



# ¿CONSEGUIRÁ LA CIENCIA ALIMENTARNOS A TODOS?

## CUESTIONAR SUPOSICIONES PARA INVESTIGAR MEJOR

Wesley Leoricy Marques

En las publicaciones de investigación se hace referencia a suposiciones sin base científica para legitimar el trabajo técnico realizado. Los estudiantes de doctorado, que escriben la mayoría de publicaciones científicas, se centran en la parte técnica de su manuscrito y rara vez dedican tiempo a considerar o investigar los argumentos sociales que fundamentan sus objetivos de investigación. Tal vez la suposición más extendida es la necesidad de aumentar la producción global de energía, materiales y alimentos. Sin embargo, tal como se plantean algunos autores, «¿Es cierto que nuestra existencia será más feliz cuanto mayor sea nuestro excedente de energía y producción?» (Marques, 2016). Este artículo presenta varios aspectos relacionados con el crecimiento de la población y con la disponibilidad/consumo de energía y alimento que con frecuencia no se mencionan en los medios y en el ámbito de las ciencias tecnológicas. El objetivo es inspirar un debate más profundo sobre estos temas y llamar a una interacción más cercana entre las ciencias técnicas y las sociales.

### ■ CRECIMIENTO DE LA POBLACIÓN

La preocupación por el incremento poblacional suele estar motivada por la necesidad de aumentar la producción de energía, alimento y materiales. No obstante, se pueden formular dos preguntas en torno a esta cuestión. Primero, ¿cuánto se espera que crezca la población mundial? Y, segundo, de acuerdo con la doctrina económica actual, ¿el excedente de producción alimentaría a quien más lo necesita?

A la población humana le costó 200.000 años alcanzar los mil millones de individuos. Sin embargo, tras la revolución industrial, solo se tardó 200 años en crecer hasta los 7.700 millones (United Nations, Department of Economic and Social Affairs [UN DESA], 2011). Este crecimiento se apoyó en los altos índices de fertilidad: 5 niños por mujer en los años cincuenta del siglo xx, frente a 2,5 niños por mujer en la actualidad, que aún se espera que descendan hasta solo 1,9 para 2100 (UN DESA, 2019a). En consecuencia, la ma-

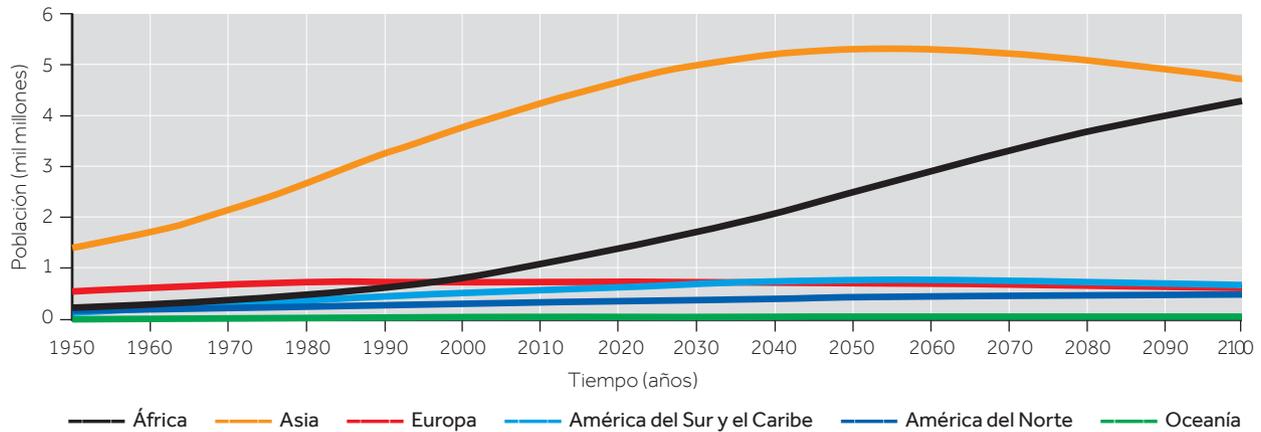
yoría de países ya están experimentando un descenso de población, y se espera que para 2100 la población mundial se estabilice en torno a los 10.900 millones (un aumento del 42 % en comparación con datos de 2019) (UN DESA, 2019a, 2019b). Es importante señalar que la mayor parte de este aumento se producirá en Asia y el África subsahariana, donde la población sigue creciendo a un ritmo acelerado (Gráfica 1). En 2100, África albergará casi el 40 % de la población mundial (en 1950 esta fracción era solo un 9 % y en 2019, un 17 %) (UN DESA, 2019a, 2019b). Se prevé que, conjuntamente, Asia y África representen el 83 % de la población en 2100 (UN DESA, 2019a).

Lo más preocupante es que la pobreza predomina precisamente en las zonas en las que la población está aumentando de manera considerable. Los datos publicados por el Banco Mundial (World Bank, 2018) muestran que, aunque se observó una importante reducción de la pobreza en algunas regiones del planeta, el número

de personas pobres está aumentando en el África subsahariana: en 2015, 413 millones de personas vivían con menos de 1,90 dólares americanos al día y, si la tendencia continúa, para 2030 esta región albergará a 9 de cada 10 personas en situación de extrema pobreza. Además, casi la mitad de la población mundial (46 %) vivía con menos de 5,50 dólares americanos

al día en 2015, según el informe de 2018 del Banco Mundial. Por tanto, sí, se sigue esperando que la población mundial crezca. No obstante, en primer lugar, alcanzaremos un estancamiento en los 11.000 millones de personas en apenas unas pocas generaciones (hacia el año 2100); y en segundo lugar, el crecimiento de población es geográficamente irregular y en su mayor parte se producirá en las regiones en las que vive la gente más pobre. Entonces, la pregunta que surge es: ¿hasta qué punto podrá la ciencia ocuparse de las necesidades de los pobres? Y, además, ¿no bastaría con la tecnología disponible en la actualidad para, por ejemplo, garantizar la pobreza cero mientras navegamos hacia un mundo de 11.000 millones de personas?

### «Tal vez la suposición más extendida es la necesidad de aumentar la producción global de energía, materiales y alimento»



Gráfica 1. Estimaciones de la población mundial entre 1950-2019, y proyecciones basadas en la variante media para el periodo entre 2020 y 2100. Como puede observarse, la población continuará creciendo a ritmo acelerado en Asia y África, mientras que en el resto de continentes permanecerá estable o incluso decrecerá. Se prevé que, conjuntamente, Asia y África representarán el 83 % de la población en 2100.

FUENTE: UN DESA (2019b)

El acceso a la electricidad, por ejemplo, es esencial para garantizar las necesidades humanas modernas. Según un informe publicado en 2018 por la Agencia Internacional de la Energía (International Energy Agency [IEA], 2018), 2.700 millones de personas (el 35 % de la población mundial) sigue dependiendo de la quema de biomasa (por ejemplo, madera o residuos agrícolas), carbón y queroseno para sus necesidades domésticas (sobre todo para cocinar). Se estima que las sustancias contaminantes liberadas en interiores provoquen 2,6 millones de muertes prematuras al año. Este número es mayor que el de las muertes causadas por el sida y la malaria juntos (IEA, 2018). Lo más llamativo es que ya existen soluciones para ese problema. De acuerdo con la Agencia Internacional de la Energía (IEA, 2018), se podrían reemplazar las cocinas precarias por alternativas que utilicen gas licuado del petróleo, cuyo uso supondría un aumento muy reducido en la demanda global de combustibles fósiles y en las emisiones de gases de efecto invernadero. Proporcionar mejores instalaciones de cocina para este segmento de la población seguramente comportaría una disminución importante de la muerte por contaminación en interiores.

El ejemplo mencionado muestra que el tamaño de la población no es la única variable relevante en lo que respecta a la producción y consumo de recursos. El impacto medioambiental (I), por ejemplo, no se puede estimar simplemente en función de la población (P). El patrón de consumo (A de afluencia) y lo destructivas que puedan ser las tecnologías en la práctica (T) son también esenciales para determinar el impacto medioambiental. Estas variables se combinan en la fórmula de Ehrlich:  $I = P \times A \times T$  (Ehrlich y Holdren, 1971). Por lo tanto, a pesar de que se prevé que la población mundial se estabilice en este siglo, el medio ambiente sigue en riesgo de des-



El uso de biocombustibles, producidos a partir de la biomasa de plantas de cultivo, es una alternativa interesante para obtener energía no dependiente de los combustibles fósiles. No obstante, hay una reticencia generalizada a dedicar cultivos a la producción de biocombustibles, basada en la idea errónea de que estos competirán de forma directa con los dedicados a la producción de alimentos. En la imagen, un investigador mide las emisiones de gases de efecto invernadero en un campo de sorgo dedicado a la producción de biomasa para combustible, en Tejas (EE UU).

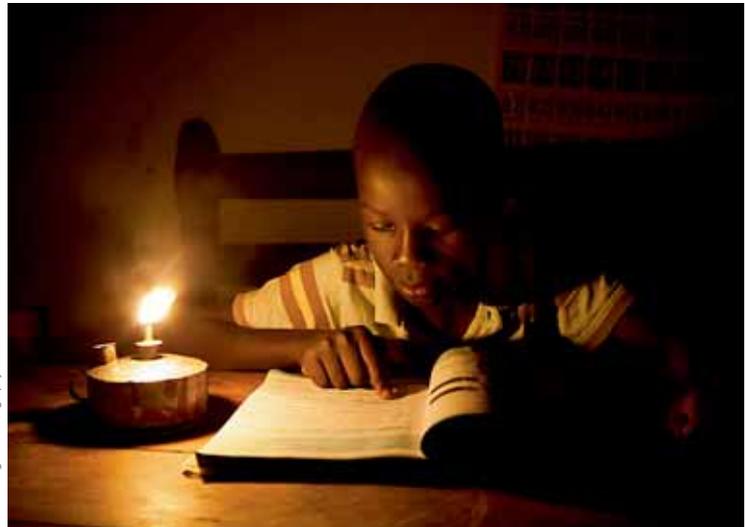
«¿No bastaría con la tecnología disponible en la actualidad para garantizar la pobreza cero?»

moronarse, porque nuestra economía todavía se basa en fuentes fósiles muy contaminantes (variable *T*) y en la expansión ilimitada del consumo (variable *A*). Los hábitos negligentes de consumo en los países ricos provocan impactos enormes en la economía global. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), se pierden o desperdician 1.300 millones de toneladas de alimentos cada año. Esto representa una tercera parte de la producción alimentaria mundial (FAO, 2012). La cantidad de alimentos desperdiciados en Norteamérica y Europa (222 millones de toneladas al año) es aproximadamente la misma que se produce cada año en el África subsahariana (unos 230 millones de toneladas). En los países ricos, cada persona malgasta entre 95 y 115 kilogramos de comida al año (300 gramos al día), mientras que los consumidores de las regiones pobres solo tiran entre 6 y 11 kilogramos al año (la FAO no actualiza estas estadísticas desde 2011). Estos son solo algunos ejemplos de cómo un aumento en la producción de energía y alimento no bastaría, de por sí, para abordar las necesidades de la población, que, de hecho, sigue creciendo.

## ■ ENERGÍA, ALIMENTOS Y SUELO

Otra disciplina que merece mejoras importantes para poder enfrentarse a problemas relacionados con el acceso a la alimentación y la energía es el del uso del suelo. El planeta tiene grandes extensiones de tierra cultivable (48.000 millones de km<sup>2</sup>, el 37,4% del área terrestre mundial [World Bank, 2016]). Desafortunadamente, una mezcla de financiarización del territorio y malas prácticas agrícolas dificulta el desarrollo donde más se necesita.

La conversión de biomasa de las plantas de cultivo para producir biocombustibles (como el etanol) y «productos químicos verdes», por ejemplo, es una posibilidad aún por explorar en profundidad. A menudo se pasa por alto que el uso de recursos fósiles es un episodio reciente y limitado de la historia de la humanidad. La especie *Homo sapiens* apareció hace más de 200.000 años y durante la mayor parte de su existencia ha utilizado la quema de biomasa (de las plantas), la potencia muscular y el viento como fuentes de energía principales para calentarse, construir y viajar. Hace solo 200 años, con la Revolución Industrial, los combustibles fósiles adquirieron la importancia



Corrie Wingate Photography/Solar Aid

En la imagen, un niño utiliza una lámpara de queroseno para poder estudiar en Migori, Kenia. Según un informe de 2018 de la Agencia Internacional de la Energía, 2.700 millones de personas (el 35% de la población mundial) continúan dependiendo de la quema de biomasa, carbón y queroseno para sus necesidades domésticas.

que tienen hoy en día. Tres conversores de energía principales crearon la base de la revolución: *a*) las máquinas de vapor alimentadas por carbón; *b*) los motores eléctricos que utilizaban energía hidráulica (entre el siglo XIX y el XX), y *c*) los motores de combustión alimentados por combustibles basados en el petróleo, que se extendieron tras la Primera Guerra Mundial (Ribeiro, 1968). Entre 1860 y 2018, la producción mundial de petróleo aumentó de cero a 100,7 millones de barriles al día (15.800 millones de litros al día). En otras palabras, el carbono que una vez estuvo en la atmósfera y que

tardó millones de años en quedar depositado bajo la superficie terrestre ahora se está extrayendo y quemando en menos de tres o cuatro siglos. Todo este carbono se acumula en la atmósfera, lo que provoca un daño medioambiental irreversible. Los biocombustibles producidos a partir de biomasa,

residuos urbanos, etc., son alternativas renovables que podrían sustituir en gran medida a los combustibles fósiles.

La producción de renovables no solo elimina la necesidad de materiales fósiles, sino que también puede ayudar al desarrollo de las comunidades rurales. Por desgracia, tras la crisis de los precios de los alimentos de 2008, para muchos países, se asentó como una cuestión de sentido común la idea de que el uso de cultivos para producir combustible compite con la producción alimentaria. Tras dispararse los precios de los alimentos en 2008, el Banco Mundial publicó

**«Una mezcla de financiarización del territorio y malas prácticas agrícolas dificulta el desarrollo donde más se necesita»**

un informe el mismo año (Mitchell, 2008) que concluía «que el factor más importante [para el aumento de los precios de la alimentación] era el gran incremento en la producción de biocombustibles de los Estados Unidos y la UE». Se ha citado esta conclusión ampliamente en los medios y también en parte de la comunidad de investigación. Eran constantes en los medios los dibujos de niños hambrientos al lado de coches alimentados con maíz (en forma de biocombustible), y esto ayudó a crear la imagen de los biocombustibles como villanos (¡así que mejor no dejes de comprar gasolina!), de que el suelo es escaso y de que es preferible utilizarlo para la producción de alimento.

Como mostraba el informe del Banco Mundial (Mitchell, 2018), existía, en efecto, una relación causa-efecto entre el aumento de la demanda de etanol en los Estados Unidos y el del precio de comercialización del maíz. Con el aumento de la demanda doméstica de etanol de los Estados Unidos, por la decisión del Congreso en 2004 de incluir los biocombustibles dentro de los combustibles de transporte, la demanda de maíz también se disparó (Mitchell, 2018). A continuación, en 2005, el etanol llegó a la Chicago Board of Trade (uno de los mercados de futuros más antiguos del mundo) bajo el nombre de «futuros de etanol». La denominación agrupaba al etanol pero también a otros coproductos como el «grano de maíz para destilación» (que se utiliza como pienso animal), creando un vínculo fuerte entre la energía (etanol) y la alimentación (maíz) en los mercados financieros (Martin, 2019). En los años siguientes, los precios comerciales del maíz aumentaron. Hoy en día, mucha gente piensa que existe una competición entre combustibles y alimentos por el uso del suelo, y olvidan que el campo de batalla está en realidad en el mercado financiero.

Lo que también mencionaba el informe del Banco Mundial –en su último párrafo– pero no se comunicó con la misma intensidad fue el hecho de que «la producción de biocombustibles en Brasil a partir de la caña de azúcar era más barata que la producción de biocombustibles en los EEUU o la UE y no había aumentado el precio del azúcar de forma significativa», y que «eliminar los aranceles a las importaciones de etanol en los EEUU y la UE facilitaría la aparición de productores más eficientes» en los países en desarrollo, que podrían beneficiarse de las exportaciones de etanol (Mitchell, 2008). En esta línea, como se resume de manera elegante en un informe de 2017 firmado por once expertos de diferentes países (EEUU, Reino Unido, Brasil,



McFlicker

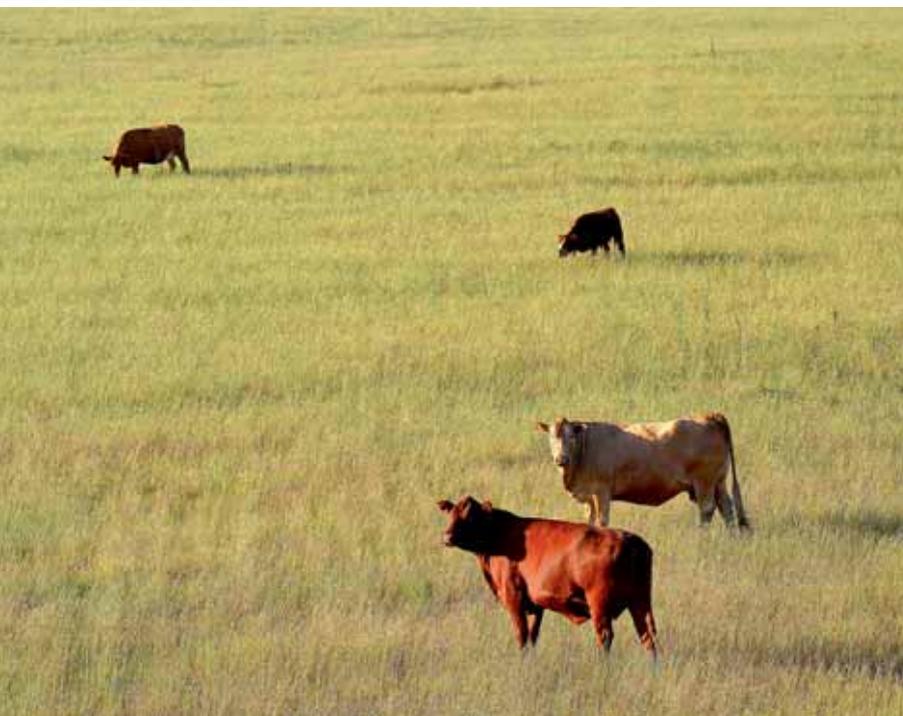
Kenia, etc.) y por diversas instituciones (incluyendo a las Naciones Unidas y el Banco Mundial) (Kline et al., 2017), los «análisis, titulares y viñetas simplistas que culpan a los biocombustibles de la inseguridad alimentaria pueden reflejar buenas intenciones pero confunden al público y a los legisladores porque ocultan cuáles son los principales impulsores de la inseguridad alimentaria local e ignoran las oportunidades que ofrece la bioenergía para contribuir a las soluciones». La conclusión que podemos sacar de este informe es que «no hay pruebas fundamentadas de la transmisión del precio a la población específica en riesgo [de hambre]». Los expertos muestran que, incluso cuando el índice de precios de los alimentos (basado en el precio de productos básicos) se disparó en 2007-2008 (aumentó casi un 60%), el índice mundial de precios de consumo de la FAO no cambió mucho (aumentó menos de un 20%). La comparación muestra que los precios de los alimentos para los consumidores no están completamente vinculados a la especulación en el comercio de productos básicos: las poblaciones que sufren inseguridad alimentaria suelen estar aisladas del comercio global de alimentos y dependen en mayor medida de la producción local. La publicación también avisa de que la inseguridad alimentaria es un problema



Eduardo Amorim



En la imagen de la izquierda, tomates cultivados en un invernadero en Wateringen, en los Países Bajos. Con una superficie de poco más de 41.543 km<sup>2</sup>, este pequeño país de clima temperado se ha convertido en el segundo exportador agrícola del mundo, por detrás de Estados Unidos. Este uso eficiente del suelo contrasta con países como Brasil, con una superficie 200 veces superior que la de los Países Bajos. Allí, la mayoría del suelo dedicado al sector primario está ocupado por grandes monocultivos y algunas de las áreas más extensas son propiedades improductivas. Según el Ministerio de Agricultura de Brasil, en el territorio dedicado a la ganadería (18,6 % del total), hay una cabeza de ganado por cada 7.400 m<sup>2</sup>. En la imagen inferior, rebaño de vacas en Arroio Grande, Brasil.



**«Mucha gente piensa que existe una competición entre combustibles y alimentos por el uso del suelo, y olvidan que el campo de batalla está en el mercado financiero»**

complejo que se debería abordar desde diversos ángulos: educación, infraestructura, etc. (Kline et al., 2017). Brasil, que fue durante muchos años el líder mundial en producción de etanol gracias al programa de los años setenta Proálcool, ahora es el segundo productor mundial (por detrás solo de EE UU), responsable del 28 % de la producción mundial (cerca de 3 billones de litros producidos en 2018) (RFA, 2020). Como señala el informe del Banco Mundial, la industria brasileña del etanol, basada en la melaza de caña de azúcar (que también es una fuente de azúcar comestible) no representaba una amenaza para el acceso a la alimentación. La posibilidad de vender otros productos además de azúcar de consumo es, de hecho, una ventaja que aporta flexibilidad al sector de la caña de azúcar.

### ■ CAMPOS IMPRODUCTIVOS

Aunque Brasil es un buen ejemplo de la coexistencia de alimento y producción de combustibles, no se puede decir lo mismo del uso eficiente del suelo (aquí mencionamos a Brasil como ejemplo, pero los conceptos se pueden aplicar a muchos otros países). En 2018, las exportaciones neerlandesas de productos agrícolas alcanzaron los 99.000 millones de dólares americanos (90.300 millones de euros), una cifra que coloca a este pequeño país de clima templado como segundo mayor exportador agrícola del mundo, después de EE UU (CBS, 2019). Brasil, inmensamente más grande y con una producción mucho mayor en términos de volumen a la de los Países Bajos, exportó 84.600 millones de dólares americanos en el mismo año, 14.400 millones menos que este país (Agrostat, 2019). ¿Cómo es posible?

Mientras que los Países Bajos han invertido enormes cantidades de dinero para crear la agricultura más eficiente del mundo, Brasil nunca ha invertido tanto como debería en ciencia (mientras usted lee este artículo, los jóvenes investigadores brasileños están trabajando en el extranjero porque el país tiene una capacidad escasa o nula de retener o atraer científicos). Como consecuencia de estas inversiones insuficientes en investigación y, lo que es más importante, la fuerte influencia política de unas pocas empresas agrícolas, la mayoría del suelo está ocupado por grandes monocultivos. El 58,3 % del área cultivada (204 millones de hectáreas) están en manos de solo un 2 % de los granjeros (105.548 propiedades). En la base de la pirámide, con pequeñas propiedades de 10 hectáreas o menos, está el 50 % de los agricultores (2,5 millones

de propiedades), apretados en solo un 2,3 % de tierra cultivada (8 millones de hectáreas) (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2018). Lo más preocupante es que algunas grandes áreas son propiedades improductivas: poseer la tierra es rentable de por sí y el propietario tiene pocos incentivos para hacerla productiva. En Brasil hay más cabezas de ganado que personas (214,9 millones de cabezas de ganado frente a 209,3 millones de personas en 2017) y las ganaderías ocupan un 18,6 % del territorio brasileño total (158,6 millones de hectáreas), lo que representa uno de los sistemas ganaderos menos densos y productivos del mundo: 1,35 cabezas de ganado por hectárea; es decir, una cabeza por cada 7.400 m<sup>2</sup> (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2019). Además de ocupar un área tan grande del país, la ganadería sigue expandiéndose con agresividad en la Amazonía, gracias al trabajo de poderosos grupos de presión.

## ■ CONCLUSIONES

Las nuevas tecnologías son un requisito previo para generalizar la prosperidad en el mundo y crear nuevas soluciones que alivien los impactos humanos negativos sobre el medio ambiente. Los científicos que solo se preocupan por los aspectos técnicos de su trabajo pueden olvidar fácilmente la solidez de las suposiciones que legitiman su investigación. En este artículo se han discutido algunas de las suposiciones difundidas en los últimos años. Como ejemplo, se analiza la idea de que producir más energía, comida y materiales es necesario y traerá más prosperidad a la humanidad a la luz de cómo se distribuyen y utilizan las tecnologías y los recursos disponibles en nuestra sociedad.

Con el fin de mantener el desarrollo científico cercano a las necesidades globales de la población, los investigadores que trabajan en los aspectos técnicos de cualquier campo de investigación deberían recibir más motivación para reflexionar sobre el impacto social de sus nuevos desarrollos. Debemos cerrar la brecha existente entre las ciencias sociales y las técnicas. Para empezar, se podría animar a los jóvenes investigadores (como los estudiantes de máster y de doctorado) a investigar en mayor profundidad sobre las suposiciones sociales que fundamentan sus hipótesis. Deberían ser críticos con las motivaciones sociales de sus publicaciones científicas aplicando el mismo rigor que utilizan en los aspectos técnicos de sus publicaciones. Esto contribuiría a minimizar la propagación entre publicaciones de supuestos erróneos o muy cuestionables. En general, una postura más rigurosa con respecto a los aspectos sociales podría contribuir a largo plazo a guiar el trabajo científico hacia

**«Los científicos que solo se preocupan por los aspectos técnicos de su trabajo pueden olvidar fácilmente la solidez de las suposiciones que legitiman su investigación»**

la realización de una sociedad «más segura y feliz» que, como se discute en este artículo, difícilmente podría lograrse solo generando mayores excedentes de energía, alimento y materiales. ☺

## REFERENCIAS

- Agrostat. (2019). Estadísticas de comércio exterior do agronegócio brasileiro. Consultado en <http://indicadores.agricultura.gov.br/index.htm>
- CBS. (2019, 18 de enero). *Agricultural export value over 90 bn euros in 2018*. Consultado en <https://www.cbs.nl/en-gb/news/2019/03/agricultural-export-value-over-90-bn-euros-in-2018>
- Ehrlich, P. R., & Holdren, J. P. (1971). Impact of population growth. *Science*, 171(3977), 1212–1217. doi: [10.1126/science.171.3977.1212](https://doi.org/10.1126/science.171.3977.1212)
- FAO. (2012). *Key facts on food loss and waste you should know! SAVE FOOD: Global initiative on food loss and waste reduction*. Consultado en <http://www.fao.org/save-food/resources/keyfindings/en/>
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2018). Censo agropecuario 2017 – Resultados preliminares. Rio de Janeiro: IBGE.
- International Energy Agency. (2018). *World energy outlook 2018: The future is electrifying*. Consultado el 26 de agosto de 2019 en [www.iea.org/weo](http://www.iea.org/weo)
- Kline, K. L., Msangi, S., Dale, V. H., Woods, J., Souza, G. M., Osseweijer, P., ... Mugerá H. K. (2017). Reconciling food security and bioenergy: Priorities for action. *GCB Bioenergy*, 9(3), 557–576. doi: [10.1111/gcbb.12366](https://doi.org/10.1111/gcbb.12366)
- Marques, L. C. (2016). *Capitalismo e colapso ambiental, 2nd ed.* Campinas: Unicamp.
- Martin, S. J. (2019). The political economy of distillers' grains and the frictions of consumption. *Environmental Politics*. doi: [10.1080/09644016.2019.1565461](https://doi.org/10.1080/09644016.2019.1565461)
- Mitchell, D. (2008). *A note on rising food prices* (Report number WPS4682). Consultado en <http://documents.worldbank.org/curated/en/229961468140943023/A-note-on-rising-food-prices>
- Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. (2019). *Agropecuária brasileira em números*. Consultado en <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/politica-agricola/agropecuaria-brasileira-em-numeros>
- RFA. (2020). *Annual world fuel ethanol production (Mil. Gal.)*. Consultado en <https://ethanolrfa.org/statistics/annual-ethanol-production/>
- Ribeiro, D. (1968). *Civilization process*. Washington, D. C.: Smithsonian Institution Press.
- United Nations, Department of Economic and Social Affairs. (2011). *World economic and social survey 2011. The great green technological transformation*. Nueva York: United Nations. Consultado en [http://www.un.org/en/development/desa/policy/wess/wess\\_current/2011wess.pdf](http://www.un.org/en/development/desa/policy/wess/wess_current/2011wess.pdf)
- United Nations, Department of Economic and Social Affairs. (2019a). *World population prospects 2019. Highlights*. Nueva York: United Nations. Consultado en [https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2019\\_Highlights.pdf](https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2019_Highlights.pdf)
- United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. (2019b). *World population prospects, online edition*. Consultado en <https://population.un.org/wpp/Download/Standard/Population>
- World Bank. (2016). *Agricultural land (% of land area)*. Consultado en <https://data.worldbank.org/indicator/AG.LND.AGRI.ZS>
- World Bank. (2018). *Poverty and shared prosperity: Piecing together the poverty puzzle*. The World Bank. doi: [10.1596/978-1-4648-1330-6](https://doi.org/10.1596/978-1-4648-1330-6)

DESCARGO DE RESPONSABILIDAD: Las opiniones expresadas en este artículo son las del autor y no reflejan necesariamente el punto de vista de las instituciones asociadas a él.

**WESLEY LEORICY MARQUES.** Investigador posdoctoral en el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT, Estados Unidos), con un doble doctorado en Biotecnología por la Universidad Tecnológica de Delft (Países Bajos) y la Universidad de Campinas (Brasil).