

## ¿Sustentabilidad?

## Sustainability?

*Adrián Monjeau\**

*José Luis Lanata\*\**

*Marcelo N. Kuperman\*\*\**

*Guillermo Abramson\*\*\*\**

*María Fabiana Laguna\*\*\*\*\**

### Resumen

Abordamos el problema de la sustentabilidad desde la teoría de la construcción de nicho sumando a ésta un enfoque biofísico y energético. Presentamos el desarrollo teórico de un modelo matemático que acopla el crecimiento poblacional con el hábito en el uso de los recursos. En el modelo, cada individuo representa un factor de conversión y disipación de materia y energía de la biósfera en biomasa de *Homo sapiens* y en cultura material, estableciendo una vinculación matemática entre demografía, consumo, y deterioro de los recursos, escenario a ser heredado por las generaciones futuras. Ejemplificamos distintos escenarios de población y consumo y alternativas matemáticas para resolver la sustentabilidad. Una nueva sociedad futura justa, que satisfaga las necesidades de calidad de vida de todos los individuos presentes y futuros evitando la destrucción de especies y ecosistemas será aquella que pueda subordinar las leyes humanas a las leyes naturales, cualquier otro modo es inviable.

Palabras clave: ética biosférica, altruismo, construcción de nicho, población, consumo

### Abstract

We address the issue of sustainability within the framework of the theory of niche construction adding to it a biophysical and energetic approach. We developed a mathematical model that ties together population growth and use and abuse of resources. In the model, each individual represents a conversion (and dissipation) of energy and matter from the biosphere to biomass of *Homo sapiens* and material culture. We established mathematical links between population, consumption, and resource degradation in scenarios to be inherited by the future generations. We exemplify different scenarios of population, consumption and degradation together with mathematical alternatives to solve sustainability. A new fair future society that meets the needs of quality of life of all individuals present and future avoiding the destruction of species and ecosystems will be one that can subordinate human laws to natural laws, otherwise it is impossible.

Keywords: biospheric ethics, altruism, niche construction, population, consumption

### Resumo

Nós abordamos a questão da sustentabilidade desde a teoria de construção de nicho, somando a esta um enfoque biofísico e bioenergético. Nós desenvolvemos um modelo matemático que une crescimento populacional e uso de recursos. No modelo, cada indivíduo representa uma conversão (e dissipação) de energia e matéria da biosfera em biomassa de *Homo sapiens* e cultura material, estabelecendo uma equivalência matemática entre demografia, consumo e degradação de recursos em cenários a serem herdados por gerações futuras. Nós exemplificamos

\* Fundación Bariloche y CONICET, R8402AGP Bariloche, Argentina, amonjeau@fundacionbariloche.org.ar

\*\* Instituto de Investigaciones en Diversidad Cultural y Procesos de Cambio, CONICET-UNRN, R8400AHL Bariloche, Argentina, jllanata@conicet.gov.ar

\*\*\* Centro Atómico Bariloche, Instituto Balseiro y CONICET, R8402AGP Bariloche, Argentina

\*\*\*\* Centro Atómico Bariloche, Instituto Balseiro y CONICET, R8402AGP Bariloche, Argentina, abramson@cab.cnea.gov.ar

\*\*\*\*\* Centro Atómico Bariloche y CONICET, R8402AGP Bariloche, Argentina, lagunaf@cab.cnea.gov.ar

diferentes cenários populacionais, de consumo e degradação, juntamente com alternativas matemáticas para resolver a questão da sustentabilidade. Uma sociedade nova e justa, que atende as necessidades da qualidade de vida de todos os indivíduos presentes e futuros evitando a destruição de espécies e ecossistemas, será aquela que conseguir subordinar as leis humanas às leis da natureza, pois qualquer outra resolução é inviável.

Palavras-chave: ética da biosfera, o altruísmo, construção de nicho, a população, o consumo

*¿Hay algún lugar en la tierra  
que no esté lleno de nuestros esfuerzos?*

*(Eneas, llorando, envuelto en la niebla,  
en la Eneida de Virgilio, Libro I, verso 459)*

*“...porque a cualquiera que tiene, le será dado,  
y tendrá más; pero al que no tiene,  
aun lo que tiene le será quitado...”*

*(Evangelio según San Mateo, 19:13)*

## Marco conceptual

Proponemos discutir el problema de la sustentabilidad desde un enfoque integrador e interdisciplinario a partir del paradigma de la teoría de la construcción de nicho (Odling-Smee et al. 2003), ampliando su propuesta a partir de la incorporación de una visión cuantitativa y biofísica. En muchos discursos académicos, económicos, políticos, ecológicos, sociales, el problema de la sustentabilidad ha sido incorporado de manera sesgada y parcial, acarreando consecuencias en la toma de decisiones que afectan a los biomas del planeta.

Resulta indispensable analizar científicamente los diferentes tipos de discursos y ponderar sus consecuencias, ya sea a nivel de las acciones propuestas como a nivel de la creación de imaginarios colectivos. Como el viento o el fuego, los discursos pueden tanto desertizar como forestar ambientes, poblar como despoblar ciudades o poblados. Detrás de la ambigüedad de las palabras de moda, los discursos logran generar los consensos necesarios para legitimar la toma de decisiones sobre los recursos naturales. Quizás uno de los términos ambiguos más de moda es el de desarrollo sustentable, definido por primera vez en el Informe Brundtland (1987) y que podemos sintetizar como “el desarrollo que atiende a las necesidades del presente sin comprometer la

posibilidad de que las generaciones futuras puedan atender las suyas”. Este concepto “se ha convertido en un mantra de los tiempos modernos” (Fernandez 2011a), siendo uno de los ejemplos más claros de que la ambigüedad semántica es un gran aliado del discurso político (Wittgenstein 1999), ya que la oximorónica combinación de “desarrollo” con “sustentable” tiene como efecto aglutinar varias ideologías (Latouch 2009), cada una adhiriendo a una de las dos palabras. Paradójicamente, el resultado se asemeja a un acuerdo entre concepciones opuestas de una controversia. La resultante es un concepto novedoso que logra satisfacer a los distintos actores pero que en su fin último funciona como el argumento consensuado que sirve a las partes pero que, asimétricamente, una de ellas sale más beneficiada (ej.: gobernantes, empresas, ONGs).

El tratamiento que realizamos del problema de la sustentabilidad pretende aportar a la construcción de una ética analítica; es decir, transitar el camino hacia la construcción de un paradigma basado en la ciencia que nos permita medir los límites teóricos más allá de los cuales nuestra conducta puede resultar como éticamente reprochable.

## La teoría de la construcción de nicho y la sustentabilidad

La dicotomía naturaleza-humanos ha marcado fuertemente nuestra historia en todos sus aspectos y, con ello, la forma en que conceptualizamos su imbricada interrelación. La primera, imaginada como una fuente finita de recursos y casi infinita de catástrofes y desastres, sería padecida o dominada por los segundos, en total impotencia u omnipotencia según el caso. Esta conceptualización ha fortalecido la separación de dos mundos distintos en los que parece que somos los humanos los que condicionan —salvo las catástrofes— a la naturaleza. Latour (2004) sostiene

que no se puede analizar y estudiar a los humanos separados de la naturaleza y viceversa. La Teoría de Construcción de Nicho (Odling-Smee et al. 2003, en adelante TCN), permite realizar distintos tipos de estudios que nos evitan caer en la dicotomía naturaleza-humanos. Es por ello que la tomaremos como punto de partida para desarrollar nuestras ideas.

Sobre la base de los trabajos de Lewontin (1982, 1983, 2000), la TCN sostiene que, a través de su biología, sus actividades y sus opciones, los organismos modifican su propio nicho y/o el de otras especies con las cuales interactúan. (Odling-Smee et al. 2003:41-44) La TCN ha demostrado que el ambiente modificado es heredado por las nuevas generaciones de un organismo, afectando y/o influyendo de manera importante en la dinámica poblacional, la diversidad de las metapoblaciones y en la competencia interna por los recursos (Hui et al. 2004), como así también favorece la fijación de rasgos en poblaciones que se encuentren distanciadas. (Lehmann 2008) La TCN afirma específicamente que los organismos de la(s) generación(es) sub-siguiente(s) no sólo heredan su *pool* genético y su *pool* cultural —en el caso de tenerlo— sino que además heredan y confrontan una herencia ecológica que no es la misma —o exactamente igual— a la de las generaciones ascendentes. Concordamos con la idea de que los organismos modifican su ambiente y proyectan hacia el futuro genes, cultura<sup>1</sup> y también un ecosistema modificado en sus condiciones de habitabilidad para las generaciones futuras. (Odling-Smee et al. 2003)<sup>2</sup>

El pool genético y cultural de una generación de cualquier especie transita hacia el futuro junto con flujos de materia y de energía que también son heredados por las generaciones futuras. Las modificaciones que una generación de organismos produce en los ecosistemas a través de los

diferentes mecanismos evolutivos de su construcción de nicho genera, a su vez, la línea de base a partir de la cual las generaciones futuras construirán el suyo. Creemos que el marco conceptual de la TCN abarca y pondera al concepto de sustentabilidad, por lo que debería producirse un avance teórico, reemplazando la dicotomía naturaleza-humanos. Desde este punto de vista, la inclusión del concepto de sustentabilidad en la TCN está en la repercusión que los hábitos de las generaciones pasadas tienen en las futuras. En su trayectoria adaptativa, cada generación de una especie no sólo modifica al organismo en sí, sino que sus interacciones ecosistémicas modelan las presiones de selección que operarán en la construcción de nicho de las generaciones siguientes. Si la disponibilidad de energía y materia es similar o mayor a la de entrada, su reserva hacia el futuro produce un aumento en la “potencia”,<sup>3</sup> por ejemplo, potencia de la cultura para transformar el ecosistema. Si, en cambio, es menor, las nuevas generaciones verán restringidas sus posibilidades y/o capacidades para mantener y/o construir sus nichos. Esa restricción es una deuda ecológica que se asimila a la noción de insustentabilidad. (*sensu* Informe Brundtland 1987)

En la TCN, los cambios producidos por las diferentes especies de un ecosistema reordenan los flujos de energía y los ciclos de la materia, desempeñando un papel relevante en su estabilidad, capacidad de resiliencia y en la sustentabilidad de todo el sistema. En el caso específico de los humanos, las diferentes generaciones toman materia y energía de la biósfera<sup>4</sup> para transformarlo

1 Sólo a los fines de este contexto, decidimos circunscribir el significado de “cultura” a la parte de la biósfera transformada por los humanos en aspectos materiales y tangibles; pero no dejamos de reconocer la influencia de aquellos no materiales de la cultura en la toma de decisiones y generación de cambio.

2 Ver también Laland et al. 1996/2007; Jones et al., 1997, Gurney y Lawton, 1996; Shachak y Jones, 1995; Turner, 2000; Day et al., 2003; Odling-Smee y Laland, 2012)

3 En inglés “*power*” significa potencia, poder y energía. En este contexto usamos el concepto como la energía disponible para realizar el trabajo de transformar la materia circundante. Al hablar de la “potencia de la cultura” nos referimos específicamente a la capacidad para transformar el sistema natural en el sistema cultural. Esa potencia necesita, como en cualquier sistema, una fuente de energía, por ejemplo, los combustibles fósiles (*sensu* Odum, 1980).

4 Coincidimos con varios autores en rescatar el concepto de “biósfera” como el que comprende la escala más adecuada para debatir el problema de la sustentabilidad (Naeem, 2013). Más que una mera terminología, invita a una visión incluyente de todos los procesos ecosistémicos en los cuales la economía humana está inmersa. En la narrativa sobre sustentabilidad, la noción de biósfera debería reemplazar a los vocablos ambiente, medio ambiente, naturaleza, biodiversidad, ecosistema, etc. (Aguirre Sala 2015).

en biomasa de *Homo sapiens* y su cultura. Esos procesos de transformación de materia y energía están limitados por la oferta de dichos recursos por parte de la biósfera. El mismo proceso tiene una porción de energía que es disipada o no aprovechada por los actores para ser convertida en potencia para la construcción de nicho de sus generaciones futuras. Por lo tanto, el desafío consiste en establecer el tipo de relación entre los flujos de materia y energía durante el proceso de construcción de nicho de los distintos actores y, en el caso de los humanos, la ética que de ello deriva, estudiando las interacciones entre el bien común de la especie y los individuos.

### Una aproximación matemática al problema de la sustentabilidad

En concordancia con lo arriba mencionado, nos interesa un abordaje diferente de la sustentabilidad que permita visualizar la vinculación entre la biósfera y sus diferentes actores. Para ello creemos relevante considerar un modelo matemático de la dinámica acoplada de una población y sus recursos. El acoplamiento se manifiesta, por un lado, a través de la capacidad de carga de la población, que está determinada por los recursos. Por otro lado, los recursos son afectados por la sobreexplotación y la disipación de energía *per cápita*. Con estas consideraciones podemos escribir un sistema de ecuaciones que incluya una ecuación logística para la población y una ecuación cúbica de tipo FitzHugh-Nagumo para el recurso. (Jones 1984/Courchamp et al. 1999) Estas ecuaciones prevén la posibilidad de crecimiento saturado por la existencia del recurso para la población humana, y la posibilidad de agotamiento del recurso en caso de explotación no sustentable.

Consideramos entonces dos variables dependientes del tiempo  $t$ :  $h(t)$ , representando la población humana, y  $k(t)$ , representando los recursos disponibles en la biósfera. Las variables están mutuamente acopladas y sus dinámicas pueden describirse mediante las siguientes ecuaciones:

$$\frac{dh(t)}{dt} = h(t) \left( 1 - \frac{h(t)}{\beta k(t)} \right) \quad (1)$$

$$\frac{dk(t)}{dt} = k(t) (1 - k(t)) (k(t) - \varepsilon h(t)) \quad (2)$$

Como se anticipó, la población humana puede crecer de manera logística<sup>5</sup>, estando limitada por los recursos disponibles para la construcción de su nicho y por la eficiencia en la utilización de los mismos, interpretada mediante el parámetro  $\beta$ . Vemos en la ecuación (1) que  $\beta k(t)$  es la capacidad de carga de la variable  $h$ , donde  $\beta$  puede entenderse como la tasa de conversión de recursos de la biósfera en biomasa humana y artefactos culturales en un sentido amplio. En otras palabras: la energía y otros recursos que son necesarios para esta transferencia son de disponibilidad limitada y están considerados en el término  $\beta k(t)$ . La ecuación (2) muestra que la cantidad  $k(t)$  de recursos disponibles resulta afectada por la población humana presente a través del término  $-\varepsilon h(t)$ , que denominaremos "factor épsilon" ( $\varepsilon$ ). Específicamente, el factor épsilon ( $\varepsilon$ ) domina el comportamiento del recurso, permitiendo o inhibiendo la posibilidad de que el recurso tenga una dinámica sustentable. Esta dinámica es propia de ecuaciones diferenciales cúbicas como la (2).

### ¿Qué es el factor épsilon ( $\varepsilon$ )?

Hemos escogido la letra  $\varepsilon$  para este factor, fundamental para el presente planteo, inspirados en la primera letra de la voz griega *ethos* (ἔθος) ya que su doble definición se vincula con su significado matemático en nuestro modelo. Para Homero, *ethos* significaba la morada, madriguera, el lugar en el que los humanos o los animales habitan. (Scott y Liddell 1996) Posteriormente en la Ética de Aristóteles aparece la interpretación moderna como el conjunto de valores y modos de com-

5 Un crecimiento logístico en una población es esperable cuando, tras aumentar de forma exponencial hasta cierto punto, luego se estabiliza a medida que los recursos disponibles se vuelven escasos.

portamiento de un individuo o de una sociedad. El *ethos*, en la Grecia antigua, era un conjunto de hábitos y de conductas ejemplares según el cual una persona y/o una población se ganaban el respeto y la credibilidad de sus pares.

Por lo tanto si, en un ecosistema determinado, el uso de los recursos es ponderado por el factor  $\epsilon$ , como lo proponemos aquí, será ético si no quita libertades en las capacidades para generación de nuevos nichos de las generaciones futuras de una especie, no produciendo una deuda ecosistémica a futuro. Rozzi et al. (2008) argumentan que *ethos* derivó al latín como *habitat* y de allí al español “hábitat, hábitos y habitantes”, lo que de algún modo entrelaza etimológicamente el ambiente con actitudes morales. Si cualquier hábitat es afectado por los hábitos de las especies que lo componen (ej.: sus habitantes), el *ethos* es una parte del comportamiento de las mismas frente a la biósfera (Aguirre Sala 2015), en este caso en particular, de los humanos.

En nuestro modelo matemático, el factor  $\epsilon$  es la representación del hábito de uso *per cápita* de los recursos de la biósfera de una especie, en este caso los humanos. Un mismo recurso puede ser bien o mal usado en términos de su eficiencia para ser convertido en biomasa o cultura material. El factor  $\epsilon$  es la porción de energía y materia que se pierde, es decir, extraída de la biósfera pero no convertida en biomasa de *Homo sapiens* o cultura, lo que reduce la eficiencia de dicha conversión y proyecta un impacto que afecta, en su deterioro o reducción, a la posibilidad de las generaciones futuras para mantener y/o construir su nicho. Si consideramos en este modelo a la especie *Homo sapiens* podemos decir que el factor  $\epsilon$  es una representación matemática del concepto de huella humana (Sanderson et al. 2002) como una fuerza de acción y transformación de la naturaleza. A mayor huella humana, el factor  $\epsilon$  modifica las posibilidades futuras de construcción de nichos sustentables de las generaciones por venir. Por lo tanto, el factor  $\epsilon$  es un indicador matemático de acciones antiéticas, por ejemplo, el sobreuso.

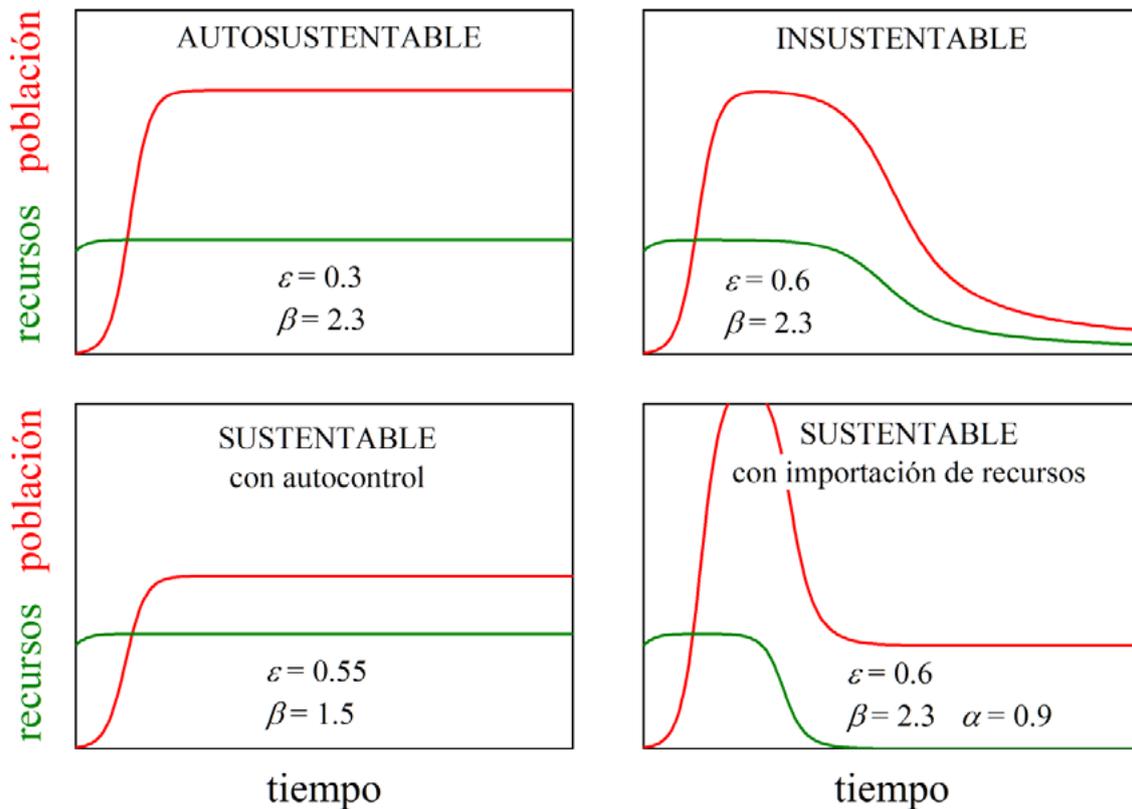
En el mundo real las causas de esta reducción de libertades a futuro pueden ser múltiples, abar-

cando desde la eficiencia de procesos termodinámicos en relación con la disipación de energía hasta fenómenos ambientales de gran escala tales como la desertificación, deforestación, fragmentación de hábitat, contaminación, pérdida de nutrientes, pérdida de biodiversidad disponible, pérdida de recursos energéticos, etc. El factor  $\epsilon$  puede desplegarse tanto como se quiera en tantos recursos como sean transmitidos hacia el futuro (por ejemplo, pueden usarse las ecuaciones para medir la trayectoria tanto de un solo elemento químico como de toda la materia y energía disponibles). En el contexto simplificado del presente modelo, todos estos fenómenos se encuentran condensados en el factor  $\epsilon$ , representando en general el deterioro de los recursos per cápita.

Un aumento en el factor  $\epsilon$  provoca un deterioro en los recursos naturales y por ende su capacidad para convertirlos en biomasa humana o cultura material. Por ejemplo, una pradera tiene una determinada cantidad  $\beta \kappa$  de recursos disponibles para ser transformados en biomasa humana a través de la ganadería, pero el hábito del sobrepastoreo ejemplifica al factor  $\epsilon$  como una fuerza destructora de la capacidad de carga previamente disponible. Es decir que a una misma tasa de conversión de recursos  $\beta$ , distintos valores de  $\epsilon$  pueden derivar en un escenario de sustentabilidad o de insustentabilidad. La figura 1 muestra resultados de nuestro modelo matemático para cuatro distintos escenarios.

Las salidas del modelo en la figura 1 ejemplifican cuatro escenarios hipotéticos que bien podrían corresponder a las dinámicas representativas de etapas de la evolución de la construcción de nicho en distintas fases de transformación de una población o sociedad y el ambiente, o bien a distintas poblaciones o sociedades y sus ambientes. En este caso tomaremos como ejemplo en caso del *Homo sapiens*.

La figura 1.A muestra la evolución de una situación autosustentable en el tiempo, caracterizada por los valores de  $\epsilon$  y  $\beta$  indicados. Aquí podemos ver que una población humana inicialmente pequeña crece exponencialmente, pero cuando llega al límite de su capacidad de carga, el sistema se satura de manera logística y se mantiene es-



**Figura 1:** Cuatro escenarios de sustentabilidad. Evolución temporal de una población y sus recursos, en un modelo de interacción mutua donde el recurso determina la capacidad de carga (mediante el parámetro  $\beta$ ) y la población produce un deterioro del recurso (a través del parámetro  $\epsilon$ ). Cada uno ilustra un escenario de sustentabilidad distinto, correspondientes a los valores de los parámetros indicados. A la izquierda (A y C) están los escenarios sustentables por sí mismos, a la derecha (B y D) los insustentables a menos que obtengan nuevos recursos incorporados mediante  $\alpha$ .

table. Como el factor  $\epsilon$  es pequeño, los recursos son poco afectados y se mantienen cerca de su propia capacidad de carga, permitiendo la autosustentabilidad del sistema. Por su parte, en la figura 1.B, el factor  $\epsilon$  ha sido incrementado respecto del caso anterior, representando un cambio en los procesos de utilización de recursos, y produciendo un mayor impacto sobre ellos. Supongamos que para una misma superficie con la misma tasa de conversión de recursos  $\beta$  del escenario anterior, se intensificó la carga ganadera o la presión de cacería para obtener más alimentos y sostener a una población mayor. Si observamos el comportamiento de las dos curvas de las figuras 1.A y 1.B, ambas variables mantienen durante cierto tiempo valores muy parecidos — ver los picos amesetados de las curvas en 1.B— pero la situación es insustentable a largo plazo

y, tanto los recursos como las poblaciones, colapsan. El incremento del factor  $\epsilon$  es el indicador del deterioro debido al uso insustentable, lo que conduce a una deuda ambiental que el nicho presente arroja al nicho futuro, limitándolo en sus grados de libertad para convertir masa y energía de la biósfera en biomasa humana y cultura. El modelo matemático demuestra que, en el caso de este escenario de la figura 1.B (con la misma capacidad de carga que 1.A), el sobreuso es una restricción a la cantidad de habitantes del futuro o la causa de mortalidad debido a un colapso ecosistémico.

### ¿Cómo salir de la situación de insustentabilidad?

El modelo muestra que hay varios caminos. Por supuesto, podría reducirse el valor del factor  $\epsilon$

hasta valores sustentables. Esta reducción implica sacrificar una porción de la libertad individual de los miembros de la población en el uso de recursos en aras de que toda la población pueda coexistir en la biósfera de una manera ambientalmente posible en el tiempo. La reducción del factor  $\epsilon$  tiene implicaciones éticas: un cambio de hábito, una modificación del estilo de vida, de los procesos de producción, o de reducción de la huella humana en el caso que discutimos. También puede plantearse una solución tecnológica tendiente a reducir el factor  $\epsilon$  sin tener necesariamente que reducir calidad de vida o consumo. Las sociedades desarrolladas que tengan acceso a ese camino tecnológico lo pueden solucionar de esa manera, pero no deja de ser una solución local aislada de una tendencia planetaria inexorable.

Otra opción es el control demográfico ante la limitación de recursos, como lo ha planteado el modelo del Club de Roma (Meadows et al. 1972). Es decir, matemáticamente es equivalente intentar la reducción del parámetro  $\beta$  (conversión de recursos en biomasa) ya que produce una disminución de la capacidad de carga de la población logrando el mismo el mismo efecto estabilizador que reduciendo el factor  $\epsilon$ . Mirado con claridad matemática, este discurso quiere decir que la población tiene que crecer menos a fin de permitir un mayor consumo *per cápita*. Esta conclusión neomalthusiana fue criticada por el informe de Fundación Bariloche (Herrera et al. 1977) quienes plantearon que la solución del problema pasa por la modificación de los factores sociales y políticos que causan las desigualdades del desarrollo capitalista y la explotación del Tercer Mundo. En congruencia con esto último, Sachs (2008) ha demostrado que la disminución de la tasa de mortalidad debida a una mejor calidad de vida disminuye la tasa de natalidad sin necesidad de regulaciones externas.

Una tercera alternativa es actuar simultáneamente sobre el factor  $\epsilon$  y el factor  $\beta$ . Esta situación está representada en la figura 1.C, escenario que denominamos sustentable con autocontrol. El deterioro de los recursos puede reducirse en alguna pequeña medida, disminuyendo en parte al factor  $\epsilon$  sin llegar a los valores originales, siempre y

cuando se tolere una reducción del parámetro  $\beta$ , lo cual da lugar a una población menor y con un consumo más limitado.

En estos tres primeros escenarios, sin embargo, hemos considerado que el acceso a los recursos es equitativo, pero tenemos la sospecha de que eso no se cumple en el mundo real. Esto nos ha llevado a modelar un cuarto escenario (figura 1.D) para salir de la situación de insustentabilidad; este es la de importar capacidad de carga de fuentes externas. Las poblaciones que obtengan esa capacidad de carga adicional tendrán un mayor factor  $\beta$  de conversión de recursos en desarrollo humano, mientras que aquellas que perdieron esa fracción de capacidad de carga exportada tendrán un menor factor  $\beta$  es decir que tendrán restricciones para desarrollar su potencialidad. Históricamente, este podría ser el caso del colonialismo y otras formas de explotación de materias primas localizadas fuera del ambiente propio de una población, prodigando una fuente extra de energía que se incorpora al propio a través de diferentes prácticas (ej.: la esclavitud como fuente de potencia para la construcción de nicho). Actualmente un ejemplo similar puede encontrarse como la resultante del comercio exterior de *commodities* y en los efectos asimétricos de la globalización en cuanto a términos de intercambio. En el escenario de la figura 1.D se ha representado el fenómeno de manera simplificada<sup>6</sup>, reemplazando el término  $\beta k(t)$  de la ecuación (1) por  $(\beta k(t) + \alpha)$ , donde el parámetro  $\alpha$  representa los aportes externos de capacidad de carga obtenidos por fuera del sistema. La expresión entonces es la siguiente fórmula:

$$\frac{dh(t)}{dt} = h(t) \left( 1 - \frac{h(t)}{\beta k(t) + \alpha} \right) \quad (3)$$

Supongamos a la población de un país sujeto a un escenario de insustentabilidad como el que muestra la figura 1.B. La salida de la insustentabilidad, en lugar del autocontrol, es buscar los recursos ( $\alpha$ ) en otra parte. Obsérvese en la

6 Hemos desarrollado una versión mucho más sofisticada, cuya complejidad matemática excede el ámbito de esta publicación, pero los resultados son los mismos que aquí mostramos.

figura 1.D la aparente anomalía respecto de los tres escenarios restantes. En este caso la población agotó sus recursos ecosistémicos —curva verde—, y si bien ostenta un valor alto del factor  $\epsilon$ , la población  $h$  —curva roja— sigue creciendo de todos modos. Lo que permite la persistencia de la población  $h$ , aun habiendo extinguido sus propios recursos  $k$ , es que los últimos son obtenidos lejos del ambiente original de la población que los utiliza ( $\alpha = 0.9$ ). Si esto no ocurriese, dicha población colapsaría como ocurre en la figura 1.B. Mirado desde esta perspectiva matemática y en el caso de nuestra especie en el presente, si separásemos las poblaciones pertenecientes al denominado “Tercer Mundo” del aquellas del “Primer Mundo” como si fuesen dos planetas/poblaciones, el último se extinguiría en tanto que el “Tercer Mundo” tendería a prevalecer de forma autosuficiente. Pero como hay un planeta con varios mundos globalizados, pareciera ratificarse la profecía del Evangelio según San Mateo 19:13 que hemos seleccionado como cita para comenzar este artículo.

Otra característica del sistema es, que desde el punto de vista matemático, la sustentabilidad es un estado, no un proceso, tal como fue argumentado en Monjeau et al. (2013). Es decir que hay un punto de inflexión en la curva de recursos en donde la derivada  $dk/dt$  atraviesa el cero y la pendiente empieza a decrecer. El límite de la sustentabilidad es un punto ( $dk/dt = 0$ ), no un segmento entre valores.<sup>7</sup> Ese punto ha sido llamado por Harris (1996) “punto de los rendimientos decrecientes” que ocurre cuando la tasa entre la unidad de esfuerzo y el rendimiento del recurso empieza a descender. Sin embargo, la población puede seguir aumentando (la curva  $dh/dt$  sigue teniendo pendiente positiva), como se ve claramente en la primera fase de las curvas de nuestros gráficos, ya que, aunque sea de manera insustentable sigue habiendo materia y energía disponible para ser convertida en biomasa humana y cultura. La gran diferencia es que una vez atravesado  $dk/dt = 0$  entramos en una fase de crecimiento insoste-

nible a futuro. Esto significa que estamos consumiendo el capital natural y no sus intereses o la biocapacidad sustentable. La curva  $dh/dt$  encontrará su  $dh/dt = 0$  en un momento posterior del tiempo. Ese es un punto de inflexión diferente al  $dk/dt = 0$  y es el que Harris (1996) denomina, tal vez erróneamente, capacidad de sustentación. En realidad, el punto  $dh/dt = 0$  es el límite de crecimiento de la población, mientras que el punto  $dk/dt = 0$  es el límite máximo de la capacidad de carga, es decir la capacidad de un ambiente dado para sostener a una población indefinidamente. Sobrepasado ese punto debido a un alto factor  $\epsilon$  el crecimiento posterior es insustentable.

### ¿En qué posición entre $dk/dt$ y $dh/dt$ se encuentra el nicho humano?

Wackernagel et al. (2002) midieron la biocapacidad de la biósfera en relación a las demandas de la economía humana e identificaron que en el año 1978 la humanidad ha sobrepasado su biocapacidad sustentable para sostenernos. Ese punto “1978” es equivalente a nuestro  $dk/dt = 0$  en el modelo matemático. Sin embargo, como se observa en las gráficas de Wackernagel et al. (2002; ver figura 1 de su material suplementario), la conversión de materia y energía de la biósfera en términos del nicho de *Homo sapiens* sigue creciendo de manera acelerada, habiendo alcanzado 1,20 planetas ya en el año 1999 y con pendiente de tendencia creciente. Es decir que la economía humana utiliza por lo menos el 120% de la capacidad sostenible de la biósfera. Para otros autores, como Chefurka (2011), la humanidad ha sobrepasado el límite  $dk/dt = 0$  mucho antes del año 1978, estimando ese momento cerca de año 1900, cuando nuestra especie pasó de ser sostenida por la productividad de la biósfera actualmente activa y empezó a obtener el subsidio de los combustibles fósiles. Si bien hemos sobrepasado el  $dk/dt = 0$  la construcción de nicho humano aún no ha alcanzado el  $dh/dt = 0$ , y, por lo tanto, estamos en una fase intermedia entre los dos puntos de inflexión (Figura 2).

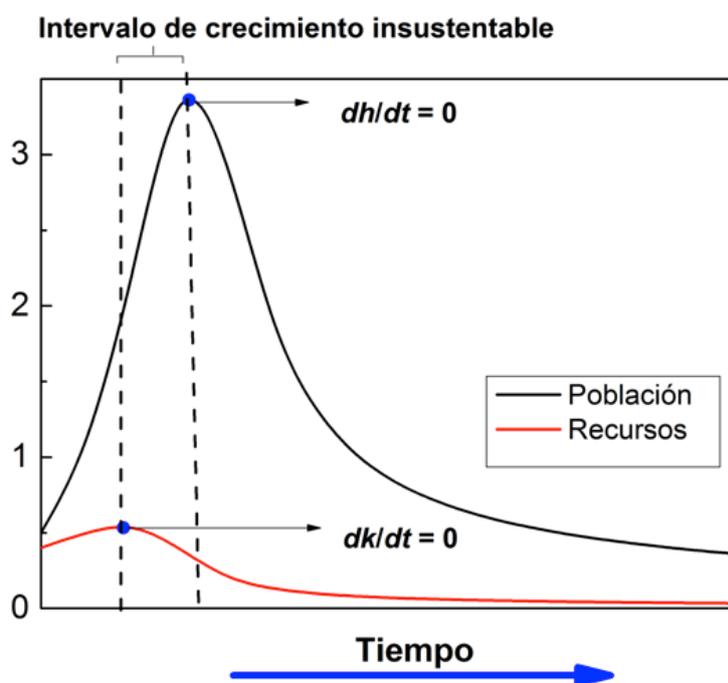
La figura 2 muestra claramente el motivo de controversia entre distintas visiones del problema. Si se mira solamente la primera parte de la curva de crecimiento de la población, se observa que la

7 Este punto 0 es imperceptible ya sea en términos humanos o de cualquier otra especie animal. Esto hace que la población tome conciencia de la disminución de los recursos cuando a lo mejor ya es tarde para su recuperación.

tendencia es positiva. Como ese es su único indicador, no podemos ver lo que está pasando, porque el punto de inflexión  $dh/dt = 0$  todavía no apareció en escena. Si, en cambio, se mira el panorama completo, vemos que el crecimiento de  $dh/dt$  depende de  $dk/dt$ , como lo formaliza nuestro modelo. Entonces puede apreciarse claramente que una vez sobrepasado el  $dk/dt$  empezamos a transitar inexorablemente por la pendiente hacia la cima de la curva hasta ese punto del futuro cercano que hemos denominado  $dh/dt = 0$  para luego descender rápidamente. Estas dos visiones, como lo expone Chefurka (2011) suelen dividir a los políticos y economistas de los ecólogos, antropólogos y otros científicos. Ambos grupos fundamentan sus discursos en sus bases de datos y ambos argumentan que los datos son "la realidad". El problema no pasa por si los datos son verdaderos o falsos. El problema es que uno

de los discursos argumenta solamente en base a una parte de la información disponible.

El foco principal de la controversia entre estos dos discursos pasa por distintas interpretaciones de lo que significa sustentabilidad. Para los que miran solamente la curva de crecimiento del nicho humano, existe una especie de sustentabilidad económica, política o social, cuya apariencia es el segmento que se transita entre  $dk/dt = 0$  y  $dh/dt = 0$ . Sin embargo, si tenemos una visión de escala biosférica, la sustentabilidad es una sola y es la que está por debajo de los límites biofísicos y energéticos de la biósfera. O se es sustentable o no se lo es. La sustentabilidad, desde la perspectiva del discurso político-económico, es una "casi" sustentabilidad. De hecho, la "casi sustentabilidad" ha sido la causa de extinciones biológicas y de colapsos de culturas enteras, como la Sumeria, la Clovis, la Pascuense, el Imperio Ro-



**Figura 2:** Puntos de inflexión en las curvas de disponibilidad de recursos y de crecimiento de la población. El punto  $dk/dt=0$  indica el momento a partir del cual el aprovechamiento de recursos se vuelve insustentable. Sin embargo, la población puede seguir creciendo durante un tiempo más, hasta alcanzar el punto  $dh/dt=0$  más allá del cual empieza a colapsar. La llave muestra el intervalo de crecimiento insustentable, dentro del cual está nuestro tiempo presente

mano, entre varios ejemplos (Diamond 2005) a lo largo de nuestra historia como especie.

Si analizamos en detalle el material suplementario del trabajo de Wackernagel et al. (2002), sus bases de datos indican que las superficies destinadas a agricultura y/o ganadería no han aumentado de forma significativa entre 1961 y 1999. Es decir que, según estos cálculos de los consumos mundiales, no podríamos atribuir el cruce de la línea de la sustentabilidad planetaria a la producción primaria de alimentos. En cambio, si analizamos el consumo de energía, vemos que es el factor que más se ha incrementado en el mismo período. Como es bien sabido, el motor del desarrollo presente está subsidiado por los procesos fotosintéticos que convirtieron energía solar en biomasa y biomasa en combustibles millones de años atrás. Así y todo, con esta enorme reserva del pasado... el planeta no alcanza.

### Los límites biofísicos del factor $\beta k(t)$ como capacidad de carga del desarrollo humano

Dado que el capital que es distribuido a través del mercado, se origina a partir de la materia y energía heredada de la construcción de nicho de nuestras generaciones anteriores, la economía humana, para ser sustentable en el tiempo, necesita subordinarse a las leyes de la física, de la química y de la biología. Esta insoslayable vinculación era reconocida por los economistas clásicos como Marx, Ricardo y Smith; sin embargo, la economía neoclásica ignora la dependencia del input energético y biofísico. (Georgescu-Roegen 1971) Cualquier sistema cibernético precisa de un aporte continuo de energía para mantener un estado estable y organizado de todos sus componentes. Esta ley termodinámica es verdadera tanto para un motor como para los organismos, los ecosistemas, las sociedades y sus sistemas económicos. (Odum 1980) Hall et al. (2001) sostienen que la economía actual es concebida como un perpetuo flujo de bienes, servicios, producción y consumo. Como este sistema ha dominado el funcionamiento del mundo, decimos aquí que, en el contexto analizado, el nicho construido por la economía neoclásica es una imposibilidad termodinámica.

La ignorancia de este vaticinio es la causa de la inconsistencia entre el sistema socioeconómico imperante y las leyes naturales (Gofii y Goin 2006), lo que nos ha llevado a la insustentabilidad planetaria. (Wackernagel et al. 2002) Según Harris (1996) el balance real tiene que tener en cuenta los inputs y los outputs de materia y energía para que cierren bien las cuentas. Incorporando esta interpretación a la TCN, la cultura es un subsistema de flujo de materia y energía dentro de un ecosistema que lo contiene, un todo sujeto a las leyes biofísicas que lo hacen funcionar.

En cuanto a las entradas al sistema, la cantidad de energía -solar, nuclear, geofísica- y materia de la tierra son cantidades fijas<sup>8</sup>; eso es lo que hay, el límite ontológico de cualquier sistema terrestre. En cuanto a las salidas del sistema, todos ellos utilizan una parte de la energía para producir trabajo o para acumularla en masa y disipan al ambiente la porción no utilizada. Con la materia sucede lo mismo, todos los sistemas utilizan energía para reorganizar la materia disminuyendo la entropía, adquiriendo orden y organización y el material no reutilizable es acumulado como desecho, lo que es causa de polución de aire, agua y suelo.

Para la economía clásica el valor es determinado por la escasez, pero como para los economistas neoclásicos los recursos naturales no importan porque se han creído que su variación no genera inflación monetaria (Barnett y Morse 1963), se ha trastocado la relación entre la escasez de las materias primas y su valor monetizable. El precio de la energía, por ejemplo, depende mucho más de coyunturas políticas, de subsidios y de especulaciones financieras del sistema globalizado que de la disponibilidad del recurso. (Bravo 2015) Esta ruptura crea una sensación de éxito antropocénico respecto de la naturaleza debido a que todavía hay recursos en abundancia a corto plazo, pero

8 La energía incidente es de  $3.67 \times 10^{18}$  kilocalorías por día, 29% es reflejada. El 50% de la luz solar incidente es luz visible. El 10% de la luz visible se transforma en materia orgánica, unas 3400 kcal/m<sup>2</sup> día (Odum, 1980). La masa del planeta Tierra es  $M_{\oplus} = 5.97219 \times 10^{24}$  kg. De estos materiales, solamente un pequeño porcentaje de la corteza aporta elementos para el flujo de la materia. La energía geofísica aporta energía potencial a través de la formación del relieve de los continentes.

como hemos analizado más arriba, esa sensación esta fuera de la realidad.<sup>9</sup>

Las ecuaciones (1) y (3) demuestran que el sistema colapsa cuando las fuentes de materia y energía se agotan (figura 1.B), a menos que se consiga un sustituto externo tal como lo mostramos en la figura 1.D. Pero si miramos el problema en la escala espacio-temporal adecuada —ej.: humanos en la biósfera hoy—, las limitaciones de  $\beta k(t)$  harán efecto tarde o temprano.

### Los límites estequiométricos del factor $\beta k(t)$ en la construcción de nicho

Cuando el ciclo de un elemento químico incluye a la geología y a organismos biológicos, hablamos de ciclos biogeoquímicos. (Woodmansey y Duncan 1980) Estos ciclos son indispensables en la evolución biológica (Abelson 1999). Los ecosistemas terrestres maduros capturan y reciclan nutrientes internamente. (Smil 2000) No obstante, la pérdida de nutrientes inducida por las actividades humanas es un problema muy frecuente y poco estudiado fuera de la agricultura intensiva. (Abelson 1999/Newman 1997)

Tomemos como ejemplo el del fósforo (P), que es un macroelemento esencial para la vida y cuyo efecto fertilizante en los ecosistemas es bien conocido. Su ciclo natural es extremadamente lento y el componente biológico lo recicla naturalmente a nivel local. Este ciclo se corta si parte de estos componentes se va del lugar (Smil 2000). Las consecuencias de la pérdida de nutrientes para un ecosistema son bien conocidas en agroecosistemas; sólo se pueden seguir aprovechando los servicios ecosistémicos si se reponen los elementos perdidos que son la base de la productividad. (Flueck et al. 2011) Por lo tanto la exportación de biomasa requiere la colocación del fertilizante fósforo (P), el cual se utiliza principalmente en producción intensiva quedando otros sistemas de producción expuestos a una disminución de las reservas de P. Las fuentes mundiales de P (no-renovables) que producen fertilizantes son

9 Si se carece de capacidad predictiva, los problemas aparecen cuando se traspasaron los límites, nunca antes, o sea que se perciben cuando ya es tarde.

muy limitadas, están llegando al límite de producción y muestran signos de agotamiento. (Cordell et al. 2009/Elser y White 2010)

Una limitación inexorable de  $\beta k(t)$  es la ley de Liebig: la sustentabilidad del sistema está dada por la cantidad del elemento más escaso en el mismo. Si el sistema económico supera el umbral de dicho elemento, la catástrofe es inevitable. Por más que confiemos en sustitutos tecnológicos de una importante cantidad de materias primas, y que por cierto pueden incrementarse a futuro, siempre se dependerá de las fuentes de elementos químicos necesarios para las manufacturas.<sup>10</sup>

### La Ley de Liebig es el límite absoluto de todo discurso sobre la viabilidad del sistema

La biomasa está compuesta por la organización de 26 de los 96 elementos químicos que existen en la naturaleza. De estos 26, la gran mayoría de la materia viva consta de solamente seis: hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, carbono, fósforo y calcio. Resulta obvio a cualquier lector que por más poderoso que sea, por ejemplo, un imperio, bastan solamente dos o tres minutos sin oxígeno respirable (O<sub>2</sub>) para exterminarlo. Aparte de estos constituyentes mayoritarios, las reacciones metabólicas de la vida dependen insoslayablemente de los 20 elementos químicos restantes. La carencia de sodio, potasio, hierro o selenio, por poner algunos ejemplos, detiene todos los procesos bioquímicos que hacen posible la vida. Uno solo que falte de los 26 produce el mismo efecto devastador que el ejemplo de la falta de oxígeno. A la pretendida sustentabilidad social o política o económica, al no tener bases naturales reales, tarde o temprano les llega “la guadaña de Liebig”. Desde este punto de vista podemos visualizar a la evolución de la construcción de nicho como un sistema que arroja hacia el futuro

10 A menos que a futuro seamos capaces de fabricar, como lo hace el interior de las estrellas o los rayos cósmicos, todos los elementos químicos necesarios y de manera “infinita” a partir de hidrógeno y de helio. De todos modos, ese supuesto infinito tiene su Ley de Liebig, ya que a una tasa de crecimiento de la biomasa humana del 2% anual alcanzaríamos la masa del planeta Tierra en solamente 1552 años y la masa del universo conocido ( $9 \times 10^{52}$  kilos) en 4830 años.

un ciclo biogeoquímico dotado de cantidades de sus componentes cuyo balance de masas (estequiometría) debería sostenerse a futuro. Cualquier cambio en dicho balance de masas provoca transformaciones en el  $\beta k(t)$  de las generaciones futuras.

Si los economistas y políticos saben que las generaciones futuras heredarán ecosistemas con menor  $\beta k(t)$  que los actuales, la única explicación de esta insustentable irracionalidad, es el mero interés egoísta, cortoplacista y local en satisfacer al consenso que los mantiene en el poder en desmedro del bien común global y a largo plazo. (Peterson et al. 2005) Como dijo Ortega y Gasset (1930) en *La rebelión de las masas*, los políticos viven el día ocultos en el presente y evitan la solución de conflictos de largo plazo encandilados por las circunstancias más urgentes del momento, no construyen mirando al futuro ni nada que garantice la supervivencia a largo plazo, aunque las posibilidades para hacerlo sean vastas. El yo-aquí-ahora que el consenso reclama reemplaza el “todos-en todas partes-para siempre”, entonces lo políticamente correcto resulta inversamente proporcional a lo ecológicamente correcto. (Monjeau 2010)

Como la economía neoclásica es el paradigma dominante del mundo actual, y es la que rige la toma de decisiones sobre energía, agricultura, ganadería, pesquería, minería, transporte, consumo, empleo y prácticamente todos los aspectos de nuestras vidas cotidianas hasta los últimos rincones del mundo, los planteos de sustentabilidad sin cambiar completamente este paradigma, son falaces. El problema más grave es que cualquier intento local o regional de sustentabilidad que incluya los valores reales de los productos sería inviable económicamente dadas las reglas actuales de intercambio. (Gallopín 1993) Este es un cerrojo del cual la humanidad no puede salirse y que nos conduce a una catástrofe a menos que se cambie de paradigma a escala global.

## Los límites de $\beta k(t)$ considerando la biodiversidad

Hasta aquí sólo hemos considerado en nuestro modelo la capacidad de carga  $\beta k(t)$  para el caso de los humanos sin tener en cuenta que la misma debería estar disponible para ser utilizada por todas las demás especies del planeta. Lo mismo lo han hecho Wackernagel et al. (2002) y Chefurka (2011), estimando que el planeta no alcanza para satisfacer las demandas de la economía humana sin tener en cuenta a las otras especies. Si a los cálculos de Wackernagel et al. (2002) le restáramos un 20% de la superficie terrestre destinado como áreas protegidas sin aprovechamiento económico, el límite de la sustentabilidad se habría sobrepasado aproximadamente en 1970.

La apropiación de materia y energía del ecosistema ha tenido como consecuencia tanto la extinción de un número importante de especies como la transformación y/o modificación de otras —tanto vegetales como animales—, todo esto vinculado con la potencia de la construcción de nicho de las diferentes culturas, especialmente a lo largo de los últimos 10.000 años. La correlación entre la primera aparición de los humanos en nuevos ambientes y los picos de extinción, sobre todo de grandes mamíferos y aves, parece contradecir el mito del buen salvaje rousseauiano en armonía con su entorno natural. (Hames 2007/Fernandez 2011b) La construcción de nicho implica causales directas e indirectas de la extinción de especies y también involucra efectos diferentes dependiendo del clima, del área disponible, de uso del fuego, de la tecnología disponible, de los tempos de coevolución, de la potencia disponible, y de otros componentes antrópicos, físicos o biológicos. (Monjeau et al., in litt.)

Durante los últimos 50.000 años, la evolución de la construcción del nicho humano en su dispersión por el planeta, ha sido interpretada como una de las causas de extinciones del Cuaternario en todo el mundo. A diferencia de las 5 grandes extinciones anteriores, la fauna extinta no ha sido reemplazada por un elenco faunístico nuevo.

(Martin y Klein 1984) Por vez primera, la biomasa de la megafauna extinta ha sido reemplazada por biomasa humana y la de los animales y vegetales domesticados por el hombre. (Barnosky 2008) La energía disponible por unidad de superficie de los biomas parece haber sido un factor determinante de las extinciones vinculadas a la construcción de nichos. Esto es evidente en la tasa desproporcionadamente alta de extinciones de mamíferos y aves en islas oceánicas y otros ambientes en los que los humanos pueden considerarse como una especie invasora. (Lanata et al. 2008) La mayoría de las extinciones (68% en mamíferos y 82% en aves) ha ocurrido en islas dentro de los primeros 100 años de la invasión humana. El porcentaje de géneros extintos de mamíferos mayores a 44 kilos (Eurasia 1%, África 7%, Norte América 73%, Sudamérica 79%, Australia 86%) está correlacionado con el área disponible para los humanos en cada continente. A menor área, menor energía disponible para ser convertida en biomasa, entonces la potencia de la invasión humana reemplaza la biomasa animal a mayor velocidad en áreas más pequeñas. (Abramson et al. in litt.) Existe además una fuerte correlación positiva entre el peso máximo de los mamíferos y el tamaño del área continental, otra consecuencia de la energía disponible. En un área reducida, la potencia para expandir el proceso de construcción de nicho humano no puede aumentar mediante la expansión territorial en busca de mayores recursos energéticos. Sólo puede hacerlo intensificando el esfuerzo de captura de energía del ecosistema por unidad de superficie. A mayor intensidad, mayor es la tasa de extinción.

Durante los últimos momentos del Pleistoceno Final (ca. 18.000 a 12.000 años atrás), los distintos predadores, incluyendo al *Homo sapiens*, y las presas fueron desplazados conjuntamente hacia los mismos refugios. De manera similar, las poblaciones de cazadores-recolectores contemporáneas fueron circunscritas, junto con la biodiversidad de cada ecosistema, hacia distintos espacios del planeta. Y, en general, estos son aquellos ecosistemas adonde los mercados aún no han llegado y/o se encuentran en áreas protegidas. Esta circunscripción en un espacio menor, modifica las prácticas de uso del espacio, movi-

lidad, estacionalidad, y otras que hicieron sustentable el nicho cazador-recolector durante milenios, con las variaciones particulares de cada caso; pero que ahora, por reducción del área del sistema cazadores-presas, ya no lo son. (Monjeau 2010) Desde el año 1500, al menos 83 especies de mamíferos, 128 especies de aves, 21 de reptiles, 5 de anfibios, 81 de peces, 375 de invertebrados y 380 especies de plantas han sido registradas como extintas. (Groombridge y Jenkins 2002) La potencia transformadora de los tiempos modernos rompe todos los records del pasado: un promedio de 20 a 25 especies de mamíferos y aves se extingue cada 100 años en el planeta, lo que eleva la tasa de extinción 200 veces por sobre el promedio histórico. ("*extinction background*", Pimm et al. 2014) Es decir que la tasa de extinción se correlaciona con la potencia disponible para la construcción de nicho, en este caso de lo humanos.

El problema de las extinciones es, a la vez, una cuestión tanto ética como económica. La extinción de especies y/o el agotamiento de macroelementos provocan efectos en cascada que no sólo perjudican a la biodiversidad sino a los servicios de los cuales depende la economía humana. Teniendo en cuenta las necesidades de energía y biomasa de las otras especies, el  $\beta k(t)$  disponible para transformar biósfera en biomasa de *Homo sapiens* y en cultura, es mucho menor. Los verdaderos cálculos de sostenibilidad de nuestra especie, son los que consideran nuestra capacidad de carga de coexistencia.

La conclusión de estos datos resulta evidente: cada nueva generación recibe un ecosistema cada vez más empobrecido en biodiversidad, lo que junto a las argumentaciones termodinámicas y biofísicas, refuerza el argumento de la inviabilidad de estas tendencias a futuro.

## Reflexiones bioéticas a modo de conclusión

Entendemos que el modelo que hemos presentado es un buen disparador para una discusión sobre el problema de la sustentabilidad sobre bases cuantitativas. Puede usarse con bases de datos reales, como la ofrecida por Wackernagel

et al. (2002) en su material suplementario y medir las consecuencias de distintos discursos. La construcción de un nicho humano futuro que sea sustentable implica el desarrollo de un modelo socio-económico que sea al menos:

- a. altruista: es decir que le brinde a cada habitante del planeta una disponibilidad de recursos suficiente para poder desarrollar al máximo su potencial humano, pensando en la especie como punto de partida y no en los individuos;
- b. restringido a la capacidad del sistema natural del cual forma parte: las normativas legales de los humanos deben subordinarse a las leyes biofísicas para lograr la viabilidad del sistema;
- c. adecuado a los procesos de generación de biodiversidad de los ecosistemas: una intervención humana que evite o atenúe las causas antrópicas de la extinción de especies y que conserve la variación funcional propia de los ecosistemas;
- d. equipotente en el tiempo: que el  $\beta k(t)$  de cada individuo presente para desarrollar a pleno su potencial sea el mismo para cada individuo del futuro.

¿Es posible la utopía de un nicho humano sustentable que cumpla con estas cuatro premisas?

Las cuatro premisas de sustentabilidad nos darían un escenario parecido al de la figura 1.C: una sociedad sustentable gracias al autocontrol del consumo y de número poblacional viable, dando como resultado una huella más modesta. El nicho humano actual no cumple con ninguna de las cuatro premisas de la sustentabilidad: es injusto, sobrepasa las leyes naturales, provoca extinciones, y arroja al futuro peores posibilidades que las presentes incluyendo el colapso abrupto como algo probable. Es el resultado de la economía neoclásica. Sin embargo, tal vez aun estemos a tiempo para aplicar las lecciones aprendidas de los errores del pasado y del presente.

El logro de una nueva utopía para la humanidad, es decir, un mundo que sea socialmente justo y suficiente para satisfacer las necesidades de desarrollo humano de todos los individuos, de una

manera viable para todas las especies del planeta y que garantice la funcionalidad de los ecosistemas a perpetuidad, implica como primera medida la adecuación a los recursos y energía disponible del planeta. Por ejemplo, siete mil millones de personas viviendo el “American way of life” es absolutamente inviable para el planeta. Dado que esta inviabilidad opera matemáticamente restringiendo la cantidad de personas que pueden nacer con derecho al mismo uso de recursos per cápita (como sucede en la figura 1.B), tener un consumo mayor al promedio de  $\beta k(t)$  y una huella humana superior al promedio del factor  $\epsilon$  es equivalente a un crimen de lesa humanidad. Ese es un claro límite ético para cada individuo y puede medirse si hacemos los cálculos con las bases de datos disponibles ya mencionadas.

La lucha por el reconocimiento (sensu Hegel 1966) es uno de los motores principales del sobreconsumo debido a que la opulencia -o la capacidad para apropiarse de recursos- es un indicador de prestigio social. Tomando como norma orientadora de la ética al imperativo categórico kantiano (Kant 1995) cabría preguntarse cada vez que sobre-usamos recursos qué sucedería con el planeta si todos hiciésemos lo mismo. Cuando se tome conciencia de lo que dicha opulencia significa para una ética planetaria y comience a ser motivo de vergüenza, empezaremos a transitar el camino hacia el retroceso razonable que nos ubique en la modesta posición que nos ha tocado en la Tierra.

## Agradecimientos

El presente trabajo forma parte del PICT V 2014-1558 “Sociedades y Ambientes en Transformación” financiado por FONCYT-MINCYT de Argentina. También ha contado con el apoyo de CONICET (PIP 112-201101-00310), Universidad Nacional de Cuyo (06/C410), ANPCyT (PICT-2011-0790), BC IPM 2013. AM es financiado por el CONICET y por el CNPq como científico visitante de la Universidade Federal do Rio de Janeiro (PVE 400363/2014-3) y agradece a sus colegas de la Fundación Bariloche por el ambiente de trabajo creativo y de libertad intelectual.

**Entregado** 23 – 5 - 2015

**Aprobado** 18 – 6 - 2015

## Bibliografía

- ABELSON P.H., 1999. A Potential Phosphate Crisis, *Science*: 283, 5410, 2015.
- ABRAMSON G., LAGUNA M.F., KUPERMAN M.N., MONJEAU J.A. and LANATA J.L., 2015. On the roles of hunting and habitat size on the extinction of megafauna, en prensa en *Quaternary International*.
- AGUIRRESALAJ., 2015. La metodología hermenéutica como vínculo entre la ética ambiental y la administración de la tierra, Cuadernos de Ética, Vol.30, N° 42, 2015 (edición extraordinaria). Disponible en <http://aaieticas.org/revista/index.php/cde>
- BARNETT H. J. and MORSE C., 1963. Scarcity and Growth: The Economics of Natural Resources Availability, Johns Hopkins University Press, Baltimore, 324 pp.
- BARNOSKY A., 2008. Megafauna biomass tradeoff as a driver of Quaternary and future extinctions, PNAS. Disponible en [www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.0801918105](http://www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.0801918105)
- BRAVO V., 2015. Análisis del mercado petrolero mundial, Documentos de trabajo, Fundación Bariloche, Bariloche, Argentina, 205 pp.
- CHEFURKA, P., 2011. Carrying capacity and overshoot: another look. Disponible en: [http://www.paulchefurka.ca/CC\\_Overshoot.html](http://www.paulchefurka.ca/CC_Overshoot.html)
- CORDELL D., DRANGERT J.O. and WHITE S., 2009. The story of phosphorus: Global food security and food for thought, *Global Environmental Change*, 19, 292–305.
- COURCHAMP F., GRENFELL B. and CLUTTON-BROCK T., 1999. Population dynamics of obligate cooperators, *Proceedings of the Royal Society of London B*, 266, 557-563.
- DAY R. L., LALAND K. and ODLING-SMEE J., 2003. Rethinking Adaptation. The niche-construction perspective, *Perspectives in Biology and Medicine*, 46, 80–95.
- DIAMOND J.M., 2005. Collapse: How Societies Choose to Fail or Succeed, Penguin Books, New York, 608 pp.
- ELSER J. and WHITE S., 2010. Peak phosphorus and why it matters. Disponible en [http://www.foreignpolicy.com/articles/2010/04/20/peak\\_phosphorus?](http://www.foreignpolicy.com/articles/2010/04/20/peak_phosphorus?)
- FERNANDEZ, F.A.S., 2011a. Disponible en: <http://www.oeco.org.br/fernando-fernandez/20233-a-tal-da-sustentabilidade>
- FERNANDEZ F.A.S., 2011b. O poema imperfeito (terceira edição), Editora UFPR, Curitiba, Brasil, 257 pp.
- FLUECK W.T., SMITH-FLUECK J.M. and MONJEAU J.A., 2011. Protected areas and extensive productions systems: a phosphorus challenge beyond human food. *BioScience*, 61,(8),582.
- GALLOPÍN G., 1993. Prospectiva ecológica para América Latina: Futuros alternativos, en Goñi F. y Goñi R. (eds.), Elementos de Política Ambiental. HCD, La Plata, pp. 821-848.
- GEORGESCU-ROEGEN N., 1971. The Entropy Law and the Economic Process. Harvard University Press, Cambridge, USA, 283 pp.
- GOÑI, R. y GOIN, F., 2006. El desarrollo sustentable en tiempos interesantes, Scalabrini Ortiz Editorial, La Plata, Argentina, 220 p.
- GROOMBRIDGE, B. and JENKINS, M., 2002. World Atlas of Biodiversity, Unep World Conservation Monitoring Centre, University of California Press, Berkeley, USA.
- GURNEY, W.S.C. and LAWTON, J.H., 1996. The population dynamics of ecosystem engineers, *Oikos*, 76, 273–83.
- HALL, C., LINDENBERGER D., KÜMMEL R., KROEGER T. and EICHHORN W., 2001. The need to reintegrate natural sciences with economics, *Bioscience*, 51, 663-673.
- HAMES, R., 2007. The ecological noble savage debate, *Annual Review of Anthropology*, 36, 277-90.
- HARRIS, M., 1996. Antropología cultural, Alianza Editorial, Salamanca, España. 622 pp.
- HEGEL, G.W.F., 1966. Fenomenología del espíritu, Fondo de Cultura Económica, México, pp. 472.
- HERRERA, A.O., SCOLNIK, H.D., CHICHILNISKY, G., GALLOPÍN, G.C., HARDOY, J.E., MOSOVICH, D., OTEIZA, E., DE ROMERO BREST, G., SUAREZ, C.E. y TALAVERA, L., 1977. ¿Catástrofe o nueva sociedad? Modelo Mundial Latinoamericano, International Development Research Center, Ottawa, Canadá, 127 pp.
- HUI, C., LI, Z. and YUE, D.X., 2004. Metapopulation dynamics and distribution, and environmental heterogeneity induced by niche

- construction, *Ecological Modelling*, 177, 107–118.
- Informe Brundtland, 1987. Nuestro Futuro Común. Informe de la Comisión Mundial de Medio Ambiente, Naciones Unidas. Versión en español disponible en <http://es.scribd.com/doc/105305734/ONU-Informe-Brundtland-Ago-1987-Informe-de-la-Comision-Mundial-sobre-Medio-Ambiente-y-Desarrollo#scribd>
- JONES, C.G., LAWTON, J. H. and SHACHAK, M., 1997. Positive and negative effects of organisms as physical ecosystem engineers, *Ecology* 78, 1946–1957.
- JONES, C.K.R.T. 1984. Stability of the travelling wave solution of the FitzHugh-Nagumo System, *Transactions of the American Mathematical Society*, 286, (2), 431-469.
- KANT, I., 1995. Fundamentación de la Metafísica de las Costumbres, Editorial Espasa Calpe, 11ª ed., Madrid, 146 pp.
- LALAND, K.N., ODLING-SMEE, F. J. and FELDMAN, M.W., 1996. On the evolutionary consequences of niche construction, *Journal of Evolutionary Biology*, 9, 293–316.
- LALAND, K.N., KENDALL, J.R. and BROWN, G.R., 2007. The niche construction perspective: Implication for evolution and human behaviour, *Journal of Evolutionary Psychology* 5: DOI: 10.1556/JEP.2007.1003
- LANATA, J.L., MARTINO, L.A., OSELLA, A. and GARCÍA-HERBST, A., 2008. Demographic conditions necessary to colonize new spaces: the case for early human dispersal in the Americas. *World Archaeology*, 40, (4), 520- 537.
- LATOUCHE S. 2009. La apuesta por el decrecimiento, Icaria, Barcelona, 253 pp.
- LATOUR, B., 2004. *Politics of Nature. How to bring science into democracy*, Harvard University Press, Cambridge, USA, 320 pp.
- LEHMANN, L., 2008. The adaptive dynamics of niche constructing traits in spatially subdivided populations: evolving posthumous extended phenotypes, *Evolution*, 62, 549–566.
- LEWONTIN, R.C., 1982. Organism and environment, en Plotkin E.C. (ed). *Learning, Development and Culture*, Wiley, New York, pp. 151–170.
- LEWONTIN, R.C., 1983., Gene, organism, and environment, en Bendall D. S. (ed), *Evolution from Molecules to Men*, Cambridge University Press, Cambridge, pp. 273–285.
- LEWONTIN, R.C., 2000. *The Triple Helix: Gene, Organism and Environment*, Harvard University Press. Boston, USA.
- MARTIN, P. and KLEIN, R. (eds.), 1984. *Quaternary extinctions*, University of Arizona Press, Tucson, Arizona, USA, 892 pp.
- MEADOWS, D.H., MEADOWS D.L. y RANDERS J., 1972. Los límites del crecimiento. Informe del Club de Roma sobre el Predicamento de la Humanidad. Fondo de Cultura Económica, México, 253 pp.
- MONJEAU, J.A., SMITH-FLUECK, J. and FLUECK, W., 2013. The need to unmask lurking false friends: sustainability is a state, not a process! *Natureza & Conservação*, 11, 1-3.
- MONJEAU, J.A., 2010. Conservation crossroads and the role of hierarchy in the decision-making process, *Natureza & Conservação*, 8,112-119.
- MONJEAU, J.A., ARAUJO, B., ABRAMSON, G., KUPERMAN, M.N., LAGUNA, M.F. and LANATA, J.L., 2015. The controversy space on Quaternary megafaunal extinctions. En *revisión en Quaternary International*.
- NAEEM, S., 2013., *Ecosystem Services: Is a Planet Servicing One Species Likely to Function?*, en ROZZI, R., PICKETT, S.T.A., PALMER, C., ARMESTO, J.J. and CALLICOTT, J.B., (eds), *Linking Ecology and Ethics for a Changing World: Values, Philosophy, and Action*, Ecology and Ethics, Springer: Dordrecht: Netherlands, pp. 303-321.
- NEWMAN, E.I., 1997. Phosphorus balance of contrasting farming systems, past and present. Can food production be sustainable? *Journal of Applied Ecology*, 34,1334-1347.
- ODLING-SMEE, F.J., LALAND, K.N. and FELDMAN, M.W., 2003. *Niche Construction: The Neglected Process in Evolution*, Monographs in Population Biology 37. Princeton University Press. Princeton, USA, 419 pp.
- ODLING-SMEE, F.J., LALAND, K.N. and FELDMAN, M.W., 1996. Niche construction, *American Naturalists*, 147, 641–648.
- ODLING-SMEE, J. and LALAND, K.N., 2012 *Ecological inheritance and cultural inheritance: What are they and how do they differ?* *Biological Theory* DOI 10.1007/s13752-012-0030-x
- ODUM, H.T., 1980. *Ambiente, energía y sociedad*, Editorial Blume, España, 189 pp.
- ORTEGA Y GASSET, J., 1930. Edición citada 2003. *La rebelión de las masas*. Edición de Domingo Hernández Sánchez, Tecnos, Madrid, España. 444 pp.

- PETERSON, M.N., PETERSON, M.J. and PETERSON, T.R., 2005. Conservation and the myth of consensus. *Conservation Biology*, 19, 762-767.
- PIMM, S.L., JENKINS, C.N., ABELL, R., BROOKS, T.M., GITTLEMAN, J.L., JOPPA, L.N., RAVEN, P.H., ROBERTS, C.M. and SEXTON, J.O., 2014. The biodiversity of species and their rates of extinction, distribution, and protection. *Science*, 344, 6187.
- ROZZI, R., ARANGO, X., MASSARDO, F., ANDERSON, C., HEIDINGER, K. and MOSES, K., 2008. Field environmental philosophy and biocultural conservation: the Omora Ethnobotanical Park educational program. *Environmental Ethics*, 30,(3), 325-336.
- SACHS, J., 2008. Economía para un planeta abarrotado. Debate, Buenos Aires, Argentina, 528 pp.
- SANDERSON, E., JAITEH, M., LEVY, M., REDFORD, K., WANNEBO, A. and WOLMER, G. 2002. The human footprint and the last of the wild. *Bioscience*, 52, 891-904.
- SCOTT, R. y LIDDELL, H.G., 1996. A Greek-English Lexicon, New York: Oxford Press
- SHACHAK, M. y JONES, C.G., 1995. Ecological flow chains and ecological systems: Concepts for linking species and ecosystem perspectives, en JONES, C.G. and LAWTON, J.H. (eds), *Linking species and ecosystems*, Chapman and Hall. New York, pp. 280-296
- SMIL, V., 2000. Phosphorus in the environment: Natural Flows and Human Interferences, *Annual Review of Energy and Environment*, 25, 53-88.
- TURNER, J. S., 2000. The extended organism: The physiology of animal-built structures, Harvard Univ. Press. Cambridge, USA, 235 pp.
- WACKERNAGEL, M., SCHULZ, N.B., DEUMLING, D., CALLEJAS LINARES, A., JENKINS, M., KAPOS, V., MONFREDA, C., LOHI, J., MYERS, N., NORGAARD, R. and RANDERS, J., 2002. Tracking the ecological overshoot of the human economy, *PNAS*, 99, 9266-9271.
- WITTEGENSTEIN, L., 1999. Investigaciones filosóficas, Ediciones Altaza, España, 126 pp.
- WOODMANSEE, R.G. and DUNCAN, D.A., 1980. Nitrogen and Phosphorus Dynamics and Budgets in Annual Grasslands, *Ecology*, 61,(4), 893-904.