

Cálculo de la capacidad de carga ambiental humana: su importancia en el crecimiento demográfico

José Luis Nava Villalba¹

¹ Universidad Mexiquense del Bicentenario. Unidad de Estudios Superiores Tultitlán. San Antonio s/n, Villa Esmeralda, 54910 Tultitlán de Mariano Escobedo, México.
Xiuhcoatl111@gmail.com

Cita: Navas Villalba, J. L. (2020). Cálculo de la capacidad de carga ambiental humana: su importancia en el crecimiento demográfico. *Revista Mesoamericana de Biodiversidad y Cambio Climático–Yu'am*, 4(1): 4-18.

Recibido: 29/03/2019 **Aceptado:** 18/02/2020 **Publicado:** 30/06/2020

Resumen

La capacidad de carga ambiental es un elemento crucial en la regulación de las poblaciones de seres vivos. Sin embargo, los seres humanos parecen escapar a esta regla, cuestión que ha dado lugar a amplias discusiones sobre la pertinencia de la “catástrofe malthusiana”. ¿Tienen los seres humanos una capacidad de carga ambiental? Y si es así, ¿se puede calcular? En el presente artículo se propone una ecuación para calcular la capacidad de carga de la población humana, así como dos índices de presión ambiental. Se aplicó la fórmula propuesta a dos casos históricos reales para verificar su pertinencia: el colapso Maya en la ciudad de Copán y la actual crisis política, económica y social en Venezuela. Se concluye que esta capacidad de carga ambiental humana esta fuertemente ligada al nivel de vida y a la huella ecológica correspondiente.

Palabras clave: capacidad de carga, deforestación, Maya, seguridad alimentaria, sobrepoblación, Venezuela.

Abstract

Carrying capacity is crucial in the regulation of population growth. However, the human beings seem to scape this rule. The issue has given rise to extensive discussions about the relevance of the “Malthusian catastrophe”. Do human beings have an environmental carrying capacity? And if so,

can it be calculated? This article proposes a formula to calculate human carrying capacity, as well as two environmental pressure indexes. To validate them, the proposed equations were applied to two real historical case-studies: the Mayan collapse in the city of Copan and the current political, economic and social crisis in Venezuela. We found that the human carrying capacity is strongly linked to the population's standard of living and its corresponding ecological footprint.

Keywords: carrying capacity, deforestation, environmental pressure, food security, Maya, overpopulation, environmental pressure, Venezuela.

Introducción

El postulado básico de Malthus acerca del crecimiento poblacional—que propone que la población crece de manera geométrica mientras que la producción de alimentos lo hace de manera aritmética—ha demostrado ser erróneo, lo que ha dado lugar a que se dude de la posibilidad de que la humanidad pueda enfrentarse a una carencia generalizada de alimentos. Tal postulado es erróneo por cuanto Malthus elaboró su propuesta con las herramientas y conocimientos de su época, nunca previó que se iba a desencadenar la revolución industrial, el desarrollo de antibióticos y la revolución verde, fenómenos entre otros que han disparado la población humana a niveles nunca vistos, y sin que la producción de alimentos sea una aparente amenaza a su continuidad.

El ser humano, a diferencia de otros animales, es un generalista tenaz, que cuenta con una capacidad intelectual y manejo de herramientas sofisticadas que le permite explotar diferentes ambientes y recursos de una manera que ningún otro ser vivo es capaz. Para cualquier otro animal, su población depende de la disponibilidad de alimentos y otros recursos que el ambiente le brinda aún en el caso de los omnívoros que pueden explotar diferentes fuentes de alimento. Una vez superado este nivel máximo de individuos que el ambiente puede sustentar, la población fluctúa por debajo y por encima de la capacidad de carga ambiental (K) hasta lograr un equilibrio más

o menos evidente. Además, la productividad natural depende de múltiples factores de manera compleja, tales como el tipo de suelo, el clima, la precipitación anual, la irradiación solar, entre otros (Margalef, 1998). El ser humano, por el contrario, puede explotar la caza, la pesca, el consumo de cereales, frutos, tubérculos e incluso cultivarlos de manera premeditada.

Cuando la producción de alimentos en una región disminuye por cambios climáticos, pluviales o estacionales, el ser humano normalmente es capaz de explotar otros recursos diferentes a los habituales, escarbar el suelo en busca de raíces y tubérculos, cultivar especies adaptadas a ese entorno específico, migrar a otros lugares, importar alimentos de otras regiones o comerciar con estos recursos, esto ha permitido que el ser humano escape de la “trampa malthusiana”, dando la impresión de que para éste no se aplica dicha regla del mundo natural o que es errónea. Sin embargo, hay que considerar que los seres humanos no podemos escapar del todo al principio de la capacidad de carga, cuyo cumplimiento se verifica de manera efectiva en otros seres vivos.

Medir la productividad de la superficie terrestre o marítima del planeta es complejo, siempre hay un factor, una variable, un mecanismo, que no se toma en cuenta, mucho más en el caso de las áreas de cultivo humano que combinan diversas técnicas y pueden tener diversas productividades dependiendo del cultivo y técnica que se aplique (Haberl et al.,

2015). La productividad que logra el humano superapormuchoalanatural, lo que permite que la misma superficie trabajada de manera planeada, inteligente, extensiva e intensivamente, pueda soportar una población mucho mayor de lo que lo haría en circunstancias naturales. Por circunstancias naturales podríamos referirnos a sociedades de cazadores recolectores, los cuales son capaces de hallar diversas fuentes de alimentación y tener una buena nutrición y salud aún en ambientes áridos, pero cuya densidad poblacional está determinada por los recursos disponibles (Diamond, 2007). Cuando la densidad poblacional en dichas sociedades superaba la disponibilidad de recursos, las mismas comunidades recurrían a medidas de control poblacional tales como la guerra, el infanticidio, el posponer la edad matrimonial o la edad de la primera gestación, entre otras (Harris, 2011).

En épocas actuales, en cuanto una población humana supera la capacidad de carga ambiental que le impone su entorno, lo modifica para adaptarlo a sus necesidades. En cuanto un humano siembra, aunque sea una pequeña parcela en una hectárea, ya ha modificado la productividad natural del área en la que se encuentra, aumentándola en provecho suyo y, generalmente, en detrimento de otros seres vivos. Las comunidades se organizan, desarrollan y extienden nuevos métodos de cultivo de plantas y animales que le permiten satisfacer las demandas de la nueva población creciente, por lo cual la población humana va siempre un paso delante de la “trampa malthusiana”. No obstante, este crecimiento constante de la población y la producción de alimentos tiene sus límites, ejemplos de los cuales ya se han producido en el pasado, con el colapso de sociedades como la Maya de las tierras bajas (Douglas et al., 2015), la cultura Tiahuanaco (Arkush, 2012), Tollan (Guevara, 2006), la cultura Chaco (Turner y Turner, 1999), la isla de Pascua (Diamond, 2007),

generalmente por causas multifactoriales tales como guerras, conflictos sociales y administrativos, pero agudizadas por eventos ambientales, particularmente las sequías.

Los eventos que generan hambrunas por causa de fenómenos que deprimen temporalmente la producción de alimentos en un tiempo y una zona determinados se han clasificado tradicionalmente como “hambre coyuntural”; mientras que se clasifican como “hambre estructural” los eventos que son el resultado de la incapacidad de una sociedad de aumentar la producción de la tierra habiendo la tecnología para ello (Ziegler, 2000). En otras palabras, se asume que el hambre estructural no es un problema de límites de recursos, sino de falta de voluntad política, capacidad tecnológica, financiera o cultural de la población humana. Y si bien es cierto que estas crisis obedecen en gran parte a estas causas, no se reconoce que la capacidad productiva de la tierra ha sido forzada más allá de su capacidad natural, mediante técnicas e insumos cuya existencia puede ser también temporal, o depender de factores delicados, y oculta que, de cierta manera, la “trampa malthusiana” ha emergido de una forma especial, y un tanto diferente a como se aplica al resto de seres vivos. Así como la teoría de la generación espontánea ha demostrado ser errónea excepto en el momento mismo del origen de la vida, no por falsa, sino debido a que cualquier molécula orgánica surgida de manera espontánea sería consumida de inmediato por algún ser vivo, también la trampa malthusiana ha demostrado ser errónea, excepto al final, cuando el ser humano ya no tiene a donde expandirse, no por falsa, sino porque cualquier exceso de población es rápidamente cubierto por nuestra capacidad de forzar un aumento en la producción.

Medir la capacidad de carga ambiental humana de una región determinada tiene, por tanto, gran importancia para el futuro,

dado que esta puede haber alcanzado valores críticos en muchas regiones, y el suministro de alimentos depender de mecanismos de duración temporal y mantenimiento complejo. Medir la nueva productividad del suelo puede resultar muy complejo si se trabaja un área muy grande, con variedad de ecosistemas, tipos y técnicas de cultivo. Y determinar el número de personas que sería permisible mantener en una región determinada con estos recursos resulta difícil y polémico, pero es imperativo para planear el crecimiento poblacional y urbano, la producción de alimentos y la conservación de recursos naturales. Este artículo propone una manera de calcular la capacidad de carga ambiental humana, consciente de que es un primer intento, que sin duda no contempla todas las variables posibles, que no esta exenta de errores y de que es perfectible, pero constituye una aproximación a esta necesidad.

Metodología

Se generaron dos fórmulas de presión ambiental y una fórmula de cálculo de la capacidad de carga ambiental humana basada en los conceptos de: (1) superficie productiva, entendida como el área de superficie terrestre que puede generar productos aprovechables por el ser humano (Upadhyaya y Alok, 2016); (2) huella ecológica, considerada como indicador del impacto ambiental generado por la demanda humana de los recursos del planeta (Wackernagel y Rees, 2001); y (3) productividad natural de diversos ecosistemas, que se refiere a la productividad de una superficie de tierra sin influencia humana (Litina, 2016). Posteriormente, usando datos oficiales del Banco Mundial de productividad de la tierra y población (Banco Mundial, 2018a; 2018b), se aplicaron las fórmulas mencionadas y luego fueron utilizadas en dos casos reales para evaluar su pertinencia: (1) el caso del colapso

Maya de las tierras bajas en Copán, Guatemala, en el periodo clásico, y (2) el caso de la actual crisis política, económica y social en Venezuela.

Adicionalmente, se calculó un factor comparativo de producción de diversos ecosistemas, agrupándose en: pastizal templado, pastizal tropical templado, bosque templado, bosque tropical y zonas áridas; tomando el pastizal templado como la unidad de referencia por ser el origen de la agricultura y centro de origen de muchos cultivos, tales como el trigo. Para el cálculo de dicho factor comparativo de producción se usaron los datos de producción de cereales en ton/km² de 120 países en el año 1961 de acuerdo con el Banco Mundial (2018a). Se seleccionaron estos datos por ser previos a la introducción de la revolución verde, debido a que los datos actuales muestran enormes divergencias debido a la introducción de técnicas intensivas en algunos lugares y a su total inexistencia en otros, mientras que en el período citado las técnicas de producción mostraban una mayor homogeneidad y una menor diferencia en la producción/ha reportada en ton/ha.

Resultados

Calcular la cantidad de habitantes que puede soportar el planeta puede resultar polémico, pero puede realizarse una aproximación (e.g., Nava y Ordaz, 2017; Nava, 2018). En 1970, el ecólogo estadounidense Eugene P. Odum determinó que un ser humano necesita como mínimo 0.00125 km² (0.125 hectáreas) de área explotable para obtener las calorías necesarias para sobrevivir durante un año, pero siendo estas tan solo el aporte calórico, se deben incluir otros 0.00475 km² que aportarán proteínas, vitaminas, grasas y minerales en forma de frutas, verduras, tubérculos, pescados, carne y otros productos de origen animal y vegetal, además de otros 0.004 km² para generar

productos de uso cotidiano tales como papel, telas, maderables, etc. y otros 0.002 km^2 para infraestructura, tales como escuelas, hospitales, carreteras, comercios, etc. lo cuál da un total de 0.012 km^2 mínimos para vivir de una manera digna (Odum, 1970). Sin embargo, muchos humanos, de acuerdo con su nivel de ingresos, usan una superficie mucho mayor. Basado en el concepto de huella ecológica, desarrollado por Wackernagel y Rees (2001), la superficie de un individuo en la sociedad estadounidense ha sido estimada en un valor de hasta 0.0837 km^2 y de 0.1564 km^2 para Qatar (Global Footprint Network, 2018).

Si consideramos que el planeta Tierra tiene una superficie productiva de 134 millones de km^2 (Semarnat, 2012), de los cuales se considera que el 15 % está protegido para conservación (UNE, 2016), hay disponibles 113 millones de km^2 productivos, que corresponden al 33 % de la superficie del planeta, es decir, las áreas óptimas para la agricultura, pesca, ganadería y explotación forestal, y aunque el humano tiene la capacidad de ocupar otros muchos ecosistemas, por ejemplo el bosque tropical, estos ecosistemas no son igualmente productivos, o su productividad declina rápidamente por factores edáficos y climáticos. Si dividimos la superficie disponible entre los 0.012 km^2 mínimos necesarios para un estilo de vida digno, nos da un total de 9,400 millones de humanos que el planeta y sus recursos pueden mantener con un nivel de vida aceptable. Ese número de seres humanos se aproxima al de 9,800 millones de habitantes que se estima habrá en el planeta para el año 2050 y que se espera se estabilice o comience a decrecer lentamente (UNPD, 2017). Sin embargo, muchos habitantes del planeta utilizan una superficie mayor a la calculada, derivado de su mayor poder adquisitivo, especialmente, en los países desarrollados. Si todos los habitantes del planeta consiguieran alcanzar el nivel de vida de la mayoría de los ciudadanos de los Estados

Unidos, dividiendo los 113 millones de km^2 productivos entre los 0.0837 km^2 que exige este estilo de vida, el planeta solo podría sostener a poco más de 1,350 millones de humanos, la quinta parte de los que somos actualmente. Es decir, el planeta podría soportar más de 9,000 millones de habitantes, pero con un importante documento en la calidad de vida de una gran parte de la población. Dado que un gran porcentaje de la superficie productiva es acaparada por los habitantes con un nivel de vida más alto, esto deja un área menor para dividirse entre el resto de los habitantes, dando como resultado una superficie disponible per cápita mucho menor a ese 1.2 ideal.

Ahora bien, si dividimos nuevamente los 113 millones de km^2 entre los 7,500 millones de habitantes estimados para el año 2018, la superficie disponible para cada ser humano es de 0.015 km^2 , ya muy próximos a esos 0.012 km^2 ideales. Como se puede apreciar, la población humana está ya muy cerca de su límite. Sin embargo, la presión que ejercemos los humanos sobre el planeta es mucho mayor a este dato, si consideramos que el promedio de la huella ecológica global es de 0.028 km^2 (i.e., 2.8 hectáreas globales—hag.) por habitante, contemplando tanto a las personas que más consumen como a los que menos (Nava, 2018). Al multiplicar estos 0.028 km^2 por los 7,500 millones de humanos que somos actualmente, obtenemos la cifra de 210 millones de km^2 de superficie productiva de las que obtenemos recursos y sobre las que generamos presión. Esta cifra es obviamente mucho mayor que la cifra de superficie productiva que posee al planeta para uso humano, entonces ¿cómo es posible que la población humana siga creciendo?

La respuesta a la pregunta anterior es multifactorial. Por un lado, nos estamos expandiendo hacia todos los ecosistemas, especialmente bosques tropicales como el Amazonas, la selva de Borneo o el Congo, también a otros ambientes como los bosques

templados y desiertos, que ayudan a extender esa superficie productiva, aunque su productividad es temporal y desciende muy rápido, lo que obliga a su vez a extenderse cada vez más sobre ecosistemas ya de por sí muy amenazados. Otra razón es que explotamos la tierra y a algunos sistemas acuáticos a producir de manera “forzada”, mediante insumos agropecuarios, muy por encima de su capacidad natural, pero estos sistemas dependen del petróleo para su correcto funcionamiento. Y la tercera razón es simplemente que sobreexplotamos los ecosistemas, forzando su resiliencia y disminuyendo su futura capacidad de aportarnos los servicios ambientales y beneficios que nos brindan.

El uso de combustibles y fertilizantes derivados del petróleo, permite generar una “Superficie productiva virtual” mucho mayor a la que realmente posee una nación, vía el comercio y la importación, ya que es posible importar alimentos de otras regiones, y/o producirlos intensivamente en ciertos espacios limitados, pero al mismo tiempo descuida y abandona gran parte de su superficie productiva, cabría preguntarse si esta superficie productiva virtual podrá mantenerse si las condiciones económicas e industriales cambian, tanto de manera positiva como negativa, la respuesta parecería obvia, pero es debatible y aún no ha sido asumida por todos los humanos.

Con los datos anteriormente citados podemos elaborar una primera fórmula, que nos indica el grado de presión que ejercemos sobre el ambiente. Como sigue.

$$Pa = (N * He) / Sp \quad (1)$$

Donde **Pa** es el índice de presión ambiental. **N** es la población existente en millones de habitantes. **He** es la huella ecológica en

hectáreas globales (hag) o en km²/hab. **Sp** es la superficie productiva disponible en millones de hectáreas o en km².

De este modo, si una región dada, tuviera, por ejemplo, 10 millones de habitantes, con una huella ecológica de 3.5 hag, (0.035 km²) y la superficie productiva disponible para esa comunidad fuera de 20 millones de hectáreas (200,000 km²) la presión ambiental de esa comunidad sería ejercida sobre una superficie 1.75 veces más grande que la que posee en realidad. La fórmula de presión ambiental es análoga a la fórmula de la huella ecológica, sólo que esta última se expresa en la cantidad de planetas Tierra que serían necesarios si toda la población del planeta tuviera la misma tasa de consumo de un individuo determinado.

$$Pa = (10 \text{ millones de hab.} * 0.035 \text{ km}^2/\text{hab}) / 200,000 \text{ km}^2 = 1.75$$

Planteando la ecuación de un modo distinto obtenemos el índice de superficie productiva, cuyo valor puede ser positivo (superávit) o negativo (déficit).

$$Is = 1 - Sp / (N * He) \quad (2)$$

Donde **Is** es el índice de superficie productiva entendida como el déficit o superávit de superficie productiva que una región determinada posee en función de su población. De este modo, la misma comunidad tendría un déficit de 0.43 o necesitaría 43 % más de tierra productiva para mantener a su población.

$$Is = 1 - (200,000 \text{ km}^2 / (10 \text{ mills. hab} * 0.035 \text{ km}^2/\text{hab})) = 0.43$$

Si el resultado fuese negativo indicaría que a esa comunidad le sobra ese porcentaje de tierra productiva y que puede emplearlo para la exportación y el comercio sin ningún problema. La sociedad de este ejemplo habría permanecido hasta el momento dada su capacidad de importar o producir alimentos sobreexplotando la tierra, pero en caso de alguna contingencia que cortara tales suministros, podría verse en graves problemas. Datos de este tipo podrían usarse para orientar las decisiones sobre uso de los recursos y cómo cubrir las necesidades de una población. No obstante, la solución no es buscar un aumento en la superficie disponible para explotación, por ejemplo expandiéndose hacia zonas naturales y extendiendo los cultivos, lo cual agravaría el problema y promovería el mayor crecimiento poblacional—generalmente, a la ampliación de las superficies explotables por cambio de uso de suelo, le siguen el crecimiento de la mancha urbana que buscan brindar servicios a los nuevos trabajadores—, sino promoviendo campañas de planificación familiar, potencialización de cultivos y recuperación de superficies cultivables erosionadas.

La tercera fórmula calcula la población “ideal” que podría mantener una región para evitar exceder su capacidad de carga.

$$Kh = (Sp/0.012)*Fpe*1-Er$$

Donde **Kh** es la capacidad de carga ambiental humana. **Sp** es la superficie productiva disponible. 0.012 es la superficie productiva mínima de acuerdo con Odum (1970). **Fpe** es el factor de productividad del ecosistema, ya que cada bioma tiene productividad diferente. **1-Er** es el factor de pérdida de productividad, donde a su vez **Er** es el porcentaje de erosión de la tierra. El factor de productividad calculado para cada tipo de ecosistema fue estimado con

base en el promedio de los datos aportados por el Banco Mundial, tomado como valor 1.0 a los pastizales templados y templados fríos dado que son el cultivo tipo de origen europeo que tiende a extenderse a otros ecosistemas (Tabla 1).

Tabla 1.

Factor de productividad por tipo de ecosistema, calculado con base en los datos del Banco Mundial (2018a) para el año 1961.

Ecosistema	Factor de productividad (Fpe)
<i>Pastizal tropical y subtropical</i>	1.15
<i>Pastizal templado y templado frío</i>	1.00
<i>Bosque tropical y subtropical</i>	1.50
<i>Bosque templado</i>	2.50
<i>Zonas áridas</i>	0.34

De este modo, considerando la región anteriormente tomada como ejemplo que se encuentra situada en una zona de pastizal tropical, si se sabe que el 30 % (0.3) de sus tierras sufren algún grado de erosión, podría sostener a 13.6 millones de personas.

$$Kh = (200,000 \text{ km}^2/0.012 \text{ km}^2/\text{hab}) * 1.15 * (1-0.3) = 13.3 \text{ mills. hab.}$$

Esta cifra es mayor a los 10 millones que existen. La pregunta es entonces, ¿cuál es el problema si puede sostener a una población mayor? El problema radica en que el cálculo está hecho para que los habitantes tengan un nivel de vida digna, pero sin excederse, lo cual en la práctica no siempre es fácil de llevar a cabo. Adicionalmente, es posible argumentar que la productividad de la tierra es mayor, pese a la erosión, dado que se han realizado avances

en el aumento de la producción agropecuaria y que las tierras tienen en realidad no un 1- 0.3 (1-Er) de productividad sino 1.5 debido a la introducción de sistemas de riego e hidroponía. Pero debe tomarse en cuenta que estos nuevos sistemas y avances productivos dependen de sistemas de riego imperfectos que requieren remplazo y mantenimiento constante, además de que dependen del suministro de fertilizantes, de modo que una contingencia geopolítica, social, sanitaria, ambiental o económica podría comprometerlos seriamente o hacerlos completamente inoperables. El objetivo del cálculo de la capacidad de carga humana es estimar la población máxima posible siendo ésta resiliente a tales contingencias.

Es difícil que una comunidad acepte renunciar voluntariamente a un nivel de vida determinado, por lo cual debe considerarse que la capacidad de carga ambiental humana está fuertemente asociada a ese nivel de vida, y este a su vez a la huella ecológica, y debe ser integrada al cálculo, modificando la fórmula como sigue.

$$Kh = (Sp/He) * Fpe * 1-Er \quad (3)$$

Donde **He** es la huella ecológica promedio de dicha comunidad. Introduciendo este factor en la ecuación tenemos:

$$Kh = (200,000 \text{ km}^2 / 0.035 \text{ km}^2/\text{hab}) * 1.15 * (1-0.3) \\ = 4.59 \text{ mills. hab.}$$

Resulta entonces evidente que, en este ejemplo, la población existente supera por mucho la capacidad del lugar para brindar el sustento necesario, y que en un caso de contingencia, sin importar el motivo, el suministro de alimentos

podría no ser suficiente.

Para verificar la pertinencia de las fórmulas propuestas, se compararon con dos eventos conocidos: el primero, es el colapso Maya de las tierras bajas en Copán, Guatemala, en el periodo clásico; el segundo, el caso de la actual crisis política, económica y social en Venezuela.

Estudios de caso

Colapso Maya de las tierras bajas en Copán, Guatemala

El colapso de las ciudades de las tierras bajas mayas ha sido extensamente debatido, y se han enumerado gran cantidad de hipótesis. Incluso se discute si tal colapso realmente ocurrió y cómo puede verificarse. El análisis aquí presentado parte de la opinión que el colapso Maya de Copán, Guatemala, se trató de un evento multifactorial de largo plazo que se aceleró por un evento de sequía extrema ocurrido en aquella época.

En su momento de apogeo, la ciudad maya de Copán tenía una población de 20,000 habitantes y contaba con una superficie productiva de 250 km² (Fash et al., 2005); aunque no se conoce cuál era su huella ecológica, se asume que los habitantes no usaban sólo esos 0.0012 km² mínimos para la subsistencia calórica. Su alimentación se basaba en maíz, frijol, practicaban la caza en terrenos cercanos, especialmente del venado cola blanca (Montero, 2009), y había amplias zonas de vegetación llamadas t'olche' las cuales no se talaban ni se cultivaban, sino que servían como barreras ante la erosión y refugio de especies silvestres (Remmers y Ucán, 1996). Diversos estudios indican que justo antes del colapso de la ciudad de Copán ya no se encontraba polen arbóreo en el sedimento correspondiente a esa etapa (Adams, 1996; Binford et al., 1987; Beach et al., 2015). Se ha estimado que el uso del

t'olche' se abandonó y hubo una deforestación total, que redujo la pluviosidad en un 5-15 % lo que fue responsable en un 60 % de la sequía (Cook et al., 2012); otros estudios reportan una reducción de hasta 15-30 % de pluviosidad causando que el 78 % del área sufriera sequía (Oglesby et al., 2010). Algunos autores indican que existió un fuerte impacto ecológico, pero no lo cuantifican en km² (Sweetwood et al., 2009; Turner y Sabloff, 2012; Beach et al., 2015). Si dividimos el área productiva disponible entre la población (250 km²/20,000 hab) se obtiene una huella ecológica de 0.0125 km²/hab (1.25 hag/hab). Adicionalmente, se sabe que hubo una importante erosión de las colinas adyacentes; Diamond (2007b) habla de un 41 % de la población que tuvo que migrar de las colinas erosionadas a los valles.

Considerando que las tierras bajas mayas son similares a un desierto estacional, con suelo poco fértil y altamente pedregoso (Richardson, 2000), podríamos encuadrarla dentro de nuestra clasificación de superficies productivas como una zona árida como la encontrada en el área central de México. La producción agrícola temporal en ese momento en el centro de México, encuadrada dentro de un pastizal templado era de 350 ton/km², al multiplicarlo por el factor de producción para zonas áridas de 0.34, en la que hemos ubicado a las tierras bajas mayas, nos da un valor de 119 ton/km² que debía producir la zona maya, y que se aproxima al promedio de los datos que aportan Remmers y Ucán (1996), de 75-150 ton/km² para la zona Maya en la época prehispánica. Si aplicamos estos datos a la fórmula 2, obtenemos lo siguiente.

$$Kh = (250 \text{ km}^2/0.0125 \text{ km}^2/\text{hab}) * 0.34 * (1-0) = 6,800 \text{ hab}$$

Este estimado de 6,800 habitantes es un valor de capacidad de carga humana muy inferior a 20,000 habitantes previamente citado, entonces ¿cómo pudo sostenerse una población tan grande? En la sociedad maya había un marcado sistema jerárquico elitista. Probablemente, la élite consumía muchos más recursos que el pueblo subordinado, el cual sobrevivía con menos calorías. Además, se sabe que la sociedad Maya mantenía intercambio comercial e importaba alimentos de otras zonas y ejercía la caza y la recolección en un área mucho mayor. Adicionalmente, se cree que la implementación de técnicas de cultivo pudo aumentar mucho la producción, pero al sobrevenir la reducción en la producción de alimentos, la población emigró en busca de sustento, o murió. La Kh calculada es un tercio de la población máxima que se estima tuvo Copán antes de su colapso, y eso explicaría en parte la desaparición de dos tercios de su población en poco más de un siglo (Culbert, 1995).

Beach et al. (2006) indican que la erosión de las tierras, en el área durante esa época, fue extensa, pero de duración breve, y luego del colapso hubo un proceso de reforestación, si tomamos el dato aportado por Diamond (2007b) del 41 % como similar a esa erosión temporal, tenemos:

$$Kh = (250 \text{ km}^2/0.0125 \text{ km}^2/\text{hab}) * 0.34 * (1 - 0.41) = 4,080 \text{ hab.}$$

Sin duda insuficientes para mantener el anterior sistema social, en medio de una sequía acrecentada aún más por la pérdida de pluviosidad debida a la deforestación, el hambre, la guerra, la construcción de monumentos que

consumían aún más recursos, etc. En efecto algunos estudios indican que poco antes del colapso de la sociedad maya clásica ocurrió una severa desnutrición, incluso entre la élite dominante (Richardson, 2000).

Aunque los datos son imprecisos, podríamos calcular la Pa y la Is con las cifras disponibles, considerando el 41 % de tierra erosionada, dejaría solo 147.5 km² (250-250*0.41) de tierras productivas.

$$Pa = (20,000 \text{ hab} * 0.0125 \text{ km}^2/\text{hab}) / 147.50 \text{ km}^2 \\ = 1.69 \text{ veces más superficie explotada que la realmente existente}$$

$$Is = 1 - (147.50 \text{ km}^2 / (20,000 \text{ hab} * 0.0125 \text{ km}^2/\text{hab})) \\ = 0.41 \text{ o } 41 \% \text{ de superficie productiva faltante.}$$

Estos resultados sugieren que la población había excedido la capacidad de carga de su ambiente, lo que no se hizo evidente mientras existió la posibilidad de explotar otras zonas aunque su productividad fuera menor, y de importar recursos de otras zonas vía tributo, que compensaba ese 41 % de tierra faltante, pero una vez que la sequía afectó la producción de alimentos fue insuficiente, y fue imposible reconstruir el antiguo sistema, lo que dejó a la población justo en el límite de la capacidad de carga de su ecosistema, con alrededor de 7,000 habitantes para fines del siglo IX.

Reciente crisis política, económica y social en Venezuela

Hasta el año 2015, los ingresos debidos a las exportaciones petroleras permitían a Venezuela tener una superficie virtual muy grande, es decir, una capacidad de consumo de recursos

equivalente a la de varias veces su verdadera superficie productiva, pero la caída en el precio del petróleo y la reducción del petróleo ligero sustituyéndolo por las existencias de petróleo pesado que es mucho más difícil de refinar, han colocado la economía del país, al margen del sistema político que rige, en una situación precaria. En Venezuela, pese a que las reservas de petróleo han aumentado, sus exportaciones han disminuido (Figura 1). Sin divisas que le permitan importar recursos con la facilidad de antes, el país se ha visto limitado a sus propios recursos.

Venezuela posee 910,000 km² cubiertos de vegetación, la mitad de los cuales, 470,000, son aprovechables (GeoVenezuela, 2007). De esta superficie, el 30,000 km² se dedican a la agricultura (Banco Mundial, 2018) y 170,000 km² se dedican a la ganadería (Chavez, 2012). El país tiene 28.9 millones de habitantes (UNPD, 2019), con una huella ecológica de 2.8 hag o 0.028 km² (Global Footprint Network, 2018), una erosión del 10 % (GeoVenezuela, 2010), y cuya actividad agropecuaria se desarrolla principalmente en pastizales tropicales (INE, 2011). Bajo límites de vida digna, Venezuela debería poder soportar una población de 40,5 mills. hab.

$$Kh = (4,7 \text{ mills. km}^2 / 0.0120 \text{ km}^2/\text{hab}) * 1.15 * (1 - 0.1) \\ = 40,5 \text{ mills. hab.}$$

Sin embargo, debido a que en realidad sólo destina 200,000 km² a actividades agropecuarias y productivas, su capacidad se ve reducida y agravada por su huella ecológica, y la población que podría sostener de manera efectiva es mucho menor.

$$Kh = (200,000 \text{ km}^2 / 0.028 \text{ km}^2/\text{hab}) * 1.15 * (1 - 0.1) \\ = 17,373,214 \text{ hab.}$$

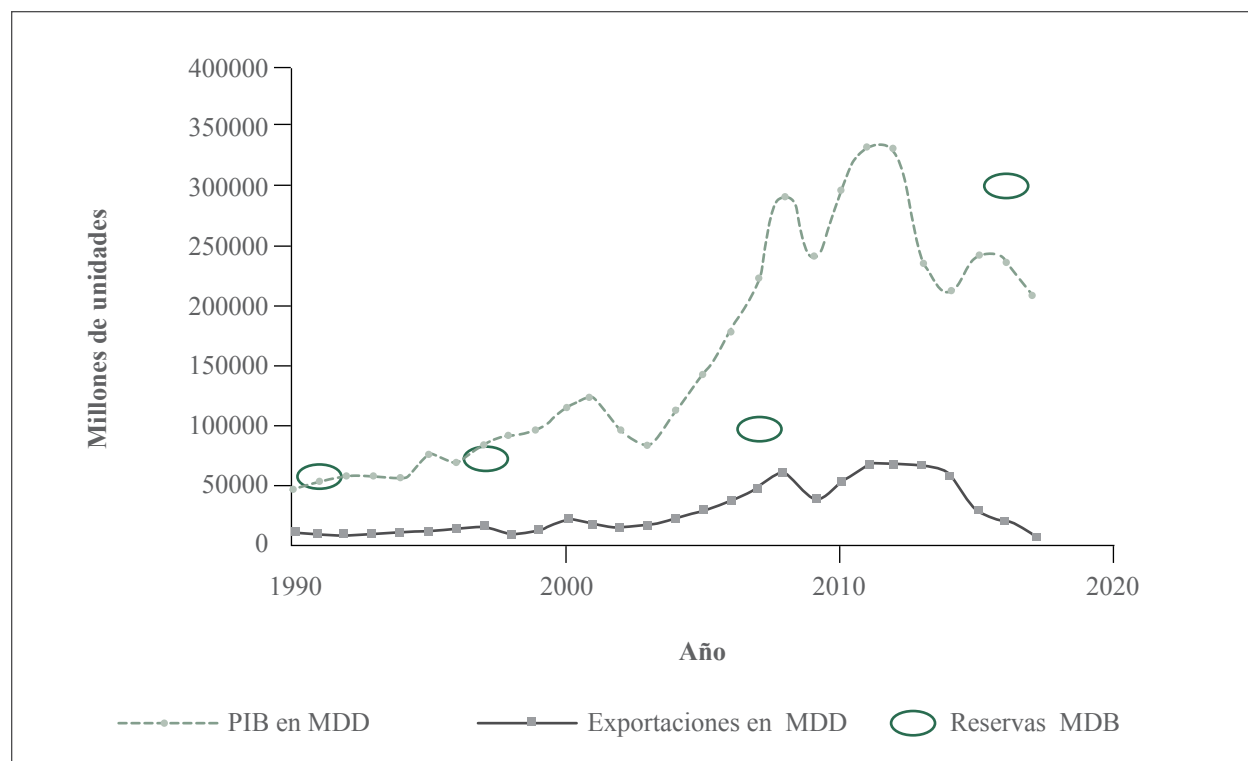


Figura 1. Relación entre las reservas petroleras, ingresos por exportación de petróleo y PIB de Venezuela de 1990-2018. MDD: Millones de dólares, MDB: millones de barriles.

Fuentes: PIB–FMI, 2018; exportación–OPEC, 2018; Reservas–BP, 2018.

Esto explicaría en parte la crisis Venezolana, cuando su capacidad de carga ambiental es de aproximadamente 17 millones, y la anterior época de bonanza económica con la posibilidad de importar alimentos se tradujo en un relativo descuido de la capacidad nacional para aumentar la superficie productiva, en especial la agrícola, la cual es de solamente 30,000 km². Lo anterior implica que la población de 28.9 millones superó considerablemente a la capacidad nacional de aportar alimentos a su población. Si consideramos que la huella ecológica de los venezolanos es de 0.028 km²/hab, y aplicamos las fórmulas 1 y 2, obtenemos que la presión ambiental es de 1.70 veces más superficie de la que poseen realmente; en otras palabras, tiene sólo el 60 % de la superficie productiva necesaria para alimentar a su

población. Si atendemos a que de esta superficie obtiene diversos productos, entre ellos carne de ganado, pero sólo destina 30,000 km² de tierra a la agricultura, el problema es aún mayor.

$$Pa = (28.9 \text{ mills. hab} * 0.028 \text{ km}^2/\text{hab}) / 470,000 \text{ km}^2 = 1.70$$

$$Is = 1 - (470,000 \text{ km}^2 / (28.9 \text{ mills. hab} * 0.028 \text{ km}^2/\text{hab})) = - 0.40$$

La Kh no se debe tomar como la causa única de la situación de hambre en caso de una contingencia, sino únicamente como un indicador del grado en que otros factores

sociales, económicos, climáticos y políticos podrían afectar a una comunidad ya estresada o no, y el Is tampoco debe tomarse como un incentivo para deforestar zonas vírgenes en búsqueda de aumentar la productividad, lo que traería consecuencias negativas en el futuro, sino como un indicativo de la atención que debiera prestarse a optimizar la productividad de las tierras existentes y a disminuir la erosión.

Conclusión

Los índices obtenidos para los casos del colapso Maya en Copán (1200 d.C.) y la actual crisis en Venezuela (año 2018) pueden compararse en la Figura 2. Asimismo, un cálculo similar fue realizado para los otros países de la región (Figura 3), y los resultados obtenidos muestran un patrón similar: La mayoría de estas naciones ha rebasado la capacidad de carga ambiental de su territorio, evidenciando que parte de sus recursos proviene de la importación o de la sobreexplotación de su propio territorio. En este contexto, la mayoría de los países de la región tendrán dificultades para hacer frente por sí solos a eventos adversos (e.g., desastres naturales, conflictos bélicos, pandemia, etc.) que limiten sus capacidades productivas internas y de adquisición de fuentes externas.

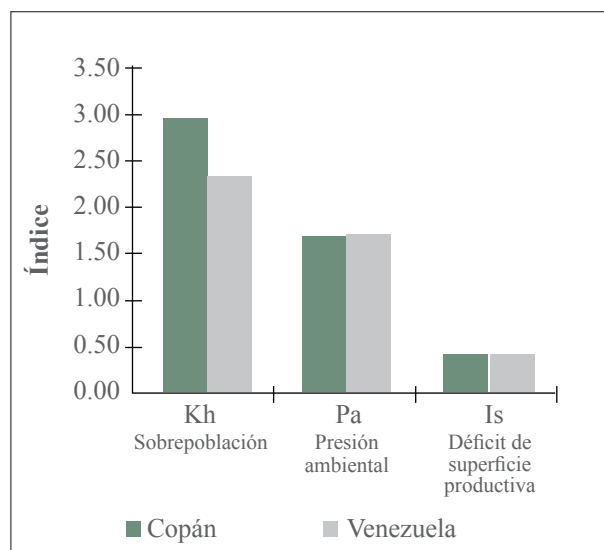


Figura 2. Comparación de los valores de la capacidad de carga ambiental humana (Kh), presión ambiental (Pa) e índice de superficie productiva (Is) en Copán durante el período de colapso Maya (1200 d.C.) y la crisis actual de Venezuela (año 2018).

Estos datos nos revelan la importancia de que cada nación invierta grandes esfuerzos y recursos en planificación demográfica, planificación de su urbanización, cambio de uso de suelo, y en la protección y conservación del medioambiente. Con ello, las naciones deben aspirar a lograr un equilibrio entre la población y los recursos de los cuales dependen, y con ello, buscar evitar los riesgos de una excesiva dependencia de la importación de alimentos y de la sobreexplotación de ecosistemas únicamente en busca de aumentar la capacidad productiva (Crook, 1997), condiciones que en caso de una situación de crisis extrema, como la que podría provocar el cambio climático o el agotamiento de los combustibles fósiles, podrían de cualquier forma resultar insuficientes para soportar a sus poblaciones.

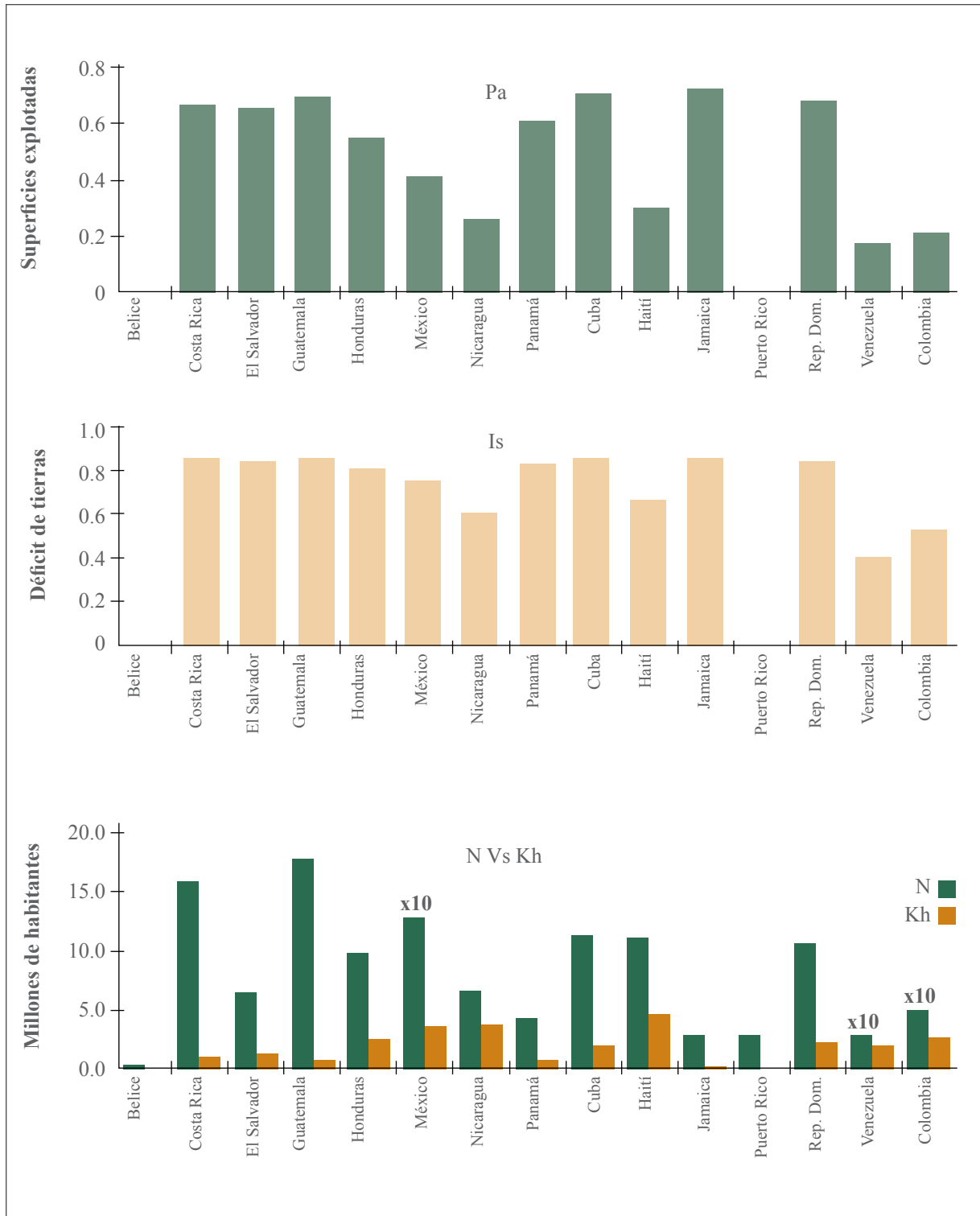


Figura 3. Datos graficados de México, Centroamérica, El Caribe, Venezuela y Colombia. Belice y Puerto Rico han sido omitidos por falta de datos confiables. México, Colombia y Venezuela han sido reducidos en un submúltiplo de 10. Fuentes: N (mills. habs)–UNPD, 2019; He (hag)–GFPN, 2018; Sp (mills. has)–Banco Mundial, 2019; Er, datos nacionales por ministerio.

Literatura citada

- Adams, R. E. W. (1996). Romance versus reality in the Ancient Maya Civilization. *Cosmos Journal*, Cosmos Club, Washington D.C. <http://www.cosmosclub.org/journals/1996/adams.html>
- Arkush, E. (2012). *Los Pukaras y el poder: Los Collas en la Cuenca Septentrional del Titicaca*. En: L. F. Blanco y H. Tantaleán (Ed.), *Arqueología de la Cuenca del Titicaca* (pp. 295-320). Lima, Perú: IFEA.
- Banco Mundial. (2018a). *Rendimiento de los cereales* (Kg por Hectárea). Recuperado de <https://datos.bancomundial.org/indicador/AG.YLD.CREL.KG?view=chart>.
- Banco Mundial. (2018b). *Tierras cultivables (% del Área de Tierra)*. Recuperado de <https://datos.bancomundial.org/indicador/AG.LND.ARBL.ZS?view=chart>.
- Beach, T., Dunning, N., Luzzander, B. S., Cook, D. E., Lohse J. (2006). Impacts of the ancient Maya on soils and soil erosion in the central Maya lowlands. *Catena*, 65,166-178.
- Beach, T., Luzzander-Beach, S., Cook, D., Dunning, N., Kennett, D. J., Krause, S.,...Valdez, F. (2015). Ancient Maya impacts on the Earth's surface: an early anthropocene analog? *Quaternary Science Reviews*, 124, 1-30.
- Binford, M. W., Brenner, M., Whitmore, T. J., Higuera, G. A., y Deevey, E. S. (1987). Ecosystems, palaeoecology and human disturbance in subtropical and tropical America. *Quaternary Science Reviews*, 6, 115-128.
- British Petroleum Company (BP). (2018). *BP statistical review of world energy*. 67th Edition. London: British Petroleum Co.
- Chávez, H. (29 de enero 2012). Venezuela tiene 17 millones de hectáreas para desarrollo ganadero. Recuperado de <https://blog.chavez.org.ve/temas/noticias/venezuela-tiene-17-millones-hectareas-para-desarrollo-ganadero/>.
- Cook, B. I., Anchukaiti, K. J., Kaplan, J. O., Puma, M. J., Kelley, M., Gueyffier, D. (2012) Pre-columbian deforestation as an amplifier of drought. *Geophysical Research Letters*, 39, L. 16706.
- Crook, N. (1997). *Principles of population and development : with illustrations from Asia and Africa*. Oxford, England: Oxford University Press.
- Culbert, T. P. (1995). Población, subsistencia y el colapso de los Mayas del Clásico. En: J. P. Laporte y H. Escobedo (Ed.), *Memorias del VIII Simposio de Investigaciones Arqueológicas de Guatemala*, (pp. 666-672). Ciudad de Guatemala, Guatemala: Museo Nacional de Arqueología y Etnología.
- Diamond, J. (2007a). *Armas, gérmenes y acero: la sociedad humana y sus destinos*. España: Debate.
- Diamond, J. (2007b). *Colapso. Por qué unas sociedades perduran y otras no*. México: Editorial Debolsillo.
- Douglas, P. M. J., Pagani, M., Canuto, M. A., Brenner, M., Hode, D. A. y Curtis, J. H. (2015). Drought, agricultural adaptation, and sociopolitical collapse in the Maya lowlands. *PNAS*, 112(18), 607-5612.
- Fash, W. L., Andrews, E. W. y Kam, M. T. (2005). Political decentralization, dynastic collapse, and the early Postclassic in the urban center of Copán, Honduras. En: A. A. Demarest, P. Rice y D. S. Rice (Eds.), *The Terminal Classic in the Maya Lowlands: Collapse, Transition, and Transformation* (pp. 260-287). Boulder, Colorado, USA: University Press of Colorado.
- International Monetary Fund (IMF). (2018). Report for selected countries and subjects. Recuperado de <https://www.imf.org/en/Data>
- GeoVenezuela. (2007). *Perspectivas del medio ambiente en Venezuela*. Caracas, Venezuela: Fundación Polar.
- GeoVenezuela. (2010). *Perspectivas del medio ambiente en Venezuela*. Caracas, Venezuela: PNUMa, MPPPa, IFLA.
- Global Footprint Network. (2018). The National Footprint Accounts. Recuperado de data.footprintnetwork.org/-/compareCountries?type=EFC&cn=all&yr=2014
- Guevara, M. (2006). Mitos e ideas sobre el colapso, el abandono de Tula y la formación de nuevas comunidades Otomías en el norte de la cuenca de México. *Memorias del 1er Coloquio de Arqueología de la UAEMex*. U.A.P. Tenancingo, México.
- Haberl, H., Erb K., y Krausman, F. (2015). La apropiación humana de la producción primaria neta mundial. En: M. Albán, J. Martínez-Alier y C. Vallejo. (Eds.), *Aportes para una estrategia ambiental alternativa: indicadores de sustentabilidad y políticas ambientales* (pp. 152-153). Ecuador: FLACSO
- Harris, M. (2011). *Caníbales y reyes, los orígenes de la cultura*. Barcelona, España. Alianza Editorial.
- Instituto Nacional de Estadística (INE). (2011). VII Censo Agrícola Nacional, Gobierno Bolivariano de Venezuela. Recuperado de <https://censo.mat.gob.ve>

- Litina, A. (2016). Natural land productivity, cooperation and comparative development. *Journal of Economic Growth*, 21, 351-408. <https://doi.org/10.1007/s10887-016-9134-7>
- Margalef, R. (1998). *Ecología*. Barcelona, España: Editorial Omega.
- Montero-López, C. (2009). Sacrifice and feasting among the classic Maya elite, and the importance of the white-tailed deer: is there a regional pattern? *Journal of Historical and European Studies*, 2, 53-68.
- Nava J. y Ordaz A. (2017). Tu huella ecológica. *Revista ¿Cómo ves?* (221) pp. 16-19 México D.F., México: UNAM.
- Nava, J. (2018). *¿Cuántos humanos soporta la Tierra?*. México. Recuperado de <https://www.amazon.com.mx/¿Cuántos-humanos-soporta-tierra-Villalba-ebook..>
- Odum, E. P. (1970). Optimum population and environment: a Georgian microcosm. *Current History*, 58(346), 355-365.
- Oglesby, R. J., Sever, T. L., Saturno, W., Erickson, D. J. III, y Srikishen, J. (2010). Collapse of the Maya: Could deforestation have contributed? *Journal of Geophysical Research*, 115, 1-10. <https://doi.org/10.1029/2009JD011942>
- Organization of the Petroleum Exporting Countries (OPEC). (2018). Renuées fact sheet energy data, statistics and analysis - oil, gas, electricity, coal. Recuperado de https://www.opec.org/opec_web/en/data_graphs/40.htm
- Remmers, G. G. A. y Uacán E. E. (1996). La roza-tumba-quema Maya: un sistema agroecológico tradicional frente al cambio tecnológico. *Etnoecológica*, 3, 97-109.
- Richardson, B. G. (2000). *The Great Maya Droughts: Water, Life and Death*. USA, New México: New Mexico University Press.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2012. Huella ecológica, datos y rostros. Recuperado de https://www.sema.gob.mx/descargas/manuales/HuellaEcologica_SEMARNAT.pdf
- Sweetwood, R.V., Terry, R.E., Beach, T., Dahlin, B.H. y Hixson, D. (2009). The Maya Footprint: Soil Resources of Chunchucmil, Yucatán, Mexico. *Soil Science of America Journal*, 73, 1209-1220. doi:10.2136/sssaj2008.0262
- Turner II, B.L. y Sabloff, J.A. (2012). Classic Period collapse of the Central Maya Lowlands: Insights about human–environment relationships for sustainability. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(35), 13908-13914. doi: 10.1073/pnas.1210106109
- Turner, C. y Turner J. (1999). *Man Corn: Cannibalism and Violence in the Prehistoric American Southwest*. US: University of Utah Press.
- Upadhyaya, A. y Alok, K. S. (2016). Concept of Water, Land and Energy Productivity in Agriculture and Pathways for Improvement. *Irrigation & Drainage Systems Engineering*, 5, 154. doi:10.4172/2168-9768.1000154
- United Nations Environment Programme (UNEP). (2016). Protected Planet Report 2016. Recuperado de <https://www.unenvironment.org/search/node?keys=Protected+Planet+Report+2016>
- United Nations Development Programme (UNDP). (2019), *Human Development Report 2019: Beyond Income, Beyond Averages, Beyond Today - Inequalities in Human Development in the 21st Century*. UN, New York. Recuperado de <https://doi.org/10.18356/838f78fd-en>.
- United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. (2017). World Population Prospects 2017 – Data Booklet (ST/ESA/SER.A/401) Recuperado de https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2017_DataBooklet.pdf
- Wackernagel, M. y Rees, W. (2001). *Nuestra huella ecológica: reduciendo el impacto humano sobre la Tierra*. Santiago, Chile: IEP, LOM Ediciones.
- Wright, L. E., y White, C. D. (1996). Human biology in the Classic Maya collapse: Evidence from paleopathology and paleodiet. *Journal of World Prehistory*, 10, 147-198. <https://doi.org/10.1007/BF02221075>
- Ziegler, J. (2000). *El hambre en el mundo explicada a mi hijo*. Barcelona, España: Muchnik Editores.