 y 35 años (muchos no mayores a tu propia edad).

Si bien la guerra de trincheras culminó en 1918 (y Haber sufrió consecuencias personales de por vida derivadas de sus acciones), los problemas asociados al proceso Haber no acabaron ahí. La sobreutilización de fertilizantes mermó la calidad de los suelos las siguientes décadas (generando una acidificación poco reversible) e impactó negativamente agua y aire (González Ulibarri, 2019) ya que la volatilización del amoníaco produjo a la larga lluvia ácida y el amoníaco en el agua generó eutrofización (crecimiento excesivo de algas, que baja la cantidad de oxígeno en el agua y produce muerte de seres vivos acuáticos aeróbicos), todos estos efectos no fueron considerados o estudiados desde el inicio y mucho menos corregidos de fondo a lo largo de los años. Paradójicamente, el daño excesivo al suelo solo nos volvió más dependientes de los fertilizantes, por lo que

se entró en un ciclo de codependencia del cual, en pleno siglo XXI, seguimos sin escapar en su totalidad.

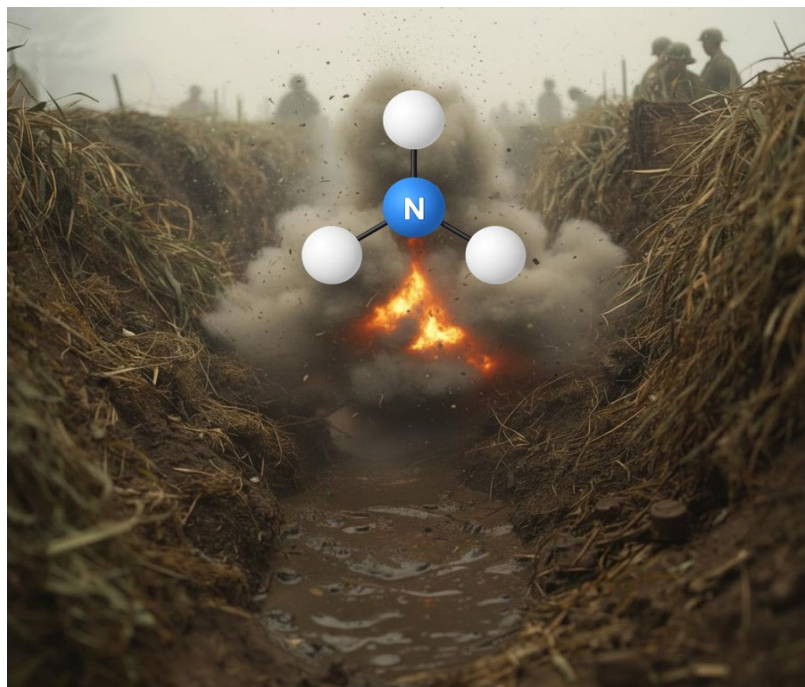


Figura 2. *Uso del amoníaco como explosivos.* Diseñada por Álvarez y Rojo-Cabral (2025). Generada con Leonardo.Ai

Producto inesperado: la química al servicio de la guerra

Como ya se mencionó, la guerra de trincheras mantuvo un escenario complicado para la resolución y terminación del conflicto, por lo que Fritz Haber sirvió como voluntario en el diseño de armas químicas (con la premisa de que se salvarían muchas vidas si un arma química ayudaba a acabar con la guerra). Lo que llevó a Haber al desarrollo del gas cloro y aplicarlo como un arma,

este gas presenta una densidad mayor al aire por lo que se mantiene a una altura cercana al suelo, y lo más importante, este gas causa efectos sumamente drásticos en la salud, respirarlo en altas concentraciones causa irritación de mucosas, daño pulmonar grave llevando a un broncoespasmo (Morim, 2023), daños que pueden provocar la muerte.

Debido a las características del gas cloro, Haber decidió estudiar esta sustancia, realizando pruebas en su laboratorio hasta el desarrollo de una estrategia para usarlo en la guerra de las trincheras, el 22 de abril de 1915 coordinó el ataque alemán de la nube de cloro, haciendo que el gas se trasladará por medio de las corrientes de aire hasta el frente enemigo (Friedrich y Hoffmann, 2016) lo que llevó a la muerte de más de 5 mil soldados enemigos; este no fue el único ataque que Haber coordinó, sumando más víctimas a causa de un uso irracional de la química (Figura 3).

En la actualidad, atribuimos grandes beneficios al cloro para el ser humano. La diferencia es que ya no se ocupa en estado gaseoso; para aprovecharlo, muchas veces es necesario diluirlo en agua, formando hipoclorito (comúnmente acompañado de sodio, denominado hipoclorito de sodio). En esta forma es completamente seguro para el uso doméstico, que va desde la desinfección de alimentos, potabilización del agua e higiene en el hogar, así como en grandes procesos industriales, por ejemplo; en la fabricación de plásticos, medicamentos y papel.

Este es un claro ejemplo, de que el uso ético de la química puede proporcionar salud

y bienestar al ser humano, pero en el contexto histórico de Haber, en donde lo importante era ser el vencedor de la guerra, la ética y el humanismo se omiten. Por ello, si se usa la ciencia con el único propósito de resolver una crisis de manera rápida, sin pensar en las posibles repercusiones, en consecuencia, se genera conocimiento para la destrucción.



Figura 3. Representación de pruebas con gas cloro en el laboratorio de Fritz. Haber en el instituto *Káiser Wilhem*. Diseñada por Álvarez y Rojo-Cabral (2025). Generada con Leonardo.Ai

Alternativa de reacción: cambio de condiciones iniciales

Cabe destacar que en este ejemplo se aplicó una solución alternativa orientada a las causas estructurales del problema (Figura 4). En el caso de la problemática del agotamiento de suelos el uso de técnicas combinadas (ya conocidas en múltiples culturas agrícolas del mundo, incluidas algunas del México prehispánico) como la rotación de cultivos (en lugar de promover los monocultivos que generan mayor agotamiento), la labranza cero (que permite reincorporar nutrientes del ciclo anterior de cultivo), el uso de múltiples variedades (para promover variedad genética y generar individuos a la larga más aptos), entre otras, pudo generar cosechas de mejor calidad sin agotar el suelo. Sin embargo, este tipo de soluciones no eran inmediatas y requerían un esfuerzo adicional (asociado al aprendizaje, al cambio de hábitos y a su aplicación por parte de la comunidad), lo cual no era viable para la necesidad inmediata. Este es un caso en el que la “solución rápida unilateral” permitió excelentes resultados a corto plazo, pero un daño incalculable a la postre. Es aquí donde debemos considerar el rol de las soluciones científicas desde un único enfoque, y contrastar con aquellas que toman en consideración factores sociales, económicos e incluso políticos. Es decir, la ciencia ya no debe generarse en solitario ni tener un único enfoque, debe hacerse desde y para la humanidad.



Figura 4. Representación de una plantación sustentable por métodos no químicos. Diseñada por Álvarez y Rojo-Cabral, 2025. Generada con Canva.IA

En una época en donde se tenían que solucionar las crisis de manera inmediata, muchos científicos se concentraban en una sola solución, sin buscar alternativas con enfoques humanísticos o sociales, solamente se enfocan en las soluciones rápidas, sin contemplar las consecuencias que el proceso o descubrimiento traería consigo. Pero en la actualidad, es importante pensar que la ciencia debe ser el puente entre las solucio-

nes eficientes y el bienestar de la sociedad, incluido el cuidado del medio ambiente.

El proceso Haber-Bosch para la fabricación de amoníaco salvó muchas vidas en la crisis agrícola, pero este mismo proceso tan benéfico para la humanidad también es el responsable de la pérdida de múltiples vidas en la guerra. Este es un claro ejemplo de la dualidad de la química, en donde el uso adecuado y la preocupación por el bienestar humano logran utilizar el conocimiento como una herramienta valiosa para las necesidades básicas del ser humano y en contraste, la química también se puede ocuparse como un método de destrucción sin sentido, ni ética.

Pero esta actitud no solo es exclusiva de la ciencia, pregúntate a ti mismo: ¿cuándo fue la última vez que, por resolver algo de forma urgente sin considerar todo el panorama, acabaste dañando mucho más de lo que arreglaste? Esta pregunta nos permite reflexionar en nuestras acciones para mejorar nuestro papel en la sociedad, en la búsqueda del bienestar propio, pero aún más importante, en el bienestar de la comunidad, evitando tragedias, buscando el uso del conocimiento para la paz.

Referencias

- Friedrich, B., & Hoffmann, D. (2016). Clara Haber, nee Immerwahr (1870-1915): Life, Work and Legacy. *Zeitschrift Für Anorganische Und Allgemeine Chemie*, 642(6), 437-448. <https://doi-org.pbi-di.unam.mx:2443/10.1002/zaac.201600035>
- González Ulibarry, F. (2019). Consecuencias ambientales de la aplicación de fertilizantes. *Asesoría Técnica Parlamentaria de la Biblioteca del Congreso Nacional de Chile*, 118.959. https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/27059/1/Consecuencias_ambientales_de_la_aplicacion_de_fertilizantes.pdf
- López-Muñoz, F., Romero, A. (2022). La tragedia de los gases de la muerte durante la Gran Guerra. *Historia National Geographic*. https://historia.nationalgeographic.com.es/a/tragedia-gases-muerte-durante-gran-guerra_15712
- Nature Publishing Group. (1910). The Recent Growth of Population in Western Europe. *Nature*, 83, 193-194. <https://doi.org/10.1038/083193a0>
- Meseguer, E. (2023). La era del guano: un negocio redondo y cruel. *National Geographic*. https://historia.nationalgeographic.com.es/a/era-guano-negocio-redondo-cruel_19549
- Morim A, Guldner GT. Toxicidad del gas cloro. [Actualizado el 26 de junio de 2023]. En: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; enero de 2025-. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK537213/>
- Phillips, J. R. (2021). Carl Bosch. *Salem Press Biographical Encyclopedia*. <https://research-ebSCO-com.pbidi.unam.mx:2443/linkprocessor/plink?id=a88f53c6-7625-300f-926f-f09ae-99c7a63>
-
- MC. Mercedes Álvarez Olivares.** Profesora de asignatura interina, impartidora de charlas y ponencias de divulgación científica a nivel bachillerato-licenciatura y coautora de artículos de corte técnico-académico en líneas de investigación de Química e Ingeniería Ambiental, adscrita a la Academia de Experimentales del Colegio de Ciencias y Humanidades Plantel Sur. Email: meruse.a.o@gmail.com
- QFB. Jesús Alfredo Rojo Cabral.** Profesor interino de asignatura, impartidor de ponencias y cursos en el área clínica y de divulgación científica. Responsable de la sección de Inmunología y Hormonas del Hospital General Dra. MPML del ISSSTE, adscrito a la Academia de Experimentales del Colegio de Ciencias y Humanidades Plantel Sur.
Email: jesusalfredo.rojocabral@cch.unam.mx