Procesos de Transformación

1

Procesos de Transformación

En el contexto de la Ingeniería Química, por "Procesos de Transformación" nos referimos a procesos en los que ocurre la transformación de materiales y energía en otros productos o formas de energía

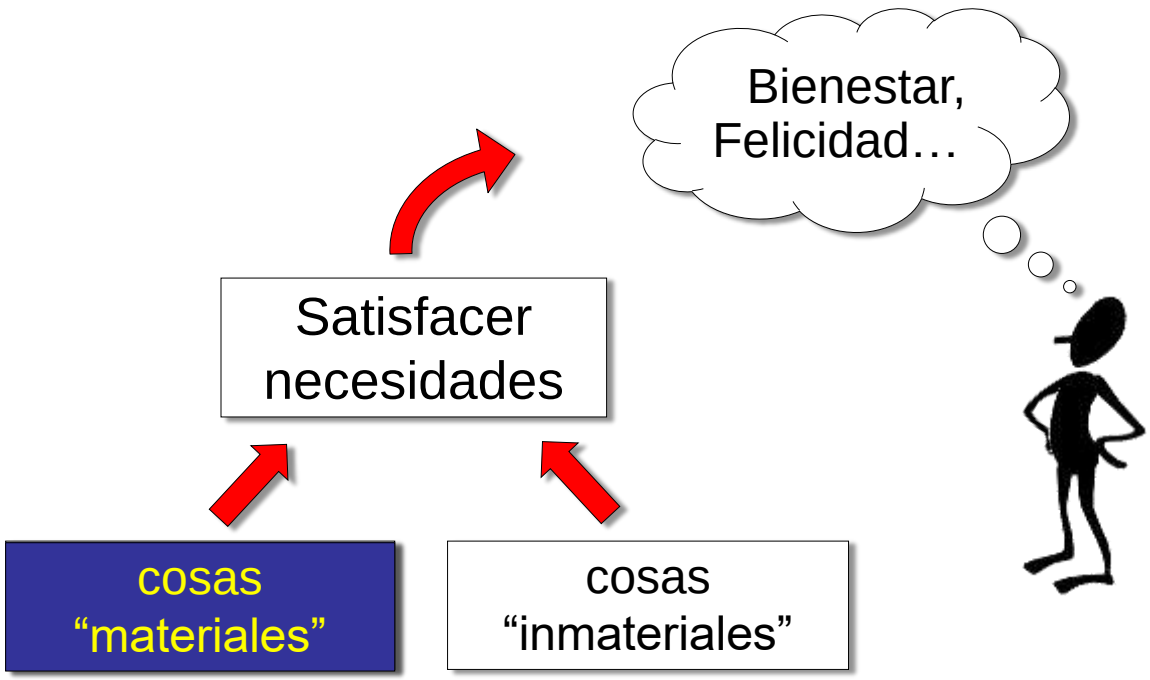
2

Procesos de Transformación

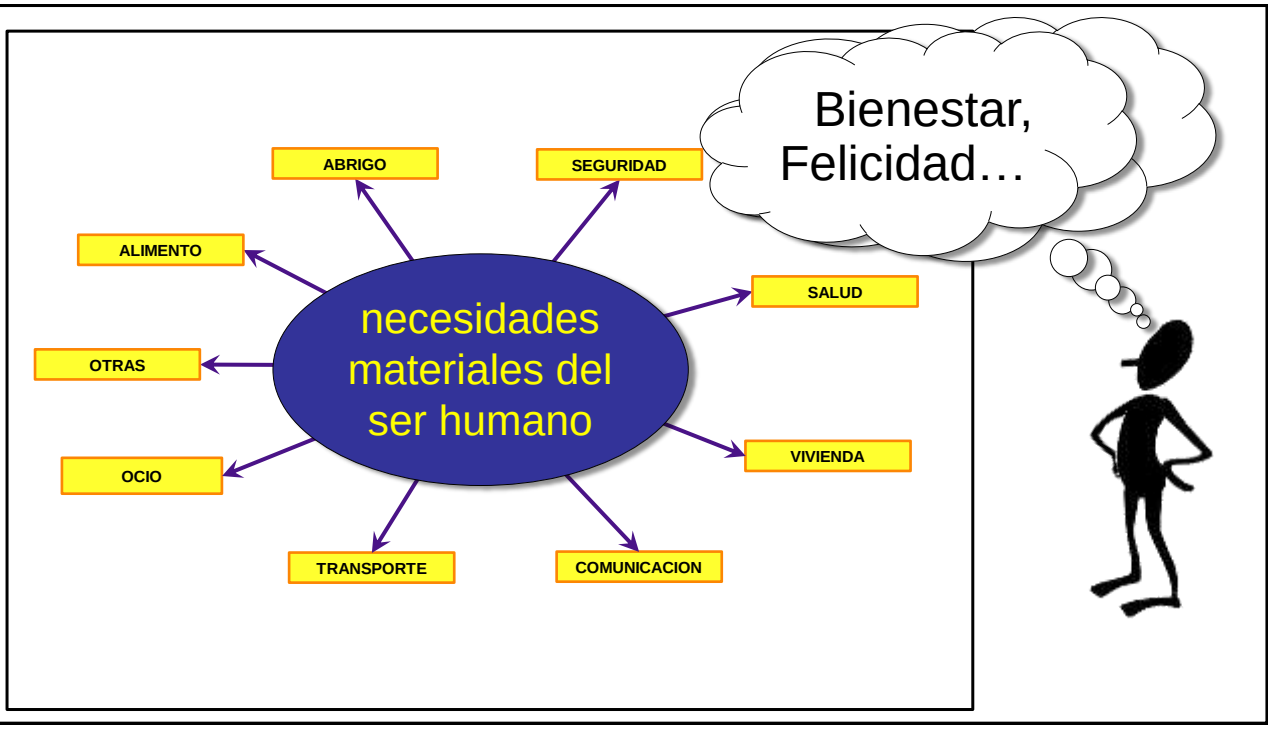
Muchos de estos procesos ocurren en el Universo, fuera de la voluntad o del control del ser humano.

Pero otros, son provocados o intervenidos por el ser humano debido a su interés en los materiales o energías involucradas.

3

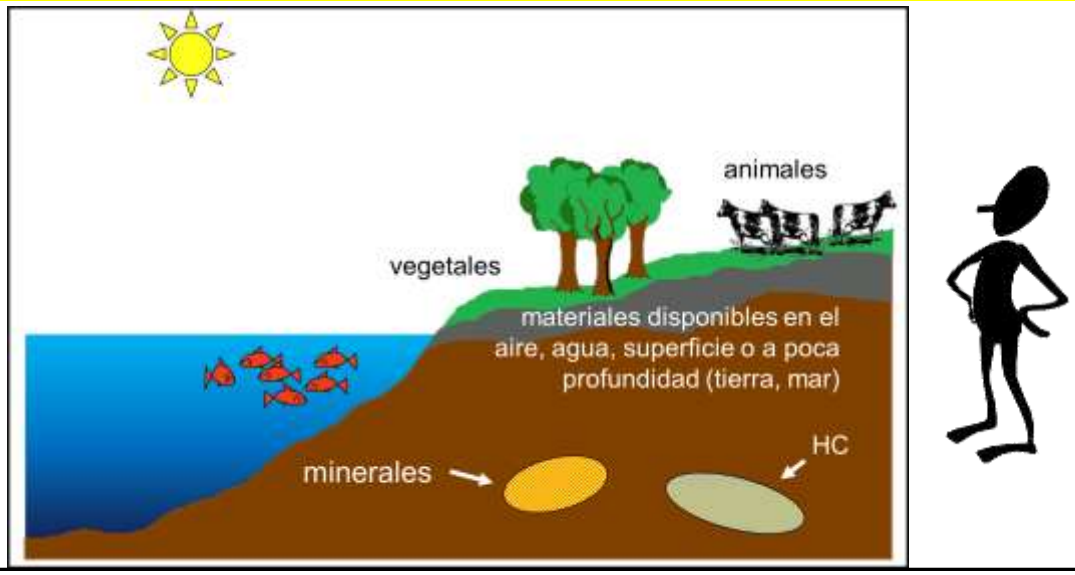


4

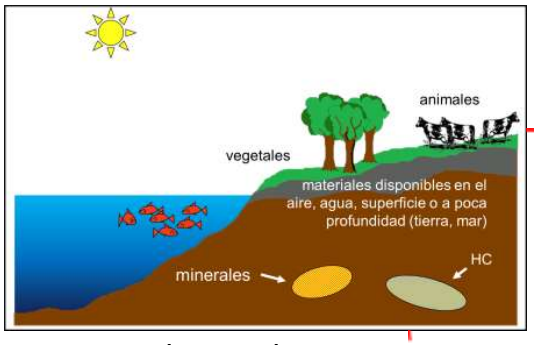


5

Las cosas disponibles son las que encontramos en el entorno con el que podemos interactuar.



6



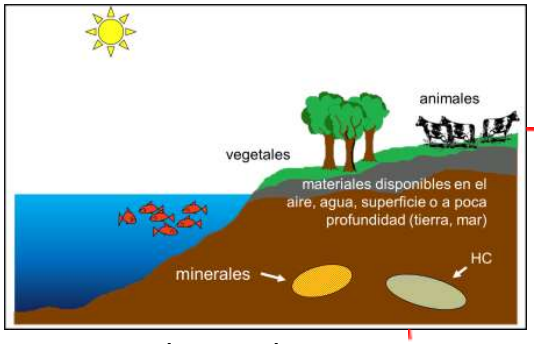
los productos naturales

*La mayoría de los productos que usamos se obtienen a partir de otros materiales u objetos, a través de **procesos de transformación** y ensamblado de partes.*

Sólo unos pocos productos se consumen tal cual se consiguen al estado natural.

productos para uso final

7



los productos naturales

Cuando la "necesidad" a satisfacer es compartida por grupos grandes de personas, entonces las transformaciones requeridas se realizan a "gran escala"

Sólo unos pocos productos se consumen tal cual se consiguen al estado natural.

productos para uso final

8

Cuando la "necesidad" a satisfacer es compartida por grupos grandes de personas, entonces las transformaciones requeridas se realizan a "gran escala"

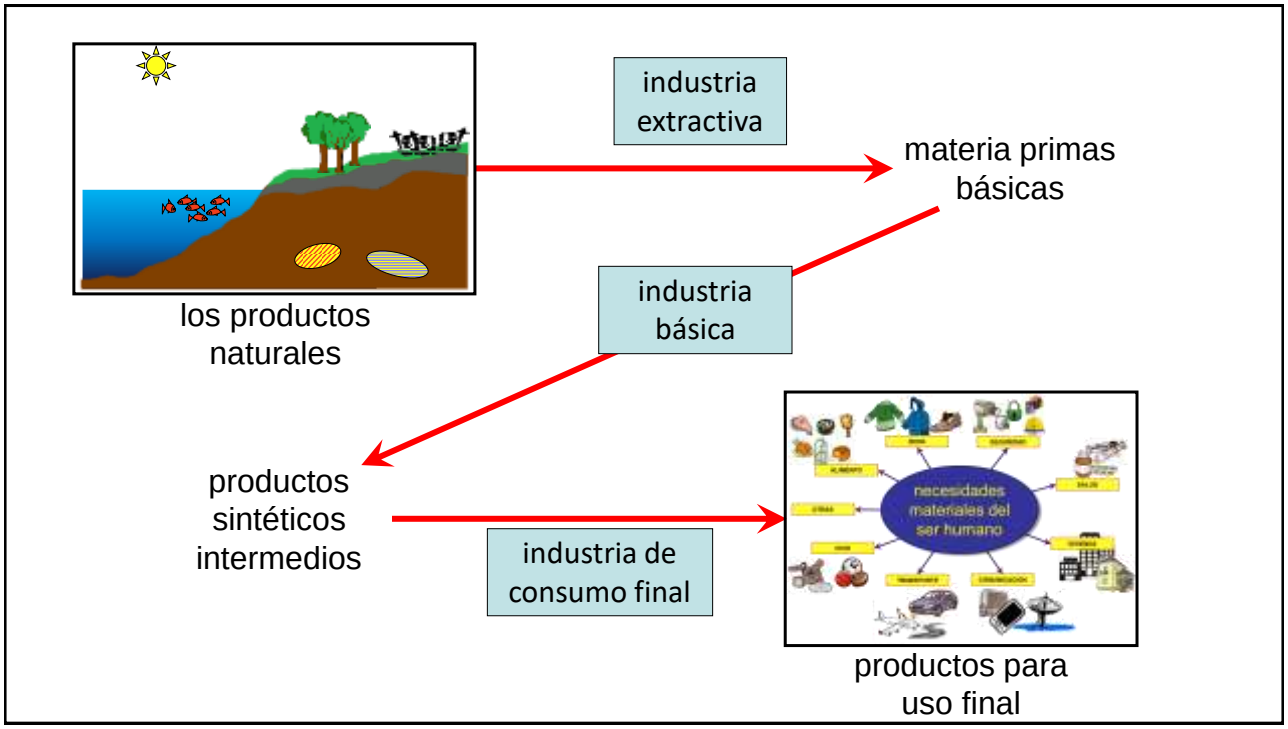
… y para encarar esta problemática, contamos con el auxilio de la "Ingeniería Química"

9

Cuando la "necesidad" a satisfacer es compartida por grupos grandes de personas, entonces las transformaciones requeridas se realizan a "gran escala"

El interés en obtener productos "que no existen como tales en la naturaleza" para satisfacer necesidades de grupos grandes de personas es una fuerza impulsora para el surgimiento y desarrollo industrial.

10



11

Industria de Procesos

Son industrias que obtienen los productos de interés a través de procesos de transformación de otros productos (materias primas).

Toda producción industrial supone:

- Fabricación a gran escala
- Satisfacción de una “necesidad”

12

Industria de Procesos

Son industrias que ob
través de procesos de
(materias primas).

Toda producción indus

Una de las grandes diferencias entre la actividad industrial y la actividad doméstica o artesanal es el factor "ESCALA"

- Fabricación a gran escala
- Satisfacción de una "necesidad"

13

Debe existir una "necesidad a satisfacer" que haga que valga la pena el esfuerzo de producir el producto

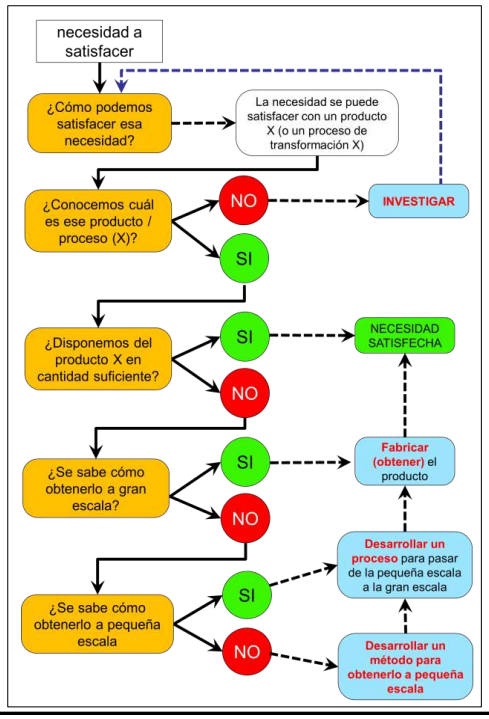
Son in
través
(mater

interés a
s productos

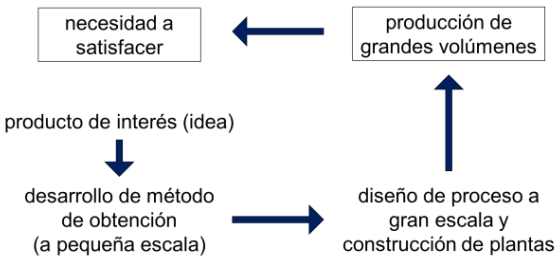
Toda producción industrial supone:

- Fabricación a gran escala
- Satisfacción de una "necesidad"

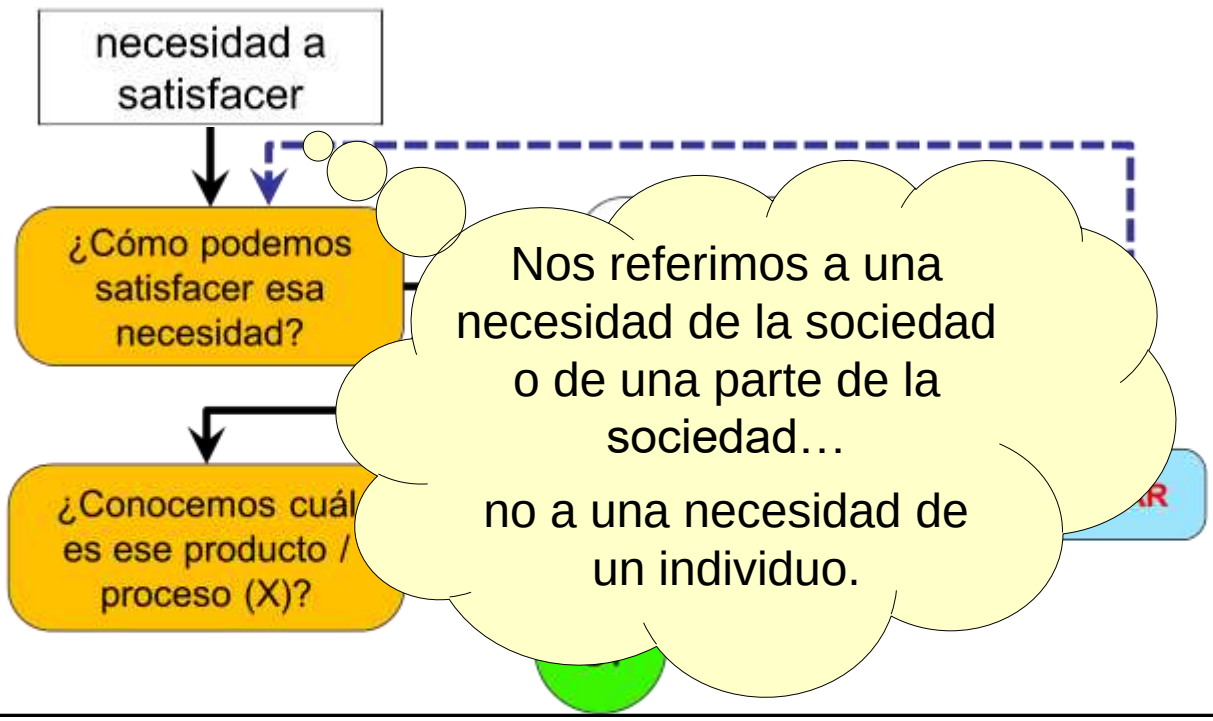
14



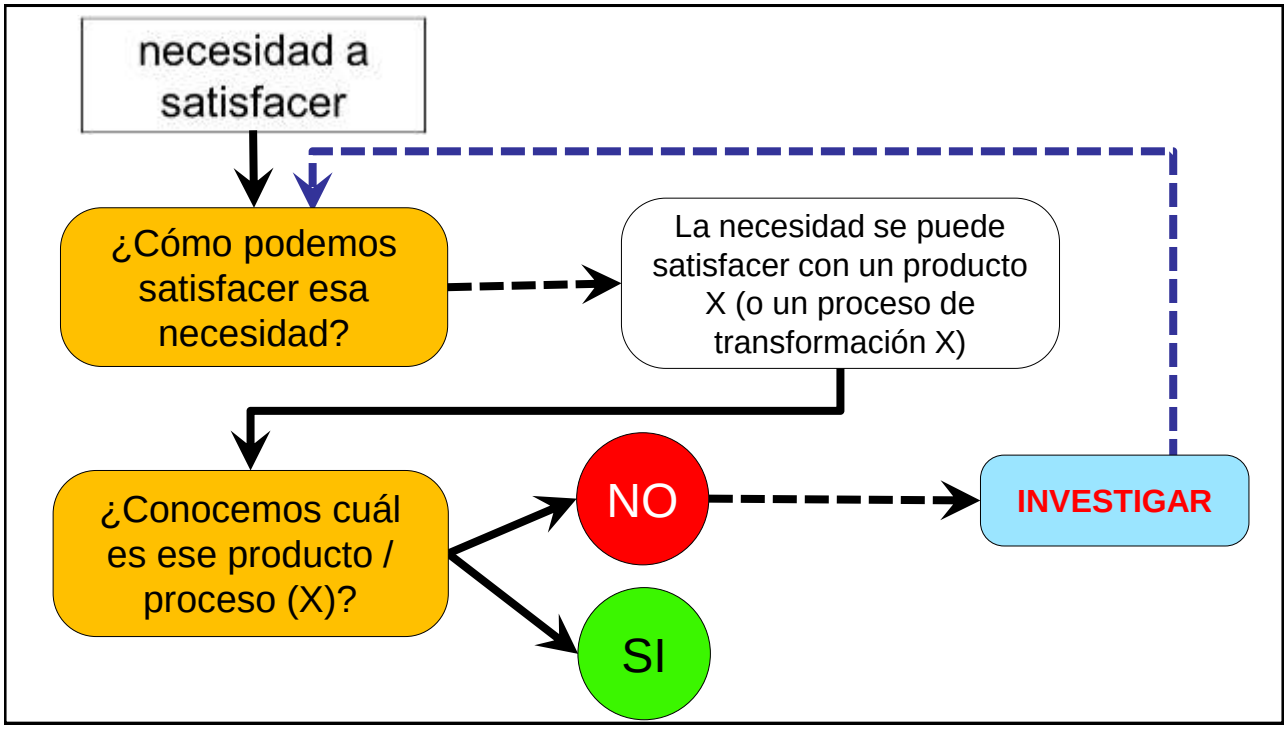
El ciclo de "la detección de la necesidad" hasta la "satisfacción"



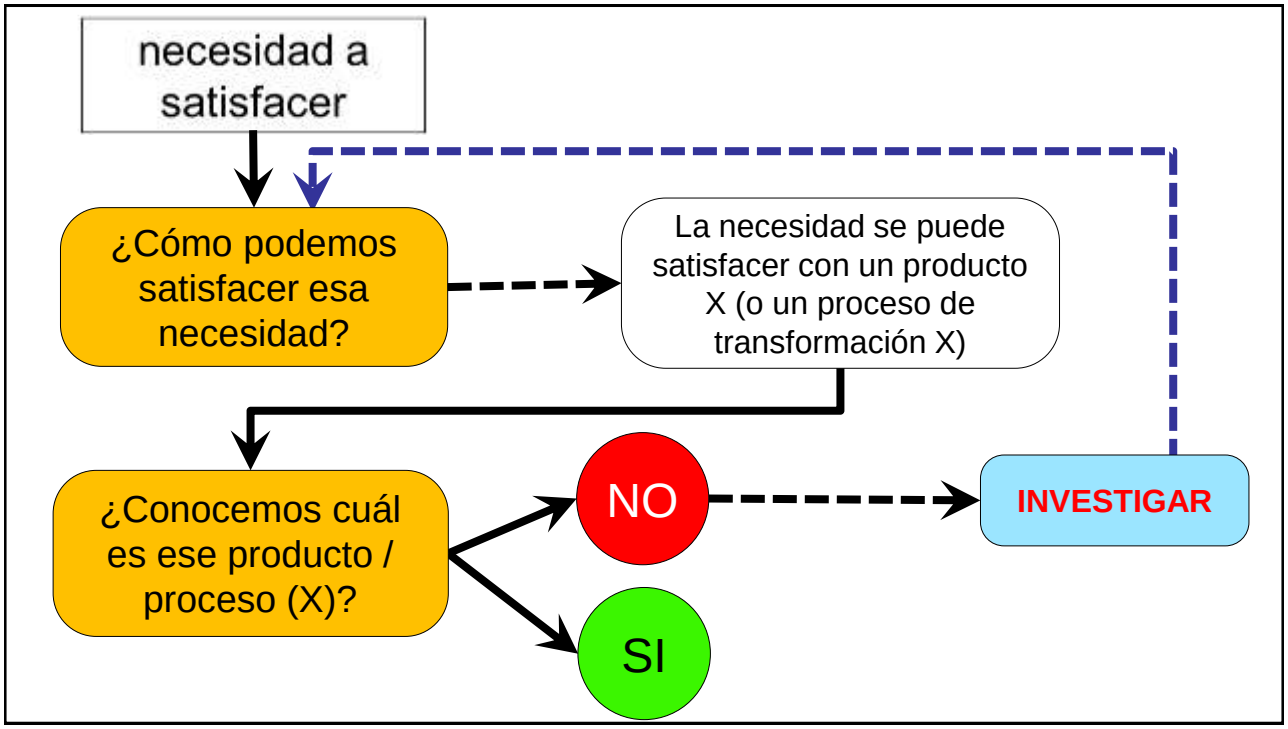
15



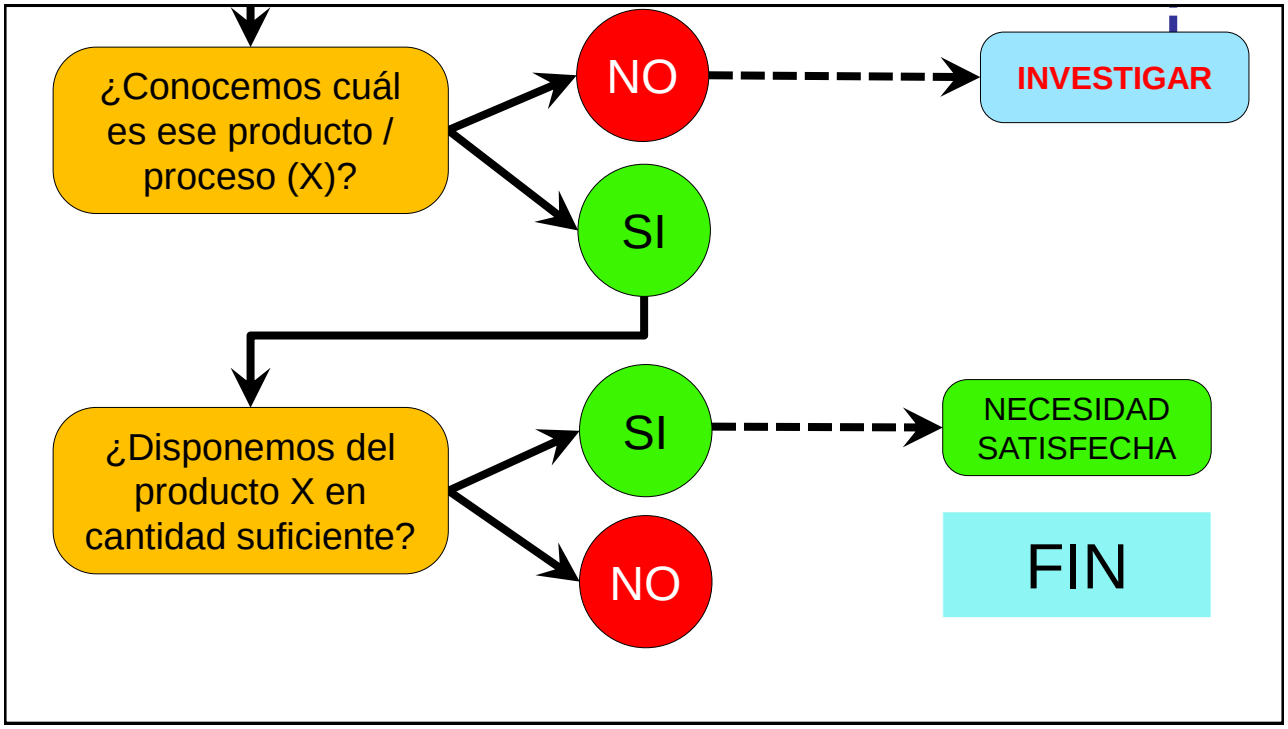
16


necesidad a satisfacer
¿Cómo podemos satisfacer esa necesidad?
La necesidad se puede satisfacer con un producto X (o un proceso de transformación X)
¿Conocemos cuál es ese producto / proceso (X)?
NO
SI
INVESTIGAR

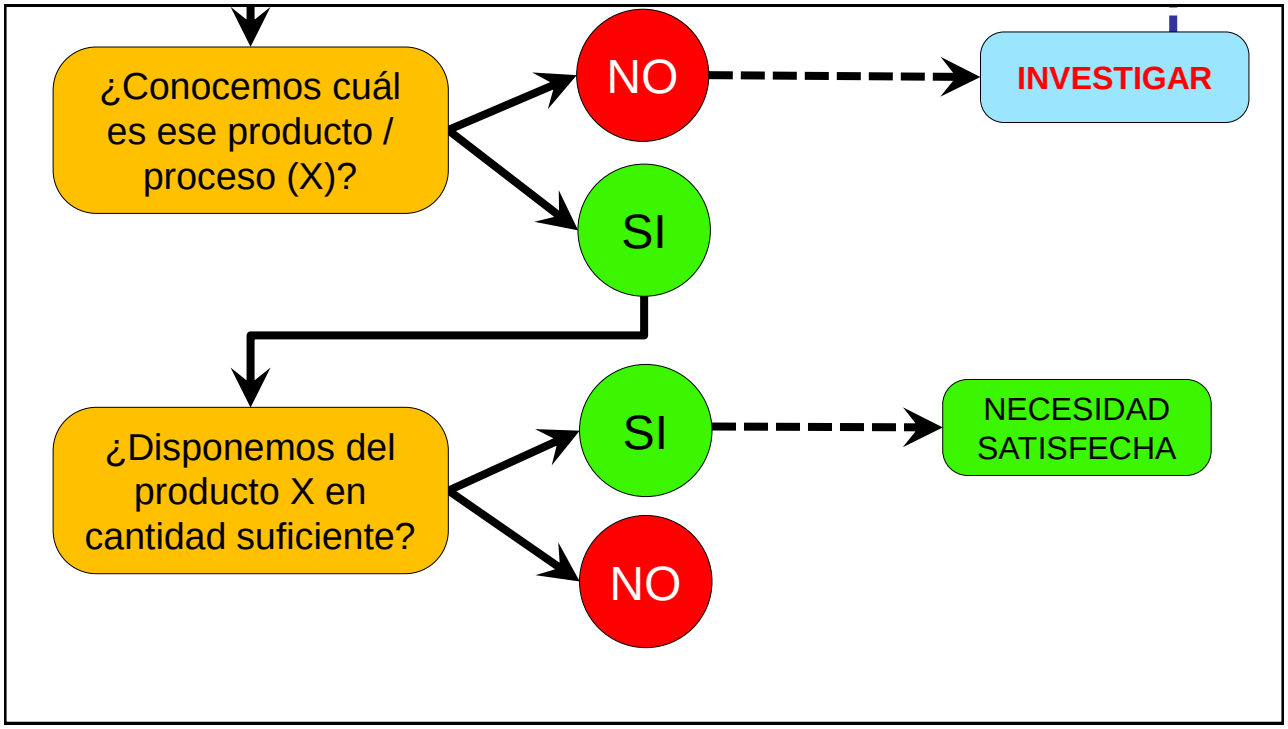
17


necesidad a satisfacer
¿Cómo podemos satisfacer esa necesidad?
La necesidad se puede satisfacer con un producto X (o un proceso de transformación X)
¿Conocemos cuál es ese producto / proceso (X)?
NO
SI
INVESTIGAR

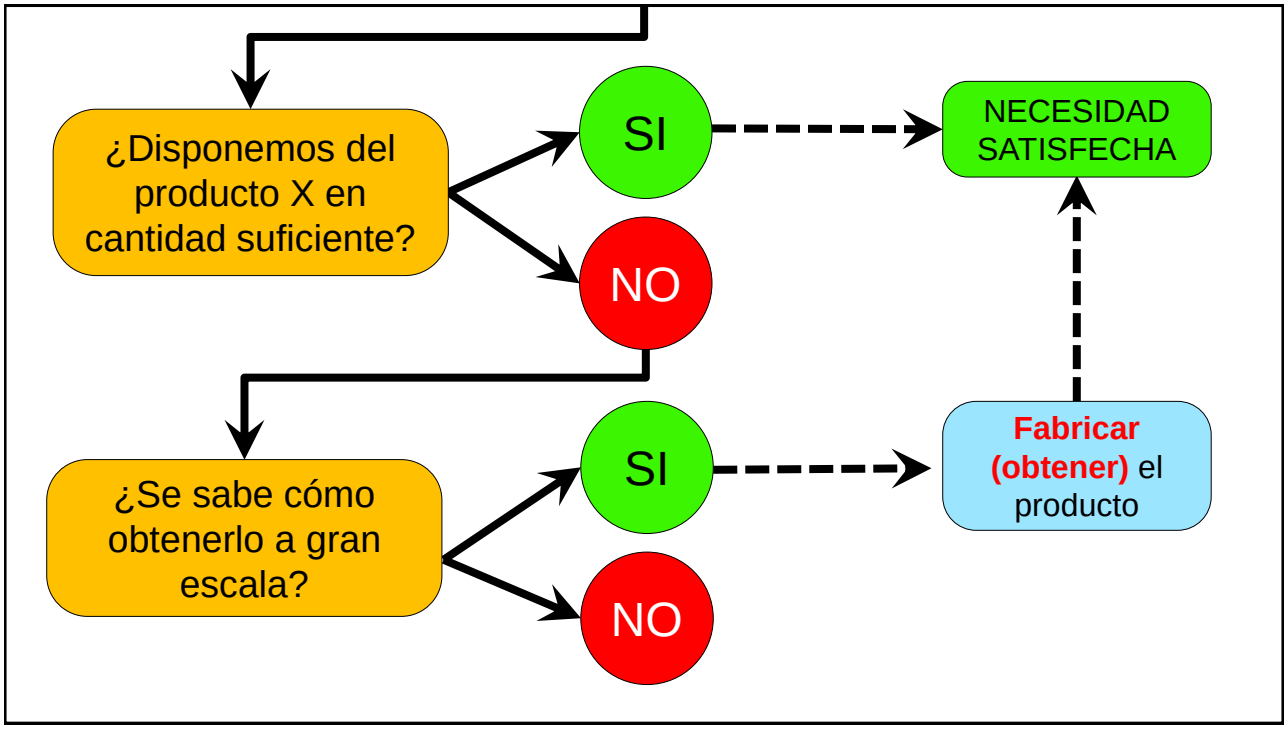
18


¿Conocemos cuál es ese producto / proceso (X)?
NO
INVESTIGAR
SI
¿Disponemos del producto X en cantidad suficiente?
SI
NECESIDAD SATISFECHA
NO
FIN

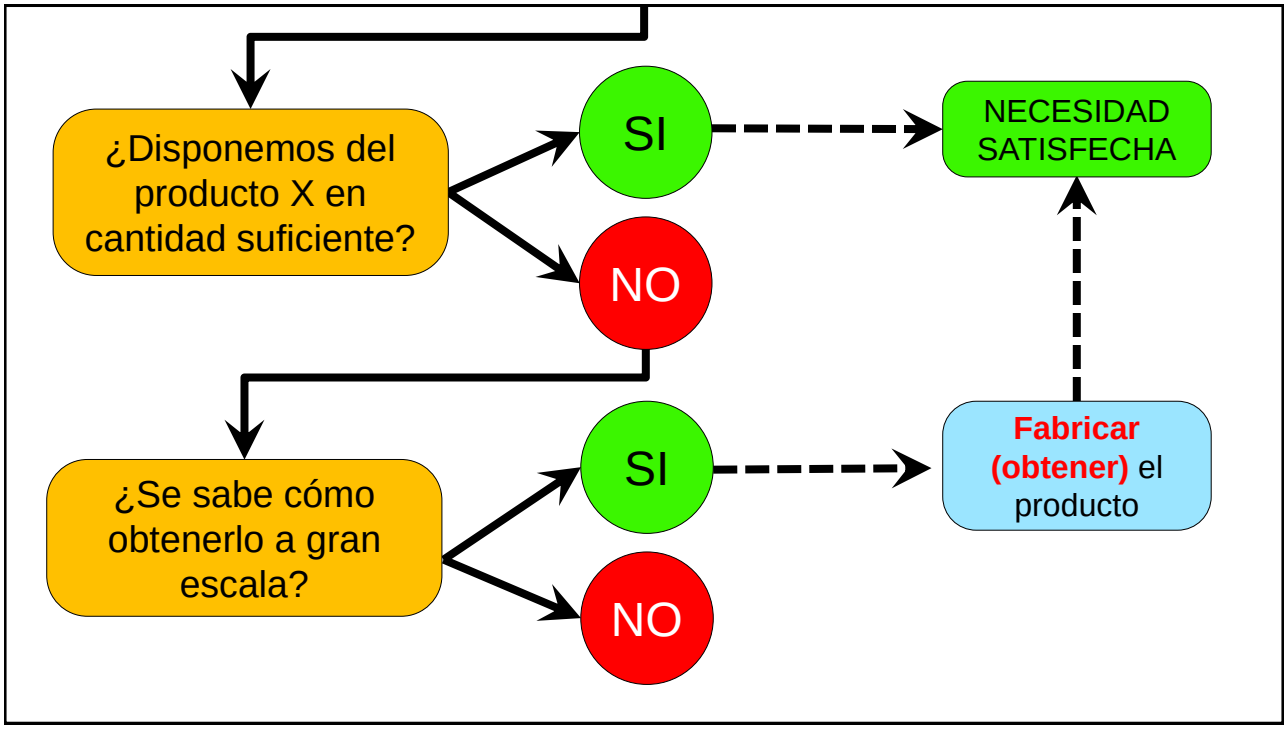
19


¿Conocemos cuál es ese producto / proceso (X)?
NO
INVESTIGAR
SI
¿Disponemos del producto X en cantidad suficiente?
SI
NECESIDAD SATISFECHA
NO

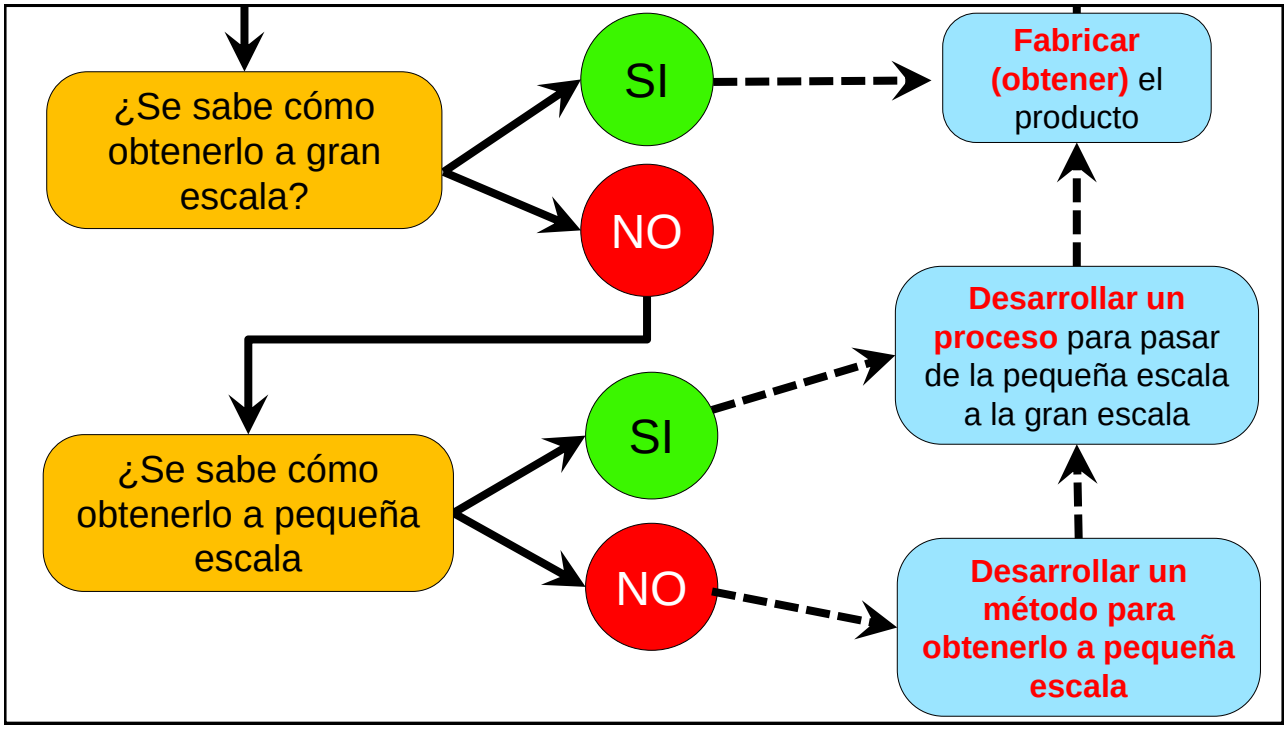
20


¿Disponemos del producto X en cantidad suficiente?
SI
NO
NECESIDAD SATISFECHA
¿Se sabe cómo obtenerlo a gran escala?
SI
NO
Fabricar (obtener) el producto

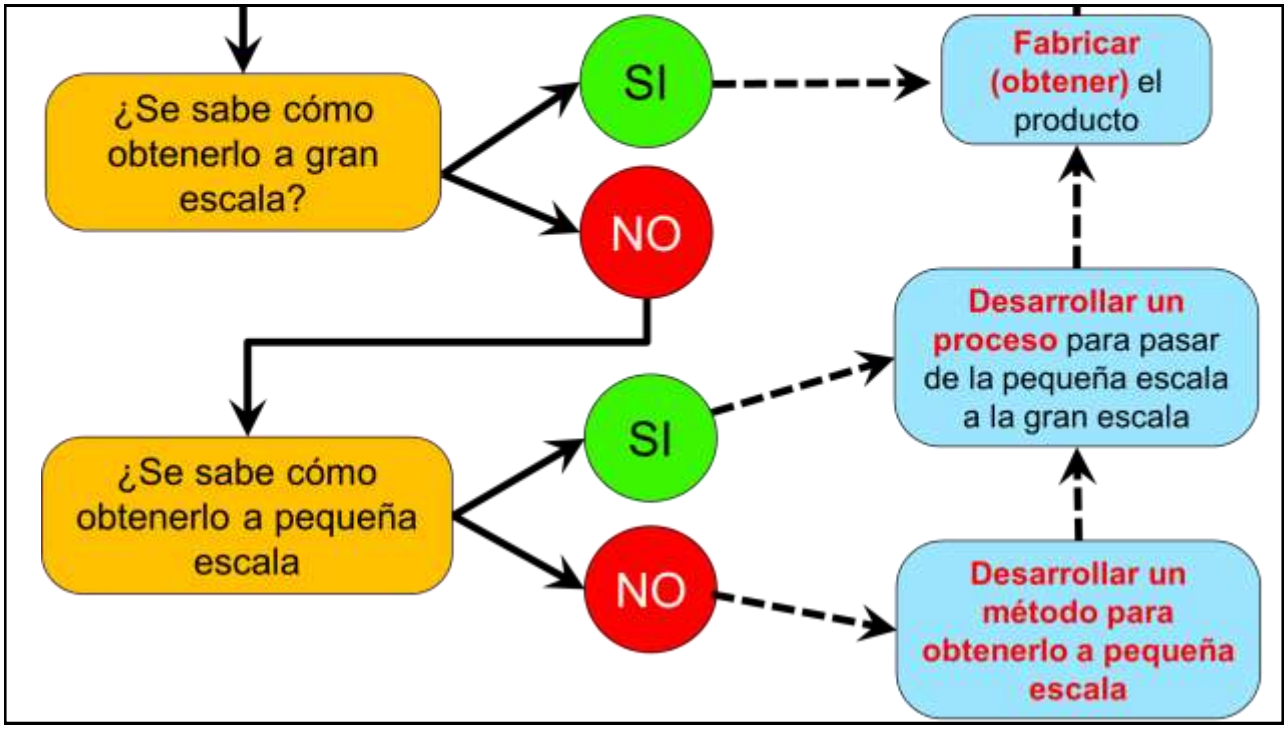
21


¿Disponemos del producto X en cantidad suficiente?
SI
NO
NECESIDAD SATISFECHA
¿Se sabe cómo obtenerlo a gran escala?
SI
NO
Fabricar (obtener) el producto

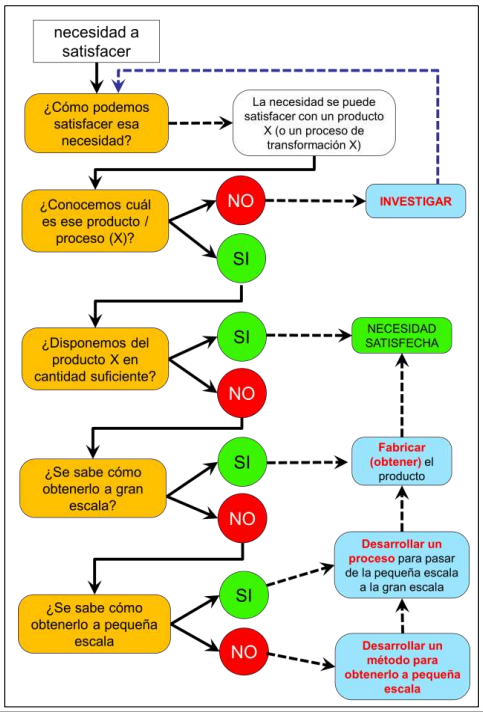
22


¿Se sabe cómo obtenerlo a gran escala?
SI
NO
Fabricar (obtener) el producto
Desarrollar un proceso para pasar de la pequeña escala a la gran escala
¿Se sabe cómo obtenerlo a pequeña escala
SI
NO
Desarrollar un método para obtenerlo a pequeña escala

23

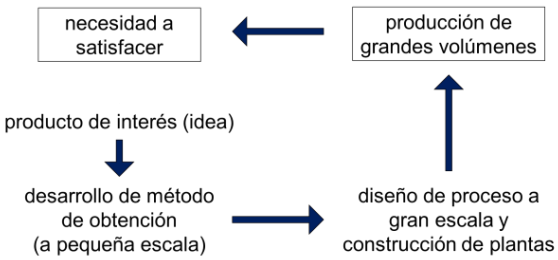

¿Se sabe cómo obtenerlo a gran escala?
SI
NO
Fabricar (obtener) el producto
Desarrollar un proceso para pasar de la pequeña escala a la gran escala
¿Se sabe cómo obtenerlo a pequeña escala
SI
NO
Desarrollar un método para obtenerlo a pequeña escala

24



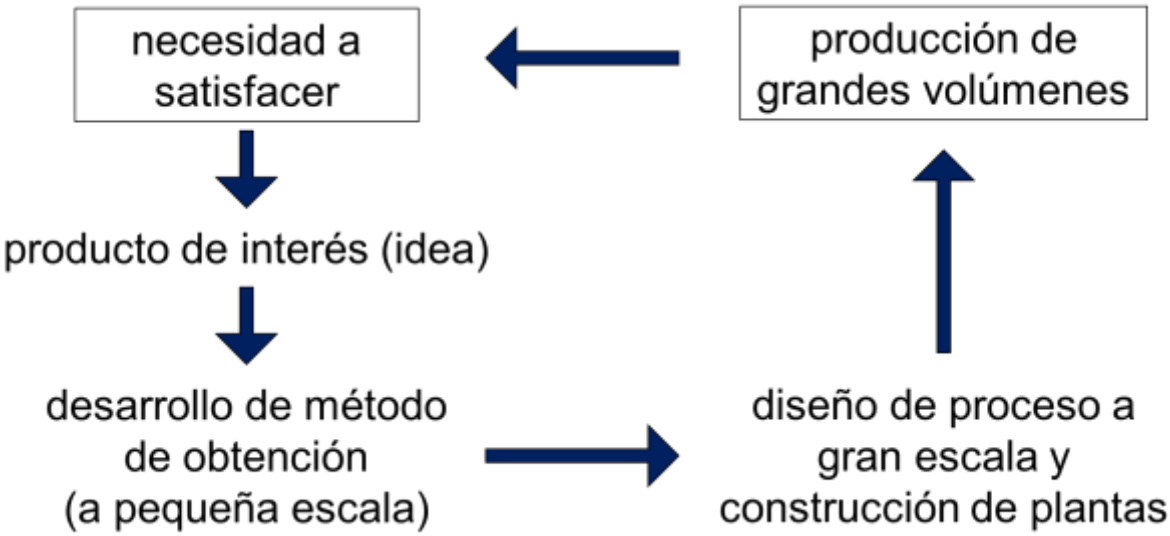
Simplificando el cuadro…

El ciclo "de la detección a la satisfacción"



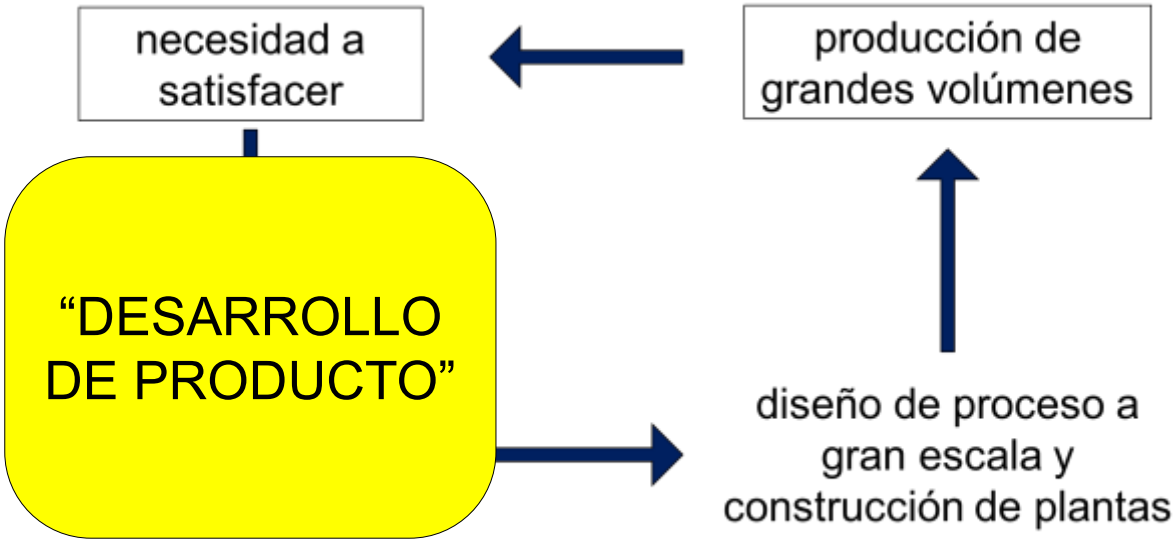
25

El ciclo "de la detección a la satisfacción"



26

El ciclo "de la detección a la satisfacción"

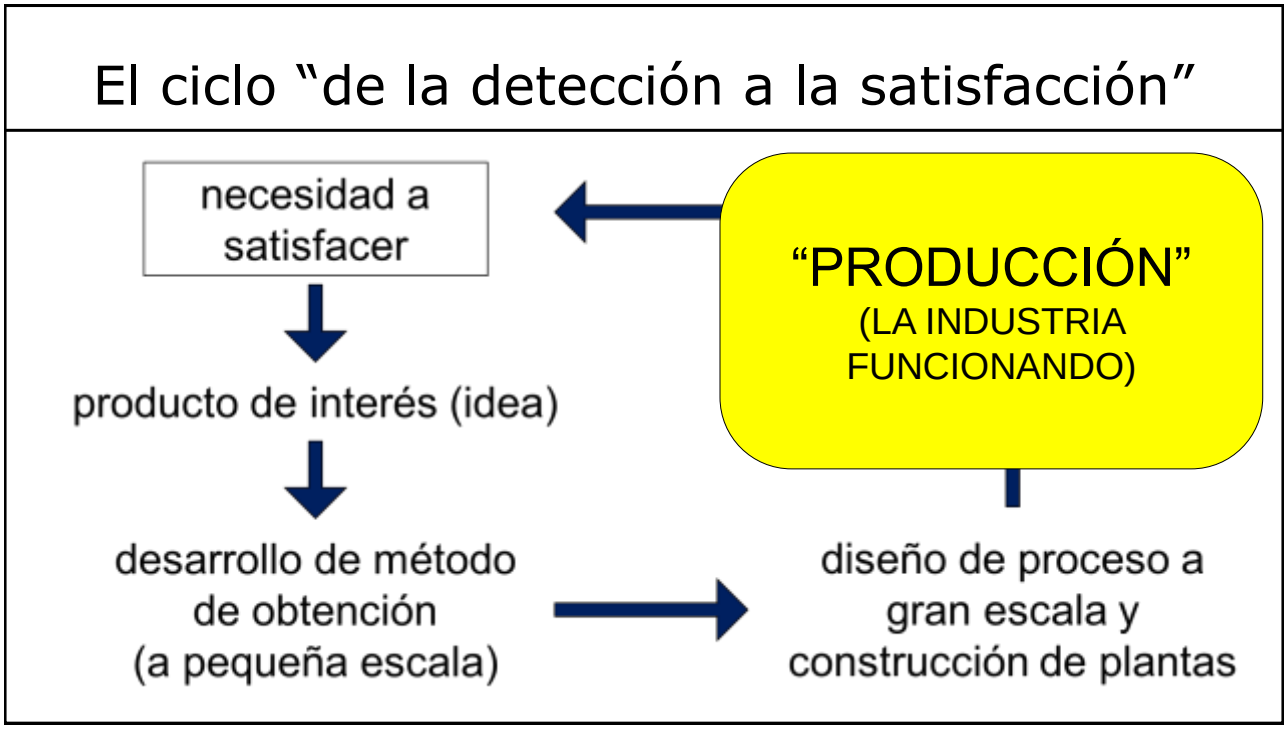


27

El ciclo "de la detección a la satisfacción"

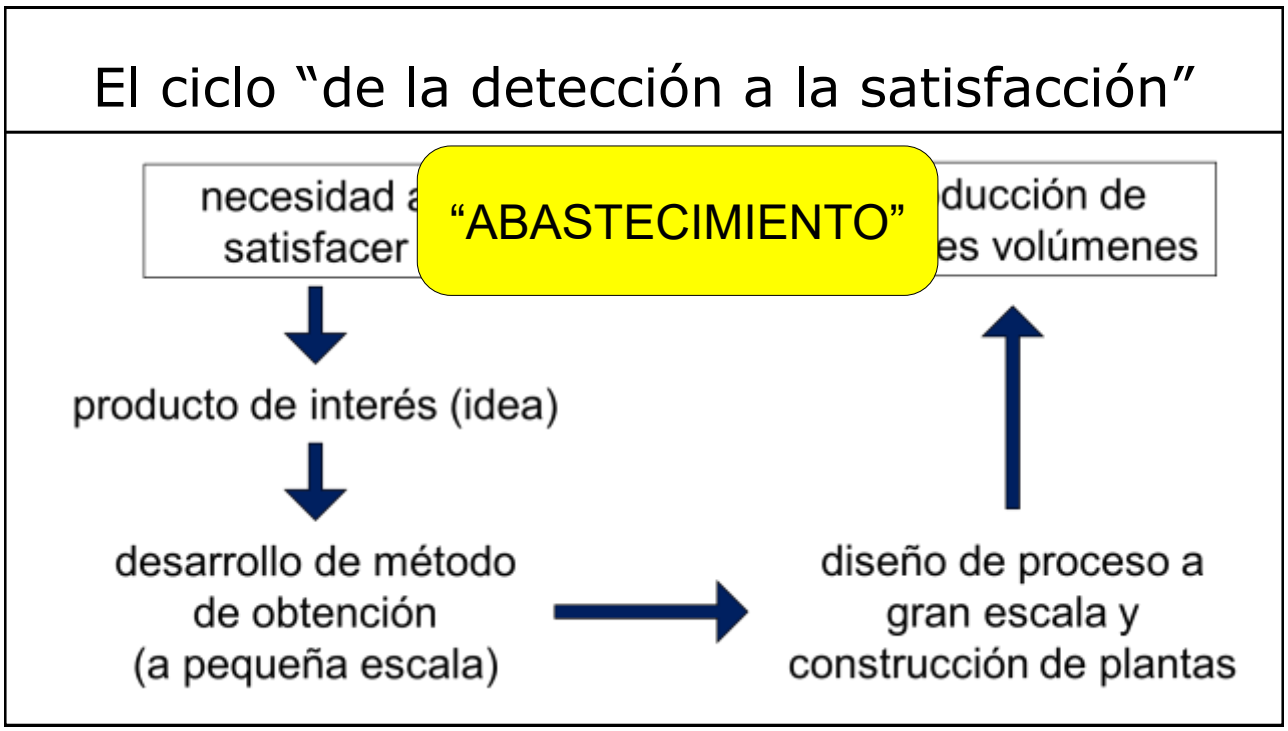
28

El ciclo "de la detección a la satisfacción"



29

El ciclo "de la detección a la satisfacción"



30

El ciclo “de la detección a la satisfacción”

… y en cada una de estas fases, con diferentes grados de involucramiento y dependiendo del producto, puede ser necesaria la participación de personas con formación en Ingeniería Química.

(a pequeña escala)

construcción de plantas

31

ANALISIS DE UN CASO

Avatares de un “proceso de transformación” que ha tenido (y tiene) gran impacto en el desarrollo de la humanidad.

32

ANALISIS DE UN CASO

Nitrógeno

Fertilizantes

Amoníaco

33

Necesidad del Nitrógeno para la vida

El nitrógeno es necesario para que todos los organismos se mantengan vivos y crezcan porque es un componente esencial para ADN, ARN y proteína.

El Nitrógeno abunda en la atmósfera (el 78% del aire es N_2)…
…sin embargo el N_2 es bastante inerte.

¿Cómo se incorpora el N a la materia orgánica?

Las plantas necesitan incorporarlo como NO_3^- o como NH_4^+.
Los animales se comen las plantas.

Artículo interesante sobre el Nitrógeno (y otros asuntos relacionados):
http://www.bbc.com/mundo/noticias/2014/06/140611_elementos_nitrogeno_vida_muerte_finde_dv

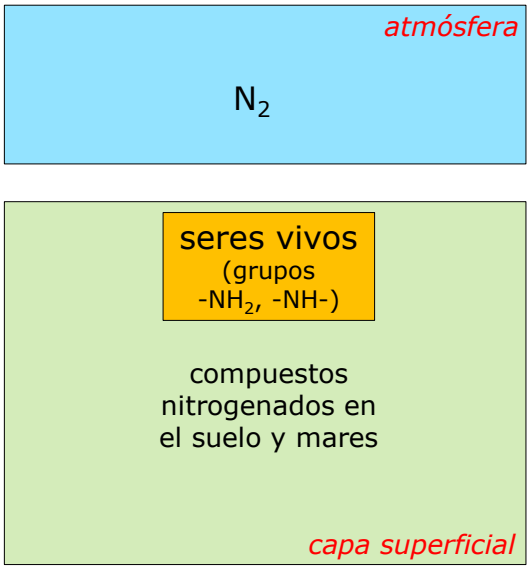
34

El Nitrógeno en la naturaleza

Hay nitrógeno (N) en el aire, en el agua, en los organismos vivos (animales, vegetales, bacterias, etc…) y en el suelo (no vivo).

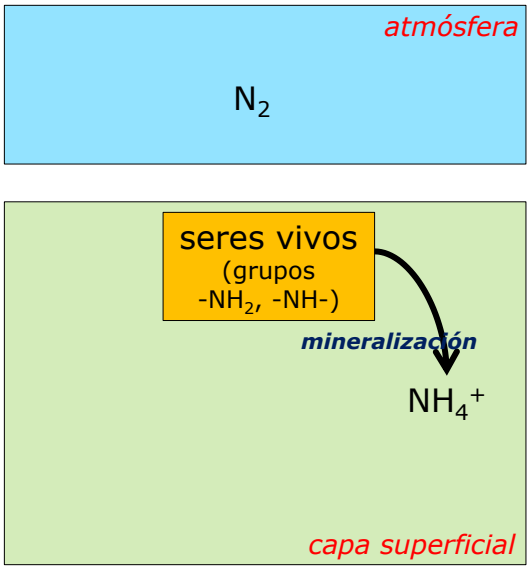
35

El Nitrógeno en la naturaleza



36

Ciclo del Nitrógeno



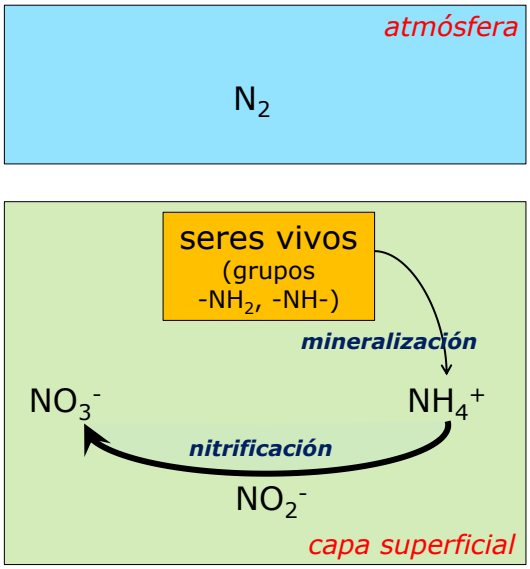
MINERALIZACIÓN (AMONIFICACIÓN)

De N orgánico a NH_4^+

Causado por: deshechos orgánicos de seres vivos, putrefacción

37

Ciclo del Nitrógeno



NITRIFICACIÓN

Conversión del NH_4^+ del suelo o agua a NO_2^- y NO_3^-

Causado por: Bacterias

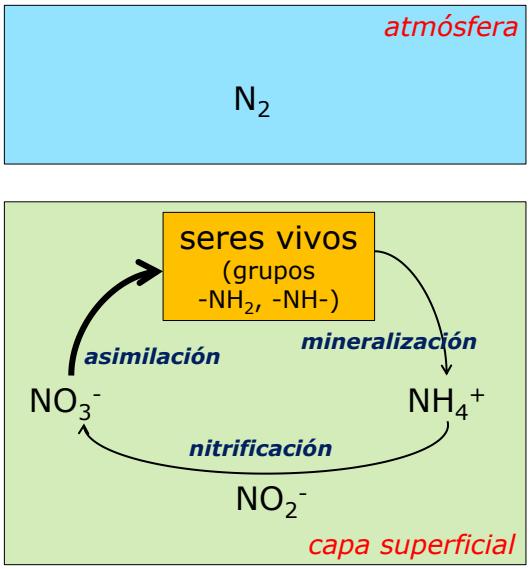
38

Ciclo del Nitrógeno

ASIMILACIÓN

De NO_3^- a N orgánico

Causado por: Bacterias y plantas (planta anfitriona)



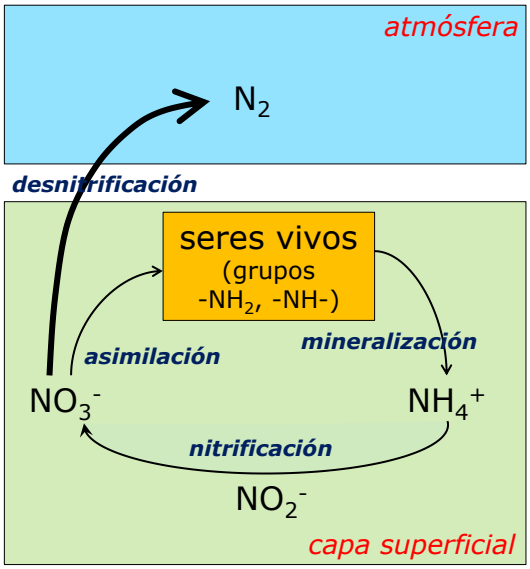
39

Ciclo del Nitrógeno

DESNITRIFICACIÓN

Conversión del NO_3^- del suelo o agua a N_2

Causado por: Bacterias *(Pseudomonas fluorescens)*

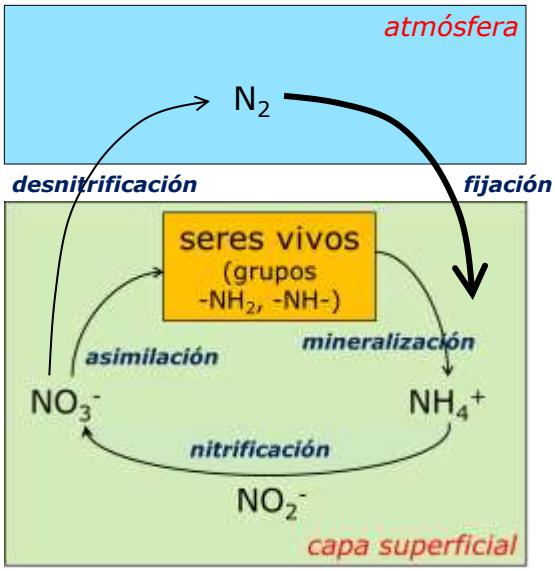


40

Ciclo del Nitrógeno

FIJACIÓN

Conversión de N_2 atmosférico a compuestos de N



41

Ciclo del Nitrógeno

FIJACIÓN

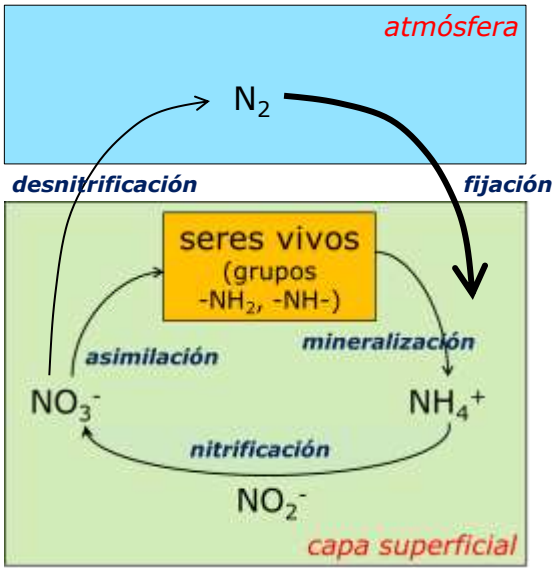
Conversión de N_2 atmosférico a compuestos de N

Fijación biológica

(reducción a NH_4^+)

Causado por bacterias en procesos simbióticos (ej. Rhizobium en leguminosas)

o no simbióticos (por ej. azoto-bacter, cyanobacterias,…)



42

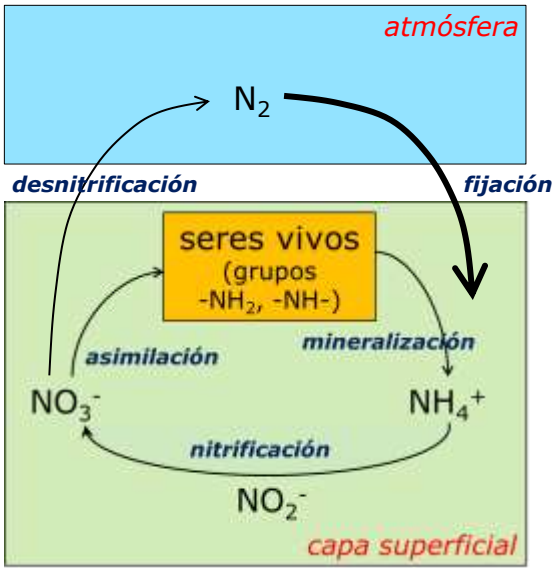
Ciclo del Nitrógeno

FIJACIÓN

Conversión de N_2 atmosférico a compuestos de N

Fijación biológica

Fijación atmosférica



43

Fijación atmosférica

N_2 y O_2 (del aire) + energía → 2 NO

- rayos
- incendios

Luego… NO se oxida a NO_2 (más fácilmente)

y éste a NO_3^- ó HNO_3

44

Ciclo del Nitrógeno

FIJACIÓN

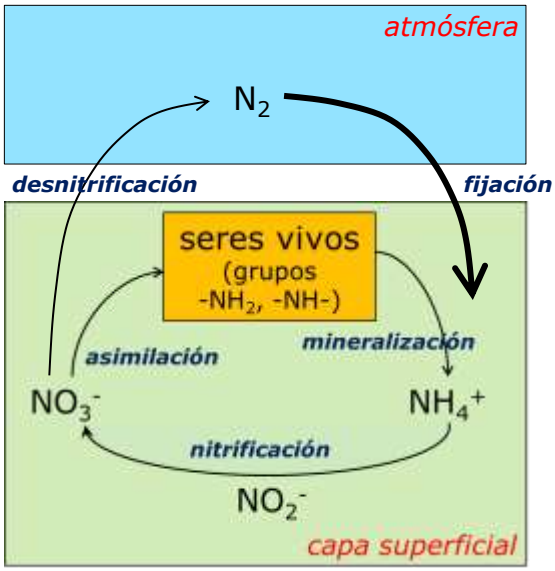
Conversión de N_2 atmosférico a compuestos de N

Fijación biológica

Fijación atmosférica

(oxidación a NO3-)

Causada por rayos (tormentas eléctricas), altas temperaturas (incendios)



45

Volviendo a la cuestión de la ingesta de N…

Necesidad del Nitrógeno para la vida

El nitrógeno es necesario para que todos los organismos se mantengan vivos y crezcan porque es un componente esencial para ADN, ARN y proteína.

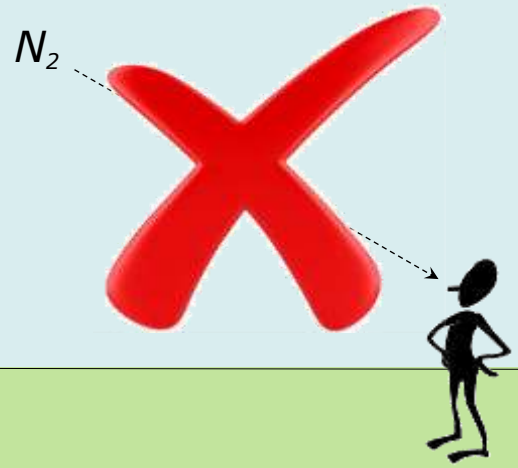
El Nitrógeno abunda en la atmósfera (el 78% del aire es N_2)…
…sin embargo el N_2 es bastante inerte.

¿Cómo se incorpora el N a la materia orgánica?

Las plantas necesitan incorporarlo como NO_3^- o como NH_4^+.
Los animales se comen las plantas.

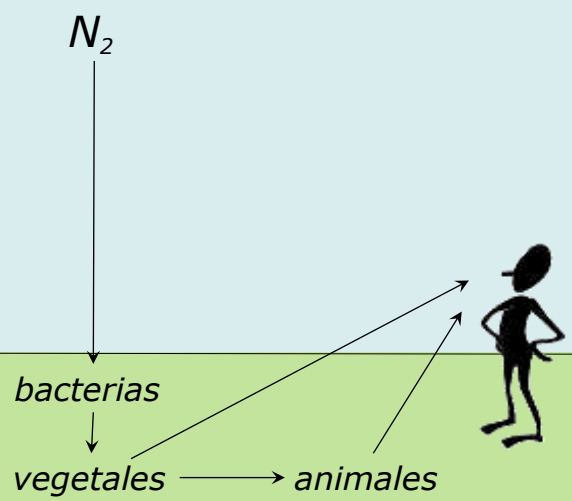
46

Vivimos inmersos en un mar de nitrógeno
(78% del aire que nos rodea)



47

Vivimos inmersos en un mar de nitrógeno
(78% del aire que nos rodea)



48

Asegurando la alimentación…

A poco tiempo de comenzar a cultivar la tierra, el ser humano se dio cuenta de los efectos beneficiales de “abonar” el suelo con estiércol (8000 AC).

Desde cierto punto de vista, esta acción de “abonar” la tierra podría ser vista como el “reciclar el N orgánico”, llevándolo desde “donde está presente” hasta “donde se necesita” y así fue como se desarrolló la agricultura durante milenios.

Con el tiempo se fueron descubriendo acúmulos naturales ricos en sales de Nitrógeno que son excelentes fertilizantes.

49

Asegurando la alimentación…

Hasta comienzos del siglo XX, los únicos acúmulos de N en formaciones naturales eran el guano (excremento de ciertas aves) de Perú y el salitre (nitratos de sodio, potasio) de Chile.

Afiches sobre el uso del salitre chileno alrededor del mundo

50

Asegurando la alimentación…

Hasta comienzos del siglo XX, los únicos acúmulos de N en formaciones naturales eran el guano (excremento de ciertas aves) de Perú y el salitre (nitratos de sodio, potasio) de Chile.

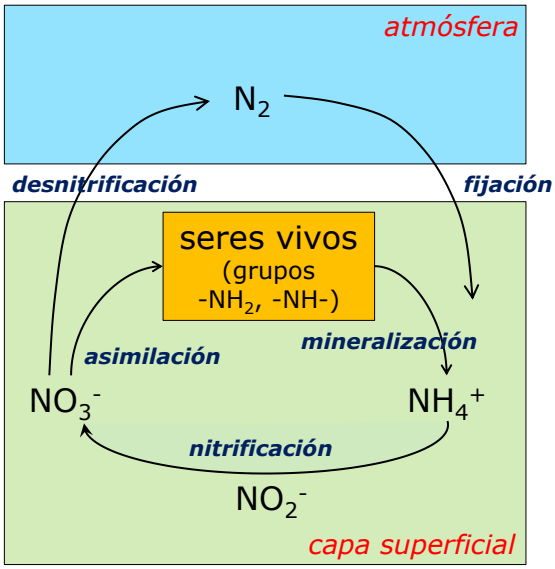
Un "detalle" a considerar:

Las fuentes minerales de N son recursos "agotables".

51

Asegurando la alimentación…

velocidad de fijación
=
velocidad de desnitrificación



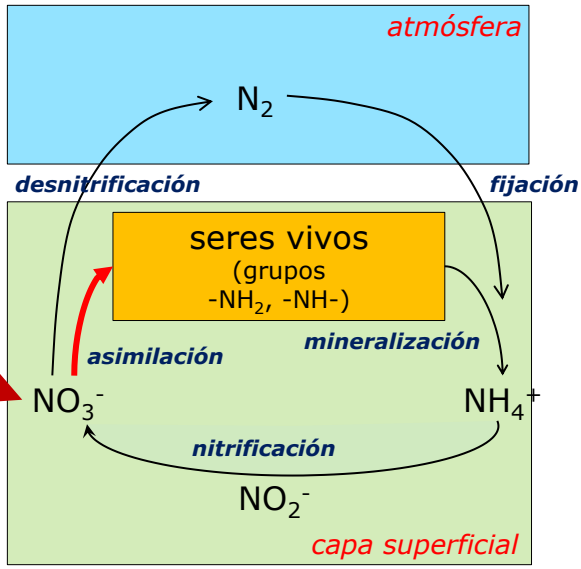
52

Asegurando la alimentación…

Pero… ¿y si queremos alimentar a más población?

Deberemos (entre otas cosas) aumentar la cantidad de N asimilable en la capa superficial

… pero ¿cómo?

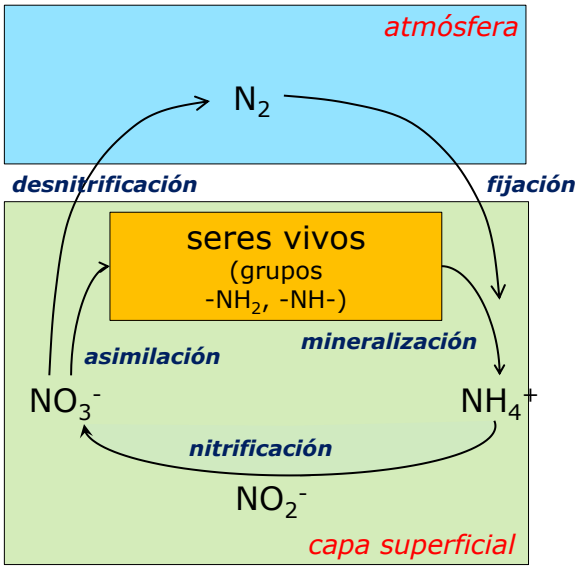


53

Asegurando la alimentación…

Para aumentar la cantidad de N asimilable en la capa superficial deberíamos…

¿ ?



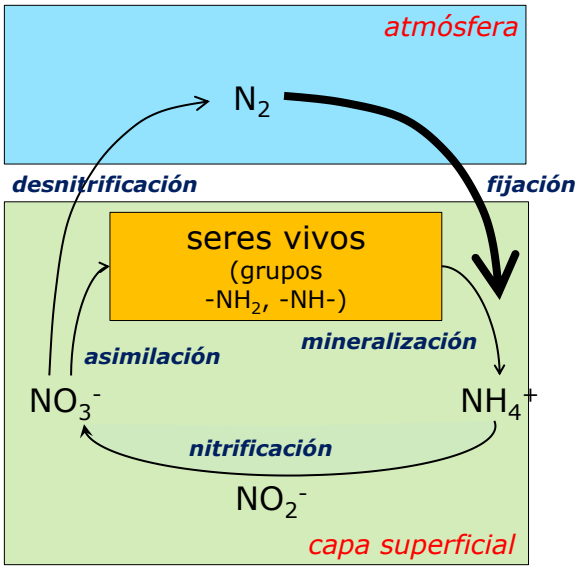
54

Asegurando la alimentación…

Para aumentar la cantidad de N asimilable en la capa superficial deberíamos…

aumentar la velocidad de fijación (por sobre la de desnitrificación).

… pero ¿cómo?



55

Un poco de historia…

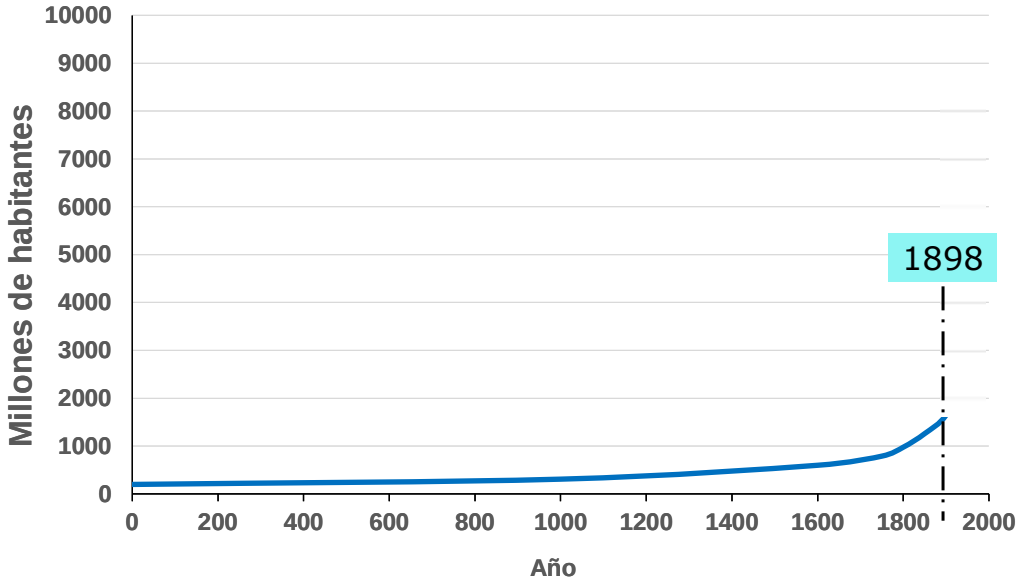
Hasta comienzos del siglo XX, las únicos acúmulos de N en formaciones naturales eran el guano (excremento de ciertas aves) de Perú y el salitre (nitratos de sodio, potasio) de Chile.

Las fuentes minerales de N son recursos "agotables".

A medida que aumentaron las necesidades humanas de derivados de nitrógeno fue cada vez más difícil depender exclusivamente de las fuentes naturales.

56

Evolución de la población mundial



57

Un poco de historia…

En 1898 el químico William Crookes en su discurso de asunción a la presidencia de la *British Science Association* afirmó que los suministros de fertilizantes de nitrógeno eran limitados…

… y que para seguir incrementando el abastecimiento de alimentos, para una población que crecía cada vez más, había que buscar otros medios para poder aprovechar la vasta reserva de nitrógeno presente en el aire.

58

The World's Wheat Supply 45 46 The World's Wheat Supply

Extracto de la presentación que hizo Crookes a sus colegas en el discurso inaugural de la reunión anual de la British Science Associaton, Bristol, 1898.

El texto completo puede verse en:
https://archive.org/stream/wheatproblembas00davigoog#page/n69/mode/2up

therefore, is one of the great discoveries awaiting the ingenuity of chemists. It is certainly deeply important in its practical bearings on the future welfare and happi-

back as 1892 I exhibited, at one of the Soirées of the Royal Society, an experiment on "The Flame of Burning Nitrogen." I showed that nitrogen is a com-

59

The fixation of atmospheric nitrogen, therefore, is one of the great discoveries awaiting the ingenuity of chemists.

The fixation of nitrogen is a question of the not far-distant future. Unless we can class it among certainties to come, the great Caucasian race will cease to be foremost in the world, and will be squeezed out of existence by races to whom wheaten bread is not the staff of life.

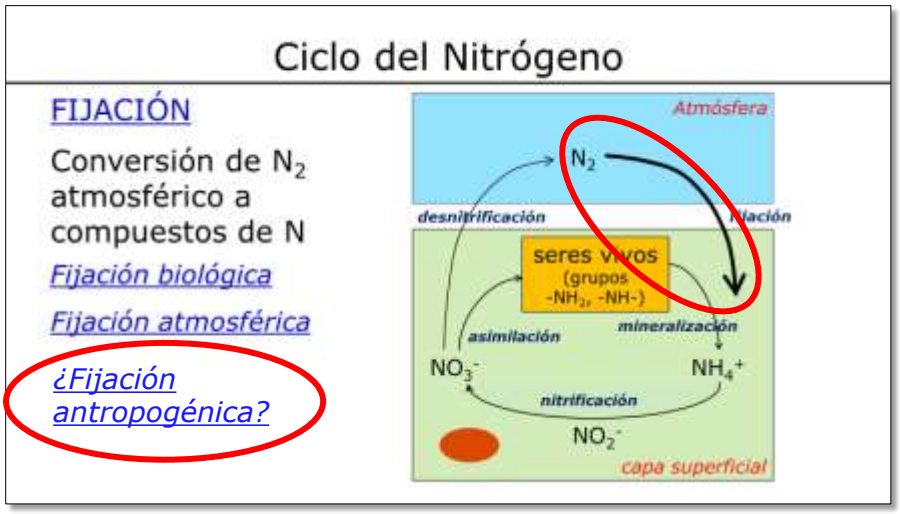
60

La fijación del nitrógeno atmosférico es, por lo tanto, uno de los mayores descubrimientos que espera al ingenio de los químicos.

A menos que podamos considerar la fijación del nitrógeno como una de las certezas venideras, la gran raza caucásica dejará de ser la más importante del mundo y será aplastada, hasta dejar de

NECESIDAD A SATISFACER

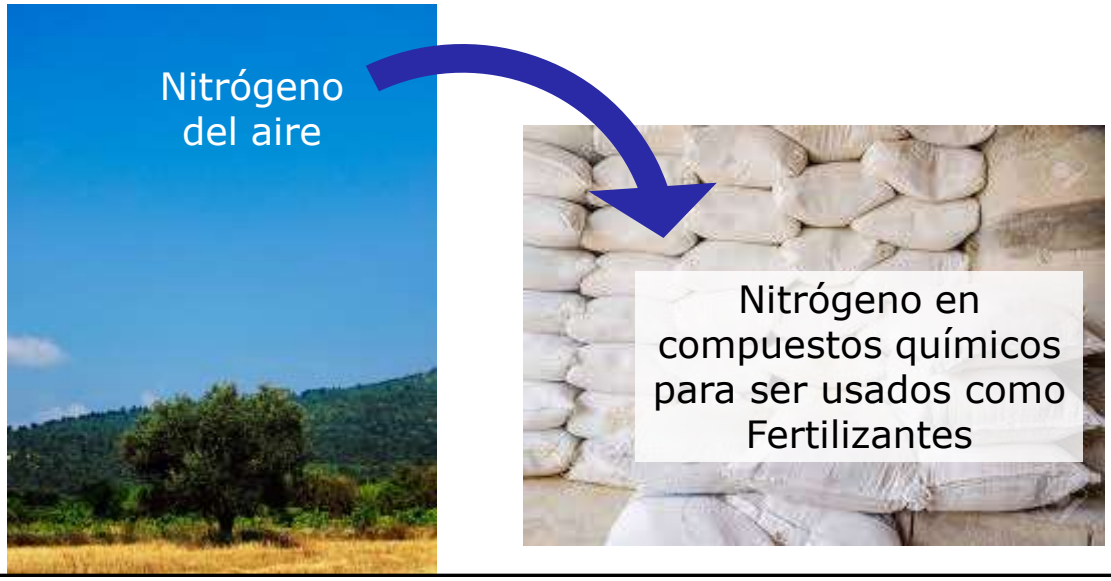
61



En otras palabras…, lo que planteaba Crookes era la necesidad de encontrar maneras para desarrollar la fijación antropogénica y así aumentar la cantidad de N reactivo disponible en la capa superficial (suelo y mares)

62

La fijación del nitrógeno atmosférico.



63

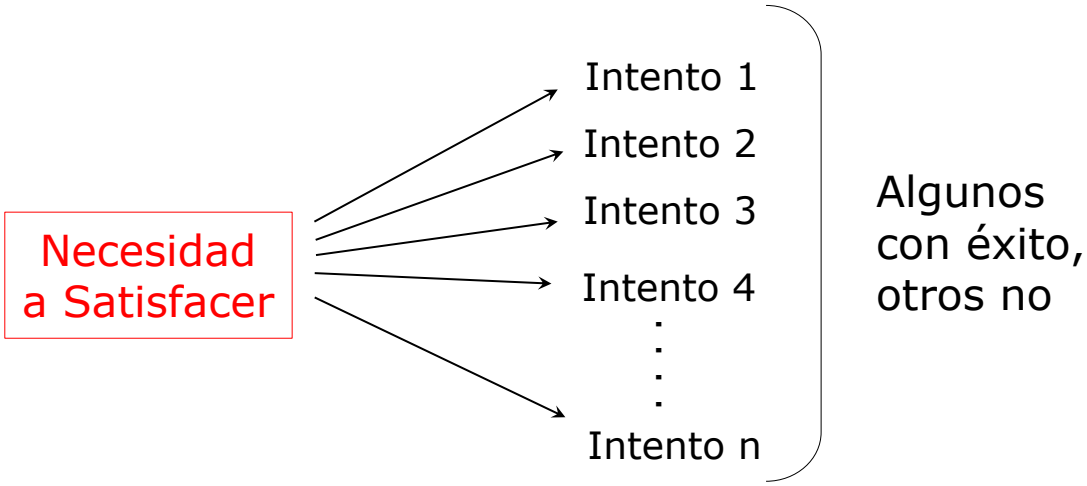
Acabamos de ver una
necesidad a satisfacer:

“fijar nitrógeno atmosférico”

64

¿Recuerdan?

65



Pueden ver y descargar pdf en *https://murray.chem.ufl.edu/pubs/paper.15.pdf*
("Nitrogen Fixation" - Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry)

66

INTENTOS DE SOLUCIÓN

Ya hablamos sobre la "Fijación atmosférica" …

Fijación atmosférica

N_2 y O_2 (del aire) + energía → 2 NO

- rayos
- incendios

Luego… NO se oxida a NO_2 (más fácilmente)

y éste a NO_3^- ó HNO_3

67

INTENTOS DE SOLUCIÓN

Ya hablamos sobre la "Fijación atmosférica" …

No resulta extraño que el primer método que se desarrolló para la fijación del nitrógeno fuera el reproducir el efecto de la "fijación atmosférica" haciendo reaccionar el nitrógeno y oxígeno que abundan (y que ya están perfectamente mezclados) en el aire (… que es la fuente más barata de ambos reactivos)

68

INTENTOS DE SOLUCIÓN

❶ **Fijarlo como ácido nítrico** (Birkeland–Eyde process,1902)

Por medio de **arco eléctrico** se produce monóxido de nitrógeno (NO)

N_2 y O_2 (del aire) + energía → NO

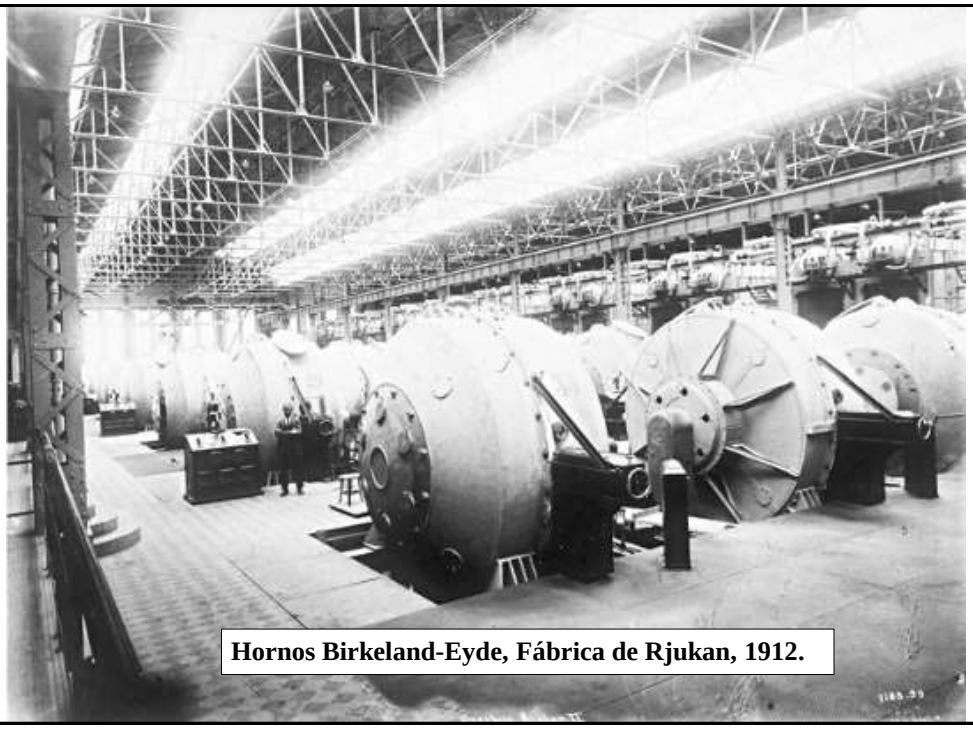
El NO es luego oxidado a NO_2 y absorbido en agua para formar ácido nítrico (HNO_3).

... pero es un proceso poco eficiente, muy caro !!!

Particularidades interesantes…

- Bikeland y Eyde eran Noruegos y aprovecharon la existencia de muchas corrientes de agua en zonas montañosas de Noruega con "saltos" que permitían generar electricidad relativamente "barata".
- La "oscura" ciudad de Rjukan (fundada por Eyde) donde se asentaron los trabajadores de su empresa Norske Hydro

69



Hornos Birkeland-Eyde, Fábrica de Rjukan, 1912.

70

INTENTOS DE SOLUCIÓN

❷ **Fijarlo como cianamida** (Frank - Caro, 1906)

Se parte de carbón y cal (CaO) que a altas temperaturas (> 2000 ºC) reaccionan para dar CaC2 (carburo de calcio). Éste se hace reaccionar con N_2 para obtener $CaCN_2$ (cianamida de calcio) que puede usarse directamente como fertilizante o para obtener otros compuestos de N:

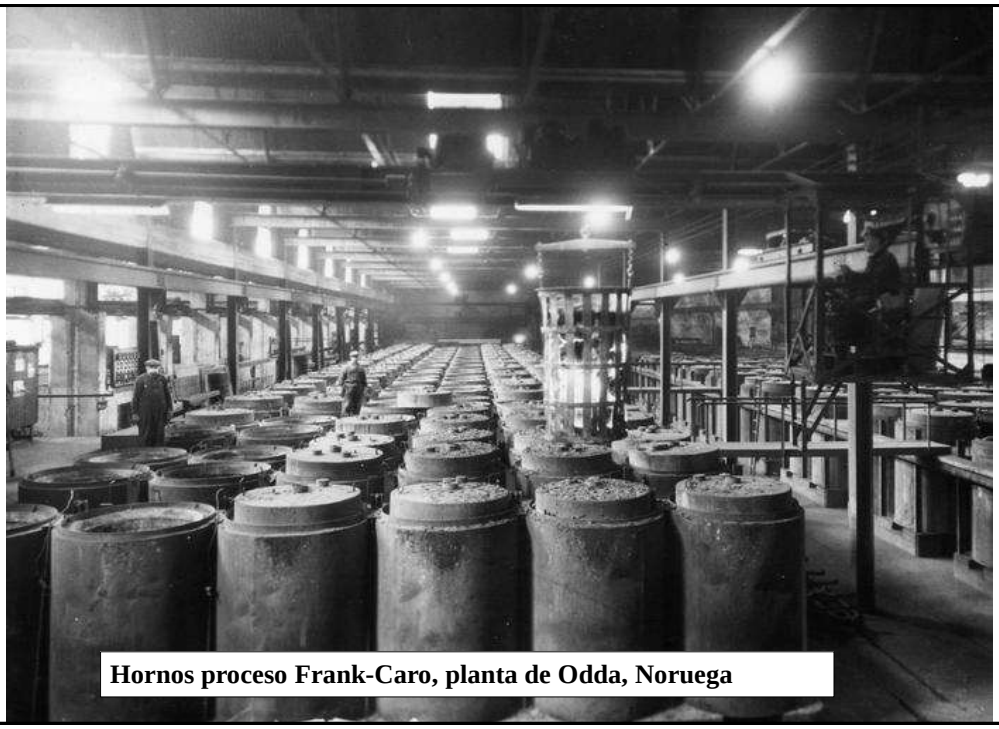
$$CaCN_2 + 3\ H_2O \rightarrow 2\ NH_3 + CaCO_3$$

… menos consumo de energía que el método del NO, pero también es un proceso poco eficiente y caro

Particularidades interesantes…

- El carburo de calcio se fabricaba desde antes (de Frank-Caro) pero la reacción con N_2 del aire se había intentado sin éxito por investigadores que la calificaron de imposible
- Las condiciones para la reacción del CaC_2 con N_2 fueron descubiertas por Frank y Caro, buscando obtener cianuros, para ser usados en la lixiviación de mineral de oro.

71



Hornos proceso Frank-Caro, planta de Odda, Noruega

72

INTENTOS DE SOLUCIÓN

❸ **Fijarlo como amoníaco** (Haber - Bosch, 1913)

Se hace reaccionar N_2 con H_2 (obtenido del agua o de hidrocarburos)

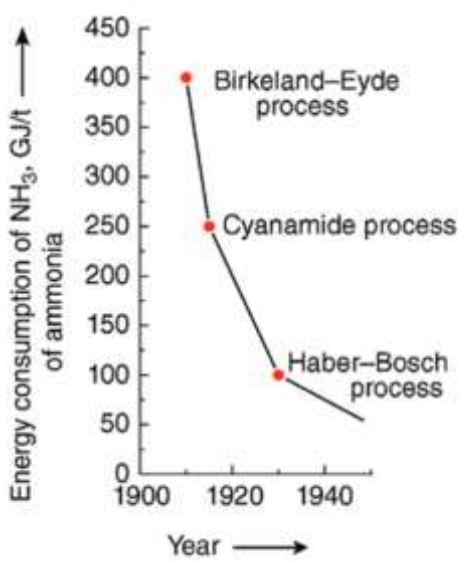
$$N_2 + 3\ H_2 \rightarrow 2\ NH_3$$

... menos consumo de energía y más limpio que los anteriores.

Pasado el período de desarrollo se convirtió por lejos en el método más difundido (y que se sigue usando aún hoy)

Particularidades interesantes…
(Dedicaremos una clase a ver algunas)

73



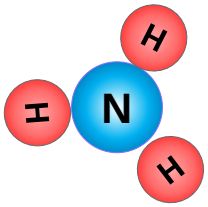
Comparación del consumo de energía para la fabricación de NH_3 por distintos métodos.

Fuente: https://murray.chem.ufl.edu/pubs/paper.15.pdf

74

Peculiaridades de la reacción de obtención de amoníaco

La fórmula del amoníaco es NH_3



Podríamos sintetizarlo haciendo reaccionar…

… Hidrógeno y Nitrógeno.

La ecuación que representa la reacción química:

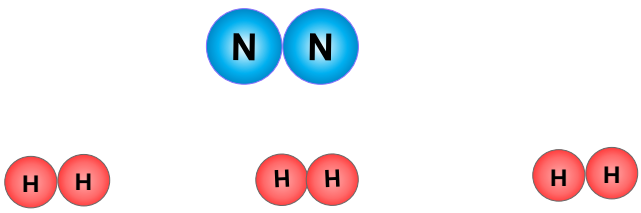
$$N_2(g) + 3H_2(g) \rightarrow 2\,NH_3(g)$$

75

Peculiaridades de la reacción de obtención de amoníaco

$$N_2(g) + 3H_2(g) \rightarrow 2\,NH_3(g)$$

Para que las moléculas reaccionen…



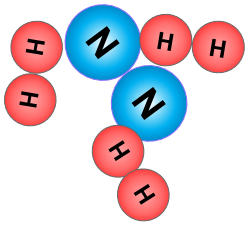
… deben ponerse en contacto.

76

Peculiaridades de la reacción de obtención de amoníaco

$$N_2(g) + 3H_2(g) \rightarrow 2\,NH_3(g)$$

Para que las moléculas reaccionen…



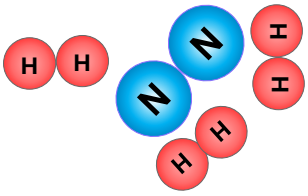
… no alcanza con que choquen!

77

Peculiaridades de la reacción de obtención de amoníaco

$$N_2(g) + 3H_2(g) \rightarrow 2\,NH_3(g)$$

Para que las moléculas reaccionen…



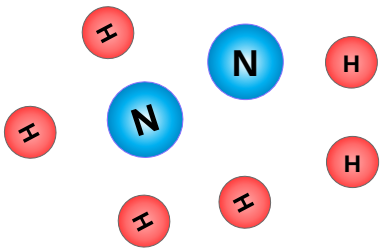
Primero, se deberían romper los enlaces entre los átomos de H, y entre los átomos de N,..

78

Peculiaridades de la reacción de obtención de amoníaco

$$N_2(g) + 3H_2(g) \rightarrow 2\,NH_3(g)$$

Para que las moléculas reaccionen…



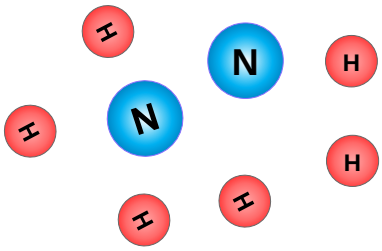
Primero, se deberían romper los enlaces entre los átomos de H, y entre los átomos de N,..

79

Peculiaridades de la reacción de obtención de amoníaco

$$N_2(g) + 3H_2(g) \rightarrow 2\,NH_3(g)$$

Para que las moléculas reaccionen…

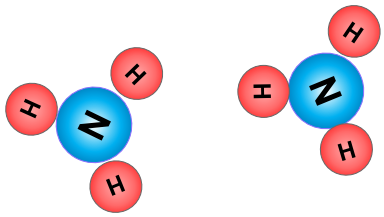


… y luego, se deberían unir los átomos de N e H para formar moléculas de NH_3

80

Peculiaridades de la reacción de obtención de amoníaco

$$N_2(g) + 3H_2(g) \rightarrow 2\,NH_3(g)$$



… y luego, se deberían unir los átomos de N e H para formar moléculas de NH_3

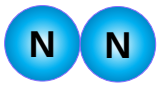
81

Peculiaridades de la reacción de obtención de amoníaco

Romper la molécula H_2 es relativamente fácil.

Pero la molécula N_2 es químicamente muy estable.

Romper el triple enlace N≡N exige mucha energía (muy alta energía de activación).



… y si la molécula de N_2 no se rompe, no hay reacción!

De hecho, la velocidad de la reacción química a temperatura ambiente es casi nula (imperceptible).

82

Peculiaridades de la reacción de obtención de amoníaco

$$N_2\,(g) + 3\,H_2\,(g) \rightarrow 2\,NH_3\,(g)$$

- Debido a la alta energía de activación, para lograr velocidades de reacción significativas ayudaría el trabajar a altas temperaturas.
- Sin embargo, la reacción es reversible; se llega a un equilibrio.

Durante años, varios intentos de combinar Nitrógeno e Hidrógeno fallaron, llevando incluso a pensar a algunos que era imposible obtener NH_3 más allá de algunas trazas.

83

Peculiaridades de la reacción de obtención de amoníaco

$$N_2\,(g) + 3\,H_2\,(g) \leftrightarrows 2\,NH_3\,(g)$$

- Debido a la alta energía de activación, para lograr velocidades de reacción significativas ayudaría el trabajar a altas temperaturas.
- Sin embargo, la reacción es reversible; se llega a un equilibrio. Y por ser una reacción exotérmica, a mayor temperatura el equilibrio se desplaza hacia la izquierda.
- Trabajando a altas presiones el equilibrio se desplaza hacia la derecha.
- El uso de catalizadores reduce la energía de activación pues facilita la ruptura de los enlaces de nitrógeno y permite que la velocidad de reacción sea razonable para encarar un proceso "rentable" a gran escala.

84

La contribución de Fritz Haber

Encontrar una forma para hacer factible la síntesis de amoníaco.

- ✓Uso de altas temperaturas 500 ºC
- ✓Uso de altas presiones 150 bar
- ✓Uso de catalizador

85

El diseño experimental de Fritz Haber – Le Rosignol

86

Fritz Haber

El trabajo de Haber permitió llevar a cabo una reacción química con grados de conversión razonables para producción industrial y cuya disponibilidad significó un gran avance para la humanidad.

A Haber se le otorgó el Nobel de Química en 1919 por esto.

Pero a este proceso de obtención de NH_3 se lo conoce como el " Proceso Haber - Bosch "

87

necesidad a satisfacer

↓

producto de interés (idea)

↓

desarrollo de método de obtención (a pequeña escala)

hasta acá llegó Haber

88

Este reactor producía 120 ml de amoníaco por hora de forma continua!

… pero necesitamos varios miles de ton por día !!!

89

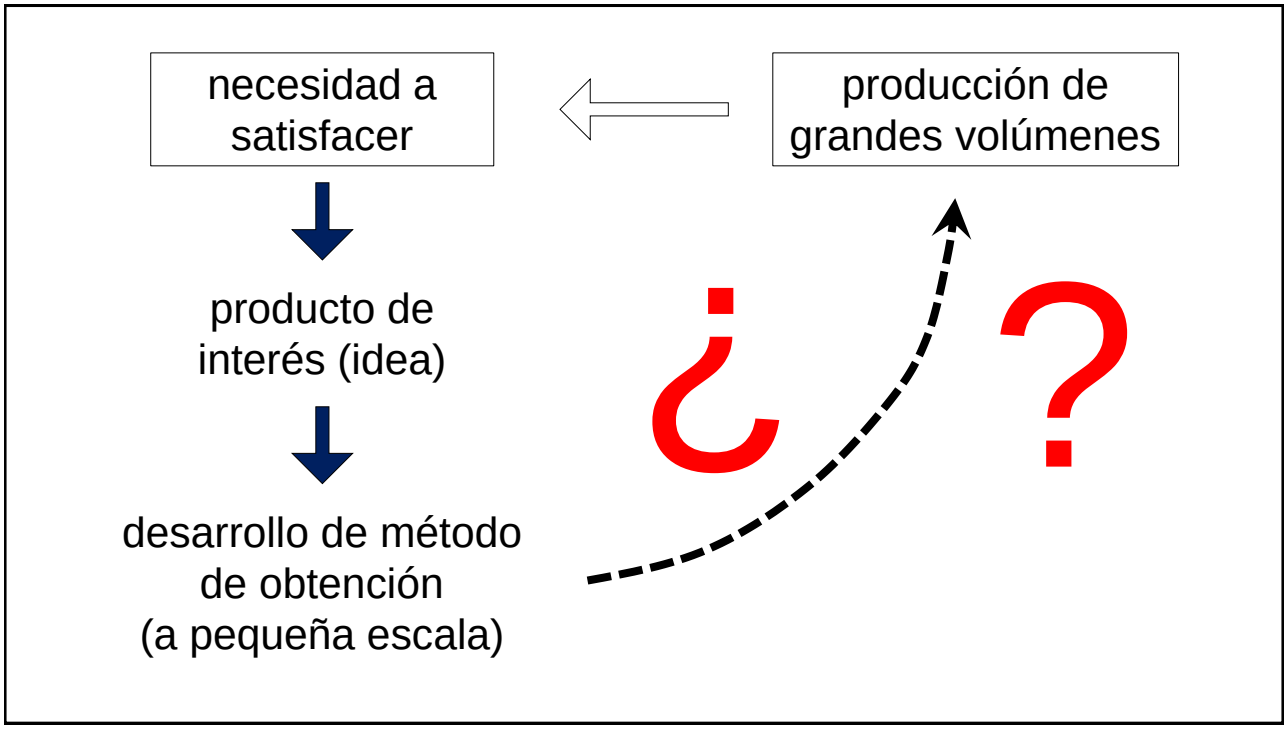
Proceso Haber - Bosch

Fritz Haber

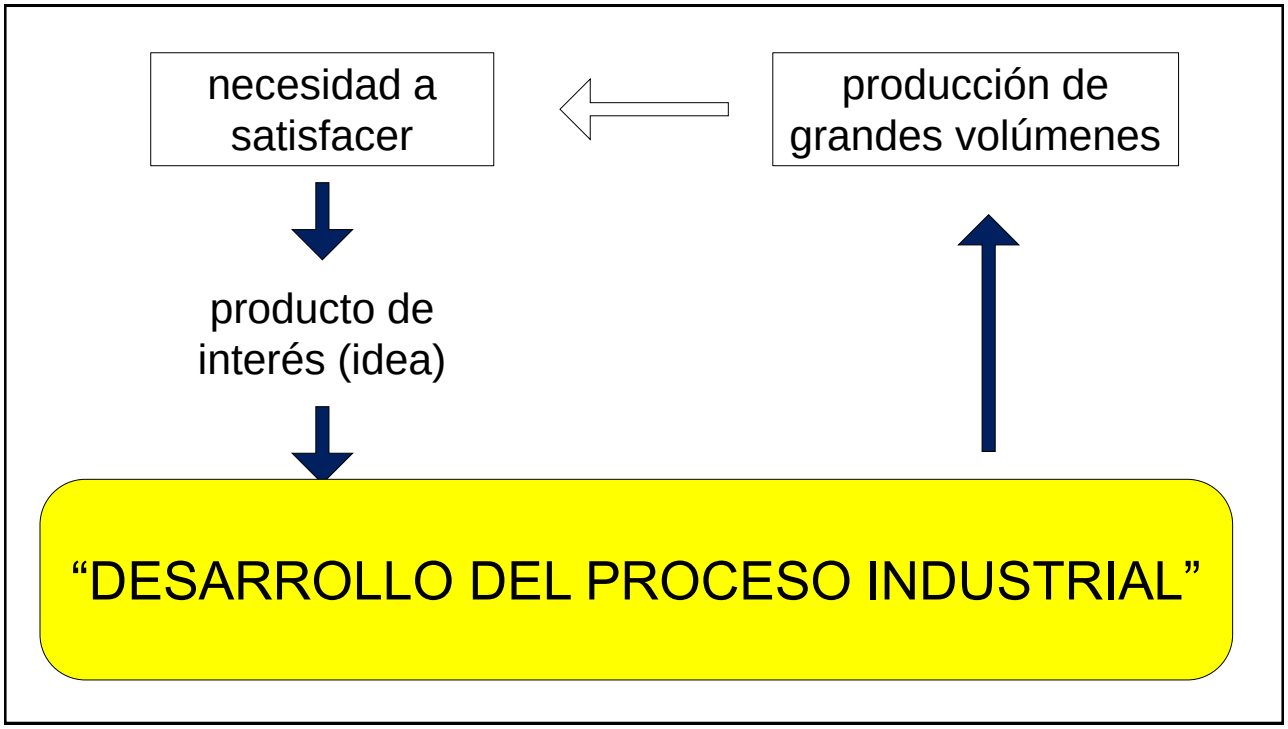
Carl Bosch

¿cuál fue la contribución de Bosch?

90


necesidad a satisfacer
producción de grandes volúmenes
producto de interés (idea)
desarrollo de método de obtención (a pequeña escala)
¿
?

91


necesidad a satisfacer
producción de grandes volúmenes
producto de interés (idea)
"DESARROLLO DEL PROCESO INDUSTRIAL"

92

Proceso Haber - Bosch

Fritz Haber

Carl Bosch

La contribución de Bosch fue convertir el método de Haber en un proceso de fabricación a escala industrial.

A Bosch se le otorgó el Nobel de Química en 1931 por su contribución a los procesos de transformación de alta presión.

93

"Desarrollo de proceso"

En pequeña o gran escala, la "esencia" del proceso de transformación no cambia.

Pero el llevar el proceso a gran escala tiene varias implicancias que exigen resolver una gran cantidad de "problemas" diferentes.

El pasaje de la pequeña escala a la gran escala no se puede hacer de cualquier manera.

94

“Desarrollo de proceso”

El pasaje de la pequeña escala a la gran escala debe asegurar que el proceso pueda hacerse:

- manteniendo los parámetros de calidad del producto
- de manera rentable
- de manera segura para los trabajadores
- de manera segura para la comunidad
- de manera segura para el medio ambiente
- de manera sostenible
- cumpliendo todas las reglamentaciones
- respetando las normas éticas
- …

95

“Desarrollo de proceso”

El pasaje de la pequeña escala a la gran escala debe asegurar que el proceso pueda hacerse:

- manteniendo los parámetros de calidad del producto
- de manera rentable
- de manera segura para los trabajadores
- de manera segura para la comunidad
- de manera segura para el medio ambiente
- de manera sostenible
- cumpliendo todas las reglamentaciones
- respetando las normas éticas
- …

Para esto nos ayudará la Ingeniería Química !!!

96

La Ingeniería Química nos ayudará a que el proceso de transformación que da lugar al producto deseado y que se estudió a pequeña escala se pueda llevar a gran escala (tomando en cuenta todas los cuidados anteriores)

97

3 litros / dia

pequeña escala

gran escala

98

Algunas cuestiones a resolver…

… para pasar de la escala de laboratorio a la escala industrial

- Diseño y construcción de equipos que soporten las altas presiones
- Mejoras en el catalizador a usar
- Uso de las fuentes de H más adecuadas

(entre otras)

99

La contribución de Carl Bosch

Una de las contribuciones de Bosch fue el desarrollo y la construcción del reactor y de los demás equipos requeridos para la puesta en marcha de la síntesis del amoniaco a gran escala.

- Reactores (para amoníaco y otros)
- Condensador/Separador
- Intercambiador/Recuperador de calor
- Compresores
- Purificadores de gases
- … entre otros

100

¿Cómo debería ser el reactor para poder obtener varias toneladas por hora?

Entre otras cosas, el reactor tiene que soportar 150 bar que es una presión alta para las presiones con las que nos topamos en nuestra vida en la superficie de la Tierra.

… y los hombres de principios del siglo XX estaban menos propensos aún a manejar esas presiones.

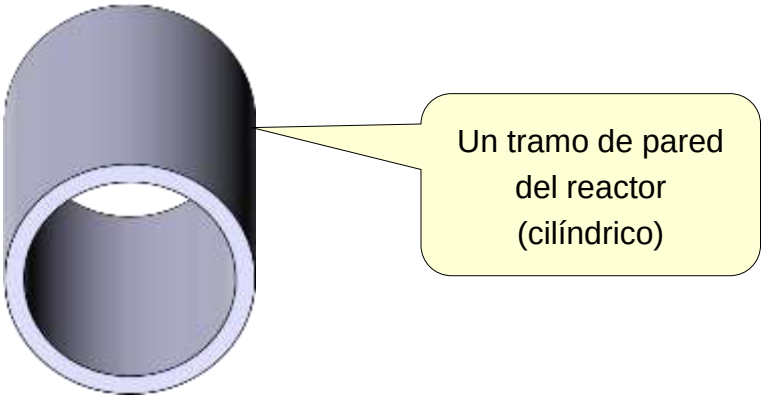
101

- Para soportar las condiciones de la reacción el reactor tiene que estar construido de un material que soporte esas altas presiones y temperaturas y que en esas condiciones sea inerte frente a los productos químicos que contendrá.
- En aquellos años se disponía de la tecnología para fabricar acero cromo-níquel (que tiene una alta resistencia mecánica, - mayor que la del acero común).
- Pero el hierro a elevadas temperatura y presión es permeable al hidrógeno. Y el hidrógeno que permea, en estas condiciones de temperatura, es capaz de eliminar al carbono con formación de hidrocarburos.
- Con esto el acero pierde resistencia y después de un cierto tiempo de funcionamiento el reactor puede rajarse y explotar.

102

Una idea…

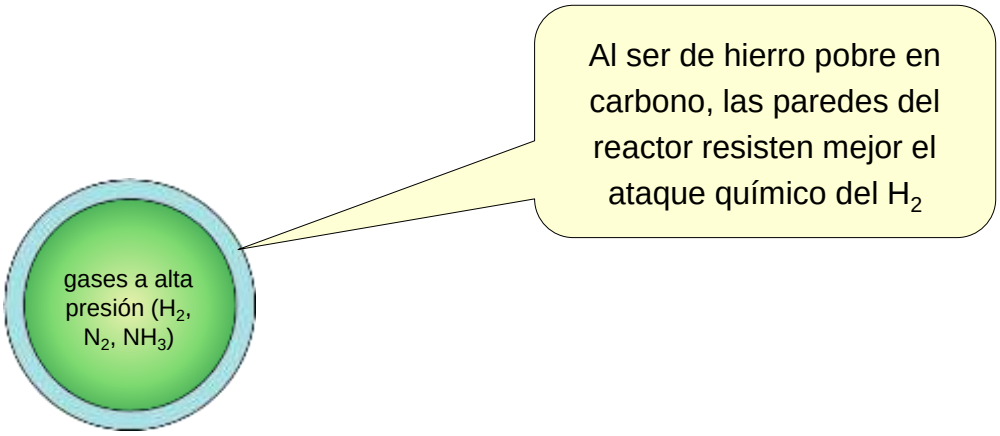
.. se construye el reactor con hierro dulce pobre en carbono (químicamente más resistente).



103

Una idea…

.. se construye el reactor con hierro dulce pobre en carbono (químicamente más resistente).

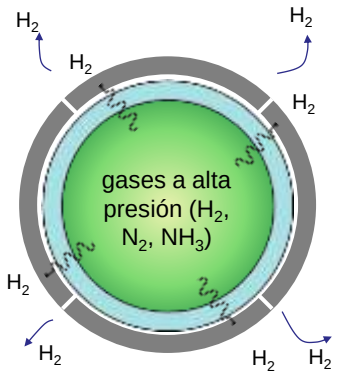


104

Una idea…

.. se construye el reactor con hierro dulce pobre en carbono (químicamente más resistente).

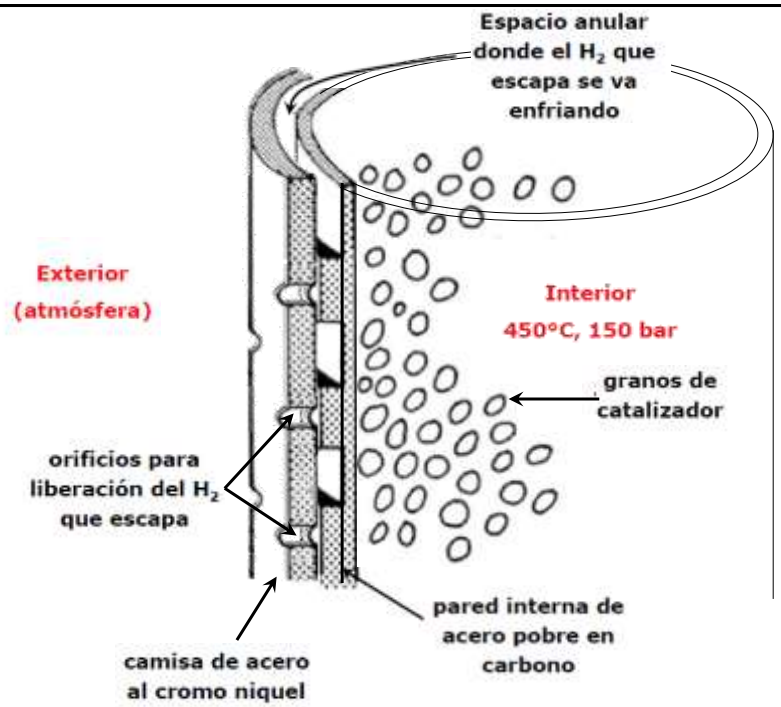
Ahora bien, este material no soporta grandes presiones ni puede evitar que el H_2 se difunda a través.



Pero estas dificultades pueden salvarse si se reviste este tubo con un segundo tubo de acero al cromo-níquel, resistente a la presión

y se procura simultáneamente que el hidrógeno que se difunda a través del primero se pueda eliminar del espacio entre ambos con facilidad y a baja presión (para así, no atacar al externo)

105



106

La contribución de Carl Bosch

Una de las contribuciones de Bosch fue el desarrollo y la construcción del reactor y de los demás equipos requeridos para la puesta en marcha de la síntesis del amoniaco a gran escala.

- Reactores (para amoníaco y otros)
- Condensador/Separador
- Intercambiador/Recuperador de calor
- Compresores
- Purificadores de gases
- … entre otros

107

La contribución de Carl Bosch

Una de las contribuciones de Bosch fue el desarrollo y la construcción del reactor y de los demás equipos requeridos para la puesta en marcha de la síntesis del amoniaco a gran escala.

Pero Bosch también contribuyó en el perfeccionamiento de los métodos industriales para la obtención y manipulación de los gases reaccionantes, hidrógeno y nitrógeno.

108

Fuentes de hidrógeno:

Al principio, cuando Bosch empezó a producir amoníaco industrialmente usó agua como fuente de H_2 y usó Carbón (coke) para "liberar" el H_2 del agua, y para separar el O_2 del N_2 del aire

$$C + H_2O \rightarrow CO + H_2$$

$$C + \text{aire} \rightarrow CO_2 + N_2 \quad \text{(sin igualar)}$$

(Luego CO y CO_2 se pueden separar con relativa facilidad de los otros gases H_2 y N_2)

109

Podemos usar Metano (en lugar de carbón)

$$CH_4 + H_2O \rightarrow CO + 3\ H_2$$

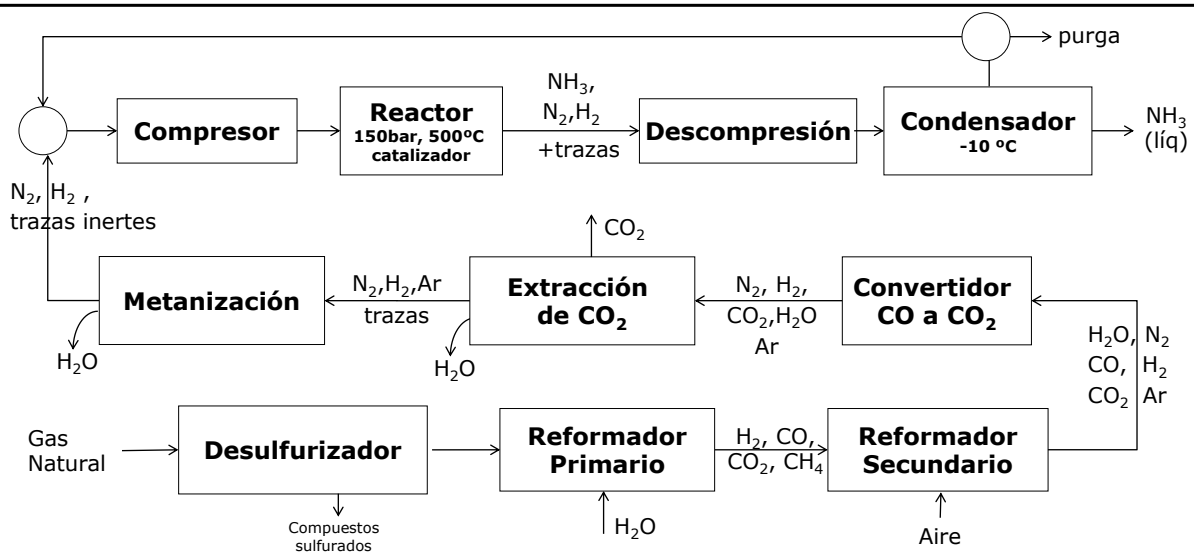
$$CH_4 + \text{aire} \rightarrow CO_2 + H_2O + N_2 \quad \text{(sin igualar)}$$

Este método de obtención del Hidrógeno (a partir de la reacción del vapor de agua con el metano) se conoce como "Steam Methane Reforming")

El Metano no se encuentra puro en la naturaleza, pero es el principal componente del gas natural (que abunda en muchos países)

110

Proceso de obtención NH_3 usando Gas Natural



111

"125 ml por hora"

1909

En unos 4 años, Bosch logró llevar la reacción química del laboratorio a una planta que produjo 8.700 ton ya en el primer año.

1913

112

Proceso Haber - Bosch

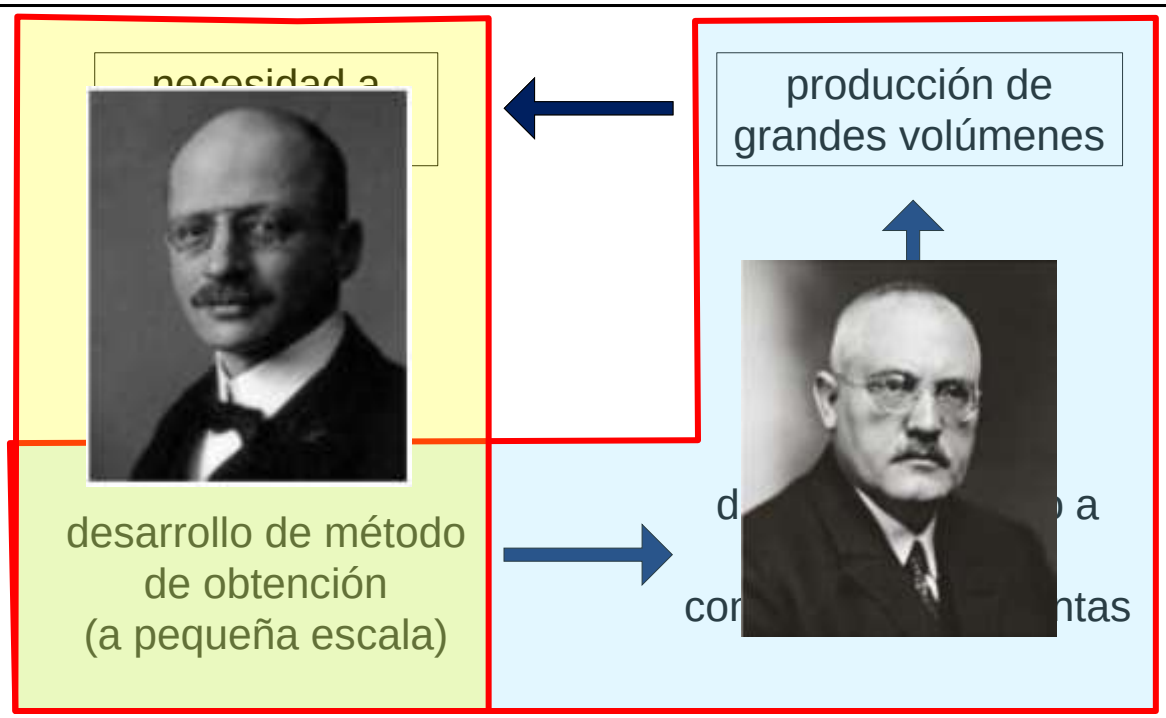
Vimos que Haber encontró las condiciones para producir la reacción y Bosch diseño el reactor a escala industrial

- ✓altas presiones 100-1000 bar
- ✓altas temperaturas 400 – 600 ºC
- ✓uso de catalizador

Hierro (magnetita) con K_2O, CaO , SiO_2 , y Al_2O_3 como promotores

En estas condiciones el grado de conversión es del orden del 25%

113



114

Desde los tiempos de Haber y Bosch la tecnología ha avanzado muchísimo.

Nuevos materiales (el reactor ya no es en dos partes), nuevos catalizadores, otras formas de obtener el H_2,…)

Artículo interesante sobre evolución del proceso: *https://www.aiche.org/resources/publications/cep/2016/september/introduction-ammonia-production*

115

116

Videos interesantes sobre el proceso y fábrica para obtención de NH_3 a partir de gas natural por el método Haber Bosch

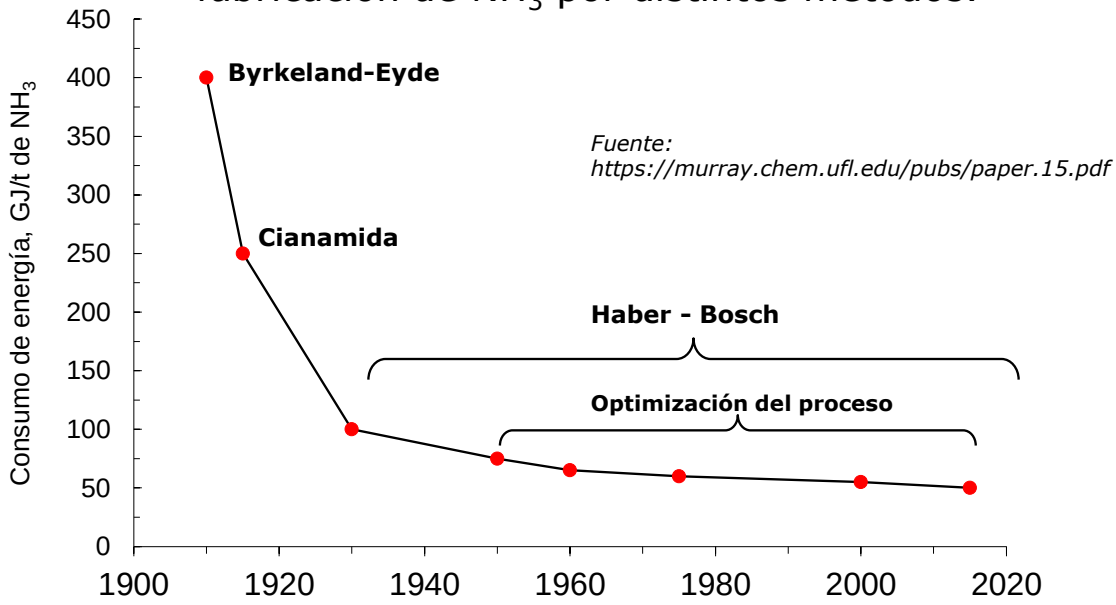
https://youtu.be/9P1iZBV-EKw?t=63 *(4:39)*

https://youtu.be/wiwl4eoHbig *(4:33)*

https://youtu.be/UPen_gbuTOE *(4:37)*

117

Comparación del consumo de energía para la fabricación de NH_3 por distintos métodos.



Fuente:
https://murray.chem.ufl.edu/pubs/paper.15.pdf

118