

CÓMO SE FABRICA UN FERTILIZANTE

Del carbón a la urea

Cómo funciona la cadena industrial

El recorrido entre un recurso mineral y un fertilizante pasa por varias fábricas que trabajan como una sola.



Trabajo de campo en Córdoba. Archivo C&ENER, presentación de 2025. No corresponde a una planta de urea.

En el cultivo se ve un gránulo. Detrás de él hay agua tratada, aire separado en sus componentes, gases que se limpian y equipos que trabajan a presión. Producir urea es coordinar todas esas operaciones para entregar un producto que el agricultor pueda transportar, almacenar y aplicar.

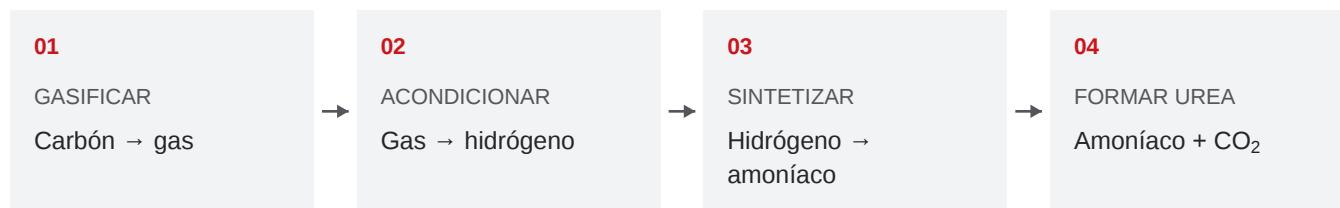
La urea aporta nitrógeno, uno de los nutrientes que las plantas necesitan para crecer. Para fabricarla se combinan amoníaco y dióxido de carbono. El amoníaco, a su vez, se obtiene de nitrógeno e hidrógeno. La pregunta industrial aparece un paso antes: **¿de dónde sale ese hidrógeno?** La gasificación del carbón ofrece una de las respuestas que ya utiliza la industria. [1, 2]

El primer artículo de esta serie abrió la conversación sobre las posibilidades de Colombia. Este segundo recorre el proceso por dentro: qué se transforma, qué debe separarse y por qué una reserva de carbón es apenas el comienzo de la cadena.

Pensar en una fábrica única ayuda poco. Resulta más útil imaginar un conjunto de plantas conectadas: una prepara la materia prima, otra produce gases, otra los purifica y las siguientes los convierten en amoníaco y urea. Sus conexiones son tan importantes como sus equipos.

01 / GASIFICACIÓN

El carbón cambia de forma



Recorrido conceptual. Las etapas incluyen equipos auxiliares, recuperación y reciclajes que aquí se omiten. [1, 2, 3, 4, 5]

El primer cambio ocurre en el gasificador. Allí el carbón reacciona a alta temperatura con oxígeno y agua en forma de vapor, según la configuración elegida. El resultado es un **gas de síntesis**: una mezcla que contiene hidrógeno, monóxido de carbono, dióxido de carbono y otros componentes. Ese gas es una materia prima intermedia; todavía está lejos del fertilizante. [1, 2]

El oxígeno llega mediante separación del aire. Aportarlo permite controlar la transformación del carbón y la composición del gas que se obtiene. El diseño también debe resolver cómo alimentar el carbón, recuperar calor y retirar los materiales minerales que permanecen como residuos sólidos. [1, 2]

Aquí importa mucho la calidad del recurso. Dos carbones que se venden bajo una misma categoría comercial pueden comportarse de manera distinta en un gasificador. La humedad, los minerales y los compuestos que deben retirarse del gas cambian las necesidades de preparación y tratamiento. Por eso, una cifra de toneladas disponibles no reemplaza la caracterización del material que realmente se alimentará. [1, 2]

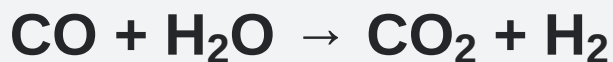
Para Colombia, la pregunta útil es concreta: **¿cómo se comporta este carbón, de este yacimiento, en la tecnología que se está considerando?** La respuesta se construye con muestras representativas, análisis y criterios del proveedor tecnológico. Es el puente entre conocer un recurso y diseñar una instalación.

La selección tecnológica empieza con el carbón que se va a alimentar, no solo con las toneladas que hay en el subsuelo.

02 / PREPARACIÓN DEL GAS

Limpiar también es producir

CONVERSIÓN CON VAPOR DE AGUA



Monóxido de carbono + agua → dióxido de carbono + hidrógeno. [1, 2]

Salir del gasificador es empezar otra etapa. Los catalizadores que permiten fabricar amoníaco necesitan una alimentación con condiciones y pureza específicas. Un catalizador acelera una reacción química; ciertos contaminantes pueden reducir su actividad o dañarlo. Limpiar el gas protege el corazón de la fábrica. [1]

Además de retirar impurezas, hay que aumentar la disponibilidad de hidrógeno. Una reacción fundamental combina monóxido de carbono con vapor de agua para formar dióxido de carbono e hidrógeno. Se conoce como **conversión con vapor de agua**, o *water-gas shift*. El agua participa en la química: también aporta hidrógeno al proceso. [1, 2]

Después se separa CO₂ y se acondiciona la corriente para las etapas siguientes. El orden preciso de limpieza, conversión y separación depende del diseño. Un diagrama sencillo sirve para entender la función de cada paso; la ingeniería define su secuencia, equipos y condiciones de operación. [1, 2]

Esta parte explica por qué la integración requiere cuidado. Cada corriente debe llegar a la siguiente unidad con la composición, presión y temperatura que esta necesita. La operación comercial de Dakota Gasification muestra un ejemplo concreto: su cadena de amoníaco incluye conversión, separación de CO₂, tratamiento final y reciclaje de gases. No todas las plantas emplean exactamente esa configuración. [3]

LO QUE DEBE RECIBIR LA SIGUIENTE UNIDAD

Composición	Disponibilidad de los gases que reaccionan.
Pureza	Control de los componentes que afectan el catalizador.
Condiciones	Presión y temperatura compatibles con el circuito.

03 / AMONÍACO Y UREA

Dos moléculas; dos etapas

AMONÍACO

Nitrógeno del aire + hidrógeno preparado. [1, 3]

UREA

Reacción global: amoníaco + CO₂ → urea + agua. [4, 5]

Con el hidrógeno preparado, entra el nitrógeno. Su origen es el aire: una corriente debe suministrarlo con la calidad requerida por el proceso. El hidrógeno y el nitrógeno reaccionan a presión, con ayuda de un catalizador, para producir amoníaco. Los gases que no reaccionan se recuperan y recirculan dentro del circuito. [1, 3]

El amoníaco es un producto industrial por derecho propio y también la materia prima de la urea. En la siguiente unidad se combina con CO₂. La reacción global forma urea y agua; industrialmente comprende etapas y recuperación de materiales que el esquema químico resumido no muestra. Dakota documenta esa integración: utiliza amoníaco y CO₂ producidos en su complejo para fabricar urea. [4]

Luego hay que llevar la urea hasta la presentación que se comercializará. En fertilizantes sólidos, eso incluye concentrar la solución y formar partículas mediante una tecnología de acabado, como granulación o *prilling*. La manipulación y el almacenamiento forman parte del producto que finalmente recibe el comprador. [5]

La distinción ayuda a leer un proyecto: una unidad que mezcla o acondiciona fertilizantes cumple una función diferente de un complejo que sintetiza sus moléculas. En la ruta integrada desde carbón, la cadena química empieza mucho antes de que aparezca el gránulo.

DEL LÍQUIDO AL PRODUCTO SÓLIDO

Concentración de la solución → formación de partículas → manipulación y almacenamiento. La tecnología de acabado se elige según el producto requerido. [5]

04 / INTEGRACIÓN Y CARBONO

El CO₂ tiene dos cuentas

En esta ruta, separar CO₂ permite preparar el gas para producir amoníaco. Una parte de ese CO₂ puede alimentar la fabricación de urea si cumple las especificaciones necesarias. Hay una conexión industrial valiosa: una corriente obtenida al acondicionar el gas se convierte en insumo de otra unidad. [1, 4]

La reacción global ofrece una referencia para entender las cantidades: producir una tonelada de urea pura requiere teóricamente unos 567 kg de amoníaco y 733 kg de CO₂, y forma unos 300 kg de agua. Estas masas se calculan con la ecuación química. **No son consumos garantizados de una planta**, ni incluyen su energía, servicios, pérdidas o corrientes que circulan internamente.

BALANCE QUÍMICO IDEAL · POR 1.000 kg DE UREA PURA

ENTRAN

≈567 kg NH₃

Amoníaco

ENTRAN

≈733 kg CO₂

Dióxido de carbono

SALEN

1.000 kg urea

+ ≈300 kg de agua

Cálculo con masas molares redondeadas: 34/60, 44/60 y 18/60. No incluye consumos energéticos, servicios ni pérdidas; no representa una planta específica.

El balance de carbono exige una mirada más amplia. Se debe distinguir el CO₂ incorporado en urea del que queda en otras corrientes del complejo, incluidas las asociadas al suministro de energía. La IEA señala que la ruta de carbón es más intensiva en emisiones que la de gas natural; usar CO₂ como insumo de urea no resuelve por sí solo esa diferencia. [1]

También importa el destino final. El IPCC contempla la liberación del carbono de la urea tras su aplicación al suelo. Por eso, incorporar CO₂ a este fertilizante no equivale a almacenarlo permanentemente. Para evaluar un proyecto hacen falta un balance completo y decisiones sobre tratamiento, otros usos, emisiones y, si se contempla, almacenamiento geológico. [6]

05 / EL COMPLEJO EN OPERACIÓN

Lo que las flechas no muestran

Las reacciones químicas ocupan el centro del diagrama, pero alrededor trabajan los servicios que las hacen posibles: agua tratada, vapor, electricidad, enfriamiento y manejo de corrientes residuales. La gasificación y la producción de amoníaco requieren energía y equipos auxiliares; su integración determina cómo circulan el calor y los materiales dentro del complejo. [1, 2]

El agua merece especial atención. Participa en la producción de hidrógeno y también puede prestar servicios de enfriamiento y generación de vapor. Son usos distintos, con exigencias diferentes de calidad y recuperación. Una evaluación del sitio debe separar captación, recirculación, consumo y descarga; sumar todos los caudales que pasan por los equipos puede exagerar la demanda de agua nueva.

La misma lógica aplica a los sólidos y a los compuestos retirados del gas. El diseño debe identificar qué se genera, sus características y su destino. La composición del carbón y la tecnología elegida cambian esas respuestas. Para un proyecto colombiano, disponibilidad de agua, suministro eléctrico e infraestructura ambiental son preguntas de ubicación y diseño desde el comienzo.

Por último, las unidades deben funcionar juntas. Si el suministro de hidrógeno se interrumpe, la síntesis de amoníaco pierde alimentación; si falta amoníaco o CO₂ utilizable, se limita la producción de urea. Almacenamiento, mantenimiento y estrategias de respaldo pueden dar flexibilidad. Su alcance debe diseñarse: la capacidad nominal de cada equipo no demuestra cuántas toneladas venderá el conjunto durante un año.

TRES DISTINCIONES PARA LEER UN PROYECTO

Agua que circula / agua nueva

La recirculación cambia cuánto debe captarse.

Capacidad / producción anual

Las horas disponibles condicionan las toneladas obtenidas.

CO₂ utilizado / balance total

La urea es uno de los destinos del carbono.

PREGUNTAS PARA LA SIGUIENTE ETAPA

Del proceso al proyecto colombiano

Un proyecto se vuelve más comprensible cuando puede explicar qué entra a cada unidad, qué sale de ella y cómo se conectan sus servicios. En esa descripción aparecen decisiones que una cifra de reservas o un diagrama de cuatro flechas dejan por fuera.

Para avanzar en Colombia, el siguiente paso técnico es relacionar un carbón caracterizado con una configuración industrial, un sitio y sus suministros. De allí salen los balances de materia y energía y una base para estimar producción, disponibilidad y desempeño ambiental. Son insumos que permiten comparar alternativas con el mismo criterio.

La tecnología tiene antecedentes industriales. La oportunidad local depende de cómo se diseñe y opere una instalación concreta. El tercer artículo de esta serie llevará esa conversación a la cuenta del comprador: **qué tendría que ocurrir para que una urea producida en Colombia compita con la importada, puesta en el mismo destino y bajo condiciones comparables.**

FUENTES Y ALCANCE

Artículo de divulgación industrial basado en fuentes institucionales y documentación de operadores y proveedores tecnológicos. Corte de revisión: 30 de octubre de 2026. Los diagramas son conceptuales; no representan ingeniería, capacidades ni desempeño del proyecto C2U.

C&ENER promueve la exploración de oportunidades industriales vinculadas a recursos colombianos, incluido C2U. Este interés se declara para que el lector distinga el análisis público de una evaluación independiente de factibilidad. Los balances y decisiones de diseño de un proyecto requieren estudios específicos.

[1] IEA (2021). *Ammonia Technology Roadmap*. Capítulo 1, especialmente pp. 28–34: síntesis de amoníaco, gasificación, purificación, energía y emisiones. [Consultar fuente](#)

[2] IRENA y Ammonia Energy Association (2022). *Innovation Outlook: Renewable Ammonia*. Apartado de producción convencional, pp. 34–36: gasificación y preparación del gas de síntesis. [Consultar fuente](#)

[3] Dakota Gasification Company. *Ammonia process*. Descripción del proceso propio: conversión, separación de CO₂, tratamiento, síntesis y reciclaje. Consultado el 30 de octubre de 2026. [Consultar fuente](#)

[4] Dakota Gasification Company. *Urea*. Integración de amoníaco y CO₂ producidos en el complejo; producción de urea desde enero de 2018. Consultado el 30 de octubre de 2026. [Consultar fuente](#)

[5] Stamicarbon. *Launch*, apartados Melt Technologies y Finishing Technologies: tecnologías de síntesis y acabado de urea por granulación, prilling y pastillación. Consultado el 30 de octubre de 2026. [Consultar fuente](#)

[6] IPCC (2006). *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*, volumen 4, capítulo 11, §11.4, p. 11.32: emisiones de CO₂ por aplicación de urea. [Consultar fuente](#)

Fotografía: archivo C&ENER, Córdoba, presentación de 2025. Diagramas: elaboración C&ENER. Las ecuaciones son resúmenes conceptuales; el cálculo ideal emplea masas molares redondeadas.