

# La dependencia humana de los fertilizantes nitrogenados y sus consecuencias

Fernando de la Torre y Rafael A. Cañas

Investigadores contratados. Departamento de Biología Molecular y Bioquímica. Facultad de Ciencias.

Universidad de Málaga

[fdelatorre@uma.es](mailto:fdelatorre@uma.es) [rcanas@uma.es](mailto:rcanas@uma.es)

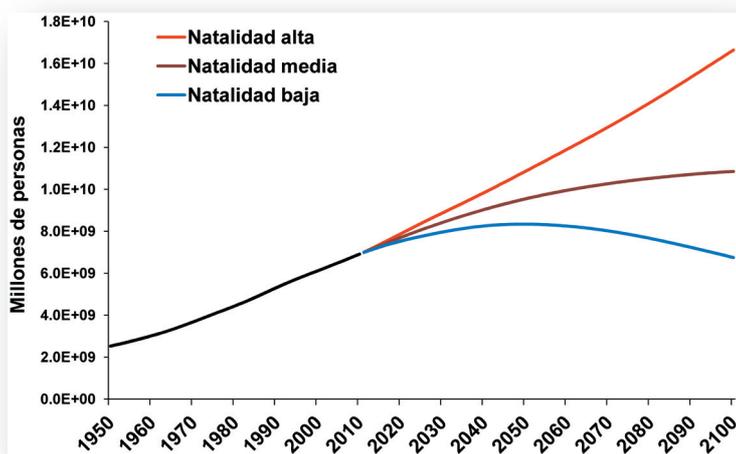
En el actual contexto demográfico, con un crecimiento desmesurado de la población mundial y un continuo incremento del nivel de vida en los países especialmente poblados, cubrir las necesidades y demandas alimenticias de la humanidad se ha convertido en un reto extraordinario. Con una proyección de natalidad media, se estima que la población mundial crecerá desde los 7.000 millones actuales a los 9.500 millones en el año 2050 (Figura 1), con lo

que las necesidades alimenticias de la población también crecerán, al menos, en la misma proporción. Dejando a un lado otros aspectos de índole diversa, podemos decir que es necesario un aumento de la producción agrícola mundial para cubrir estas futuras necesidades. En los últimos 50 años el aumento de las demandas alimenticias de la población ha podido ser cubierto gracias a la llamada "revolución verde" (RV), que se desarrolló principalmente entre 1965 y

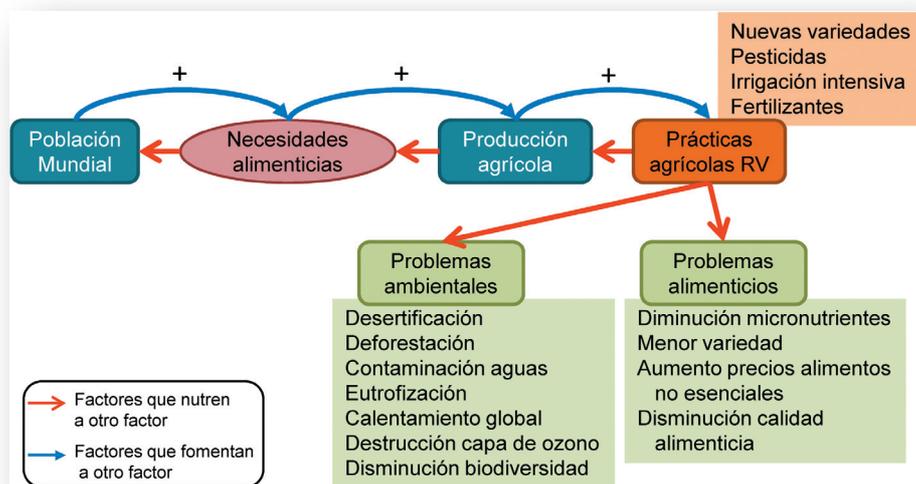
203

masiva de técnicas de cultivo y de las variedades cultivadas. Se ha mejorado extraordinariamente la irrigación, el control de las plagas mediante pesticidas y la fertilización del suelo. Esto ha permitido el aumento del rendimiento por hectárea y la producción agrícola total, lo que ha conllevado una reducción del hambre, la pobreza y ha facilitado el acceso a los alimentos a un mayor número de personas. Además, la RV ha limitado el aumento de la superficie cultivada en el mundo; sin ella la producción de alimentos sería un 20% menor en los países en desarrollo, lo que a su vez habría creado la necesidad de cultivar de 20 a 25 millones de hectáreas adicionales (Figure 2). Pero la RV también ha traído consecuencias indeseables que

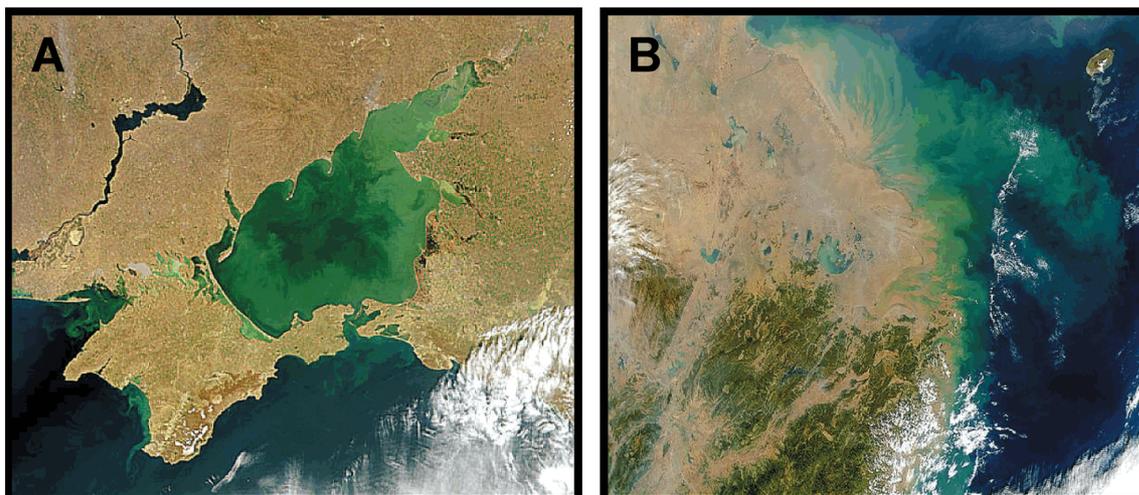
son producto de una aplicación no controlada de sus métodos. La aplicación abusiva de las técnicas de la RV y la extensión de los cultivos a zonas poco apropiadas, cuando la estrategia de la RV estaba basada en la intensificación de la agricultura en las áreas más favorables, han acarreado una serie de problemas medioambientales. Estos se pueden resumir en una excesiva captación de los recursos hídricos, la degradación



**Figura 1:** Medida de la población mundial hasta 2012 y proyecciones de la población mundial hasta 2100. Datos de World Population Prospects: The 2012 Revision, Naciones Unidas, <http://esa.un.org/unpd/wpp/index.htm>



**Figura 2:** Esquema del flujo de producción de alimentos causado por el aumento de la población humana y algunas de sus consecuencias.



**Figura 3:** Fotografías tomadas por la NASA desde un satélite de la eutrofización en el mar de Azov (A) y en la desembocadura del río Yangtze (B). A mayor color verde mayor proliferación de algas debido al proceso de eutrofización.

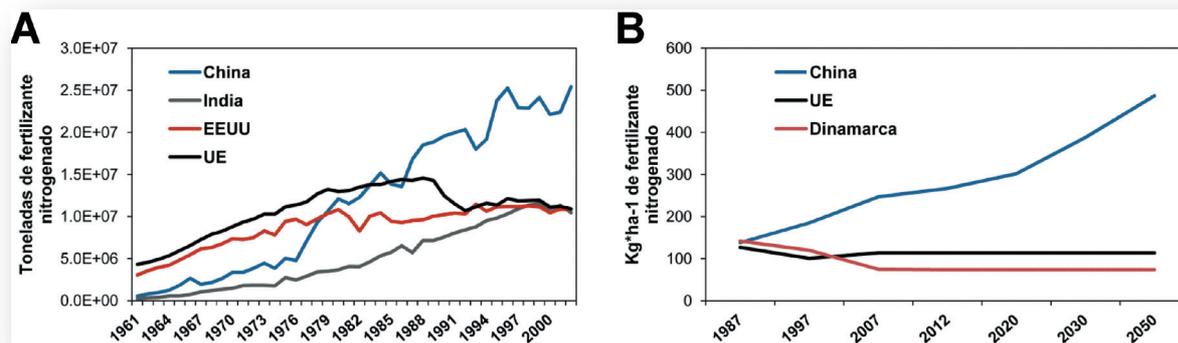
del suelo y la contaminación de las aguas subterráneas por productos químicos (1).

El uso adecuado de fertilizantes es uno de los mayores retos a los que se enfrenta la agricultura en la actualidad. Si bien los fertilizantes promueven el crecimiento y la producción de los cultivos, en exceso son responsables de graves problemas ambientales como la emisión de gases de efecto invernadero, daños a la capa de ozono (nitrito principalmente), así como la acidificación y contaminación del suelo y subsecuentemente de las aguas, lo que provoca procesos de eutrofización (Figura 3). Esto ha contribuido, además, a la reducción de la biodiversidad y al malfuncionamiento de los ecosistemas no agrícolas. Por otra parte los fertilizantes también representan el mayor coste asociado a la producción de muchos cultivos, lo que aumentará a medida que disminuyan los recursos para la síntesis de los fertilizantes.

La mayoría de los fertilizantes que se emplean hoy en día son ricos en formas inorgánicas de nitrógeno (N), fundamentalmente nitrato y amonio, ya que el N es uno de los mayores elementos limitantes para el crecimiento de las plantas. El N es un macronutriente que forma parte de las principales moléculas orgánicas: ácidos nucleicos, proteínas, y también clorofilas en los vegetales. Su participación en el metabolismo de las plantas es tan importante que la asimilación de carbono en la fotosíntesis está limitada por la disponibilidad de N. Por todo esto, el estudio del metabolismo del N (captación, asimilación y gestión) en las plantas se ha convertido en un tema fundamental para la poder conseguir una agricultura más "sostenible". Así, en el año 2009 *The Economist* publicó un

artículo donde se asimila la mejora de la eficiencia del uso del N de los cultivos (NUE, en inglés) a una nueva RV (2). La NUE es un carácter agronómico cuantificable que incluye la captación y la asimilación y gestión del N por parte de un cultivo encaminado a la producción, por ejemplo, de grano o biomasa. Simplificando podríamos decir que es el cociente entre la producción del cultivo y la cantidad de N suministrado. La NUE es muy dependiente del genotipo y, fundamentalmente, de la interacción del genotipo con el medio. Una misma variedad de cultivo puede tener comportamientos muy diferentes dependiendo de los niveles de fertilización. Variedades con excelentes rendimientos en entornos con bajos niveles de N pueden no ser convenientes para suelos ricos en N (3).

Por otra parte, se ha comprobado que el uso de fertilizantes nitrogenados ha alcanzado su máxima eficacia. Añadir más fertilizante del que se viene usando sobre las actuales variedades de cultivo no aumenta su producción agrícola. De hecho, en la Unión Europea se ha estancado el uso de fertilizantes sin una disminución de la producción. Incluso hay países como Dinamarca o Japón que han conseguido mantener la producción disminuyendo el aporte de fertilizantes al suelo (Figura 4) (4). Esto no ha sucedido aún en países en desarrollo, en los que la cantidad de fertilizantes nitrogenados aportados al suelo es mucho mayor de la necesaria para alcanzar una producción óptima: este es el caso de China, donde se podría disminuir su uso entre un 30% o un 50% sin una pérdida apreciable de producción. La reducción en el aporte de N se puede llevar a cabo gracias al uso de técnicas agrícolas conocidas como "buenas prácticas

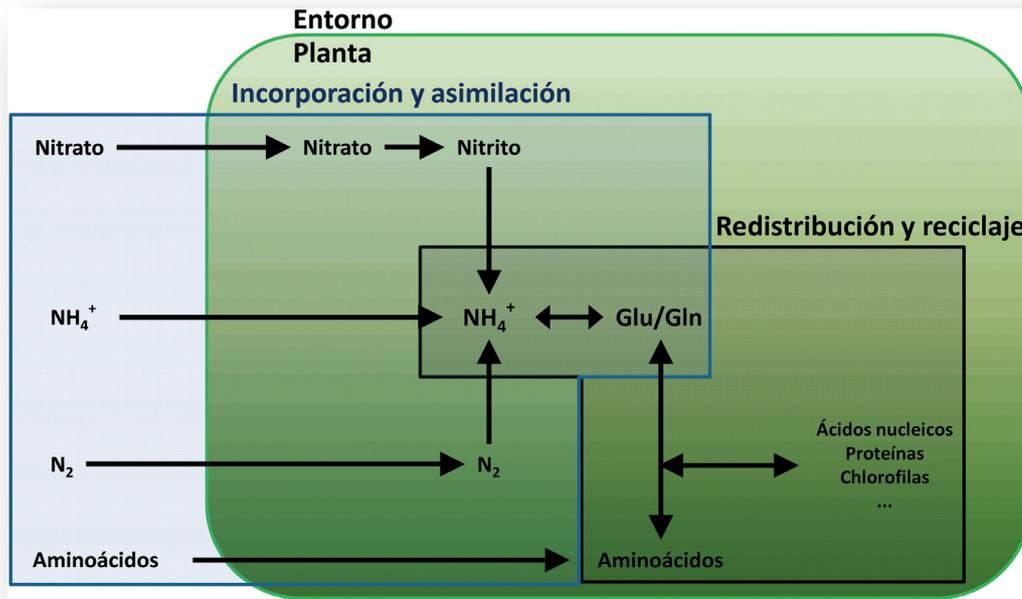


**Figura 4:** Consumo de fertilizante en los principales países consumidores (A) y consumo por hectárea en la UE, Dinamarca y China (B).

de manejo de nutrientes” (BNMPs en inglés). Estas se pueden resumir en cuatro tipos principales: la fuente de N, la cantidad, el tiempo y el lugar adecuados. Un ejemplo es la monitorización del estado nutricional de los cultivos mediante estimaciones en tiempo real gracias a la teleobservación de la luz visible reflejada desde el dosel vegetal en imágenes hiperespectrales obtenidas por satélite, que permiten un seguimiento espacial y temporal de la cantidad de N en hojas. Esto permite optimizar el aporte de N a un campo de cultivo. Otra técnica alternativa es el cultivo conjunto de plantas no fijadoras de N atmosférico con especies fijadoras para incrementar el contenido de N del suelo (3,4), que es una práctica tradicional todavía se mantiene en regiones como Asturias, donde existen lugares en los que se cultiva en el mismo campo maíz con habas (fabes).

A pesar de todo, la dinámica poblacional del planeta hace que estas prácticas sean necesarias pero insuficientes para cubrir las futuras necesidades alimenticias. Esto es debido a que no permitirían un incremento de la producción, que quedaría estancada con las actuales variedades de cultivo. Por ello es necesario un mayor esfuerzo en la obtención de nuevas variedades con una mayor producción y una NUE mejorada. En este sentido, se han hecho avances mediante mejora genética clásica (cruce y selección) de nuevas variedades, principalmente sobre los cereales más cultivados (arroz, maíz y trigo). El resultado suelen ser variedades que presentan un incremento en su NUE gracias a una mayor producción, pero que no presentan incrementos en la concentración de N interna (4). Aunque se hayan venido cosechando éxitos gracias a la mejora genética clásica, existe el convencimiento de que estas técnicas están alcanzando su apogeo y no se esperan grandes avances en la aplicación de esta tecnología en un futuro próximo.

Por ello, se están haciendo intentos por obtener nuevas líneas gracias a las modernas técnicas de mejora genética, organismos genéticamente modificados (OGM, transgénicos). Así, se ha pensado que conocer las funciones y las relaciones de las enzimas directamente encargadas del transporte, asimilación y gestión del N en las plantas podría facilitar la comprensión de la NUE y por lo tanto seleccionar los genes adecuados para la generación de transgénicos con una NUE mejorada (Figura 5). En este sentido, se han hecho diversos estudios sobre transgénicos para los principales genes del metabolismo del nitrógeno desde su captación del suelo hasta su asimilación y reciclaje (3). Muy esperanzador fue el resultado obtenido por el Profesor Allen Good con transgénicos de arroz para un gen que codifica la alanina aminotransferasa (AlaAT, EC: 2.6.1.2) (5). Pero este resultado no ha podido ser llevado finalmente a una línea comercial como confirmó en 2011 en un *Workshop* de la UNIA en Baeza (*Nitrogen use efficiency in plants: toward models of sustainable agriculture*). Parece ser que el efecto sobre la NUE sólo es observable en determinados fondos genéticos y en las variedades e híbridos usados comercialmente no se ha podido tener un resultado satisfactorio. También se han obtenido buenos resultados con genes codificantes para la glutamina sintetasa (GS, EC: 6.3.1.2), que es la enzima responsable de la asimilación del N inorgánico en las moléculas orgánicas, pero también del reciclaje del N liberado en forma de amonio en diversos procesos metabólicos como la fotorrespiración o la síntesis de lignina. Por ello estos transgénicos presentan mayor producción de grano en plantas de cultivo como el maíz o de biomasa en árboles de interés maderero como el chopo (3). A pesar de ello no se han llegado a comercializar líneas transgénicas de estas plantas.



**Figura 5:** Esquema simplificado de la captación y gestión del nitrógeno en una planta.

206

En conclusión, podemos decir que, ante las apocalípticas perspectivas que se ciernen sobre la humanidad tanto desde el punto de vista alimenticio como medioambiental, se han de tomar una serie de medidas para mejorar la producción de los cultivos. Junto con unas mejores

prácticas agrícolas para limitar el uso de fertilizantes nitrogenados se han de obtener variedades de cultivo con mejores rendimientos y NUE en una huida hacia delante hasta que se establezca o se reduzca la población humana

#### Bibliografía citada:

- (1) Pingali PL. Green revolution: impacts, limits, and the path ahead. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 109:12302-12308, 2012.
- (2) Ridley M. The new NUE thing. Nitrogen-use efficiency, the next green revolution. *The Economist*. The World in 2010. <http://www.economist.com/node/14742733>, 2009.
- (3) Xu G, Fan X, Miller AJ. Plant nitrogen assimilation and use efficiency. *Annu Rev Plant Biol*. 63:153-182, 2012.
- (4) Good AG, Beatty PH. Fertilizing nature: a tragedy of excess in the commons. *PLoS Biol*. 9:e1001124, 2011.
- (5) Shrawat AK, Carroll RT, DePauw M, Taylor GJ, Good AG. Genetic engineering of improved nitrogen use efficiency in rice by the tissue-specific expression of alanine aminotransferase. *Plant Biotech J* 6:722-732, 2008.