

# Los límites del planeta hoy día

*Rafael Yus Ramos*  
(GENA-Ecologistas en acción)

En estos días se ha estado sometiendo a información pública el Anteproyecto de Ley Andaluza del Cambio Climático. En este documento la Junta de Andalucía explica un programa de acciones. La lectura de este documento me ha hecho plantearme algunos reparos: a) Esta Ley parece diseñada más para “adaptarse” al cambio climático que para “luchar” contra el cambio climático; b) Ante un problema global como el cambio climático se necesita una política mundial. Al fracaso de los sucesivos intentos de compromisos desde Kyoto se unen políticas como la española que atomizan el problema en las diferentes autonomías, se atomiza aún más, incluso alcanzando niveles de incongruencia y contradicción, por lo que hoy más que nunca, los problemas globales deberían superar los límites territoriales políticos y establecer directrices de obligado cumplimiento por todas las autonomías (ej. la contaminación por el tráfico), aunque sin duda cada autonomía debe gestionar estas medidas en su ámbito legislativo y c) El cambio climático, con ser un gran problema ambiental con el que se tiene que enfrentar la Humanidad, sólo es uno de los grandes problemas planetarios. Respecto a esto último, para abrir un poco la perspectiva de la problemática ambiental a escala global, me parece oportuno resumir lo más significativo de un estudio realizado por Rockström *et al.* (2009) sobre **los límites del planeta**

## Los problemas del Antropoceno

Es incuestionable que las actividades humanas influyen en el clima de la Tierra y en los ecosistemas. Desde el comienzo de la industrialización, la Tierra ha entrado en una nueva época: el **Antropoceno**, donde los seres humanos constituyen el vector dominante de cambio del Sistema Tierra. El crecimiento exponencial de las actividades humanas está aumentando la preocupación de que la presión adicional sobre el Sistema Tierra podría desestabilizar los sistemas biofísicos críticos y disparar cambios ambientales abruptos o irreversibles que podrían deteriorar o incluso ser catastróficos para el bienestar humano. Esto es un profundo dilema porque el paradigma dominante de desarrollo social y económico sigue siendo ampliamente inconsciente del riesgo de los desastres ambientales inducidos por el ser humano a escalas continental a planetaria.

Rockström *et al.* (2009) acuñaron el concepto de **límites planetarios**, para estimar un **espacio operativo seguro** para la humanidad respecto del funcionamiento del Sistema Tierra. En este sentido, los autores entienden que la humanidad se enfrenta actualmente a un **cambio inaceptable** en relación con los riesgos con que se enfrenta la humanidad, en el tránsito del planeta desde el Holoceno al Antropoceno. El medio relativamente estable del Holoceno, el actual periodo interglaciar que empezó hace 10.000 años, permitió desarrollar y florecer la agricultura y las sociedades complejas, incluida la presente. Esta estabilidad indujo a los seres humanos, por primera vez, invertir en gran medida en su medio natural más que meramente explotarlo. Ahora hemos llegado a ser tan dependientes de dichas inversiones para nuestra forma de vida, y cómo hemos organizado la sociedad, las tecnologías y la economía en torno a ella, que debemos abordar la medida en que han variado los procesos del Sistema Tierra durante el Holoceno, como un punto de referencia científico para un estado planetario deseable.

A pesar de algunas fluctuaciones ambientales naturales a lo largo de los últimos 10.000 años (ej. patrones de lluvia, distribución de la vegetación, ciclo del nitrógeno), la Tierra se ha mantenido dentro del dominio de estabilidad del Holoceno. La resiliencia del planeta se ha mantenido dentro del rango de variación asociado al estado del Holoceno, con parámetros biogeoquímicos y atmosféricos fluctuando dentro de un rango relativamente estrecho (Fig.1). Al mismo tiempo, cambios marcados en la dinámica sistémica regional se han producido en este periodo. Aunque la huella de la actividad de la humanidad primitiva puede a veces ser vista a escala regional (ej. regímenes de incendios, extinciones de la megafauna), no hay una evidencia clara de que los humanos hayan afectado al funcionamiento del Sistema Tierra a escala global, hasta muy recientemente. Sin embargo, desde la revolución industrial (el advenimiento del Antropoceno) los seres humanos estamos golpeando efectivamente al planeta fuera del rango de variabilidad del Holoceno en muchos procesos sistémicos terrestres claves. Sin tales presiones, el estado del Holoceno puede mantenerse durante miles de años en el futuro.

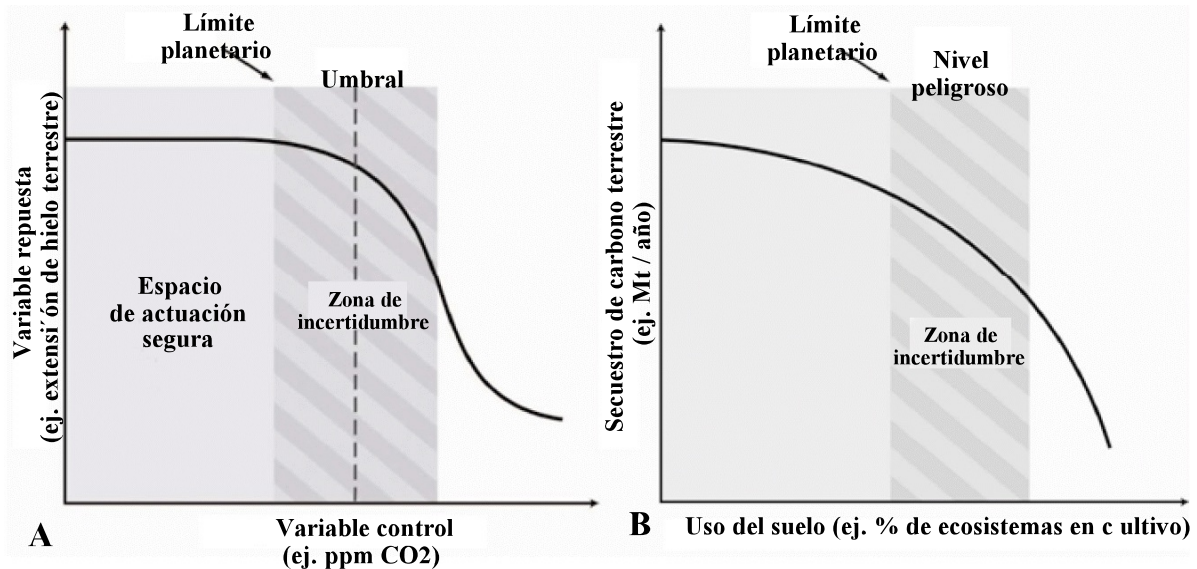
De este modo, el Antropoceno plantea una nueva cuestión: *¿Cuáles son las precondiciones planetarias no negociables que la humanidad necesita respetar con objeto de evitar el riesgo de deterioro o incluso cambio desastroso en el medio ambiente a escalas continental a planetaria?* Para responder a esta cuestión hay que identificar límites planetarios para los procesos clave del Sistema Tierra, asociados con umbrales peligrosos, cuyo sobrepasamiento empujaría al planeta Tierra fuera del estado deseado del Holoceno.

### Concepto de límites planetarios

Los **umbrales** son definidos aquí como transiciones no lineales en el funcionamiento del acoplamiento entre sistemas ambientales y humanos, tales como el retroceso abrupto reciente del hielo ártico, causado por el calentamiento global de origen antropogénico. Los **límites** son características intrínsecas de dichos sistemas y a menudo son definidos por una posición a lo largo de una o más variables control (Fig. 1), tales como la temperatura y su efecto en el albedo de hielo, en el caso del hielo marino. Algunos procesos del Sistema Tierra, tales como el cambio en el uso de la tierra, no están asociados con umbrales conocidos a escala continental a global, pero pueden causar colapsos funcionales, generando retroacciones que disparen o aumenten la probabilidad de hacerlo en un umbral global en otros procesos (tales como el cambio climático) (Fig.1B). Tales procesos pueden, sin embargo, disparar dinámicas no lineales a escalas menores (ej. traspaso de los umbrales en lagos, bosques y sabanas, como resultado del cambio de usos de la tierra, el uso del agua y la carga de nutrientes). Tales cambios no lineales, desde un estado deseable a otro indeseable, al agregarse, pueden llegar a ser un problema global para la humanidad, si se dan por todo el planeta. Los límites, por otro lado, son valores humanos determinados para establecer una distancia “segura” respecto de un nivel peligroso (para procesos sin umbrales conocidos a escalas continental a planetaria) o a partir de su umbral global. La determinación de una distancia de seguridad implica juicios normativos de lo que las sociedades deciden respecto al riesgo y la incertidumbre (Fig. 1A,B). La elección de la variable control de cada límite planetario se basa en nuestra evaluación de la variable que puede proporcionar el parámetro más comprensivo, agregado y medible para límites individuales.

Los límites planetarios son interdependientes, porque la transgresión de uno puede cambiar tanto la posición de otros límites como provocar que sean transgredidos a su vez. Los impactos sociales de la transgresión de los límites estarán en función de la resiliencia social y ecológica de las sociedades afectadas. Los límites propuestos son groseros, solamente primeras estimaciones, rodeados por incertidumbres y grandes lagunas de conocimiento. Rellenar estos

estas lagunas requerirá mayores avances en la ciencia del Sistema Tierra y en la resiliencia.



**Figura 1. Descripción conceptual de límites planetarios.**

En A) el límite es designado para evitar el cruce de un umbral crítico continental a global en un proceso del Sistema Tierra. Un conocimiento insuficiente y la naturaleza dinámica del umbral genera una zona de incertidumbre sobre su posición precisa, lo que informa la determinación de dónde situar el límite. En B) no hay umbral global en la medida que sabemos, pero excediendo el nivel del límite conducirá a interacciones significativas con umbrales regionales y globales y/o puede causar un gran número de efectos umbrales indeseables a escala local a regional, lo que sumados se agregan a un serio problema para la humanidad.

## Los límites planetarios

Se han identificado nueve límites planetarios, y situándose por encima de la comprensión científica, se proponen cuantificaciones para siete de ellos. Estos siete son:

**1.-Cambio climático:** concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera < 350 ppm, y/o un cambio máximo de +1 W m<sup>-2</sup> en fuerza radiativa.

**2.-Acidificación del océano:** estado de saturación media de la superficie mariana con respecto al aragonito > 80% de los niveles preindustriales.

**3.-Ozono estratosférico:** reducción >5% de la concentración de O<sub>3</sub> a partir del nivel industrial de 290 unidades Dobson.

**4.-Ciclo biogeoquímico del nitrógeno (N):** fijación del límite industrial y agrícola de N<sub>2</sub> a 35 Tg N/año y ciclo biogeoquímico del fósforo (P): flujo anula a los océanos no superior a 10 veces la erosión natural de fondo de P)

**5.-Uso del agua dulce global:** < 4.000 km<sup>3</sup>/año de usos consuntivos de recursos de escorrentía.

**6.-Cambios en el sistema tierra:** <15% de superficie terrestre libre de hielo por debajo de la tierra de cultivo.

**7.-Tasa anual de pérdida de biodiversidad:** < 10 extinciones por millón de especies.

Los dos límites restantes, para los que aún no se ha podido determinar los niveles límites, son la carga de emisión de contaminantes químicos y atmosféricos (aerosoles).

### Categorización de los límites planetarios

Los nueve límites planetarios identificados aquí (Fig. 2) cubre los ciclos biogeoquímicos globales del P y el N, el C y el agua; los principales sistemas de circulación física del planeta (el clima, la estratosfera, los sistemas oceánicos); las características biofísicas de la Tierra que contribuyen a la resiliencia subyacente de su capacidad autorregulatoria (biodiversidad marina y terrestre, sistemas terrestres); y dos características críticas asociadas con el cambio global antropogénico (carga de aerosoles y polución química). Se considera que hay suficiente evidencia científica para hacer un primer intento, preliminar, de cuantificación de las variables control para al menos siete de estos umbrales. Los otros dos (carga de aerosoles y polución química), se piensa que deben ser incluidos entre los límites planetarios, pero todavía somos incapaces de sugerir niveles de límites cuantitativos.

Se distingue entre límites que están directamente relacionados con los umbrales continentales y planetarios agudos, tales como el riesgo de la fusión de los hielos de Groenlandia y la costra antártida cuando se traspasa permanentemente un umbral de radiación, y límites basados en procesos planetarios “lentos”, sin evidencia actual de comportamiento de umbral a escala planetaria, que proporcione la resiliencia subyacente del Sistema Tierra, funcionando como sumideros y fuentes de carbono y regulando los flujos de agua, nutrientes y sales minerales (Fig.2)

Carácter del límite	Proceso con umbrales a escala global	Proceso lento sin conocimiento de umbrales a escala global
Escala del proceso		
Proceso sistémico a escala planetaria	Cambio climático	
	Acidificación oceánica	
Proceso agregado desde escalas local/regional		Ozono estratosférico
		Ciclos globales del N y el P
		Carga de aerosoles atmosféricos
		Uso de agua continental
		Cambio en el uso de la tierra
		Pérdida Biodiversidad
		Polución Química

Figura 2. Categorías de los límites planetarios

Hay una amplia evidencia de que en los ecosistemas des escala local a regional, tales como lagos, bosques y arrecifes, los cambios graduales en ciertas variables control claves (ej. biodiversidad, calidad del suelo de cultivo, flujo de agua dulce, y ciclos de nutrientes) pueden disparar un abrupto cambio de estado sistémico cuando los umbrales críticos han sido traspasados. Se precisa urgentemente más investigación sobre la dinámica de los umbrales y retroalimentaciones que operan a escalas continental a global, especialmente para variables control de cambio lento tales como el uso y

cobertura del suelo, el uso de recursos hídricos, tasa de pérdida de biodiversidad y flujo de nutrientes. Aquí, distinguimos entre umbrales planetarios identificables dirigidos por procesos sistémicos a escala global (subsistemas impactantes “de arriba a abajo”) y umbrales que puedan

alcanzarse a escalas local y regional, que llegan a ser un problema global en el nivel agregado (si se da en localidades múltiples simultáneamente), o donde los umbrales de los impactos graduales agregados puedan aumentar la probabilidad de traspasar los umbrales planetarios en otros procesos del Sistema Tierra (y de este modo afectando al Sistema Tierra “de abajo a arriba” (Fig.2).

Muchos procesos a escala planetaria (tales como el cambio climático) producen principalmente impactos a escalas de subsistema Tierra, donde tales subsistemas muestran grados variables de sensibilidad al cambio. Por ejemplo, el cambio climático se asocia con al menos nueve “elementos de inflexión” (ej. los eventos del monzón Indico y El Niño), todos los cuales muestran grados variables de sensibilidad a un cambio en la fuerza de radiación o la elevación de temperatura. Tal complejidad de escala cruzada se aborda entonces proponiendo límites planetarios para evitar todos los umbrales de subsistemas terrestres conocidos en el futuro previsible.

### **La transgresión de los límites**

La Figura 3 representa una estimación de la evolución cuantitativa de variables control para siete límites planetarios desde los niveles preindustriales al presente. El polígono (nonágono) verde central representa el espacio operativo de seguridad con los niveles de límites propuestos en su contorno exterior. La medida de las cuñas de cada límite muestra la estimación de la posición actual de la variable control. Los puntos muestran la trayectoria de tiempo reciente estimada (1950 al presente) de cada variable control. Para la pérdida de biodiversidad, el límite estimado actual de  $> 100$  extinciones / millón de especies al año, excede el espacio disponible en la figura. Aunque el cambio climático, la acidificación del océano, la pérdida de ozono estratosférico, el cambio de uso del suelo, el uso de agua dulce, y la interferencia con el ciclo del fósforo son límites definidos como el estado de una variable (concentración de CO<sub>2</sub> troposférico, estado de saturación de aragonito, y concentración de ozono estratosférico, porcentaje de tierra bajo cultivos, máxima cantidad de uso anual de agua dulce, carga acumulativa de P en los océanos, respectivamente), el límite restante, la pérdida de biodiversidad, y el componente de límite biogeoquímico relacionado con la interferencia humana con el ciclo del N, son definidos por tasas de cambio para cada variable control respectiva (extinciones por millón de especies y año, tasa de N<sub>2</sub> removida de la atmósfera para uso humano).

Se ha intentado cuantificar la trayectoria temporal de siete de los nueve límites planetarios propuestos desde niveles preindustriales hasta la actualidad (Fig.3). La aceleración de la aventura humana desde los años 1950s, particularmente el crecimiento del uso de fertilizantes en la agricultura moderna, dio como resultado la transgresión del límite de la interferencia humana con el ciclo global del nitrógeno. Los datos agregados sobre periodos de tiempo más amplios para los límites de biodiversidad, no están disponibles, pero la definición de límite propuesta aquí es superada ampliamente (incluso fuera de la escala, como se aprecia en la Fig.3).

No se está sugiriendo que el estado actual de biodiversidad haya sobrepasado un límite. Se está diciendo que el mundo no puede sostener la actual tasa de pérdida de especies sin dar como resultado un colapso funcional. No es hasta los años 1980s que la humanidad se aproximó al límite del clima, pero la tendencia de concentración más alta de CO<sub>2</sub> atmosférico no muestra signos de ralentizarse. En contraste, como resultado de la firma del Protocolo de Montreal, la humanidad tuvo éxito en invertir la tendencia respecto al límite del ozono estratosférico en los años 1990s. Como se aprecia en la Fig.6, las estimaciones indican que la humanidad se está

aproximando por otra parte a un ritmo rápido, a los límites del uso de agua dulce y los cambios en el uso del suelo. El límite de acidificación del océano está en riesgo, aunque hay una falta de datos de series temporales para variable de límite seleccionada, así como información sobre la respuesta a los organismos y ecosistemas marinos a la perturbación prevista de CO<sub>2</sub>.

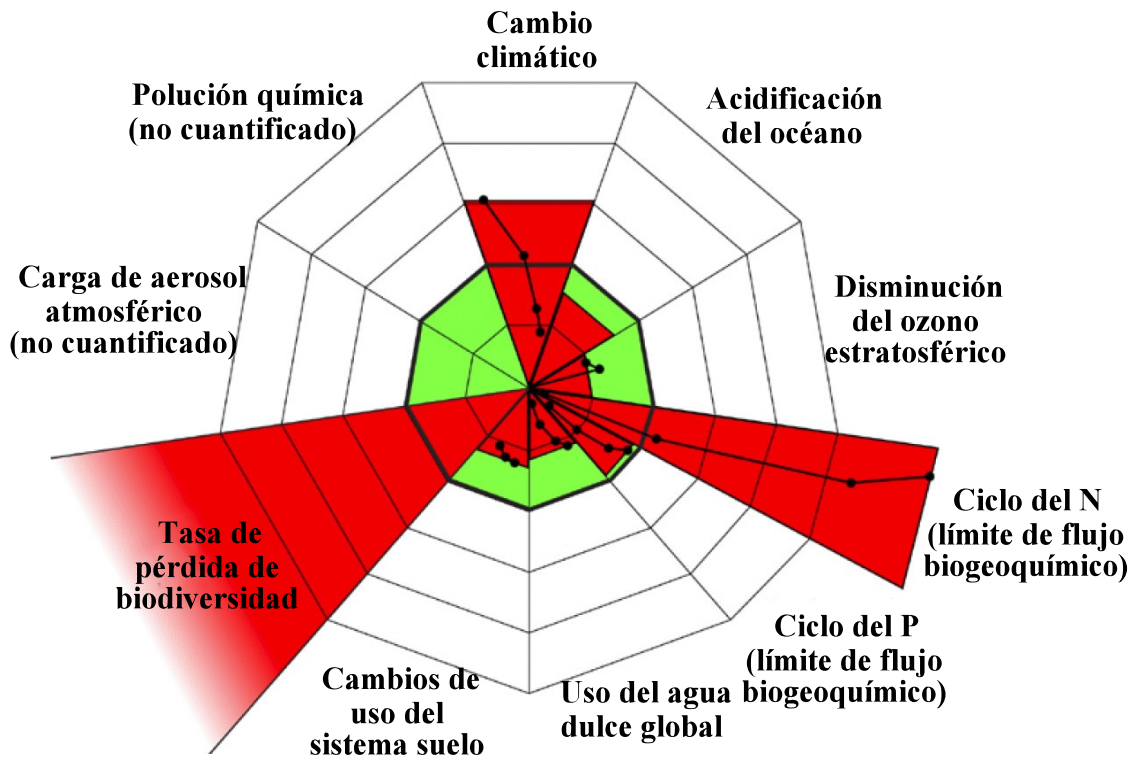


Figura 3. Diagrama mostrando el estado de sobrepasamiento de los límites planetarios

## Conclusiones

El concepto propuesto de “límites planetarios” supone un marco de trabajo para cambiar nuestra aproximación a la gobernanza y manejo, fuera de análisis esencialmente sectoriales de los límites de crecimiento que persiguen minimizar externalidades negativas, hacia la estimación del espacio de seguridad para el desarrollo humano. Los límites planetarios definen, como tales, los límites del “campo de juego planetario” para la humanidad si queremos asegurar la evitación de un importante cambio ambiental inducido por el ser humano a escala global.

La transgresión de uno o más límites planetarios puede ser dañino o incluso catastrófico debido al riesgo de cruzar los umbrales que dispararán un cambio ambiental abrupto, no lineal, dentro de los sistemas a escalas continental a planetaria. Se estima que la humanidad ya ha transgredido tres límites planetarios: para el cambio climático, la tasa de pérdida de biodiversidad y los cambios en el ciclo global del nitrógeno.

-----

Rockstrom, J., W. Steffen, K. Noone, A. Persson, F. S. Chapin, III, E. Lambin, T. M. Lenton, M. Scheffer, C. Folke, H. Schellnhuber, B. Nykvist, C. A. De Wit, T. Hughes, S. van der Leeuw, H. Rodhe, S. Sorlin, P. K. Snyder, R. Costanza, U. Svedin, M. Falkenmark, L. Karlberg, R. W. Corell, V. J. Fabry, J. Hansen, B. Walker, D. Liverman, K. Richardson, P. Crutzen, and J. Foley. 2009. Planetary boundaries: exploring the safe operating space for humanity. *Ecology and Society* 14(2): 1-32