Universidad de La Salle
Ciencia Unisalle

Libros en acceso abierto | Ediciones Unisalle

8-1-2018

Agrociencias y cambio climático

Gustavo Correa Assmus

Follow this and additional works at: https://ciencia.lasalle.edu.co/libros

Recommended Citation
Correa Assmus, Gustavo, "Agrociencias y cambio climático" (2018). *Libros en acceso abierto*. 41.
https://ciencia.lasalle.edu.co/libros/41

This Libro is brought to you for free and open access by the Ediciones Unisalle at Ciencia Unisalle. It has been accepted for inclusion in Libros en acceso abierto by an authorized administrator of Ciencia Unisalle. For more information, please contact ciencia@lasalle.edu.co.

10

Cuadernos de Seminario

AGROCIENCIAS Y CAMBIO CLIMÁTICO

UNIVERSIDAD DE LA SALLE

Cuadernos de Seminario 10

AGROCIENCIAS Y CAMBIO CLIMÁTICO

Gustavo Correa Assmus
Editor

UNIVERSIDAD DE LA SALLE

Doctorado en Agrociencias
Bogotá
2018

ISSN: 2382-3720
Primera edición: Bogotá D. C., julio de 2018
© Derechos reservados, Universidad de La Salle

Edición
Ediciones Unisalle
Cra. 5 N.º 59A-44 Edificio Administrativo 3er piso
PBX: (571) 348 8000, ext.: 1224
Directo: (571) 348 8047 Fax: (571) 217 0885
edicionesunisalle@lasalle.edu.co

Dirección editorial
Alfredo Morales Roa

Coordinación editorial
Camilo Andrés Sierra

Corrección de estilo
Alejandro Molina Osorno

Diseño de carátula
William Yesid Naizaque Ospina

Diagramación
William Yesid Naizaque Ospina

Impresión
Digiprint Editores

Queda prohibida la reproducción total o parcial de este libro por cualquier procedimiento, conforme a lo dispuesto por la ley.
Impreso y hecho en Colombia

Contenido

Introducción. Sector agropecuario y cambio climático: una visión desde las agrociencias 7

Luis Carlos Villamil Jiménez

Algunos discursos ético-ambientales y elementos de las ciencias naturales que cuestionan la superioridad del hombre en la crisis ambiental 11

Ariosto Ardila Silva

La sostenibilidad de los sistemas de producción agropecuarios 21

Jaime Forero Álvarez
Amalia Nieto Méndez

Efectos del cambio climático en la distribución de insectos vectores de enfermedades tropicales y alternativas de manejo 57

Lucía C. Lozano
Yenny Y. Lozano
Adriana L. Vitolo

Cambio climático y fertilización: efectos en la biota de un arroyo andino 75

María Isabel Castro-Rebolledo
Gelys Igreth Mestre Carrillo
Luis Alberto Núñez Avellaneda

Cambio climático y sus efectos: una propuesta colombiana de mitigación 87

Jorge Gámez Gutiérrez

Cambio climático y salud animal 109

Jaime Romero

Cambio climático y pequeños productores: el caso de las prácticas agrícolas en Antioquia 121

Tatiana Jiménez Valderrama

Cultivos andinos ancestrales: una estrategia de sostenibilidad y mitigación frente al cambio climático 137

Elsa Fonseca Santanilla

Estrategias de mejoramiento y reproducción en la ganadería bovina para la adaptación y mitigación al cambio climático 163

Guillermo Andrés Torres Leyva
Liliana Chacón Jaramillo
Ariosto Ardila Silva

La ecología de los microorganismos y salud animal en el contexto del cambio climático: retos y prioridades 187

Martha Fabiola Rodríguez
Patricia Gómez
Luis Carlos Villamil Jiménez

La productividad ecológica del sector lácteo en Colombia: una apuesta ante el cambio climático 209

Rubén Darío Díaz Mateus
Jaime Alberto Rendón Acevedo

Introducción
Sector agropecuario y cambio climático: una visión desde las agrociencias

*Luis Carlos Villamil Jiménez**

Tanto el mundo rural como el sector agropecuario en particular son, de acuerdo con Romero y Villamil (2011), aspectos de continuo análisis en los ámbitos global, regional y nacional, dadas sus implicaciones en temas prioritarios de comercio de alimentos y en lo relacionado con los conflictos de orden económico y social. En nuestro país, el papel de lo rural y la agricultura corresponde a una amalgama de lo nuevo con lo tradicional. El papel de lo rural desde la tradición histórica en la propiedad de la tierra y el de la agricultura en la economía y la preponderancia por la seguridad y la soberanía alimentaria se contrasta con los procesos de protección y conservación del paisaje y del ambiente, el rol de lo rural como amortiguador de conflictos sociopolíticos y como escenario de nuevas dinámicas económicas, culturales, sociales y ambientales.

Según Chivian y Bernstein (2008), los agroecosistemas tropicales, por su variabilidad espacial, exhiben una elevada complejidad y diversidad en sus distintos componentes (plantas, animales, suelos, microorganismos, clima, regiones, personas, comunidades), que se expresan a través de sistemas diversos: mixtos de producción, industriales monoproducto y extensivos, que mantienen el desarrollo agrícola en escenarios donde la agricultura y el ambiente natural son interdependientes. La diversidad biológica tiene roles funcionales en el contexto de los ambientes saludables, el desarrollo de medicamentos, la investigación biomédica y la emergencia y reemergencia de agentes infecciosos que afectan humanos, animales y cultivos.

* Ph. D. Profesor titular. Director del Doctorado en Agrociencias, Universidad de La Salle, Colombia. Correo elctrónico: luvillamil@unisalle.edu.co

En este contexto, el cambio climático (CC) cobra vigencia en el terreno mundial y prioritariamente en las agendas de investigación y de intervención. Se reconoce que el CC está asociado con el incremento promedio de las temperaturas del aire y de los océanos, lo cual implica patrones de lluvia y temperatura cambiante en las diferentes regiones (Pinto et al., 2008). El CC representa una dura realidad que afecta nuestro planeta, con especial severidad en el trópico y en el subtrópico.

El clima de la tierra cambia, según Blaustein et al. (2010), como una respuesta a las emisiones de gases de efecto invernadero, y las temperaturas medias globales anuales han aumentado 0,7 °C en el último siglo (Benavides, Romero y Villamil, 2016). Las predicciones para las regiones de Centro y Sudamérica, incluida la Amazonia, señalan que las temperaturas podrían incrementarse en algo más de 1 °C para 2020 y hasta 3 °C para 2050 (Ruosteenoja et al., 2003). La precipitación pluvial variará de condiciones de extrema sequía a fuertes lluvias con inundaciones.

El cambio climático implica un reto prioritario para nuestros países, dada la brecha que existe en lo referente a reducción de la pobreza, injusticia e inequidad, situaciones que vulneran una proporción considerable de la población. Por lo tanto, se requieren más esfuerzos de investigación para entender los determinantes del CC y crear mecanismos de mitigación y adaptación. Estos aspectos deben formar parte de las estrategias y políticas para la promoción del desarrollo rural, la disminución de la pobreza y el manejo de los recursos naturales.

En otras palabras, el CC no es un tema aislado; por el contrario, debe considerarse un factor estratégico para el desarrollo, tal como lo señalan los recientes acuerdos, como la firma y la ratificación del Acuerdo de París y los Objetivos de Desarrollo Sostenible, mediante los cuales los países lo asumen como una prioridad. Es evidente la importante contribución que el sector agropecuario puede brindar desde la perspectiva del CC, no solo respecto a la reducción de sus emisiones de gases de efecto invernadero, sino también al desarrollo de la institucionalidad, la generación de políticas para la adaptación y la mitigación.

A continuación, se presenta una síntesis de las deliberaciones realizadas durante el Tercer Simposio de Agrociencias de la Universidad de La Salle: Cambio Climático y Sostenibilidad Agraria, celebrado el 24 de julio durante la Feria Exposición Agropecuaria (Agroexpo) 2017. En dichas deliberaciones, los estudiantes del Doctorado en Agrociencias con científicos invitados

analizaron diversas facetas relacionadas con el cambio climático, la sostenibilidad, la mitigación, las biotas, los vectores y los agentes de enfermedades tropicales, cultivos andinos ancestrales, reproducción y salud animal y crisis ambiental, que presentamos en este número. Esperamos sean del interés de nuestros lectores.

Bibliografía

Benavides, E., Romero, J. y Villamil, L. C. (2016). *Las garrapatas del ganado bovino y los agentes de enfermedad que transmiten en escenarios epidemiológicos de cambio climático*. San José, Costa Rica: Universidad de La Salle-Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura.

Blaustein, A. R., Walls, S. C., Bancroft, B. A., Lawler, J. J., Searle, C. L. y Gervasi, S. S. (2010). Direct and indirect effects of climate change on amphibian populations. *Diversity, 2*(2), 281-313.

Civian, E. y Bernstein, A. (2008). *Sustaining life: how human health depends on biodiversity*. Nueva York: Harvard Medical School-Oxford University Press.

Pinto, J., Bonacic, C., Hamilton-West, C., Romero, J. y Lubroth, J. (2008). Climate change and animal diseases in South America. *Revue Scientifique et Technique (International Office of Epizootics),* 27(2), 599-613.

Romero, J. R. y Villamil, L. C. (2011). Las agrociencias, una escuela de pensamiento para la nueva ruralidad. *Revista de la Universidad de La Salle*, (55), 67-97.

Ruosteenoja, K., Carter, T. R., Jylhä, K. y Tuomenvirta, H. (2003). *Future climate in world regions: an intercomparison of model-based projections for the new IPCC emissions scenarios*. Helsinki: The Finnish Environment Institute.

Algunos discursos ético-ambientales y elementos de las ciencias naturales que cuestionan la superioridad del hombre en la crisis ambiental

*Ariosto Ardila Silva**

Problema

Jean Marie Schaeffer (2009) resume la tesis de la excepción humana así:

> [...] el hombre constituye una excepción entre los seres que pueblan la tierra. Esta excepción se debería al hecho de que, en su esencia propiamente humana, el hombre poseería una dimensión ontológicamente emergente, en virtud de la cual trascendería a la vez la realidad de las otras formas de vida y su propia naturalidad. (p. 13)

El autor francés se cuestiona cómo la aceptación de la tesis de la excepción humana sigue vigente en la filosofía, en las humanidades y en las ciencias sociales, a pesar de las pruebas empíricas y los argumentos de ser una tesis infundada. Lo anterior lleva a la formulación de la siguiente pregunta: ¿cuáles son los elementos en los discursos ético-ambientales y en las ciencias empíricas que se desligan de la tesis de la excepción humana?

La tesis sostiene que el ser humano es radicalmente distinto del resto de la naturaleza o, en otras palabras, que no es esencialmente un ser natural. Sin embargo, parece imposible, so pena de quedarse encerradas en un monólogo estéril, que las humanidades sigan sin prestar atención a los elementos hallados por las ciencias naturales y empíricas que muestran la excepcionalidad

* Ph. D. en Genética y Mejoramiento. Decano de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad de La Salle, Colombia. Correo electrónico: aardilas@lasalle.edu.co

como una tesis infundada. Haré, pues, una revisión de diferentes discursos éticos que se han dado a la tarea de cuestionar esta tesis y que se centran en el animal, la vida, los ecosistemas, etcétera, es decir, que apuntan hacia un principio de responsabilidad más allá del ser humano.

Una ética centrada en el ser humano

El antropocentrismo en sentido moral es la doctrina según la cual los intereses humanos son moralmente más importantes que los intereses de las otras formas de vida o de la naturaleza. En muchos casos, el antropocentrismo moral se combina con la tesis ontológica de la diferencia antropológica. Se puede ser partidario, a la vez, de un antropocentrismo débil y de un biocentrismo débil, si se afirma que todos los seres merecen respeto moral, pero unos seres vivos más que otros. Hay también un antropocentrismo fuerte que no estaría dentro de los discursos ético-ambientales, pues ningún ser no humano merece respeto moral.

El antropocentrismo epistémico es inevitable. Cada ser vivo vive dentro de un mundo sensorial, cognitivo y experiencial característico de su especie, del que no puede evadirse. El ser humano no puede pensar sino en términos antropocéntricos. El antropocentrismo es una condición ontológica del pensamiento. Sin embargo, en las épocas modernas y contemporáneas, se sustituye al hombre por abstracciones, en especial por el mercado y el capital. Es un *mercadocentrismo* o un *capitalocentrismo* (Riechmann, 2005, p. 45).

Ante esto, una ética ambiental antiantropocentrista y en contravía de la tesis de la excepción humana consideraría que los humanos son miembros que integran la comunidad biótica en la tierra, en un sistema total de interdependencias en el cual cada componente (cada especie, incluida la humana) condiciona y es condicionada por la supervivencia de las otras, que todos los organismos vivientes son "centros teleológicos de vida", que persiguen a su manera su propio bien, y que los humanos no tienen ninguna superioridad con respecto a los otros seres vivos (Hottois, 2006, p. 43).

Una ética centrada en los animales

Hay una concepción de la ética que no solo considera moralmente relevantes a las personas sino también a todos los animales no humanos. Son muchas las acciones del ser humano que afectan a los animales no humanos, y esto es condenable por parte de esta ética. Por ejemplo, la contaminación, la deforestación, la extinción de especies y la explotación de la naturaleza afectan de manera directa e indirecta la vida de los animales no humanos. Una ética centrada en los animales hace una consideración a los animales individuales y no como especie; lo que sucede a una especie determinada solo tiene un interés indirecto en cuanto afecte a los animales individuales.

Esta ética se cuestiona con Bentham, para quien no consiste en el hecho de que los animales puedan razonar, sino más bien debe plantearse la pregunta ¿pueden sufrir? Este planteamiento hace una crítica a la tradición filosófica que se obstina en oponer al hombre el resto del género animal como un conjunto indiferenciado: el animal. Este pensamiento filosófico predominante durante buena parte de la historia ha borrado en el hombre toda animalidad y, contrariamente, ha llevado a definir al animal en contrapartida, de forma negativa, como desprovisto de todo lo que considera que es lo propio del hombre: "palabra, razón, experiencia de la muerte, duelo, cultura, institución, técnica, vestido, mentira, fingimiento del fingimiento, borradura de la huella, don, risa, llanto, respeto, etc." (Derrida, 2008, p. 10).

Peter Singer (2010), representante destacado de estas éticas animalistas, sostiene que los animales no humanos son capaces de experimentar placer y dolor, al igual que los animales humanos, lo cual es fundamental para considerar que deben ser tenidos en cuenta; por lo tanto, la ética ambiental debe estar centrada en ellos. Los animales merecen consideración moral porque son seres capaces de experimentar una vida, lo cual significa que tienen derechos porque son seres vivos al igual que los humanos. Las limitaciones de estas éticas ambientalistas no son suficientes porque se sigue reforzando el antropocentrismo y el zoocentrismo, pues el resto de organismos vivientes que no son animales sintientes poseen mecanismos que les permiten sobrevivir, interactuar, reproducirse y adaptarse a las condiciones del medio ambiente.

Una ética centrada en la vida

Esta ética, además de incluir en la comunidad moral animales humanos y animales no humanos, considera también algas, hongos, plantas, microorganismos unicelulares y virus, y para algunas éticas ambientalistas incluyen los ecosistemas y la biósfera. Una ética centrada en la vida considera moralmente relevantes a todos los seres vivos, aunque no necesariamente confiere igual significación moral. El ser humano debe tener en cuenta el impacto de sus acciones sobre cualquier ser vivo.

Una ética centrada en la vida lleva a que la única tesis fundamental en el mundo de la ciencia sea considerar que el hombre es un organismo más, con sus propias peculiaridades, eso sí, mediante las cuales pueden llegar a considerarse drásticamente singulares en comparación con las que describen a las demás formas de vida. Según la metafísica darwiniana, todos los seres vivos son iguales, atendiendo al criterio de que todos son accidentes del proceso evolutivo. Todos tienen una anatomía, una fisiología y un comportamiento que se integran en un organismo que se comporta como una máquina de supervivencia.

El biocentrismo es la teoría moral que afirma que todo ser vivo merece respeto moral. Existe un biocentrismo débil que sostiene que todo ser vivo merece respeto moral, pero unos seres vivos más que otros, y un biocentrismo moral fuerte que niega que puedan establecerse distinciones de ningún tipo entre el respeto moral que merecen diferentes clases de seres vivos.

Ética del todo

Estas éticas no solo consideran a todos los seres vivos, sino también a los seres no vivos, como el agua y las rocas, que serían seres moralmente considerables. Los seres no vivos, que al igual que muchos seres vivos carecen de conciencia, incluso de una organización biológica rudimentaria, son moralmente relevantes en esta ética ambiental. Al igual que la ética centrada en la vida, esta ética puede verse de diferentes maneras: puede otorgar diferentes grados de jerarquización moral a los seres no vivos, o también reflejar un igualitarismo como el biológico y negar que existen diferencias de significación moral.

Esta ética puede justificarse por la evolución cósmica de que estamos emparentados no solo con las demás formas de vida, sino también con la materia no viviente, pues los seres vivos estamos hechos de los mismos

elementos y partículas de que están compuestos el agua y la piedra. Explorar la composición de la materia es, esencialmente, buscar la comprensión de nosotros mismos. Al final, somos hechos de los mismos átomos que Rutherford o Bohr estudiaron, atravesados por trillones de neutrinos venidos del corazón del sol, conectados por las mismas leyes que rigen el funcionamiento de una estrella o la erupción de un volcán.

El holismo ecológico

El holismo ecológico considera moralmente importante la biósfera y los ecosistemas. Los animales humanos y los no humanos, las plantas, los microorganismos, las rocas y las moléculas que componen estos grandes sistemas no son moralmente relevantes. Si ocurre la extinción de una especie, por ejemplo, deberíamos preocuparnos no por las implicaciones que esto trae para sus miembros individuales o para la propia especie, sino por lo que va en contra para mantener la biósfera o los ecosistemas, pues desde nuestros primeros ancestros vivientes han evolucionado individuos y especies, pero también la gran mayoría han desaparecido, siendo la biósfera y los ecosistemas determinantes para que se den los procesos evolutivos de las distintas formas de vida. Puede que los principios del holismo ecológico difieran de otras éticas ambientales, pero no significa que haya diferencias en cuanto a sus implicaciones. Por ejemplo, la ética de la vida y la ética del todo sancionarán con toda probabilidad políticas ambientales similares, pero se diferencian en mantener la biósfera y los ecosistemas (Elliot, 2010, p. 398).

En las éticas ambientales es importante el proceso complejo y maravilloso de materia y energía, el cual ha recibido el nombre de *ecosistema*. Es el sistema de la casa y no solo del sistema vivo. Ello significa que materia, energía y vida están estrechamente ligados. Las especies cumplen una función y por ello ocupan un hábitat. El hábitat es el espacio en el que ejercen su función. La función que ejercen se identifica con la propia naturaleza, o sea, con la propia constitución orgánica de cada especie. Ello significa que para cada especie "ser" significa vivir en función de algo. Su única existencia es su función. Las especies no viven solamente para sí mismas en función del sistema global. Vivir para una especie es desempeñar una función para el sistema. Es el sistema el que le da su razón de ser, el que especifica su función. Es el ecosistema, entendido no solo como bioma, sino también como

el conjunto de condiciones bióticas y abióticas, lo que está sometido a los procesos evolutivos. La evolución es el proceso de cambio de las condiciones bióticas y abióticas, y es dicha evolución la que constituye el tiempo. De hecho, lo que ha venido evolucionando son los ecosistemas, y solamente dentro de ese proceso global puede entenderse la evolución de las especies (Maya, 2002, pp. 134-135).

Algunos elementos de las ciencia empíricas y naturales

En la primera revolución copernicana, la tierra no está en el centro del sistema solar, el sol es el que ocupa este lugar. En la segunda, el sol y sus planetas están en la margen de la galaxia. En la tercera, la galaxia no está en el centro del universo, porque el propio universo no tiene ni centro ni orla. En la cuarta, la materia que nos constituye, hecha de átomos, no es la sustancia esencial del universo; se abre la era de lo invisible, de un nuevo éter indetectable, pero dotado de energía. En la quinta, las leyes que consideramos universales, esto es, las que nos permitirían describir el comportamiento de la materia aquí en la tierra y en el cielo, parecen reservadas a nuestra provincia cósmica. Digamos que la teoría parece indicar, de forma indirecta más lógica, que el universo es un conjunto de cosmos, una especie de champán si quisiéramos, del cual ocuparíamos una burbuja. En la sexta y última revolución conceptual, pero que aún no está demostrada, si bien que nos cueste admitirlo por cuestiones de armonía y de coherencia en la teoría, se destaca la existencia de dimensiones que no entendemos (once en lugar de cuatro).

Hagan o no los átomos vida en otros rincones del universo, hacen muchas otras cosas: nada menos que todo lo demás. Sin ellos no habría agua ni aire ni rocas ni estrellas ni planetas, ni nubes gaseosas lejanas ni nebulosas giratorias ni ninguna de las demás cosas que hacen el universo tan agradablemente material. Cada uno de los átomos que poseemos es casi seguro que han pasado por varias estrellas y han formado parte de millones de organismos en el camino que ha recorrido hasta llegar a ser nosotros. Somos atómicamente tan numerosos y nos reciclamos con tal rigor que, al morir, un número significativo de nuestros átomos (más de mil millones de cada uno de nosotros, según se ha postulado) probablemente pertenecieron alguna vez a Shakespeare. Mil millones más proceden de Buda, de Beethoven y de cualquier otro personaje histórico en el que se pueda pensar.

Así que todos somos reencarnaciones, aunque efímeras. Cuando muramos, nuestros átomos se separarán y se irán a buscar nuevos destinos en otros lugares. Sin embargo, esos átomos continúan existiendo prácticamente siempre. Todo lo que existe en el mundo es hecho de átomos. No hay nada que los seres vivos hagan que no pueda ser comprendido desde la óptica según la cual son todos hechos de átomos que obedecen a las leyes de la física; nuestros más lejanos parientes son las rocas, el agua, incluso las estrellas. Pensando en eso, el cosmólogo Marcus Chown, consultor de la revista *New Scientist*, estimó que cada vez que respiramos estamos inspirando por lo menos un átomo de materia que un día fue parte del cuerpo del Albert Einstein, Cleopatra, o del último tiranosaurio que vivió sobre la tierra.

En lo biológico, Darwin se recordaba a sí mismo que jamás debía decir "superior" o "inferior", al describir la estructura de los organismos, porque si una ameba está igual de bien adaptada a su ambiente como lo estamos nosotros al nuestro, ¿quién tiene derecho a decidir que nosotros somos criaturas superiores? Lo anterior está enmarcado en la evolución, cuya aparición en la lengua inglesa se dio como sinónimo de "descendencia con modificaciones". La historia de la vida no está regulada por ningún propósito predeterminado. La evolución es mucho más que una teoría, cuanto menos una teoría en crisis. La evolución es un hecho. Si los humanos somos tan solo uno de los muchos productos de la selección natural, quizá no seamos tan especiales. Todos nosotros, los elefantes, el cactus del jardín, compartimos algunas características fundamentales. Entre ellas, las vías bioquímicas que utilizamos para producir energía, nuestro código estándar de cuatro letras del ADN y la forma como ese código es leído y traducido a proteínas. Esto nos dice que todas las especies provienen en último término de un único antepasado común, un antepasado que poseía esos caracteres y los trasmitió a sus descendientes.

Darwin argumenta que la evolución carece de propósito. Cada individuo lucha por incrementar la representación de sus genes en las generaciones futuras, y eso es todo. Sostenía que la evolución carece de dirección; no lleva inevitablemente a la aparición de organismos superiores. Los organismos se limitan a adaptarse mejor a su entorno local y eso es todo. Darwin aplicó una consistente filosofía materialista a su interpretación de la naturaleza. La materia es la base de toda existencia; la mente, el espíritu e incluso Dios no son más que palabras que expresan los maravillosos resultados de la complejidad neuronal.

Según la metafísica darwiniana, todos los seres vivos somos iguales atendiendo al criterio de que todos somos accidentes del proceso evolutivo. Todos tenemos una anatomía, una fisiología y un comportamiento que se integran en un organismo que se comporta como un organismo que sobrevive. Dicha supervivencia se viene instrumentando desde hace 3500 millones de años por selección natural ocasional, entre otros procesos cuya importancia relativa se está dilucidando en los últimos tiempos. Somos muchos organismos de supervivencia más o menos agrupados o diferenciados. En general, todos somos agrupaciones virales que por mutación y posterior selección hemos alcanzado cotas de supervivencia cada vez más eficaces en medios concretos que nunca se consolidan como tales (es decir, toda eficacia es provisional).

Para concluir, lejos de contraponer a Darwin con Einstein, digamos que el primero nos hizo solidarios con todas las formas de vida y el segundo con el universo que la generó. Ambos buscaron leyes universales y esa actitud les permitió alcanzar la mayor estatura científica en sus respectivos siglos; ambas posturas resultaron convergentes, vistas a la luz de la cosmología y la termodinámica de sistemas alejados del equilibrio.

Conclusiones

Hay elementos en los discursos ético-ambientales que cuestionan la tesis de la excepcionalidad humana: una concepción de la ética que no solo considera moralmente relevantes a las personas sino también a todos los animales no humanos; una ética centrada en la vida que considera moralmente relevantes a todos los seres vivos; unas éticas que no solo consideran a todos los seres vivos, sino también los seres no vivos; el holismo ecológico considera moralmente importante la biósfera y los ecosistemas.

Hay elementos de las ciencias empíricas y naturales que también contradicen la tesis de la excepcionalidad humana. La hipótesis de Copérnico desmontó la centralidad de la tierra en el universo, y Darwin redefinió el lugar del *Homo sapiens* en el mundo de lo viviente, lo que aclaró la identidad del hombre. La identidad del ser humano es pensada como una forma de vida biológica, es decir, el hombre no aparece como aquel que tiene un aspecto biológico, sino que es biológico y pone la identidad óntica junto a la historia biológica. La especie humana no determina la evolución, sino que es producto, al igual que cualquier forma de vida, del proceso evolutivo.

Bibliografía

Derrida, J. (2008). *El animal que luego estoy si(gui)endo.* Madrid: Trotta.

Elliot, R. (2010). La ética ambiental. En P. Singer (Ed.). *Compendio de ética*. Madrid: Alianza.

Hottois, G. (2006). Panorama crítico de las éticas del mundo vivientes. *Revista Colombiana de Bioética, 1*(1), 35-62.

Maya, A. A. (2002). *La razón de la vida. El retorno de Ícaro. Muerte y vida de la filosofía. Una propuesta ambiental*. Bogotá: Tercer Mundo Editores.

Riechmann, J. (2005). *Todos los animales somos hermanos: Ensayos sobre el lugar de los animales en las sociedades industrializadas*. Madrid: Catarata-Fuencabral.

Schaefer, J. M. (2009). *Fin de la excepción humana*. Buenos Aires: Fondo de Cultura Económica.

Singer, P. (2010). *Compendio de ética.* Madrid: Alianza.

La sostenibilidad de los sistemas de producción agropecuarios*

*Jaime Forero Álvarez***
*Amalia Nieto Méndez****

Paisaje y sistemas de producción

Los cambios que diversos grupos humanos hacen del paisaje para obtener alimento, madera y otros bienes han alterado funciones básicas del ecosistema (Lambin et al., 2001). La ecología del paisaje estudia la cobertura y el uso del suelo como dos atributos que indican la dinámica del paisaje (Etter, 1991). Por lo tanto, para estudiar los efectos de las actividades humanas en el paisaje y entender esta relación, se estudian los cambios en el uso y la cobertura del suelo. Estos procesos de cambio, que están influenciados por factores impulsores sociales, culturales, tecnológicos, económicos y ambientales que operan en múltiples escalas espaciales y temporales (Bürgi, Hersperger y Schneeberger, 2004), modifican aspectos estructurales y funcionales claves de los ecosistemas que afectan directamente la biodiversidad, contribuyen al cambio climático, a la degradación del suelo y alteran la prestación de servicios ecosistémicos (Lambin et al., 2001). En este sentido, los procesos de cambio del suelo pueden llevar a la disminución de la resiliencia de los ecosistemas, pues conducen a la pérdida de su capacidad para autoorganizarse y resistir las presiones o choques a los que se enfrentan (Plieninger y Bieling, 2012).

Si bien es cierto que el cambio es una característica inherente del paisaje, algunos procesos de transformación drásticos y acelerados alteran funciones básicas y provocan pérdida de valores culturales, sociales, económicos y

* Agradecimientos por sus comentarios críticos a la ecóloga Valentina Fonseca.
** Director del Observatorio Rural de la Universidad de La Salle, Colombia. Correo electrónico: jforero@unisalle.edu.co
*** Estudiante de Ecología de la Pontificia Universidad Javeriana, Colombia. Correo electrónico: amalianietom@gmail.com

ecosistémicos del paisaje (Plieninger y Bieling, 2012). Por ello es relevante estudiar los procesos de cambio de los paisajes, sus posibles causas y las consecuencias que tienen en los ecosistemas.

La agricultura es una de las fuerzas conductoras que tiene mayor incidencia en las dinámicas de cambio de los paisajes (Geist y Lambin, 2002; Foley et al., 2005). Se estima que el 40% de la superficie terrestre está dedicada para la agricultura: los cultivos ocupan aproximadamente 16 millones de kilómetros y los pastos 30 millones (Foley et al., 2005). Gran parte de los paisajes que existen actualmente son culturales en la medida en que son resultado de procesos de uso y manejo humanos del ecosistema, por lo que el reto consiste en propiciar la coexistencia de diversos usos del suelo con el bienestar de los sistemas ecológicos y sociales (Plieninger y Bieling, 2012).

Los cambios de uso del suelo suponen un *trade-off* entre la satisfacción de necesidades humanas a corto plazo y el mantenimiento del sistema ecológico a largo plazo. En el caso de la actividad agrícola, el aumento de prestación de servicios ecosistémicos de aprovisionamiento, como la provisión de alimentos, altera y disminuye otros servicios ecosistémicos claves como el aprovisionamiento de agua, la regulación del clima, los ciclos biogeoquímicos y la regulación de los nutrientes del suelo (DeFries, Foley y Asner, 2004).

En este sentido, el desbalance de servicios ecosistémicos producido por el aumento de producción de alimentos y materias primas agrícolas, así como por la adopción de ciertas prácticas de uso del suelo, crea desequilibrios en los ecosistemas que llevan a múltiples problemas ambientales (Lambin et al., 2001; Foley et al., 2005; DeFries, Foley y Asner, 2004).

Ahora bien, aunque se ha documentado que algunas actividades agropecuarias suponen un riesgo para los sistemas ecológicos, es importante resaltar que gran parte de los paisajes del mundo son el resultado de interacciones a largo plazo de estas actividades humanas y su ambiente biofísico (Plieninger et al., 2015). En ese sentido, los humanos y la naturaleza han coevolucionado y han conformado paisajes que funcionan como sistemas conjuntos y complejos (Plieninger et al., 2015).

Para el caso de los paisajes rurales, los usos y tipos de manejo que diversos actores sociales hicieron de los ecosistemas han conformado sistemas socioecológicos complejos, resultado de la interacción entre dinámicas sociales, generadas alrededor de la actividad productiva, y dinámicas ecológicas, caracterizadas por la interacción entre los cultivos y los ecosistemas de los que dependen (Plieninger et al., 2015).

El sistema de producción agropecuario

En general, el concepto de *sistema de producción*, desde el punto de vista económico, alude a la estrategia humana para producir los bienes y servicios que una sociedad necesita o demanda en cualquier momento histórico. En ese sentido, la economía, o la producción económica, es anterior aun a la existencia humana, porque toda especie necesita producir para satisfacer sus necesidades y sobrevivir.

El *sistema de producción rural* se define como una unidad espacial en la que se adelanta una actividad productiva agropecuaria, forestal, agroindustrial o piscícola, regulada por un agente económico que toma las decisiones con un cierto grado de autonomía, aunque condicionado por el entorno ecosistémico, socioeconómico, político y cultural. Es importante resaltar que la unidad espacial puede estar fragmentada (por ejemplo: varios lotes o fincas ubicados en distintos lugares) y el acceso a ella puede darse según diversas formas de tenencia o mediante una combinación de estas (propiedad, arrendamiento, usufructo, asociaciones, aparcerías, etc.) (Forero et al., 2002).

Los siguientes son ejemplos de un sistema de producción: una finca o parcela que explota un campesino, una empresa agropecuaria, las parcelas o los lotes que tiene un indígena que le han sido asignados por su comunidad, un ingenio azucarero —que produce, además de azúcar, alcohol—, la finca de un campesino que produce panela y tiene su trapiche, o muele la panela en el trapiche vecino, y que además de caña tiene maíz, ganado y cerdos.

Según la teoría de sistemas, un sistema se organiza de acuerdo con una finalidad (Durand, 1972). En este caso, el sistema de producción se organiza en torno a una doble finalidad. La primera es producir bienes y servicios; la segunda, generar un excedente al productor. La finalidad del sistema de producción familiar es contribuir a su reproducción por medio de la generación de ingresos monetarios o no monetarios. Los ingresos monetarios provienen de los productos que venden en el mercado y de los cuales reciben pago efectivamente en dinero. Los no monetarios son aquellos productos que consume la familia o intercambia con vecinos.

El productor toma las decisiones de qué, cómo y para quién producir, cómo combinar los factores, cómo obtener los servicios ecosistémicos y organizar un sistema productivo, un sistema de producción. Sus decisiones están condicionadas por el ecosistema y por otros factores: el mercado, las relaciones sociales, políticas (de poder) con otros actores, etc.

El sistema de producción agropecuario (SPAP) tiene una doble regulación: la artificial, que es generada por la acción humana; y la natural, que está dada, por un lado, por el hecho de que se trata de un sistema abierto que intercambia con el ecosistema y, por otro, porque la producción se lleva a cabo con seres vivos, que tienen sus propios mecanismos biológicos de regulación o autorregulación. La regulación artificial es ejercida por un agente que puede ser una familia, un empresario o una comunidad, que le imprime una lógica y una organización económica y social. El agente lo gestiona y también establece sus límites de acuerdo con su dotación de recursos: podemos hablar de una pequeña parcela o de un gran ingenio azucarero.

Así, puede decirse que los SPAP son sistemas abiertos en por lo menos dos sentidos. El primero, por su interacción con otros actores, especialmente con los mercados; y el segundo, por su interacción con el ecosistema o el medio ambiente.

Ahora bien, en la interacción con el ecosistema o el medio ambiente generalmente se acepta que los ecosistemas brindan servicios que son esenciales para cumplir la finalidad del sistema de producción (Hazell y Wood, 2008), con los recursos naturales que el productor toma, consciente o inconscientemente, así como con los servicios ecosistémicos para llevar a cabo la producción. Por ejemplo, el productor toma agua, maderas y utiliza la tierra como un sustrato en la que se ancla cada planta y de la cual extrae nutrientes. De esta forma, consciente o inconscientemente, está tomando, por ejemplo, servicios de polinización, en la medida en que ciertos animales, sobre todo insectos, murciélagos y aves, son fundamentales en la reproducción de las plantas. Igualmente, la biodiversidad del ecosistema incide en el funcionamiento del sistema productivo, pues una mayor diversidad biológica (un mayor número de especies animales y vegetales) puede significar la presencia de múltiples funciones que podrían ser útiles para responder a ciertas presiones a las que se enfrenta el sistema productivo (Darnhofer, 2010).

El SPAP tiene entradas y salidas. Parte de las entradas son aportadas por el productor: trabajo, insumos y maquinaria. Parte de las salidas corresponden a la finalidad del sistema: producir bienes y servicios para el autoconsumo y para intercambiar (intercambios directos o venta en el mercado). Entre las entradas se tiene, además, la provisión de servicios ecosistémicos. Y dentro de las salidas están las fugas o lo que algunos llaman la excreción del sistema de producción: los materiales, la energía que lanza, que bota, expulsa o excreta al ecosistema (González de la Molina y Toledo, 2011). El ecosistema sirve de

sumidero. De acuerdo con el nivel de producción de excretas, el ecosistema puede cumplir esta función sin ser afectado sensiblemente. Los cazadores o agricultores orgánicos de la antigüedad posiblemente no alteraban los ecosistemas de forma sustancial.

Sin embargo, por lo regular dentro de la agricultura contemporánea, el ecosistema, al servir de sumidero, se ve gravemente afectado. Pero hay otra entrada fundamental del sistema y que es la que explica, en últimas, que el balance energético pueda ser positivo —por lo menos en ciertos casos— y es la entrada de energía solar, bien sea directa —las plantas a través del proceso de fotosíntesis organizan energía solar en tejidos— o indirectamente —los animales que cría el productor consumen plantas, es decir, consumen energía transformada en tejidos vegetales—. La energía solar acumulada en el venado, por ejemplo, es lo que hace posible que la energía consumida en el proceso de producción de la cacería sea inferior, muy inferior, a la energía producida (los animales capturados).

Una característica básica del sistema de producción es que el productor tiene una interacción con muchísimos otros actores, y esa interacción se lleva a cabo por medio de instituciones, de formas, reglas y pautas que, como dice Douglass North (1990), limitan, moldean y dirigen la acción humana. Por ejemplo, un productor campesino intercambia con sus vecinos, con los jornaleros que contrata, con sus parientes —a los cuales les provee algunos alimentos y de los cuales posiblemente recibe recursos—, con los comerciantes, con los financistas, con el vecino que le provee capital —le presta dinero— y con el almacén de insumos agrícolas que le fía. Intercambia también con los proveedores de insumos, con los proveedores de maquinaria, con los políticos, con los asistentes de las entidades gubernamentales o privadas, con los actores armados, etc.

Los sistemas de producción, ¿un concepto nuevo?

Tanto nosotros como muchos otros investigadores no hablábamos de sistemas de producción sino hasta hace algunos unos años. La categoría que normalmente utilizábamos era la de *unidad de explotación*, que podía ser familiar o campesina o podía referirse a una unidad de explotación empresarial o a una hacienda. Algunos investigadores, en especial agrónomos, se interesaron por la teoría de sistemas y comenzaron a pensar la

unidad de explotación como un sistema basado en la definición clásica de sistema de Bertalanffy (1968), es decir, como un conjunto de elementos que interactúan de acuerdo con una finalidad, de manera tal que el resultado emergente, en este caso el sistema de producción familiar o empresarial, es sustancialmente distinto a sus componentes, esto es, a sus cultivos, a sus potreros, a las plantas, a los animales, a las herramientas e insumos. Hemos venido entonces construyendo la noción de *sistema de producción* muy influenciada al principio por la teoría de la escuela de Farming System, uno de cuyos principales representantes es Hart (1979).

Este enfoque constituye, en parte, una reacción a la teoría agronómica convencional, la cual estudia la producción agropecuaria según el método experimental. Con este método, el cual corresponde al positivismo lógico, normalmente se analiza cómo se comportan cultivos y animales en determinadas condiciones, las cuales se controlan en granja o en laboratorio. Innegablemente este método ha hecho aportes imprescindibles al conocimiento científico e interesantísimos aportes prácticos, como las semillas mejoradas que han contribuido a elevar de forma sustancial la productividad del sector agropecuario. Puede decirse que, en general, toda la revolución verde se ha construido desde la óptica del método experimental.

No obstante, y sin descartar completamente los aportes del método experimental, se encontró muy útil estudiar lo que llamamos "la unidad de explotación campesina" en el medio en que ella está funcionando, es decir, entenderla como un sistema abierto dentro del cual interactúan múltiples elementos: la planta cultivada con las otras plantas, el suelo y los microorganismos; el cultivo con los bordes o las cercas vivas o con la vegetación silvestre próxima; la producción agrícola con la producción animal y la producción agrícola y animal con la cobertura forestal. Hay que tener en cuenta las interacciones con el clima, las lluvias, los vientos, las oscilaciones de temperatura y con el régimen hídrico de la cuenca en donde está ubicado el SPAP. Se desprende entonces de aquí la noción de *integración*. Hablamos, por ello, de "análisis integrado de sistemas de producción" y no atomizado en parcelas experimentales. La finca campesina, en ese sentido, es un sistema abierto al ecosistema y abierto al mercado, así como al contexto social, cultural, económico, institucional, ambiental y tecnológico. La entendemos como sistema socioecológico, es decir, como sistemas que son, a su vez, sociales y ecológicos, tal como veremos enseguida.

Los sistemas de producción agropecuarios como sistemas socioecológicos

Las ciencias de la sostenibilidad y los sistemas socioecológicos

Walter Salas (2012), en su tesis doctoral, propone la *ciencia de la sostenibilidad* como un marco de estudio que integra diversas transdisciplinas como lo son la economía ecológica, la ética ambiental, la agroecología, la ecología política, la ecología cultural y la ecología industrial, las cuales estudian la interacción entre sistemas sociales y ecológicos desde diferentes perspectivas. Podemos añadir también el metabolismo sociológico (González de la Molina y Toledo, 2011) y el análisis institucional de la gobernanza de recursos de uso común (Ostrom, 2009).

Salas propone que el objeto de estudio de la ciencias de la sostenibilidad es la resiliencia socioecológica, comprendida como "la capacidad que tiene un sistema socioecológico de auto-organizarse adaptativamente para preservar sus atributos esenciales luego de una perturbación" (Salas, 2012, p. 64). En esta definición se comprende la resiliencia como una capacidad adaptativa, por lo que es considerada una propiedad relacionada con la sostenibilidad de los sistemas sostenibles. Se basa en la premisa de que la sostenibilidad es un proceso, con lo cual se replantea la idea de que hay un estado final (o clímax) o una meta que se busca alcanzar.

Los sistemas socioecológicos se definen como sistemas integrados en los cuales las dinámicas sociales y ecológicas están estrechamente relacionadas (Berkes y Folke, 1998). Este es un concepto integral de la relación hombre-naturaleza, que intenta reconocer la noción de interdependencia de la sociedad y los ecosistemas. Por tanto, se entiende que la separación de sistemas sociales y ecológicos es completamente arbitraria y que los procesos ecosistémicos y las dinámicas sociales deben tener el mismo peso en los análisis, pues ambos sistemas interactúan y generan propiedades emergentes que caracterizan el sistema socioecológico (Berkes, Colding y Folke, 2003). Los sistemas sociales y ecológicos están profundamente interconectados y coevolucionan a través de escalas espaciales y temporales, lo que hace difícil entender la dinámica de los ecosistemas sin involucrar el análisis del ámbito humano que forma parte del sistema (Folke, 2006, 2007; Liu et al., 2007).

Los SPAP pueden ser analizados como sistemas socioecológicos porque integran componentes sociales y ecológicos que interactúan y generan propiedades emergentes. También porque las entradas y salidas del sistema son, al mismo tiempo, de orden social y ecológico. Por un lado, hay entradas que provienen del sistema social, como el trabajo humano y los insumos orgánicos e industriales, que son resultado de los subsidios energéticos que aporta el humano a los sistemas de producción para maximizar la producción de biomasa. Por otro lado, hay entradas de tipo ecológico que corresponden a servicios ecosistémicos que sustentan el proceso productivo. Tras un análisis económico de los sistemas de producción, estas entradas sociales y ecológicas se caracterizan como costos e ingresos monetarios o domésticos. En general, estos sistemas exhiben una serie de propiedades emergentes que resultan de la interacción y la retroalimentación entre sistemas sociales y ecológicos (Berkes, Colding y Folke, 2003; Salas, 2012).

Otros autores también han estudiado los sistemas de producción como sistemas socioecológicos. Reconocen que estos están compuestos por dinámicas sociales relacionadas con la actividad humana agrícola, y por procesos ecológicos, que se dan en los agroecosistemas construidos (Corrales, 2012) Igualmente, consideran que los sistemas productivos forman parte de un contexto socioecológico más amplio que determina en cierta medida su funcionamiento. En este contexto, diversos actores sociales interactúan con el productor por medio de instituciones. Además, las dinámicas ecológicas del paisaje, así como los recursos naturales presentes, inciden en el estado de los sistemas de producción (Corrales, 2012).

Socioecología de los sistemas de producción

Para estudiar la sostenibilidad de los sistemas de producción primero debe reconocerse que los problemas derivados de la actividad agrícola y de la adopción de ciertas prácticas del uso del suelo, que llevan a la insostenibilidad, generan problemas ambientales complejos como pérdida de biodiversidad, cambio climático, escasez y degradación de recursos naturales. Estos pueden ser considerados problemas complejos porque las causas son múltiples y de diversa naturaleza, o, dicho en otras palabras, porque los factores que direccionan el comportamiento del sistema de producción pueden corresponder a

ámbitos sociales, políticos, culturales, económicos y naturales, y todos estos actúan de manera conjunta (Corrales, 2012).

Por estos motivos, para entender la complejidad de los problemas es necesario adoptar un enfoque de sistemas complejos que permita el diálogo entre diversas disciplinas y la combinación de diferentes metodologías. El reto es construir un lenguaje en común que articule disciplinas y enfoques para comprender la dinámica de los sistemas complejos y dar pasos hacia la construcción de la sostenibilidad (Salas, 2012).

Los SPAP, vistos como un sistema socioecológico, poseen una serie de propiedades características como la no linealidad de sus respuestas y la poca predictibilidad, debido a la incertidumbre sobre su comportamiento. Son sistemas multiescalares temporal y espacialmente, de manera que su dinámica y sus respuestas a perturbaciones varían en el tiempo y en el espacio (DeFries, Foley y Asner, 2004). También se caracterizan por su multicausalidad, ya que las propiedades de estos sistemas resultan de múltiples causas y de muy diversa naturaleza.

Decimos también que el SPAP puede ser visto como un sistema socioecológico, desde una perspectiva metabólica, no solo porque tiene entradas y salidas de naturaleza social (los insumos y la mano de obra) y de naturaleza ecológica (tierra, agua, oxígeno, polinización), sino también porque excreta directamente sobre el ecosistema, al cual afecta incidiendo a la vez sobre los servicios ecosistémicos (retroalimentación). Así, su carácter de sistema socioecológico tiene que ver con que en el proceso de producción intervienen elementos humanos (el trabajo) y elementos creados socialmente (los insumos, la maquinaria), así como seres vivos (las plantas, los animales), además de todas las relaciones ecosistémicas que hacen posible o que limitan la producción agropecuaria.

Sin embargo, en los SPAP hay unos procesos para los cuales no es conveniente hacer una división entre lo social y lo ecológico, porque preparar la tierra, sembrar, cultivar, controlar las plagas, alimentar los animales, cuidar los animales, sanarlos, cosechar, ordeñar, etc., son acciones que forman parte del proceso de producción y no acciones que uno pueda calificar como sociales o ecológicas. Cultivar, por ejemplo, es una acción humana, siempre ligada a un ecosistema y a un ser vivo, de manera que para entenderla no es necesario separar lo social y lo ecológico.

La sostenibilidad de sistemas de producción agropecuarios

Uno de los objetivos planteados en el estudio de los SPAP es el de analizar y evaluar la sostenibilidad de los sistemas de producción. Para ello se han construido indicadores ambientales, económicos y energéticos que expresan la eficiencia social y ecológica de los sistemas productivos. Por tanto, la sostenibilidad se estudia desde diversas dimensiones y adoptando una perspectiva sistémica, en la medida en que el análisis se hace uniendo diferentes disciplinas para captar la dinámica integral de estos sistemas (Forero et al., 2002).

Se debe considerar que hay múltiples manejos de los sistemas productivos, que resultan de la adopción de los productores de ciertas prácticas agrícolas, las cuales ocasionan diversos impactos en los ecosistemas. Algunos autores plantean que debe estudiarse la relación entre los diferentes manejos de uso del suelo y la prestación de servicios ecosistémicos, ya que ciertas prácticas pueden contribuir a la resiliencia de los sistemas y al mantenimiento de múltiples servicios ecosistémicos en una proporción adecuada (Andrade-Pérez, Romero y Delgado, 2013; Gordon, Peterson y Bennett, 2007; Foley et al., 2005; DeFries, Foley y Asner, 2004). De modo que se considera que hay usos del suelo que logran minimizar el deterioro de los sistemas, manteniendo la prestación de diversos servicios ecosistémicos, mientras que en el otro extremo existen prácticas de uso del suelo que tienden a maximizar únicamente el servicio de provisión de alimentos y causan el deterioro completo de los demás servicios ecosistémicos (Foley et al., 2005).

Una línea de trabajo interesante para analizar la sostenibilidad de los sistemas de producción es la comparación de los sistemas convencionales y alternativos. Estos últimos están dirigidos a minimizar impactos ecosistémicos, que son muy grandes entre los primeros. Los sistemas alternativos adoptan prácticas sostenibles ambientalmente y optimizan los recursos disponibles en el ecosistema al tiempo que reducen la dependencia de insumos externos del mercado. Corresponden, en parte, a sistemas campesinos tradicionales, a la vez que surgen como una alternativa al modelo de producción convencional basado en el empleo de agroquímicos, maquinaria y semillas mejoradas o modificadas (genéticamente) y centrado en la optimización de ingresos a corto plazo (Céspedes, 2012).

Por lo general, se comparan estos dos sistemas considerando algunos atributos como diversidad cultivada y cosechada, manejo de los recursos de agua y suelo, manejo de residuos, inclusión de áreas de conservación, tipo

de semillas, productividad, tipo de mano de obra, nivel de autoconsumo, entre otras. Con este proceder los alternativos siempre resultan ser los más sostenibles porque frecuentemente son los más diversos, los que hacen un mejor manejo de los recursos como agua y suelo y los que, en general, cumplen con la mayoría de normas que se fijan en esa calificación. Pero este método sesga el resultado de antemano, por lo que es más pertinente medir el nivel de sostenibilidad mediante indicadores.

Un método para comparar la sostenibilidad de sistemas de producción alternativos y convencionales es el cálculo de la eficiencia energética, un indicador de sostenibilidad ambiental que asume que los sistemas que usan la energía de manera más eficiente son los más sostenibles, es decir, aquellos que requieren menor inversión energética para producir alimentos (o materias primas).

Uso de energía en los sistemas productivos

La agricultura es resultado de la manipulación que los humanos hacen de los flujos de energía de los ecosistemas. Los humanos utilizan la energía solar y adicionan otros subsidios energéticos con el objetivo de aumentar la producción de biomasa cosechada (Gliessman, 2002).

El proceso de modernización de la agricultura se basa en invertir grandes cantidades de energía, proveniente de fuentes energéticas no renovables como el petróleo, para obtener un mayor rendimiento de las cosechas (Matson et al., 1997; Gliessman, 2002). Sin embargo, se ha encontrado que en estos sistemas la cantidad de energía obtenida en las cosechas es menor a la invertida, de modo que son ineficientes en el uso de energía, es decir que usan más energía de la que obtienen y, por lo tanto, son insostenibles a largo plazo (Gliessman, 2002)

En términos energéticos, la insostenibilidad de la agricultura se debe a que la adición de energía para mejorar el rendimiento de los cultivos no se ve representada en un aumento de la energía cosechada (Gliessman, 2002). Considerando que los sistemas de producción actuales tienden a ser altamente ineficientes en términos energéticos, y que esto lleva a una insostenibilidad ambiental, es necesario medir los costos energéticos de la producción de bienes agropecuarios para diseñar sistemas que sean sostenibles en el uso de la energía y, por ende, más sostenibles ambientalmente.

Ahora bien, una de las cosas más aceptadas en la teoría económica es que el trabajo humano agrega valor. Esto incluye, en términos generales, la capacidad del ser humano para organizar procesos de producción, desde los más sencillos, como cazar. En eso consiste la esencia del sistema de producción, en la relación entre el funcionamiento del ecosistema sobre el cual actúa el ser humano y el trabajo humano llevado a cabo a partir de su conocimiento. Cuando pasamos al terreno de los sistemas socioecológicos y pasamos de la abstracción económica en que se ve una relación entre recursos, trabajo y producto, la cuestión del ecosistema y de la energía solar entra en el balance. De tal manera que, como se dijo atrás, un sistema de producción puede tener un balance positivo de energía en la medida en que capta energía (energía solar) que no contabilizamos en nuestra manera de modelarlo ni en las entradas o salidas. Eso hace que las salidas, que son tejidos vegetales que han acumulado esa energía solar, sean más grandes que las entradas.

Tipos de entradas energéticas

Existen dos tipos de entradas energéticas a un sistema de producción: la energía ecológica y la energía cultural. La primera hace referencia a la energía solar, que es la base para producir biomasa. La segunda es la energía aportada por el humano para optimizar la producción de biomasa y es la que caracteriza el funcionamiento de los sistemas de producción. También existen dos tipos de energía cultural: la biológica y la industrial (Gliessman, 2002). Esta división es muy importante para clasificar los tipos de sistemas de producción y para el análisis de los balances energéticos.

La energía cultural biológica es la derivada de los organismos y es renovable, por ejemplo: trabajo humano, trabajo animal, compost y abonos orgánicos. Este tipo de energía es clave para la agricultura sostenible porque la energía derivada de fuentes humanas es renovable, lo que permite mayor capacidad de transformar energía en alimento y mayor sostenibilidad en el tiempo (Gliessman, 2002), mientras que los sistemas que dependen altamente de insumos externos se caracterizan por una baja eficiencia energética (Funes-Monzote, 2009).

Por otra parte, está la energía cultural industrial, que proviene de otras fuentes no humanas como la derivada del petróleo, o de fuentes geotérmicas

e hidrológicas. Los agroecosistemas clasificados como convencionales dependen de la energía de tipo industrial, que es no renovable, por lo que los sistemas que hacen mayor uso de esta energía tienden a ser menos sostenibles que aquellos que usan energía biológica (Gliessman, 2002).

Balances energéticos

Se puede evaluar la eficiencia del uso de energía en los agroecosistemas comparando la energía que contiene la biomasa cosechada con la cantidad de energía cultural requerida para la producción de esa biomasa (Gliessman, 2002). Respecto a la sostenibilidad, resulta interesante indagar por los aportes de energía de tipo cultural para convertir la energía solar en biomasa, lo cual da una idea de la modificación hecha por el humano para poner en funcionamiento el agroecosistema o sistema productivo analizado. En este sentido, un ecosistema con mayor grado de intervención humana requiere más aportes energéticos culturales, pues cuando se altera en gran medida la estructura y función de los ecosistemas, los subsidios energéticos en los que incurre el hombre son muy altos, ya que al modificar el funcionamiento del ecosistema este pierde su capacidad de autosostenimiento y es cada vez más dependiente de los subsidios aportados por el agente externo (Gliessman, 2002; Funes-Monzote, 2009). Por ejemplo, propiciar el desarrollo de una especie en un lugar que no posee las condiciones naturales óptimas para su mantenimiento requiere invertir gran cantidad de energía para modificar el ecosistema natural y proporcionar las condiciones apropiadas para que la especie se mantenga viable. Igualmente, la modificación de las dinámicas poblacionales de las especies, como el aumento del número de individuos de cierta población o cualquier cambio en la estructura poblacional, requiere altos aportes de energía por el humano. En general, en los agroecosistemas donde el objetivo es maximizar la energía aportada por el sol y crear sistemas altamente productivos se requiere un alto aporte energético cultural (Funes-Monzote, 2009), mientras que al conservar ciertas condiciones naturales de los ecosistemas se propicia la autorregulación de este y se disminuye el requerimiento energético para su funcionamiento, es decir que en este tipo de sistemas no se invierten tantas entradas de tipo cultural.

La resiliencia de sistemas de producción endosomáticos

Vamos a sostener que el balance energético de un sistema de producción endosomático, extractivo o agrario es un indicador suficiente de la viabilidad del sistema. En otros términos, el sistema es viable en la medida en que genere un excedente, es decir, en la medida en que la energía cosechada sea mayor a la energía cultural consumida y, por lo tanto, le genere un excedente no solo al productor sino también a la sociedad en la cual está inscrito el productor o los productores en cuestión.

Para ilustrar la idea anterior tomemos, en primer lugar, el siguiente ejemplo. En una comunidad antigua, la energía que gasta un grupo de cazadores durante el tiempo que está en la sabana ejerciendo la actividad de la caza es igual a la energía que el grupo obtiene al consumir dos venados. De manera que si el grupo caza apenas dos venados, el excedente será cero, pues los cazadores están apenas reponiendo sus fuerzas. Si el excedente se mantiene permanentemente en cero, este sistema de producción no es viable, dado que no está generando alimentación para el resto de la comunidad y para el resto de los días en que los cazadores van a estar inactivos. Por el contrario, si el grupo caza quince venados y puede volver con trece a su comunidad (de unas 100 o 200 personas), va a haber carne suficiente para todos por varios días, de tal manera que el sistema es viable porque en últimas contribuye a la subsistencia del grupo humano que depende de esa producción.

Otro ejemplo: un régimen antiguo de producción agrícola mercantil simple. En este caso el balance podría estar dado entre la energía que representan los productos agropecuarios (salidas) y la energía cultural que entra en forma de trabajo humano y de tracción animal. Además, podemos considerar dentro de las *entradas* parte del producto generado en el ciclo agrícola anterior (que entra como semillas) y también algunas herramientas que fabrican los mismos productores. De modo que este sistema es viable si la energía cosechada en función de los productos agropecuarios es suficiente para reponer el gasto energético (trabajo del agricultor, las semillas gastadas y los animales que se utilizan) y generar un excedente que el agricultor pueda acumular para el resto del periodo agrícola en el que no hay cosechas, y que puede utilizar, además, para hacer intercambios con otros miembros de la comunidad con el fin de procurarse los bienes necesarios que él mismo no produce. Así que volvemos otra vez a lo mismo: el sistema es viable en la medida en que genere un excedente energético.

Ahora bien, en estos dos ejemplos el sistema es resiliente si mantiene a lo largo del tiempo la producción de excedentes energéticos a pesar de las perturbaciones (climáticas o derivadas de las guerras con otros grupos sociales) y favorece así la supervivencia tanto del productor individual como de la sociedad en general.

Recapitulando: la resiliencia del sistema de producción endosomático está determinada por su capacidad de producir un excedente energético a lo largo del tiempo. No obstante, podemos ver también varios ejemplos de la situación contraria: el sistema de producción endosomático que no es resiliente. Parece estar documentado que ciertas culturas amazónicas que tenían una alta dependencia de la agricultura de *várzea* (que aprovechaba la generosa oferta de nutrientes del suelo que bajaba de la cordillera de los Andes) sufrieron una perturbación tal en épocas de grandes lluvias que no pudieron seguir alimentando a estas poblaciones, de manera que se extinguieron o entraron en un declive muy importante. Por otra parte, podemos pensar también en un sistema de chagra —caza-pesca-cosecha de frutos del bosque— que por problemas también climáticos deja de producir los excedentes suficientes para alimentar a la población, o en el caso en el que un grupo de agricultores termina por agotar los recursos y el sistema pierde la capacidad de producir la comida y otros bienes básicos. Todos estos ejemplos de sistema no resiliente nos muestran que la resiliencia o la no resiliencia del sistema están determinadas por su capacidad o por su incapacidad de producir en el largo plazo un excedente suficiente para la alimentación del grupo doméstico en cuestión.

Nótese que en los ejemplos primero y segundo el sistema de producción declina a causa de las perturbaciones climáticas sin que el ecosistema mismo (la naturaleza) haya sufrido ninguna alteración importante como resultado de la acción productiva. Interesa señalar aquí que la resiliencia de estos sistemas no depende entonces de la conservación de los recursos naturales, sino de la capacidad de esa sociedad para gestionar su producción en medio de una naturaleza que, por un lado, tiene una enorme oferta de bienes y servicios, pero que, por otro, ejerce severas limitaciones derivadas de los ciclos climáticos. En el tercer ejemplo, el de los agricultores ganaderos que agotaron el suelo y otros recursos, la situación es diferente. Aquí el sistema dejó de ser resiliente precisamente por el agotamiento de los recursos, por la precarización del ecosistema en función de la oferta de servicios ecosistémicos para la producción agropecuaria.

Todo esto nos lleva a plantear un interrogante: ¿la resiliencia del sistema de producción depende de la resiliencia del ecosistema?, o ¿depende más bien de la capacidad del sistema de producción de gestionar el ecosistema, de manera que pueda garantizar los servicios ambientales necesarios y, además, reponerse de las perturbaciones causadas por el ecosistema mismo o por otros factores?

Otro interrogante que surge al respecto es el de cómo analizar este mismo asunto de la viabilidad y la resiliencia en sistemas de producción *exosomáticos*. ¿Qué sucede cuando tenemos sistemas de producción que tienen lo que algunos autores llaman un alto subsidio energético suministrado por la explotación y el procesamiento de hidrocarburos y de otros minerales, así como de la fabricación de equipos y maquinarias?

Otro asunto que es fundamental plantear es el de los arreglos institucionales para analizar hasta qué punto son parte consubstancial del sistema y no solamente un elemento externo direccionador. En una sociedad compleja, las interdependencias hacen que ningún sistema social pueda ser completamente autónomo, de tal manera que su resiliencia no la podemos analizar aislándolo del contexto institucional en el cual se organiza y se desarrolla. En sistemas de producción endosomáticos, tal como quedó visto, el balance energético tiene que ser positivo, pero en sistemas de producción con un componente energético industrial significativo, como son los empresariales y familiares predominantes hoy en Colombia y en el mundo, tenemos que el balance energético es, por lo general, altamente negativo, y que balances negativos energéticos son compatibles con balances económicos positivos.

Los balances energéticos de los sistemas de producción agropecuarios

Los flujos de entrada y salida de un sistema de producción se pueden calcular y convertir a unidades energéticas equivalentes (Pimentel, 1992). Esto con el fin de determinar la cantidad de energía que sale y entra del sistema e indagar por la eficiencia del uso de la energía, la cual se ha estimado por medio de índices como el de eficiencia energética cultural (EEC), que expresa la relación entre las entradas culturales que son invertidas en el sistema y las salidas que se obtienen (Gliessman, 2002).

Para hallar estos índices, primero se calculan las entradas (insumos y jornales) y las salidas (cosecha) del sistema. Las entradas representadas en insumos de tipo cultural o industrial se pueden obtener calculando los litros o kilogramos de plaguicidas, herbicidas, fertilizantes, abonos, etc., que son aplicados en cada cultivo, los kilogramos de semillas o el número de plántulas para la siembra, las horas de tractor y los litros de gasolina utilizados para preparar el terreno con el tractor. Las entradas representadas en jornales se miden por horas de trabajo dedicadas en cada labor cultural. Por otra parte, las salidas se obtienen a partir de los kilogramos de masa cosechada disponible para consumo (Parrado, 2001; Motta, 2002; Muñoz, 2006; Gliessman, 2002).

Posteriormente, se realizan conversiones de cada uno de los valores de las entradas y salidas a unidades energéticas, expresadas en kilocalorías, por medio de equivalencias reportadas en diversas fuentes secundarias. Se utiliza la unidad de kilocalorías ya que es la más adecuada para relacionar nutrición humana con entradas y salidas energéticas de los sistemas productivos agrícolas (Gliessman, 2002).

Finalmente, con estos datos es posible obtener el balance energético o índice de eficiencia energética cultural, que relaciona el total de kilocalorías invertido y el total de kilocalorías obtenido para cada sistema de producción. La fórmula para calcular la eficiencia energética cultural es:

$$EEC = \frac{Energía\ cosechada\ (salidas)(kcal)}{Entradas\ de\ energía\ cultural\ (kcal)}$$

Por otro lado, se puede calcular el índice de eficiencia energética cultural industrial (EECI), el cual considera únicamente las entradas culturales de tipo industrial y excluye las entradas biológicas. De este modo, el indicador expresa la relación entre la cantidad de energía industrial que se invierte y la energía obtenida como biomasa. Este índice es útil para conocer el nivel de sostenibilidad ambiental de un sistema, considerando que es más sostenible en la medida en que requiera menos entradas de origen industrial. Esto suponiendo que un sistema con altas entradas industriales es altamente dependiente de recursos externos no renovables.

$$EEC = \frac{Energía\ cosechada\ (salidas)(kcal)}{Entradas\ de\ energía\ cultural\ industrial\ (kcal)}$$

Balances energéticos de sistemas de producción alternativos y convencionales

En la tabla 1 y las figuras 1 y 2 se presenta una síntesis de los resultados de balances energéticos, en los cuales se mide la eficiencia energética de diversos sistemas de producción alternativos y convencionales. En la tabla 1 se muestran los estudios que soportan estos datos.

Tabla 1. Eficiencia energética cultural y eficiencia energética cultural industrial en sistemas de producción alternativos y convencionales

Tipo de sistema	Cultivo	EEC	EECI	Fuente
Alternativo	Rábano × Lechuga-P. crespo	0,97	SD	Parrado (2001)
	Lechuga-Brócoli × Rábano	0,72	SD	
	Brócoli × Rábano	0,79	SD	
	Rábano	0,24	SD	
	Espinaca-P. crespo-Lechuga	0,43	SD	
Convencional	Espinaca	0,16	SD	
	Cilantro	0,03	SD	
	Brócoli	0,37	SD	
	Lechuga	0,24	SD	
	Perejil crespo	0,20	SD	
Alternativo	Policultivo cacao	0,67	11,40	Motta (2002)
		0,20	53,01	
		0,13	12,00	
		0,12	2,24	
Convencional	Policultivo cacao	0,55	1,89	
		0,44	0,60	
		0,42	0,47	
		0,15	1,80	
Alternativo	Cacao híbrido	1,39	N/A	Muñoz (2006)
		1,16	N/A	
		4,16	N/A	
Convencional	Cacao clonado	0,60	1,07	
		1,86	1,99	
		1,03	2,05	

EEC = eficiencia energética cultural; EECI = eficiencia energética cultural industrial; SD = sin dato.

Fuente: elaboración propia, con base en Parrado (2001), Motta (2002) y Muñoz (2006).

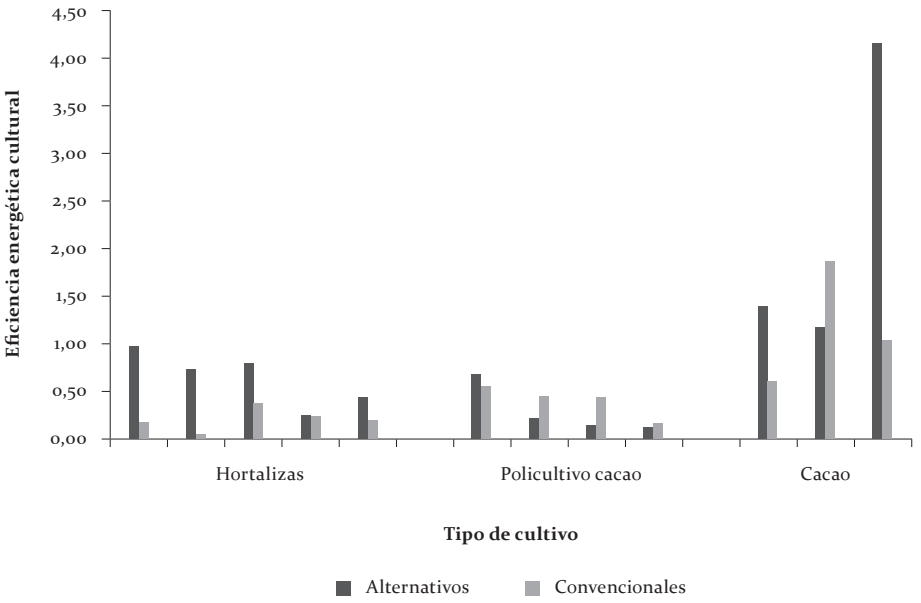
Tabla 2. Balances energéticos de sistemas de producción alternativos y convencionales

Fuente	Zona	Cultivo	Objetivo
Parrado (2001)	Cota, Cundinamarca	Hortalizas (seis alternativos y seis convencionales)	Comparar la eficiencia energética de dos sistemas productivos convencional y alternativo, mediante un balance energético.
Motta (2002)	San Vicente de Chucurí, Santander	Policultivo cacao (cuatro alternativos y cuatro convencionales)	Caracterizar los sistemas productivos de diez fincas con distintos manejos agroecológicos y comparar su eficiencia energética.
Muñoz (2006)	Hobo y Rivera, Huila	Cacao híbrido/clonado (tres alternativos y tres convencionales)	Caracterizar en función de los flujos de energía sistemas productivos cacaoteros híbrido y clonado.

Nota: estas tres tesis del pregrado en Ecología fueron dirigidas por Elcy Corrales y asesoradas por Jaime Forero.

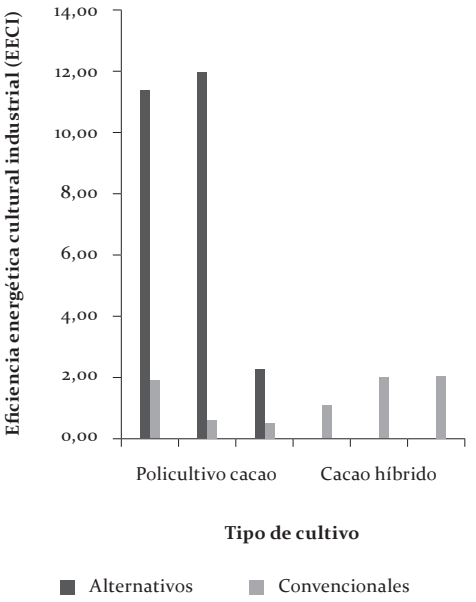
Fuente: elaboración propia, con base en Parrado (2001), Motta (2002) y Muñoz (2006).

Figura 1. Eficiencia energética cultural de sistemas de producción alternativos y convencionales



Fuente: elaboración propia, con base en Parrado (2001), Motta (2002) y Muñoz (2006).

Figura 2. Eficiencia energética cultural industrial de sistemas de producción alternativos y convencionales



Fuente: elaboración propia, con base en Motta (2002) y Muñoz (2006).

La mayor parte de los sistemas de producción que son analizados en estos tres estudios referenciados en la tabla 1 tienen un índice de eficiencia energética cultural menor a 1, lo cual indica que las entradas energéticas son mayores a la energía obtenida en la cosecha. Sin embargo, al comparar los índices de los sistemas de producción alternativos y convencionales se encuentra que los sistemas alternativos son en promedio 1,8 más eficientes energéticamente que los convencionales y presentan más casos con índice de eficiencia mayor a 1. Esto se demuestra claramente en los casos de las hortalizas y del cacao híbrido y clonado.

En los cultivos de hortalizas, por otro lado, se presentan diferencias estadísticamente representativas que indican que los sistemas alternativos poseen mayor eficiencia energética que los convencionales. La mayor eficiencia de los alternativos se explica por el manejo agroecológico de los

sistemas que tiende a minimizar el uso de energía industrial. En cuanto a las entradas, en los sistemas convencionales los subsidios energéticos de tipo industrial son muy altos (80% de las entradas corresponden a fertilizantes sintéticos) y el aumento en uso de insumos industriales no lleva a un aumento de la energía cosechada, lo cual se refleja en que la EEC de estos sistemas es menor a 0,33. Mientras que en los sistemas alternativos el 47% de las entradas corresponde a abono orgánico y la eficiencia tiende a ser mayor. Respecto al tipo de manejo de los sistemas, en el alternativo hay prácticas como mayor diversidad cultivada y silvestre, asociaciones de cultivos, cercas vivas y otras prácticas que tienden a aumentar los ciclajes internos del sistema y disminuir sus entradas (Parrado, 2001).

Por otra parte, se comparó el cultivo de perejil en ambos tipos de sistemas productivos. En los sistemas convencionales la producción por metro cuadrado es mayor, pero la EEC es mayor en los alternativos (Parrado, 2001). La recolección de datos se realizó mientras se presentaba un proceso de implementación de prácticas alternativas. Se tomaron datos seis meses después de algunos cultivos y se encontró que en el sistema alternativo la eficiencia energética aumentó de 0,96 a 2,05 en ese periodo (Parrado, 2001).

En las tesis de Parrado (2001) y Muñoz (2006) se encontraron resultados similares: los sistemas alternativos son más eficientes en términos energéticos que los convencionales, principalmente por un manejo del sistema en el que se disminuyen entradas de tipo industrial y se usan otro tipo de entradas biológicas que reducen el costo energético de los cultivos.

En el caso de los cultivos híbridos y clonados de cacao, es importante resaltar que la eficiencia energética es mayor a 1 en cinco de los seis casos, lo que demuestra que la energía obtenida es mayor a la invertida. Eso resalta la posibilidad de que ambos sistemas, independientemente de las prácticas alternativas y convencionales, pueden ser eficientes. Sin embargo, el alternativo (híbrido) posee mayor eficiencia debido al manejo cultural del sistema y a que todas las entradas son biológicas y no requiere insumos de tipo industrial. De este modo, invierte poca energía y obtiene gran cantidad de cosecha. Mientras que en el sistema convencional se presenta una productividad más alta, pero una rentabilidad y una eficiencia energética menores (Muñoz, 2006).

En el caso de los policultivos de cacao, los sistemas analizados tienden a ser más agroecológicos, en la medida que la mayor proporción de las entradas son biológicas y tienen bajas entradas de tipo industrial. Además, el

manejo de los sistemas estudiados es más agroecológico y no se encuentran diferencias tan marcadas entre sistemas alternativos y convencionales. Sin embargo, se construyó un gradiente agroecológico en el que, dependiendo del tipo de entradas culturales, unos sistemas tendían a ser más agroecológicos que otros, por lo que fue posible diferenciar entre sistemas que tienden a ser convencionales y otros que son alternativos (Motta, 2002).

En el estudio de Motta (2002) se encontró un resultado distinto: no hay una diferencia clara entre la eficiencia energética de las fincas con prácticas más agroecológicas y las que tienden a ser convencionales. Incluso las agroecológicas-alternativas tienden a ser menos eficientes. Esto se debe, principalmente, a que los rendimientos de estos cultivos son muy bajos, lo que puede estar asociado con problemas fitosanitarios.

Así, los resultados de este estudio conducen a plantear que la eficiencia no está dada por un manejo agroecológico, lo que brinda un panorama diferente al patrón que se seguía con los resultados encontrados en las tesis anteriores. Considerando estas diferencias en los resultados, surge la discusión en torno a la siguiente pregunta: ¿los sistemas que tienen entradas de tipo biológico son los más sostenibles ambientalmente? Al respecto, Motta (2002) propone que a pesar de que la eficiencia energética haya resultado baja en manejos agroecológicos, la mayor entrada de insumos orgánicos implica un mejor manejo en términos ambientales y es importante para la sostenibilidad del sistema, por lo que debe analizarse más allá del resultado del índice.

Por otra parte, Gliessman (2002) plantea que la producción de alimentos puede ser más eficiente energéticamente si se disminuyen las entradas de tipo industrial y se incrementa la inversión de energía cultural biológica (p. 277). Sin embargo, vale la pena mencionar que estamos discutiendo sobre sistemas que son bastante complejos y por tanto el comportamiento de estos no sigue una ruta definida con claridad ni es posible pretender que los procesos de estos sistemas encajen en una respuesta previamente esperada, es decir que sus comportamientos son múltiples y no generalizables. Además, captar el funcionamiento de estos sistemas se torna muy difícil debido a sus propiedades mismas como sistemas complejos. Entre las limitantes más importantes se encuentra que son sistemas multiescalares y, por lo tanto, el funcionamiento captado está completamente ligado al momento y espacio en el que fue analizado el sistema.

Eficiencia energética industrial

En las tesis de Motta (2002) y Muñoz (2006) se encuentra que cuando se mide la influencia de las entradas culturales industriales, los sistemas convencionales resultan ser los más ineficientes, ya que requieren más entradas de tipo industrial. Además, resultó que en este tipo de sistemas se invierte mucha más energía en forma de entradas de origen industrial de la que reciben almacenada en forma de biomasa en las cosechas.

En el caso del policultivo de cacao, los sistemas clasificados como alternativos tienen una alta EECI, lo que demuestra una baja dependencia a insumos externos de origen industrial. Considerando que la disminución de entradas de tipo industrial hace más eficiente y sostenible un sistema productivo, el indicador de EECI es de sostenibilidad (Gliessman 2002).

Balances económicos de sistemas de producción alternativos y convencionales

Se recopilaron estudios en los que se compararon sistemas de producción alternativos y convencionales en cuanto a su viabilidad económica. En estos trabajos se realizaron balances económicos de los sistemas con indicadores como excedente familiar de producción, remuneración día del trabajo doméstico (RDTD) y rentabilidad. En la tabla 4 y en las figuras 3 y 4 presentamos una síntesis de los resultados de balances económicos de diversos sistemas producción hechos en varias investigaciones llevadas a cabo entre 2000 y 2012. En la tabla 3 se referencian estos trabajos.

Tabla 3. Balances económicos de sistemas de producción alternativos y convencionales

Fuente	Zona	Cultivo	Tipos de sistemas de producción
Forero et al. (2004).	Riosucio-Supia, Caldas	Café y bovinos	Prácticas de sistemas convencionales/ alternativos
	Curití, Santander	Bovinos	
	Cajamarca (Cuenca Anaime), Tolima		
Leal (2006)*	Ocaña-Norte de Santander	Hortalizas diversificados	Tres tipos de manejo agroecológico (dos alternativos y uno convencional)
Céspedes (2012)*	Microcuenca Las Cruces-San Vicente de Chucurí	Policultivo cacao-café	Bajo impacto (convencional)-Alto impacto (convencional)-Rain Forest (alternativo)
Rodríguez (2002)*	Cajamarca (Cuenca Anaime), Tolima	Varios-diversificados	Baja, mediana y alta intensidad agroquímica
Muñoz (2006)**	Hobo y Rivera-Huila	Cacao híbrido/clonado	Prácticas de sistemas convencionales/ alternativos

*Tesis de maestría de desarrollo rural dirigidas por Jaime Forero. **Tesis de pregrado en ecología dirigida por Elcy Corrales

Fuente: elaboración propia con base en Forero et al. (2004), Leal (2006), Céspedes (2012), Rodríguez (2002) y Muñoz (2006).

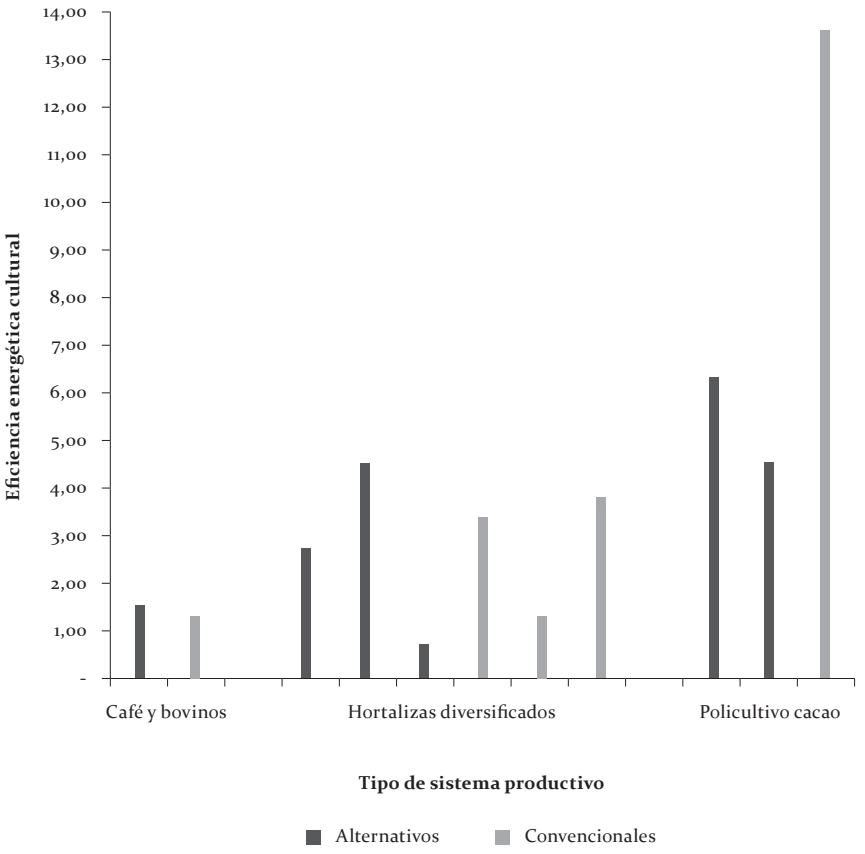
Tabla 4. Indicadores económicos de sistemas de producción con diversos tipos de manejo alternativos y convencionales

Fuente	Año del estudio	Zona	Sistema productivo	Cultivo	RDTD/ SMD corriente	EFP = V + A – CM	RDTD (EFP/JD)	Rentabilidad técnica %	Rentabilidad neta %
Forero et al. (2004)	1991-2002 $2003	Riosucio-Supia, Caldas	Alternativo	Café y bovinos	1,53	6.293.580,6	16.929,0	65	65
			Convencional		1,31	6.961.580,8	14.507,0	66	66
		Curití, Santander	Alternativo		11,35	8.227.926	125.613,0	40	40
			Convencional		293,81	16.248.152,5	3.251.516,9	29	29
		Cajamarca, Tolima	Alternativo	Ganadería bovina	269,48	20.671.149,8	2.982.234,4	113	113
			Convencional		88,97	15.453.187,1	984.599,1	131	126
Leal (2006)	2007 $2006	Ocaña, Norte de Santander	Agroecológico > 5 ha	Hortalizas diversificados	2,74	3.063.188	30.329	200	SD
			Agroecológico > 5 ha		4,52	3.652.143	50.029	300	SD
			Agroecológico < 5 ha		0,72	1.006.700	7.990	–20	SD
			Agroecológico < 5 ha		3,41	3.733.425	37.711	190	SD
			Convencional	Cebolla-frijol	1,32	465.840	14.558	17	SD
			Convencional	Cilantro	3,83	297.000	42.430	84	SD
Céspedes (2012)	2011-2012 $2011	Microcuenca Las Cruces, San Vicente de Chucurí	Alto impacto-Convencional	Policultivo cacao-café	13,76	1.211.748	245.658	SD	SD
			Bajo impacto-Convencional		6,44	1.507.468	114.978	SD	SD
			Certificación-Alternativo		4,59	851.451	82.014	SD	SD
Rodríguez (2002)	$2002	Cajamarca, Tolima	Baja intensidad	Diversificados	SD	826.989	SD	28	SD
			Alta intensidad		SD	348.799	SD	–4	SD

RDTD = remuneración día del trabajo doméstico; SMD = salario mínimo diario; EFP = excedente familiar de producción; V = ventas; A = autoconsumo; CM = costos monetarios; JD = jornales domésticos.

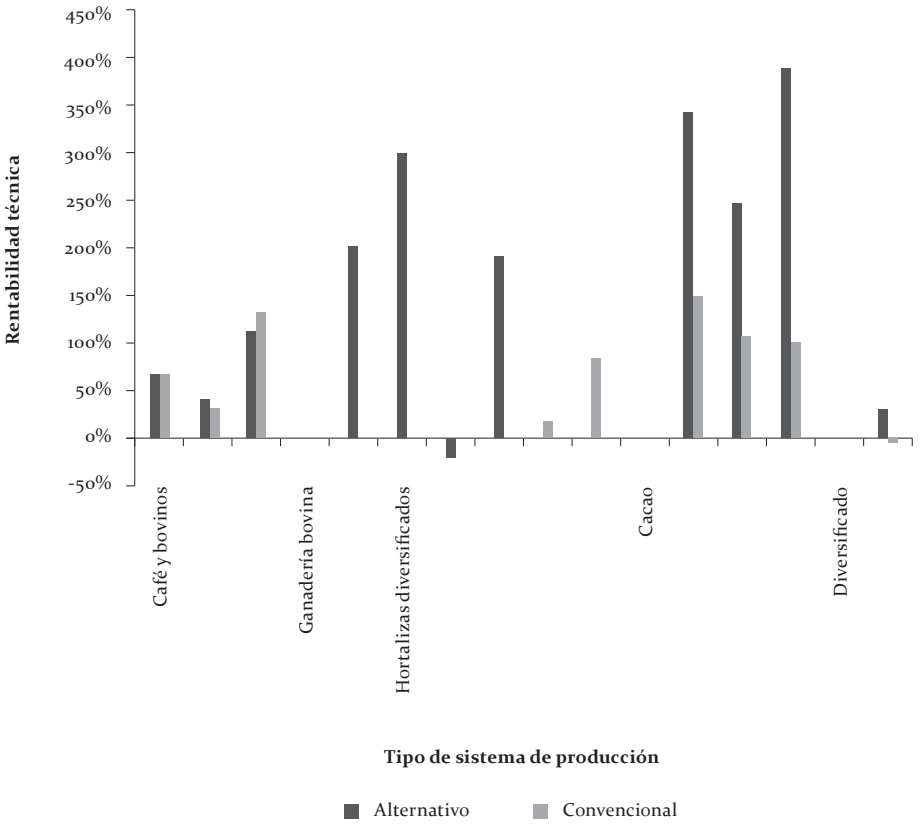
Fuente: elaboración propia, con base en Forero et al. (2004), Leal (2006), Céspedes (2012) y Rodríguez (2002).

Figura 3. Relación entre remuneración día del trabajo doméstico y salario mínimo diario como medida de eficiencia económica en sistemas de producción convencionales y alternativos



Fuente: elaboración propia, con base en Forero et al. (2004), Leal (2006) y Céspedes (2012).

Figura 4. Rentabilidad técnica de sistemas de producción convencionales y alternativos



Fuente: elaboración propia, con base en Forero et al. (2004), Leal (2006), Céspedes (2012) y Rodríguez (2002).

Uno de los indicadores más importantes para medir la eficiencia económica de los sistemas de producción es la RDTD. Este índice es la relación entre el excedente técnico del sistema productivo y los jornales domésticos. Expresa la capacidad de generación de ingresos del sistema productivo, es decir, lo que técnicamente remuneraría el sistema por día a los jornales domésticos invertidos. Este indicador, al compararlo con el jornal del mercado (su costo de oportunidad), muestra si la actividad agropecuaria es más o menos remunerativa para la familia frente a otras alternativas (Forero et al., 2002).

$$RDTD = \frac{Excedente\ familiar\ de\ producción}{Jornales\ domésticos}$$

Para conocer el nivel de eficiencia del sistema, se compara la remuneración que la familia obtiene por cada día trabajado (RDTD) con el costo de oportunidad de la mano de obra, que en este caso es el salario mínimo que obtendría en el mercado laboral. De este modo, se considera que un sistema es eficiente económicamente si logra remunerar su trabajo por encima de su costo de oportunidad, es decir que el indicador de remuneración se encuentre por lo menos encima de un salario mínimo. En este sentido, se halla la relación entre la RDTD y el salario mínimo legal vigente diario (SMLV).

$$Eficiencia\ económica\ del\ SP = \frac{RDTD}{SMLV}$$

En cuanto a los resultados de la RDTD de los estudios de Forero et al. (2004), Leal (2006) y Céspedes (2012), no se encuentra una diferencia clara de la eficiencia económica entre sistemas alternativos y convencionales. Todos los sistemas estudiados, sin importar el modelo de producción, tienden a ser eficientes económicamente porque remuneran su mano de obra por lo menos por encima de un salario mínimo.

Sin embargo, en el estudio de policultivos de café se encuentra que la remuneración es mayor en los sistemas convencionales, a pesar de que este sea un sistema de alto impacto ecosistémico (Céspedes, 2012). Por otro lado, se comparó la rentabilidad, que es otro indicador que sintetiza la eficiencia económica de los sistemas de producción, porque relaciona los insumos (costos) con los productos (ingresos), de modo que indica la relación costo-beneficio de los sistemas productivos.

$$Rentabilidad\ económica = \frac{Ingresos}{Costos}$$

Los resultados de este indicador, para los estudios de Leal (2006), Céspedes (2012) y Rodríguez (2002), mostraron diferencias más claras en cuanto a la eficiencia económica de sistemas alternativos y convencionales. En todos los casos estudiados, los sistemas alternativos presentan una mayor rentabilidad económica que los convencionales.

En el caso de las hortalizas, los sistemas con manejo agroecológico tienen una mayor rentabilidad debido a que presentan mayor diversidad de productos para venta y autoconsumo, los cuales generan ingresos permanentemente. Esto hace que los ingresos del sistema sean altos y por tanto aumente la rentabilidad. Por otro lado, en los sistemas convencionales se produce un solo producto para la venta cada trimestre o semestre, lo que lleva a la reducción de ingresos y, por tanto, a la disminución de rentabilidad. Cabe resaltar que esta condición genera que en los sistemas convencionales aumente la dependencia al mercado y, de este modo, al riesgo económico (Leal, 2006).

En los cultivos de cacao híbrido y clonado, los sistemas convencionales resultan ser menos rentables debido a que los costos por la compra de insumos de tipo industrial son muy altos, mientras que en los alternativos los costos son menores y por tanto la rentabilidad es mayor (Muñoz, 2006).

En cuanto al cultivo diversificado, los sistemas con baja intensidad agroquímica presentan mayores excedentes de producción, mientras que los de alto impacto, es decir, los convencionales, producen menores excedentes, y por tanto la rentabilidad resulta ser menor. En este estudio se demuestra que no es necesario un manejo con una alta intensidad agroquímica para obtener mayores excedentes económicos (Rodríguez, 2002).

Indicador económico-energético de sistemas de producción

Los indicadores energéticos son una aproximación a la medición de la sostenibilidad de diversos tipos de sistemas productivos. Sin embargo, el reconocimiento y estudio de los sistemas de producción como sistemas socioecológicos impone múltiples retos conceptuales y metodológicos. Por ello es pertinente advertir que la aproximación económico-energética

es insuficiente (como por lo regular es insuficiente cualquier método científico para aprehender cabalmente la realidad). En efecto, las causas que direccionan su funcionamiento son diversas y actúan en conjunto, de modo que captar la dinámica de estos sistemas desde una sola perspectiva resulta ser incompleto y genera sesgos que dificultan su comprensión. En este sentido, el estudio del comportamiento de los sistemas de producción requiere metodologías complementarias que reconozcan la complejidad de estos sistemas al ser socioecológicos.

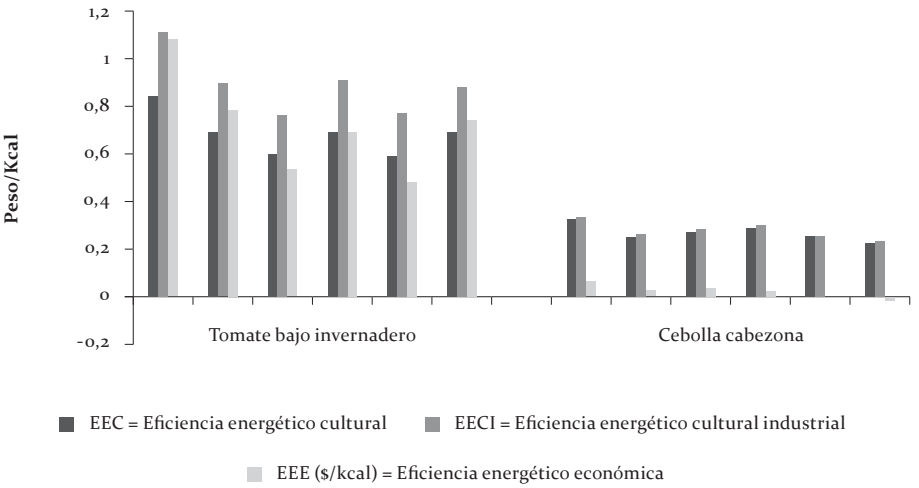
En el intento de captar la naturaleza socioecológica de los sistemas de producción se creó un indicador que mide la eficiencia económica (social) y la energética (ecológica). El objetivo es medir la sostenibilidad de un sistema socioecológico, por lo que la aproximación se hace más robusta en la medida que se integre la dimensión social y ecológica. Este índice es el de eficiencia económico-energética (EEE); relaciona el excedente económico que resultó del proceso productivo con la energía que se invirtió para obtener los alimentos. Así, es posible conocer el excedente que se obtiene por cada kilocaloría invertida en el proceso.

$$EEE = \frac{Excedente\ de\ producción\ (\$)}{Entradas\ de\ energía\ cultural\ (kcal)}$$

Este indicador se desarrolló en la investigación llevada a cabo por Daniel Gaitán (2006), en la que el objetivo principal era comparar la sostenibilidad económica y ambiental de dos sistemas con diferentes grados de intensidad agroquímica: tomate bajo invernadero y cebolla cabezona blanca en el municipio de Villa de Leyva. En la figura 5 se ilustran los principales resultados de este estudio.

En este trabajo, ambos sistemas son convencionales y por tanto presentan altos niveles de entradas energéticas de tipo industrial, lo que hace que los indicadores de eficiencia energética sean muy bajos (en este caso todos son menores a uno). Así, al comparar con los trabajos anteriormente mencionados, los sistemas de tomate y cebolla son bastante ineficientes. Sin embargo, comparando estos dos cultivos se encuentra que en el cultivo de tomate bajo invernadero la eficiencia energética es mayor porque la tecnología utilizada permite mayor intensidad en el uso del suelo y de los recursos disponibles para el cultivo, así como un mejor uso de la energía cultural. En este sistema, la energía cosechada por metro cuadrado es mayor y el uso del agua es más

Figura 5. Eficiencia energética y económica en sistemas de producción de tomate bajo invernadero y de cebolla cabezona



Fuente: Gaitán (2006).

productivo, lo que hace que el manejo de la energía sea más eficiente y al parecer más sostenible en términos ecosistémicos. Es destacable que la eficiencia en el uso de recursos lleva a una mayor rentabilidad y excedente de producción: el tomate bajo invernadero presenta un uso eficiente de energía y produce ingresos económicos más altos que el cultivo de cebolla.

Además, cabe resaltar que en este sistema se utilizan más entradas de tipo biológico en comparación con el sistema cebollero, y a pesar de que la principal entrada cultural en el cultivo de tomate son los fertilizantes de síntesis, se realizan análisis de suelo para incorporar nutrientes en proporciones adecuadas, lo que disminuye el impacto en el ambiente y hace más eficiente el manejo. Además, en el cultivo de cebolla hay una mayor dependencia a insumos de origen industrial.

En cuanto al indicador social y ecológico, que es el de eficiencia energético-económica, se encontró que el uso intensivo y eficiente de la energía en el cultivo de tomate bajo invernadero lleva a una mayor generación de excedentes económicos; como se puede observar en la figura 5, la eficiencia

energética cultural y la eficiencia energético-económica es mayor que en el cultivo de cebolla.

Lo anterior permite plantear la hipótesis según la cual, en condiciones socioambientales similares, un sistema que sea sostenible ambientalmente produce un excedente más alto y por ende también se considera sostenible en términos económicos. Pero de todas formas esta afirmación es muy discutible.

¿Los indicadores económicos sintetizan el sistema productivo?

En las investigaciones acabadas de presentar se estudia el sistema de producción como una entidad en la que interactúan elementos sociales (con énfasis en los económicos) y ecosistémicos (con énfasis en la energía) por medio de flujos de materia, valores, energía e información con la finalidad de alcanzar un excedente económico que contribuya a la reproducción de los agentes.

La idea de que el sistema de producción agropecuario SPAP tiene como finalidad conseguir un excedente económico lleva a plantear que el agente regulador actúa con una racionalidad optimizadora (chyanoviana o neoclásica), y desarrolla unas estrategias de adaptación a los cambios en el medio social y del ecosistema.

Las decisiones tomadas por el agente definen una serie de prácticas de manejo del sistema que modifican la estructura y función del ecosistema, de modo que la composición del agroecosistema varía en función de la racionalidad adoptada por el agente regulador. Considerando que la organización de los componentes sociales y ecológicos del sistema productivo se realiza en función de la generación de un excedente económico, se puede estudiar la dinámica socioecológica de los sistemas a partir de indicadores económicos que expresen la capacidad del sistema para cumplir con su finalidad. De este modo, el indicador económico es una aproximación para sintetizar la complejidad de las dinámicas que se generan en el sistema productivo.

Aun así, pretender sintetizar las relaciones sociales y ecológicas del sistema en un indicador económico es una aproximación incompleta. De igual modo, se podría pensar que los indicadores ecológicos sintetizan el sistema productivo porque la generación de excedentes se logra gracias a los servicios ecosistémicos, es decir, a los bienes ecológicos que sustentan la producción de alimentos. Sin embargo, esta visión continúa siendo incompleta porque no considera la viabilidad social de los sistemas de producción. En este

sentido, el indicador económico-energético se aproxima más al propósito de sintetizar las dinámicas socioecológicas de los sistemas productivos, ya que logra incorporar la dimensión ecológica en la medición energética y la dinámica social en los cálculos económicos.

Por esta razón, los indicadores económicos se deben contextualizar en un ámbito más amplio como el del sistema agrario, considerando relaciones ecosistémicas entre el sistema productivo y el paisaje, así como las interacciones sociales entre los actores que gestionan los sistemas productivos y las relaciones que establecen con otros actores sociales que forman parte de la cadena productiva y que conforman el paisaje agrícola.

Bibliografía

Andrade-Pérez, G. I., Romero, M. y Delgado, J. (2013). Diseño adaptativo de un paisaje agroindustrial. Una propuesta para la transformación agrícola de la altillanura colombiana. *Ambiente y Desarrollo, 17*(33), 29-40.

Berkes, F., Colding, J. y Folke, C. (Eds.). (2003). *Navigating social-ecological systems: building resilience for complexity and change*. Cambridge University Press.

Berkes, F. y Folke, C. (Eds.). (1998). *Linking social and ecological systems: management practices and social mechanisms for building resilience*. Cambridge University Press.

Bertalanffy, L. (1968). *Théorie general de systéms*. París: Dunod-Bordas.

Bürgi, M., Hersperger, A. M. y Schneeberger, N. (2004). Driving forces of landscape change-current and new directions. *Landscape Ecology, 19*(8), 857–868.

Céspedes, C. (2012). *Análisis económico y ambiental de los sistemas de producción en la microcuenca Las Cruces en el municipio de San Vicente de Chucurí* (tesis de maestría). Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá.

Corrales, E. (2012). *Caractérisation des espaces et pratiques de conservation dans les systèmes de production familiale en Colombie. Quelles contributions pour la conservation des paysages?* (tesis doctoral). Université Toulouse Le Mirail Laboratoire Géode.

Darnhofer, I. (2010). Strategies of family farms to strengthen their resilience. *Environmental Policy and Governance, 20*(4), 212-222.

DeFries, R., Foley, J. y Asner, G. (2004). Land-use choices: balancing human needs and ecosystem function. *Frontiers in Ecology and the Environment, 2*(5), 249-257.

Durand, D. (1992). *La systémique*. Colección Presses Univesitaires de France Que sais-je?

Etter, A. (1991). *Introducción a la ecología del paisaje: un marco de integración para los levantamientos rurales*. Bogotá: Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

Foley, J., DeFries, R., Asner, G., Barford, C., Bonan, G. Carpenter, S., et al. (2005). Global consequences of land use. *Science, 309*(5734), 570-574.

Folke, C. (2007). Social-ecological systems and adaptive governance of the commons. *Ecology and Economics, 22*, 14-15. doi 10.1007/s11284-006-0074-0

Forero, J., Corrales, E., Larrarte, C., Correa, J., Ríos, R., Motta, M., et al. (2004). *Viabilidad económica y cultural de sistemas ganaderos extensivos y alternativos en laderas andinas* (informe inédito). Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana-Colciencias.

Forero, J., Torres, L., Lozano, O., Durana, C., Galarza, J., Corrales, E. y Rudas, G. (2002). *Sistemas de producción rurales en la región andina colombiana. Análisis de su viabilidad económica, ambiental y cultural*. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana-Colciencias.

Funes-Monzote, F. (2009). *Eficiencia energética en sistemas agropecuarios. Elementos teóricos y prácticos para el cálculo y análisis integrado*. La Habana: Asociación Cubana de Técnicos Agrícolas y Forestales.

Gaitán, D. (2006). *Sostenibilidad económica y ambiental de dos sistemas productivos con diferentes grados de intensidad agroquímica: el caso del tomate bajo invernadero y la cebolla cabezona blanca, en el municipio de villa de Leyva, Colombia* (tesis de grado). Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá.

Gliesman, R. (2002). *Agroecology: the ecology of sustainable food systems*. Boca Ratón, FL: Lewis Publishers CRC Press.

Geist, H. J. y Lambin, E. (2002). Proximate causes and underlying driving forces of tropical deforestation. *BioScience, 52*(2), 143-150.

González de la Molina, M. y Toledo, V. (2011). *Metabolismos, naturaleza e historia. Hacia una teoría de las transformaciones socioecológicas*. Barcelona: Icaria.

Gordon, L. J., Peterson, G. D. y Bennett, E. M. (2008). Agricultural modifications of hydrological flows create ecological surprises. *Trends in Ecology & Evolution, 23*(4), 211-219.

Hart, R. (1979). *Agroecosistemas, conceptos básicos*. CIAT.

Hazell, P. y Wood, S. (2008). Drivers of change in global agriculture. *Biological Sciences, 363*(1491), 495-515.

Lambin, E., Turner, B. L., Geist, H., Agbola, S., Angelsen, A., Bruce, J., et al. (2001). The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths. *Global Environmental Change, 11*(4), 261-269.

Leal, N. (2006). *Contribución al estudio de los sistemas de producción campesinos del municipio de Ocaña: el caso de la cooperativa multiactiva agroecológica Agrovida Limitada* (tesis de maestría). Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá.

Matson, P. A., Parton, W. J., Power, A. G. y Swift, M. J. (1997). Agricultural intensification and ecosystem properties. *Science 277*(5325), 504-509.

Motta, M. (2002). *Comparación de la eficiencia energética en fincas con diferentes manejos agroecológicos, en el municipio de San Vicente de Chucurí, Santander* (tesis de grado). Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá.

Muñoz, L. F. (2006). *Eficiencia energética de dos tipos de agroecosistemas cacaoteros (híbrido y clonado) en los municipios del Hobo y Rivera, departamento del Huila* (tesis de grado). Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá.

North, D. (1990). *Instituciones, cambio institucional y desempeño económico*. México: Fondo de Cultura Económica.

Ostrom, E. (2009). A general framework for analyzing sustainability of social-ecological systems. *Science, 325*(5939), 419-422.

Parrado, C. (2001). *Comparación de la eficiencia energética en dos tipos de sistemas agrícolas en la zona hortícola del municipio de Cota, Cundinamarca* (tesis de grado). Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá.

Pimentel, D., Stachow, U., Takacs, D., Brubaker, H., Dumas, A., Meaney, J., et al. (1992). Conserving biological diversity in agricultural/forestry systems. Agricultural/forestry systems. *Bioscience, 42*(5), 354-362.

Plieninger, T. y Bieling, C. (Eds.) (2012). *Resilience and the cultural landscape: understanding and managing change in human-shaped environments*. Cambridge University Press.

Plieninger, T., Kizos, T., Bieling, C., Le Dû-Blayo, L., Budniok, M.-A., Bürgi, M., et al. (2015). Exploring ecosystem-change and society through a landscape lens: recent progress in European landscape research. *Ecology and Society*, *20*(2), 5.

Rodríguez, H. (2002). *Análisis comparativo de los sistemas de producción agrícola en la Cuenca del Río Anaime Cajamarca (Tolima)* (tesis de maestría). Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá.

Salas, W. (2012). *Diseño de un modelo de análisis de sostenibilidad de políticas públicas en salud* (tesis de doctorado). Universidad Politécnica de Cataluña, Instituto Universitario de Investigación en Ciencia y Tecnología de la Sostenibilidad, Barcelona, España.

Efectos del cambio climático en la distribución de insectos vectores de enfermedades tropicales y alternativas de manejo

*Lucía C. Lozano**

*Yenny Y. Lozano**

*Adriana L. Vitolo**

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), las enfermedades transmitidas por vectores representan más del 17% de todas las enfermedades infecciosas, lo cual provoca más de un millón muertes cada año. Se estima que en todo el mundo al menos cuatro de cada cinco personas corren el riesgo de contraer virus o parásitos transmitidos por vectores (OMS, 2017a), y las zonas tropicales y subtropicales son las más afectadas (Ghosh, Chowdhury y Chandra, 2012).

Los principales insectos vectores son mosquitos hematófagos que ingieren sangre de un individuo infectado que posteriormente inoculan a un nuevo individuo, lo que contribuye al ciclo de vida del patógeno. Entre los principales mosquitos vectores están los de los géneros *Aedes*, *Anopheles* y *Culex*, además de los flebótomos. La transmisión de las enfermedades (tabla 1) está asociada a factores climáticos y antropogénicos que han llevado a los últimos decenios a presentar diversos brotes epidemiológicos. La reciente emergencia de zika y brotes de chikunguña y dengue en 2016 ha hecho que la OMS lance un esfuerzo global para aumentar la capacidad de control de los vectores en todos los países, especialmente en aquellos donde las condiciones climáticas son propicias para el crecimiento y desarrollo de estos insectos (OMS, 2017b).

* Profesoras investigadoras del Departamento de Ciencias Básicas. Universidad de La Salle, Colombia. Correos electrónicos: lclozano@unisalle.edu.co; jylozano@unisalle.edu.co; avitolo@unisalle.edu.co

Tabla 1. Enfermedades que son transmitidas por los mosquitos de los géneros *Anopheles*, *Aedes* y *Culex*

Insecto vector	Agente etiológico	Enfermedad
Anopheles spp.	*Plasmodium* spp. *Brugia* spp., *Wucheria* spp. Arbovirus	Malaria Filariasis Arbovirosis
Aedes spp.	Virus de la fiebre amarilla Virus del dengue Virus del chikunguña Virus del Zika	Fiebre amarilla Dengue Chikunguña Zika
Culex spp.	Virus de la encefalitis Virus del Nilo occidental *Brugia* spp., *Wucheria* spp.	Encefalitis Fiebre del Nilo occidental Filariasis
Lutzomyia spp.	*Leishmania* spp.	Leishmaniasis

Fuente: datos tomados de Escobar et al. (2016), Porter, Davidson y Liu (1993) y Priest (1992).

Se conocen cerca de 3200 especies de mosquitos (Diptera: Culicidae) que se clasifican en tres subfamilias. Dos de estas subfamilias son de gran importancia en salud pública al ser vectores principales de diversas enfermedades. Entre los Anophelinae, las especies del género *Anopheles* son de hábitos nocturnos intra- y peridomiciliarios; constituyen vectores de filariasis, arbovirus y *Plasmodium falciparum*, causante de la malaria. Este género presenta amplia distribución en África, Asia, América y el Pacífico oriental. Se conocen 250 especies de *Anopheles* y cerca de 100 de ellas son capaces de transmitir malaria. Estos mosquitos se caracterizan por su color marrón claro, sin ninguna marca prominente. Las alas presentan áreas oscuras y su abdomen no presenta bandas (Burgess y Cowan, 1993).

La subfamilia Culicinae incluye cerca de 2000 especies de distribución cosmopolita. Entre estas las de los géneros *Aedes, Culex* y *Mansonia* son vectores del virus del dengue, fiebre amarilla, zika, chikunguña, encefalitis y filariasis. Los mosquitos culicinos presentan un patrón típico de coloración de bandas negras y blancas en tórax y abdomen (Burgess y Cowan, 1993). *Culex pipiens*, vector del virus del Nilo occidental (WNV), se ha comprobado como atacante tanto de humanos como de aves, lo cual sugiere que puede actuar como vector cruzado de esta enfermedad (Ciota, 2017; Fonseca et al., 2004).

Los flebótomos o moscas de arena (familia Psychodidae) con cerca de 600 especies son otro tipo de dípteros distribuidos a lo largo de los trópicos, subtrópicos y regiones templadas del mundo en un amplio rango altitudinal. Incluyen los géneros *Sergentomyia*, *Phlebotomus* y *Lutzomyia*. Varias especies están confirmadas como vectores de leishmaniasis y bartollenosis. Los flebótomos son insectos pequeños (2 a 4 mm) con largas patas, alas angostas y cuerpo cubierto por numerosas cerdas (Burgess y Cowan, 1993).

Tanto machos como hembras de estos dípteros se alimentan de fluidos vegetales y néctar. Sin embargo, las hembras deben alimentarse de sangre caliente para obtener los nutrientes necesarios para el desarrollo y maduración de los huevos en sus ovarios, y así poder depositar un lote de huevos viable, por lo que son solo las hembras las que poseen piezas bucales adaptadas para perforar tejidos animales (Burgess y Cowan, 1993; Priest, 1992) y son las responsables de la transmisión de los virus o los parásitos.

Generalidades de la biología de los vectores

Especies de *Aedes*, *Anopheles* y *Culex*

Durante su desarrollo, estos mosquitos llevan a cabo una metamorfosis completa pasando por las etapas de huevo, larva y pupa antes de convertirse en adultos. Los estados inmaduros están siempre asociados a cuerpos de agua. Del huevo eclosiona una larva que se alimenta de microorganismos en el medio. Esta pasa por una serie de cuatro etapas o instares en su desarrollo hacia la pupa. El estadio pupal es móvil y no se alimenta hasta culminar su desarrollo cuando emerge el adulto. Los machos suelen emerger primero; cuando emergen las hembras ocurre el apareamiento. La hembra del mosquito almacena el esperma de un único evento copulatorio para usarlo posteriormente en la fertilización de sus huevos; para que se produzca la ovulación, se requiere la ingesta de sangre (Burgess y Cowan, 1993).

Las hembras de *Aedes* depositan sus huevos sobre superficies secas que eventualmente se cubren con agua; a menudo los huevos se depositan en sumideros, contenedores o agujeros en los árboles. Cuando el agua cubre los huevos, estos eclosionan en un periodo de 1 a 6 horas. Los huevos de *Aedes* son capaces de resistir condiciones de desecación durante meses; los de *Culex*

son depositados en la superficie del agua en formaciones tipo balsa con más de 100 unidades (Burgess y Cowan, 1993).

La larva es el estadio de alimentación y crecimiento del mosquito. Cuando el último instar ha completado su desarrollo, muda su exoesqueleto para dar paso a la pupa. Esta es muy similar en forma en todos estos géneros de mosquitos (Burgess y Cowan, 1993).

Flebótomos

Los flebótomos se pueden encontrar en un amplio rango de hábitats en donde las condiciones de alta humedad y temperatura son ideales para la reproducción. Las hembras suelen alimentarse en horas de la noche. Los huevos son diminutos y se depositan en grietas en forma de lotes de 10 hasta 100 unidades. El primer estadio larval se reconoce por la presencia de un par de cerdas caudales alargadas. La larva incrementa su tamaño alimentándose de microorganismos en su medio, así como de sus propias mudas. Los siguientes estadios larvales son progresivamente más grandes y presentan dos pares de cerdas caudales, las cuales conservan incluso en la etapa pupal (Burgess y Cowan, 1993).

Cabrera, Neira, Bello y Ferro (1999) estudiaron el ciclo de vida de *Lutzomyia ovallesi*, y determinaron que a una temperatura de 22 a 28 °C los ciclos de vida tienen una duración promedio de 62 días con una baja tasa de mortalidad, fenómeno similar al que ocurre con *L. evansi*, otra especie con ciclo de vida relativamente corto (31 a 51 días).

Efecto del cambio climático en la distribución de los vectores y la incidencia de las enfermedades

Se ha demostrado que los cambios climáticos afectan la biología y ecología de los mosquitos transmisores de enfermedades. La temperatura, la lluvia y la humedad son factores ambientales fundamentales para el ciclo de vida de estos insectos, puesto que influyen en la duración de los estados larvales, la actividad de los adultos, la posibilidad para una hembra de encontrar un humano o una animal al cual picar y la mortalidad de los adultos (Ogden, 2017). Las condiciones climáticas también pueden afectar la transmisión de

las enfermedades, porque pueden influir en que el microorganismo pueda persistir en el mosquito y en la presencia de humanos en un determinado lugar (Ogden, 2017).

Se considera que el cambio climático reflejado en aumento de la temperatura del planeta y los cambios en los periodos de lluvias podrían influir en la incidencia de las enfermedades transmitidas por vectores en zonas tropicales. Pero esto también ha permitido ampliar el hábitat de los mosquitos; por lo tanto, los países de zonas templadas podrían tener el riesgo de emergencia de algunas de estas enfermedades transmitidas por vectores que no se encuentren actualmente (Ogden, 2017).

Estudios realizados sobre la relación temperatura y crecimiento de *Aedes aegypti* (vector transmisor de zika, dengue y chikunguña) han mostrado que sus larvas no sobreviven a temperaturas inferiores de 10 °C y superiores de 44 °C, con temperaturas óptimas de crecimiento entre 20 y 27 °C (Rueda, Patel, Axtell y Stinner, 1990; Vargas, 1998). Así mismo, temperaturas por encima de 30 °C aumentan la velocidad de eclosión y disminuyen el tamaño y peso del cuerpo del mosquito, lo que demuestra un desarrollo más rápido a temperaturas mayores (McHugh y Olson, 1982; Rueda et al., 1990). En consecuencia, se produce un mayor número de crías durante el periodo de transmisión (Githeko, Lindsay, Confalonieri y Patz, 2001). Otros estudios realizados sobre el efecto de la temperatura ambiental en la capacidad de los mosquitos para transmitir virus han demostrado que al aumentar la temperatura las tasas de transmisión vírica aumentan (Dohm, O'Guinn y Turell, 2002; Turell, 1989), debido a que las hembras de mosquito adultas digieren la sangre más rápidamente y se alimentan con mayor frecuencia (Githeko et al., 2001).

Este tipo de cambios ambientales han ocasionado un incremento en las tasas de transmisión y aparición de enfermedades en zonas donde antes no eran endémicas. Un ejemplo de la variabilidad climática que desencadenó una expansión en el rango de distribución geográfico del mosquito y, por lo tanto, un aumento en la transmisión de enfermedades por vectores, fue el ocurrido con el fenómeno de El Niño en 1997 y 1998, cuando la temperatura y las precipitaciones presentaron una variabilidad climática que provocó epidemias de malaria y dengue en zonas geográficas específicas (Kovats, 2000). De igual forma, en 2015 este fenómeno ocasionó cambios climáticos significativos en Suramérica, lo que contribuyó a la dispersión del vector con aumento en la tasa de transmisión de patógenos.

Existen especies de mosquitos con amplia distribución altitudinal en las que la temperatura actúa como el factor más influyente en la distribución y parámetros poblacionales. Un ejemplo es *Culex quinquefasciatus,* importante en salud pública, al ser vector de varios virus y parásitos. García, Escobar, Londoño y Moncada (2010) estudiaron poblaciones de esta especie en distintas altitudes, con lo cual corroboraron que mientras hay mayor temperatura, se disminuye la duración del ciclo de vida, así como ocurre en *Aedes aegypti*. Sin embargo, la densidad larval y nutrición son otros dos factores que afectan el crecimiento y desarrollo. Estos autores determinaron que el rango de temperatura en la que se desarrolla *C. quinquefasciatus* está entre 15 y 35 °C. Este factor ambiental no tiene un impacto significativo sobre la supervivencia de las formas inmaduras en este mosquito, lo cual sugiere que frente al cambio climático global este insecto se podría adaptar mejor a zonas más altas con temperaturas menores.

De las enfermedades registradas en la tabla 1, las que presentan la mayor preocupación en zonas tropicales y subtropicales son malaria, dengue, fiebre amarilla y zika (Ogden, 2017). Por lo tanto, se va a detallar sobre los estudios relacionados con la transmisión de estas enfermedades y su relación con la variabilidad climática.

Zika

El virus del Zika (ZIKV) es transmitido por la picadura de mosquitos del género *Aedes* principalmente por las especies *A. aegypti* y *A. albopictus* (Marchette, García y Rudnick, 1969; Musso y Gubler, 2016). La enfermedad presenta, en la mayoría de los casos, síntomas leves similares a un resfriado común con dolor de cabeza, fiebre, dolores articulares y musculares. Recientemente se ha asociado la presencia del virus con el síndrome de Guillain-Barré en adultos y microcefalia en bebés nacidos de madres infectadas por ZIKV (OMS, 2015, 2016a; Martines et al., 2016). Debido a los recientes brotes de esta enfermedad con una propagación rápida hacia Estados Unidos (Assessment, 2015; Hills et al., 2016) y Europa (Tappe et al., 2014; Zammarchi et al., 2015), la OMS declaró emergencia de salud pública en 2016, lo cual convirtió a este virus en una de las principales amenazas en el contexto mundial.

La transmisión del virus ha demostrado una asociación directa con fenómenos relacionados con el cambio climático. Estudios realizados con

modelos de riesgo global evidenciaron la relación que tuvo el fenómeno de El Niño de 2015-2016 con el aumento de la transmisión de la enfermedad en Suramérica. La simulación demostró que el aumento de la temperatura en la región fue una condición propicia para ocasionar un incremento en el número de picaduras y disminución en la tasa de mortalidad del vector (Caminade et al., 2017). De igual forma, estudios con áreas de mapeo donde se registran las regiones con entornos climáticos adecuados para la transmisión del virus indican que Suramérica, especialmente Brasil, Colombia y Venezuela, es un área de riesgo. Así mismo, en gran parte de la región del suroeste de Texas a Florida, en Estados Unidos, India y parte de África subsahariana (Messina et al., 2016), estos resultados se correlacionan con reportes recientes sobre brotes epidémicos en estas zonas (OMS, 2016-2017).

Dengue

El dengue es una enfermedad infecciosa aguda producida por los virus del dengue (DENV), constituido por cuatro serotipos DEN-1, DEN-2, DEN-3 y DEN-4, los cuales son transmitidos por mosquitos del género *Aedes*, especialmente por las especie *A. aegypti*, y en menor grado por *A. albopictus*. Los síntomas de esta enfermedad incluyen fiebre, dolor de cabeza y dolores articulares y musculares. No obstante, un porcentaje de la población puede desarrollar la forma severa de la enfermedad denominada dengue grave con fiebre hemorrágica y el síndrome de *shock*, el cual presenta una mayor tasa de mortalidad (Henchal y Putnak, 1990).

Según la OMS, la mitad de la población mundial se encuentra en riesgo de contraer la enfermedad, ya que es endémica en más de 100 países, donde las Américas, Asia sudoriental y el Pacífico son las regiones más afectadas. En los últimos años se ha registrado un aumento en los casos de dengue, el cual pasó de 2,2 millones de personas infectadas en 2010 a 3,2 millones en 2015 (OMS, 2017c). Esta situación se ha asociado a la gran capacidad de adaptación que posee el insecto transmisor a la variación climática (Sivan, Shriram, Muruganandam y Thamizhmani, 2017).

El impacto del aumento en la temperatura y lluvia en la dinámica de distribución de la enfermedad se ha evidenciado en estudios hechos en Puerto Rico, Tailandia, Perú (Johansson, Dominici y Glass, 2009) y Colombia (Salazar-Ceballos y Álvarez-Miño, 2014), donde estas variables

meteorológicas se han relacionado con el aumento en la densidad poblacional del insecto transmisor (Johansson, Dominici y Glass, 2009). Sin embargo, en muchos lugares endémicos se desconoce la dinámica de transmisión del vector y su relación con el cambio climático, lo que ha llevado al desarrollo de diversas herramientas estadísticas y computacionales que generen alertas tempranas frente a posibles brotes de la enfermedad.

Estudios basados en modelos de cambio climático y su relación con el dengue han mostrado escenarios futuros que predicen dinámicas de transmisión. Un ejemplo de ello son los sistemas de evaluación del riesgo climático en Europa, donde se han identificado zonas susceptibles a presentar transmisión de dengue. Según estos estudios, las áreas costeras del Mediterráneo español y los mares del Adriático y el valle del Po en el norte de Italia son las regiones más susceptibles a presentar brotes de la enfermedad (Bouzid et al., 2014). De igual forma, estudios hechos en Estados Unidos muestran que futuros cambios climáticos podrán aumentar la transmisión de la enfermedad en el suroeste del país, lo cual podría originar un problema de salud pública (Butterworth, Morin y Comrie, 2017).

Malaria

Malaria o paludismo es una enfermedad febril causada por parásitos del género *Plasmodium* que se transmiten por la picadura de un mosquito infectado del género *Anopheles*. Las principales especies de *Plasmodium* responsables de la enfermedad corresponden a *P. falciparum* y *P. vivax*; la mayoría de los casos se reportan en África subsahariana, Asia sudoriental, Latinoamérica y Oriente Medio (OMS, 2017d). Los síntomas de esta enfermedad son fiebre, dolor de cabeza y escalofrío, que aparecen entre los diez y quince días después de la picadura; los niños menores de cinco años son la población principalmente afectada por esta enfermedad.

La malaria es una de las enfermedades dependiente de los cambios climáticos (Martens et al., 1999; Rogers y Randolph, 2000), fenómeno que puede deberse a la sensibilidad que tienen los insectos a la temperatura, lo que limita su rango de transmisión entre 17 y 34 °C (Mordecai et al., 2013). Estudios realizados en las tierras altas de África oriental con modelos de regresión mixta entre 1978 y 1998 han demostrado que la variabilidad del clima desempeñó un papel importante en el inicio de epidemias de malaria. De

igual forma, se demostró que las actividades antropogénicas como el patrón de asentamiento humano, desplazamientos, el uso de la tierra y la resistencia a los medicamentos contribuyeron de manera significativa al aumento de los casos de esta enfermedad (Zhou, Minakawa, Githeko y Yan, 2004). Debido al aumento en la temperatura del planeta, se estima que entre 2050 y 2080 aumente la incidencia de la malaria en el contexto mundial en regiones que se encuentren por encima de 1000 m s. n. m. (Caminade, et al., 2014).

Fiebre amarilla

La fiebre amarilla es una enfermedad vírica hemorrágica transmitida por la picadura de mosquitos infectados de los géneros *Aedes* y *Haemogogus*. Afecta principalmente a primates y seres humanos (Monath, 2001). Se caracteriza por producir fiebre, dolor de cabeza, náuseas, ictericia, dolor muscular y cansancio, síntomas que aparecen entre tres y seis días después de la picadura. No obstante, un pequeño porcentaje de los pacientes entra en una fase tóxica, y la mitad de estos casos fallecen por hemorragias masivas y falla multisistémica.

Según la OMS (2016b), el virus es endémico en las zonas tropicales de África, Centroamérica y Suramérica, donde afecta a miles de personas y a visitantes que no están vacunados (Monath, 2001). Para el 2018 ya se han reportado brotes en Brasil (OMS, 2018). Se considera que el ingreso de las personas a regiones selváticas influye en el ciclo de transmisión, lo que permite el traslado del virus a asentamientos humanos.

La presencia del vector en regiones donde antes no se había descrito origina un riesgo inminente de propagación de la enfermedad. Estudios realizados en Europa han encontrado cinco especies invasoras de mosquitos entre las que se incluye *A. aegypti*, vector transmisor de la fiebre amarilla. Esta especie se adapta fácilmente a ambientes urbanos en los que se alimenta de varias personas durante su ciclo de vida, lo que aumenta el potencial de transmisión de esta enfermedad (Medlock et al., 2012).

Se ha descrito que los cambios climáticos aumentan la interacción de los hospederos primates y humanos con los mosquitos infectados. Las estaciones lluviosas alteran el equilibrio biológico, lo que amplía la transmisión del virus. Un ejemplo de ello fue la epidemia de fiebre amarilla en Gambia en 1978, la cual se caracterizó por lluvias prolongadas durante un periodo de

tiempo de más de dos años. Este mismo fenómeno se describió para Mali y Nigeria, donde también se presentaron epidemias asociadas a los cambios de la estación lluviosa (Monath, 1994).

Leishmaniasis

La leishmaniasis es una enfermedad causada por un protozoo del género *Leishmania* transmitido por picadura de flebótomos infectados. Es endémica en más de 80 países, con más de 350 millones de personas en riesgo de adquirirla (OMS, 2017e). Esta enfermedad presenta tres formas clínicas: leishmaniasis visceral (LV), cutánea (LC) y mucocutánea (LMC). La LC es la manifestación que presenta el mayor número de casos en Suramérica (> 95 %). Sin embargo, LV presenta una tasa de mortalidad del 100 % cuando no es tratada (Navarro y Lozano, 2016).

Se han descrito más de 90 especies de mosquitos transmisores de la enfermedad. Estos vectores pertenecen al género *Phlebotomus* (localizados en Europa) y *Lutzomyia* (en América), cuya distribución geográfica depende de las condiciones climáticas, lo cual es debido a la susceptibilidad de los mosquitos a cambios de temperatura, lluvia y humedad (Ready, 2008). Un estudio del fenómeno de El Niño en los años comprendidos entre 1980 y 1990 en el estado de Bahía en Brasil demostró la relación positiva del fenómeno climático con un aumento de la incidencia de LV (Franke, Ziller, Staubach y Latif, 2002). De igual forma, estudios en Colombia en las poblaciones de Santander y Norte de Santander han evidenciado la relación de la variabilidad climática y la epidemiología de la leishmaniasis, donde la fluctuación climática causada por el fenómeno de El Niño entre 1985 y 2002 incrementó el número de casos reportados de la enfermedad (Salazar-Ceballos y Álvarez-Miño, 2014).

Estudios realizados con predictores climáticos y su relación con la enfermedad han reportado un alto potencial para la propagación de la leishmaniasis en Estados Unidos, en particular en la parte centro y este del país, y posiblemente en partes del centro y sur de Canadá, lo que demuestra la importancia de estas herramientas predictivas para diseñar estrategias de prevención y control de vectores (González et al., 2010).

Alternativas de control para los insectos transmisores de enfermedades tropicales

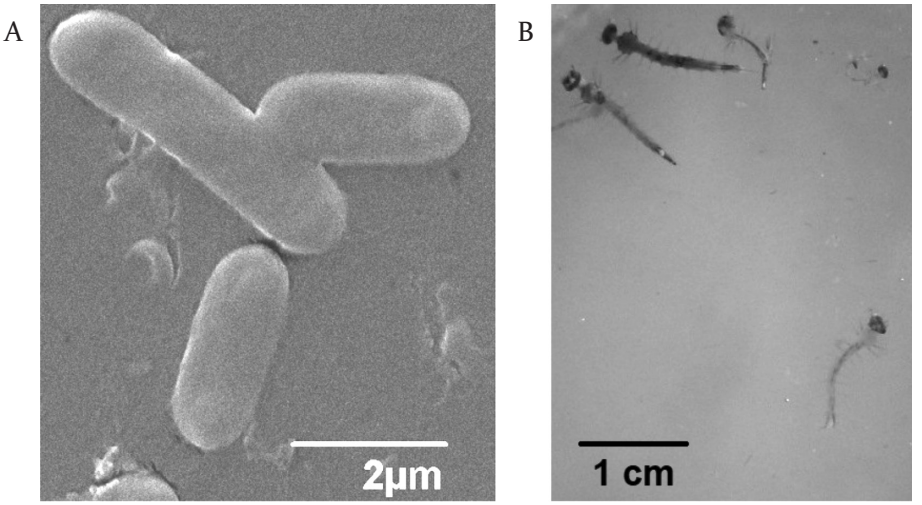
Para el control químico de los mosquitos transmisores de enfermedades tropicales se han utilizado los insecticidas organofosfatos —son altamente tóxicos para humanos—, el DDT —es contaminante y se acumula en el tejido adiposo de los animales—, los carbamatos —que son útiles contra los insectos adultos— y los piretroides —sintéticos efectivos en adultos y larvas— (Lone, Malik y Padaria, 2014; Priest, 1992). Además de los problemas en salud y ambiente generados por estos pesticidas, también se ha reportado que los mosquitos han desarrollado resistencia frente algunos de estos (Ghosh, Chowdhury y Chandra, 2012; Porter, Davidson y Liu, 1993).

Se ha demostrado que la mejor manera para evitar o reducir la incidencia de las enfermedades transmitidas por mosquitos es el manejo integrado, en el cual se tiene en cuenta la eliminación o manejo de reservorios de agua, el control biológico de larvas, el control químico de adultos, el uso de repelentes y el tratamiento médico (Baumann, Clark, Baumann y Broadwell, 1991; Ghosh, Chowdhury y Chandra, 2012; Lone, Malik y Padaria, 2014; Porter, Davidson y Liu, 1993).

El control biológico de vectores comprende la manipulación de agentes vivos en el hábitat o la introducción de estos, para reducir directa o indirectamente el número de insectos que transmiten enfermedades a humanos o animales. Una de las principales ventajas del control biológico es su alta especificidad; por lo tanto, presentan menor impacto ambiental y riesgo para las personas (Lone, Malik y Padaria, 2014; Porter, Davidson y Liu, 1993; Priest, 1992).

Hay diferentes predadores, parásitos y patógenos naturales de los mosquitos como son virus, hongos y bacterias, los cuales poseen diferentes modos de acción. Entre las bacterias, los más utilizados en control biológico de larvas de especies de *Aedes*, *Anopheles* y *Culex* son *Bacillus thuringiensis* y *Lysinibacillus sphaericus* (figura 1), debido a que su espora les permite una mayor permanencia en el ambiente y los hace más resistentes a condiciones adversas (Berry, 2012; Jurat-Fuentes, Jackson y Kaya, 2012).

Figura 1. *Lysinibacillus sphaericus*, bacteria utilizada para el control biológico de mosquitos: a) morfología microscópica de *L. sphaericus*; b) larvas muertas de *Culex quinquefasciatus*, después de 24 h de la aplicación de la bacteria



Fuente: Lucía Lozano.

En los últimos años se ha propuesto como alternativa para el control especies de *Aedes*, *Anopheles* y *Culex* el uso de extractos vegetales (Ghosh, Chowdhury y Chandra, 2012) y las mezclas entre toxinas extraídas de *B. thuringiensis* y *L. sphaericus* (Berry, 2012; Lozano y Dussan, 2017). Lo anterior con miras a evaluar alternativas que presenten diferentes mecanismos de acción y que a la vez sean más amigables con el ambiente.

En la Universidad de La Salle, el grupo de investigación Bioprospección y Conservación Biológica está investigando sobre alternativas para el control biológico de mosquitos de los géneros *Anopheles* y *Culex*, utilizando mezclas de proteínas de *L. sphaericus* (Lozano y Dussan, 2017) y de extractos vegetales con hongos, lo cual en un futuro podría servir de base para proponer alternativas para el control de estos insectos y así repercutir en una disminución en la incidencia de las enfermedades transmitidas por estos vectores. Además, en el desarrollo de otro proyecto de investigación se realizó un modelo matemático para analizar la influencia de la precipitación sobre la dinámica poblacional de *Lutzomyia longiflocosa*.

Conclusiones

Los estudios sobre la influencia de las condiciones climáticas en la distribución de los mosquitos vectores permitirán dar a conocer y predecir los efectos del cambio climático en la incidencia de las enfermedades que transmiten; pero si además se complementan con estrategias de manejo integrado de estos vectores, se podrán establecer estrategias que permitan disminuir el número de personas afectadas por enfermedades como zika, dengue, chikunguña y malaria.

Bibliografía

Assessment, R. R. (2015). *Zika virus epidemic in the Americas: potential association with microcephaly and Guillain-Barré syndrome.* Recuperado de: https://ecdc.europa.eu/sites/portal/files/media/en/publications/Publications/zika-virus-americas-association-with-microcephaly-rapid-risk-assessment.pdf

Baumann, P., Clark, M. A., Baumann, L. y Broadwell, A. H. (1991). *Bacillus sphaericus* as a mosquito pathogen: properties of the organism and its toxins. *Microbiological Reviews*, 55(3), 425-436.

Berry, C. (2012). The bacterium, *Lysinibacillus sphaericus*, as an insect pathogen. *Journal of Invertebrate Pathology, 109*(1), 1-10.

Bouzid, M., Colón-González, F. J., Lung, T., Lake, I. R. y Hunter, P. R. (2014). Climate change and the emergence of vector-borne diseases in Europe: case study of dengue fever. *BMC Public Health*, *14*(1), 781.

Burgess, N. R. H. y Cowan, G. O. (1993). *Colour atlas of medical entomology*. Dordrecht: Springer-Science-Business Media Dordrecht.

Butterworth, M. K., Morin, C. W. y Comrie, A. C. (2017). An analysis of the potential impact of climate change on dengue transmission in the southeastern United States. *Environmental Health Perspectives*, *125*(4), 579.

Cabrera, O., Neira, M., Bello, F. y Ferro, C. (1999). Ciclo de vida y colonización de *Lutzomyia ovallesi* (Diptera: Psychodidae), vector de *Leishmania spp.* en América Latina. *Biomedica, 19*(3), 223-229.

Caminade, C., Kovats, S., Rocklov, J., Tompkins, A. M., Morse, A. P., Colon-Gonzalez, F. J., et al. (2014). Impact of climate change on global malaria distribution. *Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America, 111*(9), 3286-3291.

Caminade, C., Turner, J., Metelmann, S., Hesson, J. C., Blagrove, M. S. C., Solomon, T., et al. (2017). Global risk model for vector-borne transmission of Zika virus reveals the role of El Niño 2015. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 114*(1), 119-124.

Ciota, A. T. (2017). West Nile virus and its vectors. *Current Opinion in Insect Science, 22*, 28-36.

Dohm, D. J., O'Guinn, M. L. y Turell, M. J. (2002). Effect of environmental temperature on the ability of Culex pipiens (Diptera: Culicidae) to transmit West Nile virus. *Journal of Medical Entomology, 39*(1), 221-225.

Escobar, L. E., Romero-Alvarez, D., Leon, R., Lepe-Lopez, M. A., Craft, M. E., Borbor-Cordova, M. J. y Svenning, J.-C. (2016). Declining prevalence of disease vectors under climate change. *Scientific Reports, 6*, 1-8.

Fonseca, D. M., Keyghobadi, N., Malcolm, C. A., Mehmet, C., Schaffner, F., Mogi, M., et al. (2004). Emerging vectors in the *Culex pipiens* complex. *Science, 303*(5663), 1535-1538.

Franke, C. R., Ziller, M., Staubach, C. y Latif, M. (2002). Impact of El Niño/Southern oscillation on visceral leishmaniasis, Brazil. *Emerging Infectious Diseases, 8*(9), 914.

García, C., Escobar, J., Londoño, Y. y Moncada, L. I. (2010). Altitud y tablas de vida de poblaciones de *Culex quinquefasciatus* (Diptera Cucilidae). *Revista Colombiana de Entomología, 36*(1), 62-67.

Ghosh, A., Chowdhury y Chandra, G. (2012). Plant extracts as potential mosquito larvicides. *The Indian Journal of Medical Research, 135*(5), 581-598.

Githeko, A. K., Lindsay, S. W., Confalonieri, U. E. y Patz, J. A. (2001). El cambio climático y las enfermedades transmitidas por vectores: un análisis regional. *Redesma, 3*(3), 22-38.

González, C., Wang, O., Strutz, S. E., González-Salazar, C., Sánchez-Cordero, V. y Sarkar, S. (2010). Climate change and risk of leishmaniasis in North America: predictions from ecological niche models of vector and reservoir species. *PLoS Neglected Tropical Diseases, 4*(1), e585.

Henchal, E. A. y Putnak, J. R. (1990). The dengue viruses. *Clinical Microbiology Reviews, 3*(4), 376-396.

Hills, S. L., Rusell, K., Hennessey, M., William, C., Oster, A. M., Fischer, M. y Mead, P. (2016). Transmission of Zika virus through sexual contact with travelers to areas of ongoing transmission-continental United States, 2016. *Morbidity and Mortality Weekly Report, 65*(8), 215-216.

Johansson, M. A., Dominici, F. y Glass, G. E. (2009). Local and global effects of climate on dengue transmission in Puerto Rico. *PLoS Neglected Tropical Diseases*, *3*(2), e382.

Jurat-Fuentes, J. L., Jackson, T. A. y Kaya, H. K. (2012). Bacterial entomopathogens A2. En F. Vega (Ed.) *Insect pathology* (pp. 265-349). 2a. ed. San Diego: Academic Press.

Kovats, R. S. (2000). El Niño and human health. *Bulletin of the World Health Organization*, *78*(9), 1127-1135.

Lone, S. A., Malik, A. y Padaria, J. C. (2014). Applications of *Bacillus thuringiensis* for prevention of environmental deterioration. *Environmental deterioration and human health: natural and anthropogenic determinants* (pp. 73-95). Dordrecht: Springer Netherlands.

Lozano, L. C. y Dussan, J. (2017). Synergistic activity between S-Layer protein and Spore-Crystal preparations from *Lysinibacillus sphaericus* against *Culex quinquefasciatus* larvae. *Current Microbiology, 74*(3), 371-376.

Marchette, N. J., García, R. y Rudnick, A. (1969). Isolation of Zika virus from *Aedes aegypti* mosquitoes in Malaysia. *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, *18*(3), 411-415.

Martens, P., Kovats, R. S., Nijhof, S., De Vries, P., Livermore, M. T. J., Bradley, D. J., et al. (1999). Climate change and future populations at risk of malaria. *Global Environmental Change*, *9*, S89-S107.

Martines, R. B., Bhatnagar, J., Keating, M., Silva-Flannery, L., Muehlenbachs, A., Gary, J., et al. (2016). Notes from the field: evidence of Zika virus infection in brain and placental tissues from two congenitally infected newborns and two fetal losses-Brazil, 2015. *Morbidity and Mortality Weekly Report, 65*(6), 159-160.

McHugh, C. P. y Olson, J. K. (1982). The effect of temperature on the development, growth and survival of Psorophora columbiae. *Mosquito News*, *42*(4), 608-613.

Medlock, J. M., Hansford, K. M., Schaffner, F., Versteirt, V., Hendrickx, G., Zeller, H. y Bortel, W. Van. (2012). A review of the invasive mosquitoes in Europe: ecology, public health risks, and control options. *Vector-Borne and Zoonotic Diseases*, *12*(6), 435-447.

Messina, J. P., Kraemer, M. U. G., Brady, O. J., Pigott, D. M., Shearer, F. M., Weiss, D. J., et al. (2016). Mapping global environmental suitability for Zika virus. *Elife*, *5*, e15272.

Monath, T. P. (1994). Yellow fever and dengue—the interactions of virus, vector and host in the re-emergence of epidemic disease. *Seminars in Virology, 5*, 133-145.

Monath, T. P. (2001). Yellow fever: an update. *The Lancet Infectious Diseases*, *1*(1), 11-20.

Mordecai, E. A., Paaijmans, K. P., Johnson, L. R., Balzer, C., Ben-Horin, T., Moor, E., et al. (2013). Optimal temperature for malaria transmission is dramatically lower than previously predicted. *Ecology Letters*, *16*(1), 22-30.

Musso, D. y Gubler, D. J. (2016). Zika virus. *Clinical Microbiology Reviews*, *29*(3), 487-524.

Navarro, M. C. y Lozano, Y. (2016). ¿Están los CLC de Leishmania asociados con la adaptación del parásito a cambios de pH y/o de osmolaridad? *Acta Biológica Colombiana*, *21*(1 supl.), 265.

Ogden, N. H. (2017). Climate change and vector-borne diseases of public health significance. *FEMS Microbiology Letters, 364*(19).

Organización Mundial de la Salud. (2015). *Zika virus infection-Brazil and Colombia*. Recuperado de: http://www.who.int/csr/don/21-october-2015-zika/en/

Organización Mundial de la Salud. (2016a). *Microcephaly*. Recuperado de: http://www.who.int/maternal_child_adolescent/topics/newborn/microcephaly/en/

Organización Mundial de la Salud. (2016b). *Yellow fever*. Recuperado de: http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs100/en/

Organización Mundial de la Salud. (2016-2017). *Zika virus infection*. Recuperado de: http://www.who.int/csr/don/archive/disease/zika-virus-infection/en/

Organización Mundial de la Salud. (2017a). *Vector-borne diseases*. Recuperado de: http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs387/en/

Organización Mundial de la Salud. (2017b). *WHO Executive Board requests resolution on a comprehensive approach to global vector control*. Recuperado de: http://www.who.int/neglected_diseases/news/Resolution_on_comprehensive_approach_to_global_vector_control/en/#

Organización Mundial de la Salud. (2017c). *Dengue and severe dengue*. Recuperado de: http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs117/en/

Organización Mundial de la Salud. (2017d). *Malaria*. Recuperado de: http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs094/en/

Organización Mundial de la Salud. (2017e). *Leishmaniasis*. Recuperado de: http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs375/en/

Organización Mundial de la Salud. (2018). *Yellow fever-Brazil.* Recuperado de: http://www.who.int/csr/don/27-february-2018-yellow-fever-brazil/en/

Porter, A. G., Davidson, E. W. y Liu, J. W. (1993). Mosquitocidal toxins of bacilli and their genetic manipulation for effective biological control of mosquitoes. *Microbiological Reviews, 57*(4), 838-861.

Priest, F. G. (1992). Biological control of mosquitoes and other biting flies by *Bacillus sphaericus* and *Bacillus thuringiensis*. *The Journal of Applied Bacteriology, 72*(5), 357-369.

Ready, P. D. (2008). Leishmaniasis emergence and climate change. *Revue Scientifique et Technique (International Office of Epizootics), 27*(2), 399-412.

Rogers, D. J. y Randolph, S. E. (2000). The global spread of malaria in a future, warmer world. *Science*, *289*(5485), 1763-1766.

Rueda, L. M., Patel, K. J., Axtell, R. C. y Stinner, R. E. (1990). Temperature-dependent development and survival rates of Culex quinquefasciatus and *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae). *Journal of Medical Entomology*, *27*(5), 892-898.

Salazar-Ceballos, A. y Álvarez-Miño, L. (2014). Asociación entre factores climatológicos y tasa de incidencia del dengue en Santa Marta, Colombia, 2007-2013. *Revista Ciencias Biomédicas*, 5(1), 41-47.

Sivan, A., Shriram, A. N., Muruganandam, N. y Thamizhmani, R. (2017). Expression of heat shock proteins (HSPs) in *Aedes aegypti* (L) and *Aedes albopictus* (Skuse) (Diptera: Culicidae) larvae in response to thermal stress. *Acta Tropica*, *167*, 121-127.

Tappe, D., Rissland, J., Gabriel, M., Emmerich, P., Günther, S., Held, G., et al. (2014). First case of laboratory-confirmed Zika virus infection imported into Europe, November 2013. *Eurosurveillance*, *19*(4), 20685.

Turell, M. J. (1989). Effect of environmental temperature on the vector competence of Aedes fowleri for Rift Valley fever virus. *Research in Virology*, *140*, 147-154.

Vargas, M. V. (1998). *El mosquito: un enemigo peligroso: biología, control e importancia en la salud humana (Diptera: Culicidae)*. San José: Editorial Universidad de Costa Rica.

Zammarchi, L., Tappe, D., Fortuna, C., Remoli, M. E., Günther, S., Venturi, G., et al. (2015). Zika virus infection in a traveller returning to Europe from Brazil, March 2015. *Euro Surveillance, 20*(23), 21153.

Zhou, G., Minakawa, N., Githeko, A. K. y Yan, G. (2004). Association between climate variability and malaria epidemics in the East African highlands. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 101*(8), 2375-2380.

Cambio climático y fertilización: efectos en la biota de un arroyo andino

*María Isabel Castro-Rebolledo**

*Gelys Igreth Mestre Carrillo**

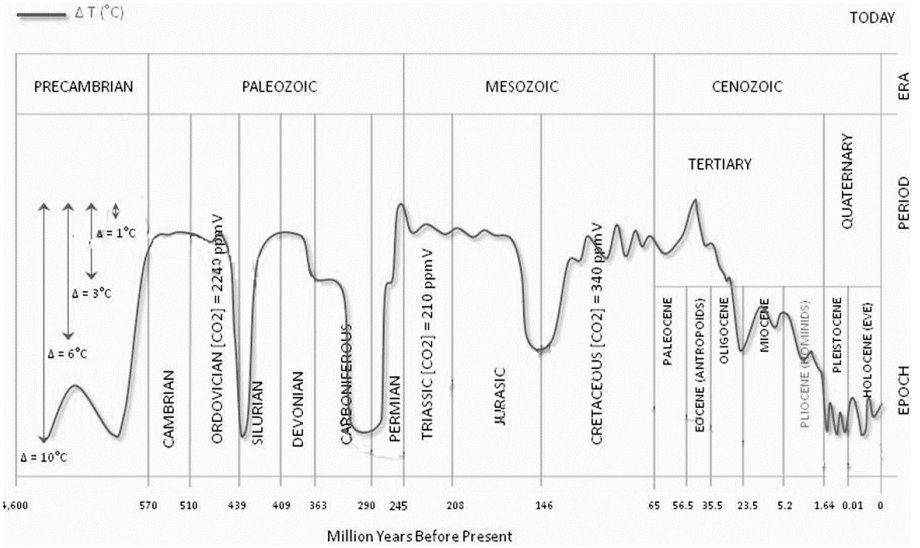
*Luis Alberto Núñez Avellaneda**

Nuestro planeta ha sufrido cambios drásticos en el clima a lo largo de su historia. La temperatura media global ha presentado fuertes modificaciones durante los periodos geológicos, que han influido de manera directa en la presencia de los organismos y en las dinámicas de los procesos, lo cual repercute en las manifestaciones de vida que conocemos hoy.

Nasif (2007) nos muestra el cambio en la temperatura media del planeta durante los distintos periodos geológicos, expresados en millones de años (Ma) (figura 1). Aquí se identifican cuatro eras geológicas: 1) precámbrica, que representa el 90 % del tiempo geológico, se inicia con la formación de la corteza de la Tierra hace 4600 Ma y termina hace 570 Ma; esta era se caracterizó por presentar condiciones extremas en la atmósfera que no permitían la formación de la vida. 2) Paleozoica (544-245 Ma), caracterizada por la estabilidad climática, dos periodos glaciales y la aparición de los organismos vivos. 3) Mesozoica (225-65 Ma), que registró condiciones climáticas estables; sin embargo, a finales del jurásico se presentó una disminución de la temperatura media global. Y 4) cenozoica (65 Ma-actual), en esta la temperatura es estable en las dos primeras épocas y empieza a disminuir hasta la época actual. En el periodo cuaternario de esta época aparece el *Homo sapiens*.

* Docentes investigadores del Departamento de Ciencias Básicas. Universidad de La Salle, Colombia. Correos electrónicos: micastro@unisalle.edu.co; gmestre@unisalle.edu.co; lanunez@unisalle.edu.co

Figura 1. Cambios en la temperatura media del planeta durante los diferentes periodos geológicos



Fuente: Nasif (2007).

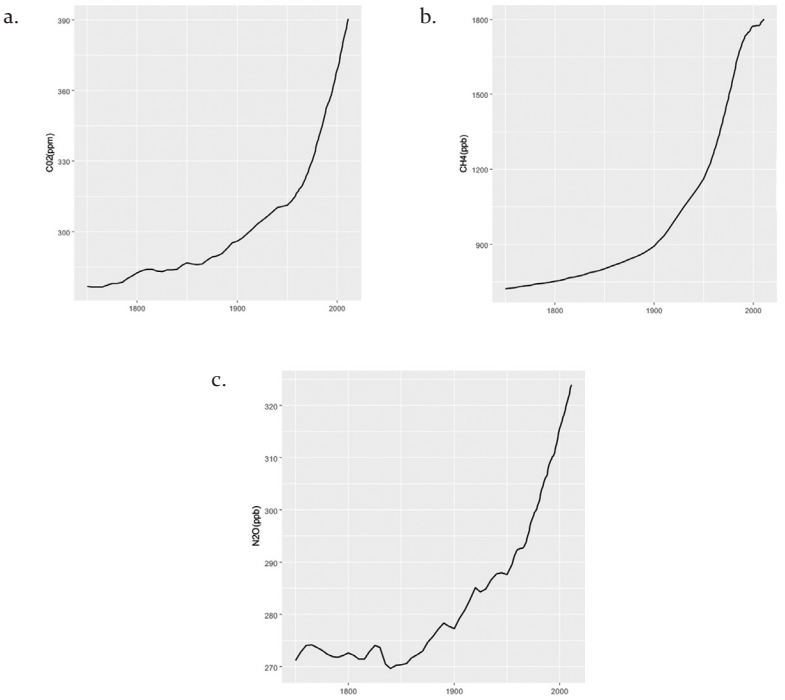
Desde el establecimiento de nuestra civilización hemos tratado de entender, predecir y anticipar muchos de los eventos que se producen en el planeta. Sin embargo, los altos ritmos de cambios ambientales inducidos por causas de la industrialización, las nuevas formas de desarrollo, el crecimiento de la población mundial, entre otras, empiezan a tener impacto no solo en el entorno, sino también en la concepción que tenemos de cómo se modifican sus dinámicas.

Históricamente, las causas del cambio climático se han atribuido al calentamiento global producido por el aumento de los gases efecto invernadero, que ha ocasionado problemas a gran escala como: la alteración del ciclo del agua, la reducción de los glaciales y la elevación del nivel del mar (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, 2014). Estos cambios han causado impactos en los sistemas naturales y humanos en todos los continentes. Por esta razón, entidades gubernamentales y no

gubernamentales han mostrado su preocupación y se están promoviendo acciones que tratan de prever y mitigar estas alteraciones.

Los gases de efecto invernadero se producen principalmente por las actividades humanas. El dióxido de carbono (CO_2) es el que más los produce; su incremento está relacionado principalmente por el uso de combustibles fósiles. Otros gases de efecto invernadero provenientes de las actividades humanas son el metano (CH_4) y el óxido nitroso (N_2O), los cuales están directamente relacionados con el aumento en la producción de la ganadería y el uso indiscriminado de métodos agrícolas de fertilización. En la figura 2 podemos observar el incremento de la emisión de estos gases en los últimos tiempos.

Figura 2. Aumento de la concentración de gases efecto invernadero: a) dióxido de carbono (CO_2), b) metano (CH_4), c) óxido nitroso (N_2O)

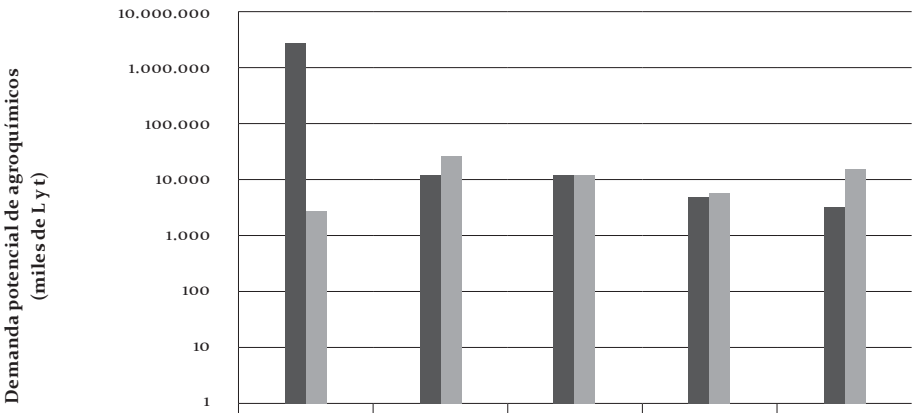


Fuente: elaboración propia a partir de los datos recuperados del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.

Los reiterados cambios en la temperatura y las lluvias, producto del calentamiento global, tendrán alteraciones directas sobre las prácticas agrícolas, incluyendo cambios en la manera de cultivar los suelos, los tipos y las intensidades de los cultivos y en las tasas y los tiempos de la fertilización, lo que se reflejará en un efecto cascada del flujo de nutrientes (Bates, Kundzewicz, Wu y Palutikof, 2008). Las predicciones demuestran que el uso mundial de fertilizantes nitrogenados ascenderá entre 110.000 y 140.000 t en 2050, frente a 90 t en 2000.

En Colombia, el Estudio Nacional del Agua (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2015) establece "que la demanda potencial estimada de fertilizantes en el año 2012 fue de cerca de 2.516.084 Ton en presentación sólida y de 2.915 miles de litros en formulaciones líquidas, en su mayor parte (37,5 %) compuestos NPK (ICA, 2012)". Esto trae como consecuencia el incremento en la utilización de estos productos, lo que a su vez se verá reflejado en la acelerada contaminación de los cuerpos de agua (figura 3).

Figura 3. Demanda nacional potencial de agroquímicos en el sector agrícola



	Fertilizantes	Herbicidas	Fungicidas	Insecticidas	Otros plaguicidas
Cantidad (t)	2.516.084	11.770	10.745	5056	3132
Cantidad (Miles de L)	2914	25.225	10.369	5783	14.698

Fuente: Ideam (2015).

Estudio de caso

Cambio climático, los ríos de montaña andinos y el aumento de nutrientes

Los ríos en estado natural son el principal suministro de agua de calidad para la mayor parte del mundo. Este flujo experimenta variaciones naturales ligadas a la dinámica planetaria (Beckmann et al., 2005), pero ciertamente también al cambio global. Predicciones globales indican que es probable que cuencas de latitud alta puedan presentar un incremento de la escorrentía, mientras que otras situadas en zonas templadas y tropicales puedan ver reducida la cantidad del agua circulante (Nijssen, O'Donnell, Hamlet y Lettenmaier, 2001), con lo que el suministro para los diversos usos podría verse afectado.

Los efectos ligados a las variaciones globales del flujo son numerosos. La cantidad de sedimentos transportados desde los cursos fluviales hasta el mar ha decrecido globalmente en casi un 20% (Syvitski, Vorosmarty, Kettner y Green, 2005), y el tiempo de residencia del agua ha incrementado (Vörösmarty y Sahagian, 2000). Este aumento del tiempo de residencia y la mayor sedimentación pueden tener consecuencias importantes sobre el carácter general del río, ya que el agua se ralentiza y el río se torna más "lacustre" y menos "fluvial". El río tiene mayor estabilidad hidrológica y las variaciones naturales del flujo se hacen menos frecuentes.

En cualquier caso, el ciclo hidrológico está siendo seriamente afectado. El cambio en la escorrentía total afecta su falta de regularidad. Tanto uno como otros aspectos se hallan íntimamente ligados a las alteraciones globales del ciclo del agua, pero también a los efectos humanos directos sobre ellos. El uso del agua para irrigación u otros menesteres representa globalmente entre 4000 y 5000 $km^3\ a^{-1}$, esto es, casi el 10% del agua que circula a través de los cursos fluviales (Sabater et al., 2005).

La presión humana sobre los sistemas fluviales se manifiesta, entre otras perturbaciones, en la entrada de contaminantes de manera creciente. La cantidad de nutrientes, producto de la utilización de fertilizantes en la agricultura, que llega a los sistemas fluviales, aumenta año tras año (Meybeck y Helmer, 1989) por causa de las actividades agrícolas inadecuadas, del pastoreo, de las plantaciones forestales que reciben fertilizantes o de las entradas directas desde núcleos urbanos.

Los ríos son sistemas que presentan capacidad de autodepuración, lo que proporciona enormes beneficios económicos y sociales. Desgraciadamente, el volumen de contaminantes vertidos a los ríos a menudo ha sobrepasado su capacidad de autodepuración (Bernot y Dodds, 2005), lo cual se ha agravado por la modificación de su geomorfología y su vegetación de ribera.

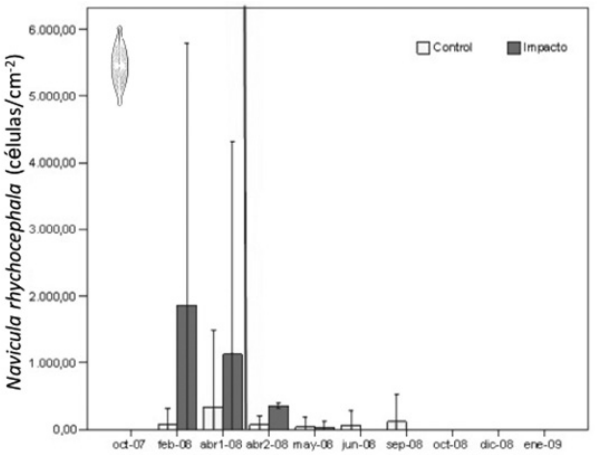
El ambiente físico de un río o de un sistema lótico se caracteriza por una serie de mecanismos y procesos que plantean desafíos ecológicos de trascendencia a las comunidades biológicas que lo habitan (Allan y Castillo, 2007). Por ejemplo, la velocidad y la corriente del agua son propiedades definitivas que forman parte de la unidad de ríos, riachuelos y arroyos. Por un lado, brindan beneficios al transportar recursos de utilidad a una proporción considerable de organismos o llevan en su deriva a aquellos de locomoción limitada; por otro, seleccionan a aquellos organismos que con sus adaptaciones morfológicas contrarrestan situaciones extremas. Por lo tanto, cualquier evento que modifique la estructura y dinámica de la biota tendrá repercusiones directas en la diversidad de los organismos.

Un estudio experimental realizado en un río de alta montaña colombiano, que utilizó un diseño BACI (*before-after, control-impact*) (Stewart-Oaten y Bence, 2001), evidenció cómo el incremento en la concentración de nutrientes tiene efectos directos sobre la estructura y funcionamiento de los organismos presentes. Una especie de alga diatomea registró una respuesta negativa al incremento; la especie *Navicula rhynchocephala* presentó una disminución significativa en sus densidades (células cm^{-2}) con respecto al incremento de nutrientes (figura 4) (Morales-Duarte, Donato y Castro-Rebolledo, 2010), lo cual muestra la sensibilidad de algunos organismos a este tipo de alteraciones.

Castro-Rebolledo, Muñoz-Gracia y Donato-Rondón (2014) evidenciaron cambios interesantes en relación con esta misma adición de nutrientes y la estructura de la red trófica del arroyo (figura 5). Con el fin de determinar el efecto del incremento de nutrientes sobre la red trófica, se midieron los isótopos estables más frecuentes para analizar el uso de las fuentes de energía y la estructura de la red ($\delta_{15}N$ y $\delta_{13}C$) para los siguientes compartimientos tróficos: 1) nivel basal: materia orgánica particulada gruesa (MOPG) y biofilm; 2) consumidores primarios-macroinvertebrados: colectores-recolectores (*Heterelmis* sp., *Thraulodes* sp. y *Tricorythodes* sp.) y colectores-filtradores (*Simulium* sp.); 3) depredadores-peces (*Oncorhynchus mykiss* y *Tricomycterus bogotensis*). Después de la fertilización, se observó en

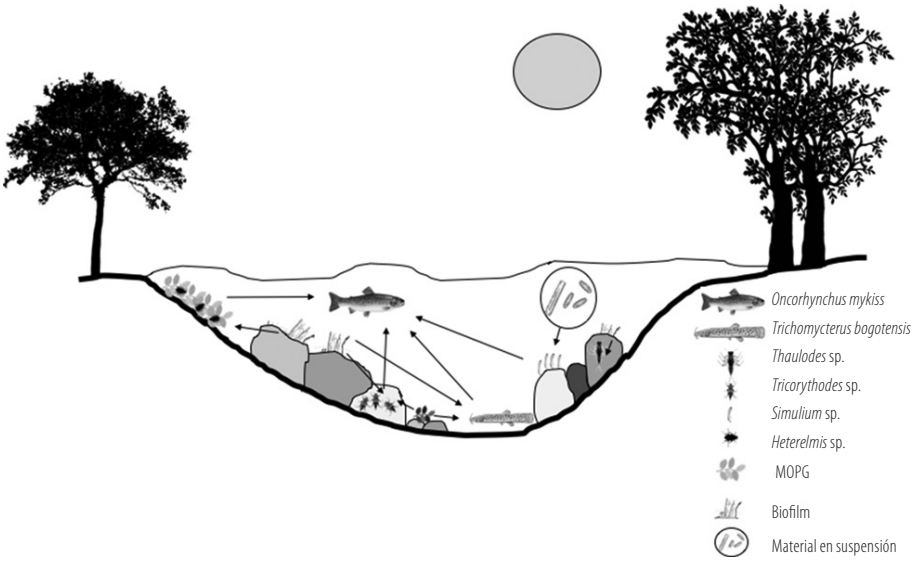
diferentes compartimientos (biofilm, *Heterelmis*, *Simulium* y *Tricorythodes*) del tramo impacto un agotamiento de $\delta_{15}N$ con respecto al control, mientras que el agotamiento no fue significativo para los depredadores superiores (figura 6). Sin embargo, es notorio que los procesos de eutroficación, a corto plazo, producen cambios en las redes tróficas de los arroyos de alta montaña tropicales y esta afectación tendrá repercusiones en toda la red del sistema, lo que ocasionará modificaciones de mayor envergadura, tanto en la calidad del agua como del ecosistema en general.

Figura 4. Respuesta de la comunidad de *Navicula rhynchocephala* (células cm^{-2}) al incremento de nutrientes en los puntos de estudio; la línea oscura determina el inicio de la adición de los nutrientes y el impacto el punto donde se aplicaron estos



Fuente: Morales-Duarte, Donato y Castro-Rebolledo (2010).

Figura 5. Red trófica de un río de montaña andino

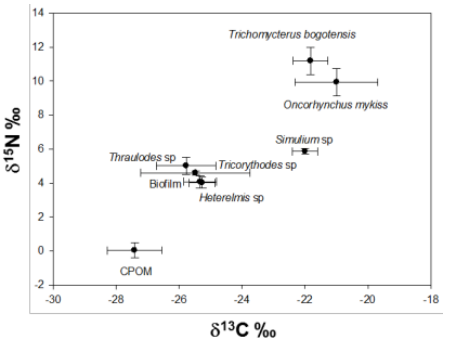


Oncorhynchus mykiss y *Trichomycterus bogotensis* = predadores; *Thaulodes* sp., *Tricorythodes* sp. y *Heterelmis* sp. = colectores-recolectores; *Simulium* sp. = colector-filtrador; MOPG = materia orgánica particulada gruesa; Biofilm = perifiton, bacterias, hongos; Material orgánico en suspensión = plancton, materia orgánica particulada fina (MOPF) y detrítica (MOD).

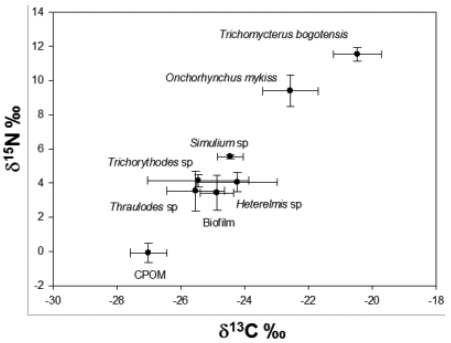
Fuente: elaboración propia.

Figura 6. Señales isotópicas de carbono ($\delta_{13}C$) y nitrógeno ($\delta_{15}C$) de las fuentes basales (biofilm, CPOM), macroinvertebrados (*Heterelmis* sp., *Thraulodes* sp., *Tricorythodes* sp. y *Simulium* sp.) y peces (*Oncorhynchus mykiss*, *Trichomycterus bogotensis*) en los tramos del diseño BACI: control (C), impacto (I), *before* (B) y *after* (A) de la adición de nutrientes

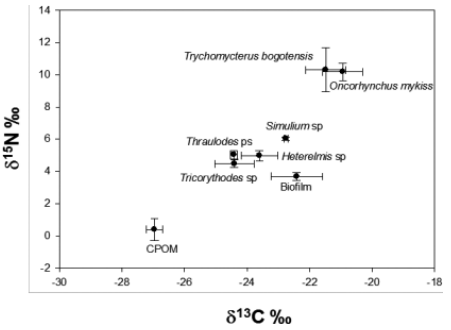
(a) C-B



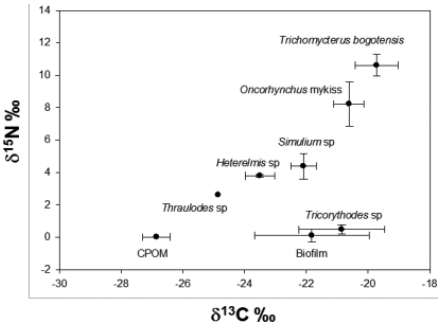
(b) I-B



(c) C-A



(d) I-A



Fuente: Castro-Rebolledo, Muñoz-Gracia y Donato-Rondón (2014).

Nuestro planeta ha presentado cambios drásticos en sus temperaturas a escalas globales que han alterado la vida. Estos efectos se hacen más evidentes y ya forman parte de nuestra cotidianidad. La afectación de la biota, el problema del incremento en el uso de fertilizantes y su efecto sinérgico con el cambio climático son muy notables. Cualquier modificación que afecte el equilibrio de un sistema desencadena un efecto cascada sobre el sistema en general. La eutrofización de las corrientes de agua superficiales está provocando el deterioro de su calidad, lo que repercute en la calidad de vida de los organismos que dependen de este valioso recurso, tanto a corto como a largo plazo.

Es urgente plantear alternativas de manejo y utilización de los suelos que requieran, en especial, el uso de biofertilizantes, métodos de agricultura orgánica y mecanismos de control del uso de este tipo de productos. Es por esto por lo que el grupo de Bioprospección y Conservación Biológica del Departamento de Ciencias Básicas de La Universidad de La Salle viene trabajando en el estudio y análisis de los diferentes factores que impactan de manera directa los cuerpos de agua y sus implicaciones sobre la biota. Uno de los proyectos que se adelanta a largo plazo es el estudio de los arroyos de la Orinoquía colombiana, y tiene como base el análisis de la estructura y función de los bosques de galería como ecosistemas articuladores de la biodiversidad, los sistemas productivos y el desarrollo de las comunidades rurales que dependen de los servicios ecosistémicos que estos ofrecen. Y aunque algunos siguen siendo escépticos, el planeta poco a poco se va convirtiendo en *Diana la cazadora*, y va cobrando sin piedad el desbalance que le hemos causado.

Bibliografía

Allan, J. D. y Castillo, M. M. (2007). *Stream ecology: structure and function of running waters*. Netherlands: Springer.

Bates, B. C., Kundzewicz, Z. W., Wu, S. y Palutikof, J. P. (Eds.). (2008). *El cambio climático y el agua. Documento técnico del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. Ginebra.

Beckmann, B., Flögel, S., Hofmann, P., Schulz, M. y Wagner, T. (2005). Orbital forcing of Cretaceous river discharge in tropical Africa and ocean response. *Nature, 437*(7056), 241-244.

Bernot, M. J. y Dodds, W. K. (2005). Nitrogen retention in removal and saturation of lotic ecosystems. *Ecosystems, 8*(4), 442-453.

Castro-Rebolledo, M. I., Muñoz-Gracia, M. I. y Donato-Rondón, J. C. (2014). Food web of a tropical high mountain stream: effects of nutrient addition. *Acta Biológica Colombiana, 19*(1), 33-42.

Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. (2014). *Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.* Ginebra: autor.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2015). *Estudio Nacional del Agua 2014*. Bogotá: autor.

Meybeck, M. y Helmer, R. (1989). The quality of rivers: from pristine stage to global pollution. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology, 75*(4), 283-309.

Morales-Duarte, S. J., Donato J. C. y Castro-Rebolledo, M. I. (2010). Respuesta de *Navicula rhynchocephala* (bacillariophyceae) al incremento de nutrientes en un arroyo andino (Colombia). *Acta Biol*ógica *Colombiana, 15*(2), 73-78.

Nasif, N. (2007). Cycles of global climate change. *Biology Cabinet Journal Online*. Recuperado de: http://www.biocab.org/Climate_Geologic_Timescale.html

Nijssen, B., O'Donnell, G. M., Hamlet, A. F. y Lettenmaier, D. P. (2001). Hydrologic sensitivity of global rivers to climate change. *Climatic Change, 50*(1-2), 143-175.

Sabater, S., Acuña, V., Giorgi, A., Guerra, E., Muñoz, I. y Romani, A. M. (2005). Effects of nutrient inputs in a forested Mediterranean stream under moderate light availability. *Archiv für Hydrobiologie, 163*(4), 479-496.

Stewart-Oaten, A. y Bence, J. R. (2001). Temporal and spatial variation in environmental impact assessment. *Ecological Monographs, 71*(2), 305-339.

Syvitski, J. P. M., Vorosmarty, C. J., Kettner, A. J. y Green, P. (2005). Impact of humans on the flux of terrestrial sediment to the global coastal ocean. *Science, 308*(5720), 376-380.

Vörösmarty, C. J. y Sahagian, D. (2000). Anthropogenic disturbance of the terrestrial water cycle. *Bioscience, 50*(9), 753-765.

Cambio climático y sus efectos: una propuesta colombiana de mitigación

*Jorge Gámez Gutiérrez**

No se puede construir la paz
sobre estómagos vacíos y miseria humana.
Boyd Orr

Tras la implementación del Consenso de Washington, el crecimiento de la pobreza a finales del siglo XX se convirtió en objeto de estudio de las ciencias sociales por encima incluso de temas tan complejos como el conflicto, el desarrollo o la desigualdad, y llevó a una "configuración de una relación instrumental entre investigación y política, que subordina la primera a la segunda y le da a la ciencia social un estatuto utilitario" (Delgado, Espina y Sejenovich, 2013, p. 12). Un reto para las ciencias es establecer los nexos estructurales y causales entre la pobreza, la problemática ambiental y el cambio climático. Los retos de política, por su parte, son más complejos y dependen de variables más complejas que son objetos de estudio del mundo académico.

Las propuestas para encarar el cambio climático deberían propender a evitar (¿retrasar?) el cataclismo y su ritmo actual casi desbocado. Ergo, las soluciones han de considerar una adecuada calidad de vida, la relación solidaria entre las personas y la naturaleza con una intensidad energética mucho menor (Delgado, Espina y Sejenovich, 2013).

* Ph.D. en Ciencias Empresariales. Economista. Especialista en Formulación y Evaluación de Proyectos. Especialista en Pedagogía y Docencia Universitaria.
Correo electrónico: jorge.gamez@uniagustiniana.edu.co

En este capítulo se analiza el cambio climático y sus efectos en la seguridad alimentaria, el hambre, el agua y las migraciones. Se presenta una propuesta de solución para estos temas en La Guajira (Colombia), adelantada por Ruth Chaparro y la Fundación Caminos de Identidad.[1]

Cambio climático en pocas palabras

Fue Alexander von Humbolth quien a partir de su trabajo de campo en Venezuela

> [...] llegó a la conclusión de que la tala de bosques circundantes y el desvío de las aguas para regar habían hecho descender los niveles. A medida que la agricultura florecía en el valle, los cultivadores habían vaciado y desviado varios de los riachuelos que alimentaban el lago para regar sus campos [...] los suelos que estaban tapados habían quedado a merced de los elementos y sin poder retener el agua. (Wulf, 2017, p. 85)

Su enfoque toma distancia de la perspectiva antropocéntrica que sostenía que el mundo se había creado para su disfrute. En 1664 John Evelyn había escrito el libro *Sylva, a Discourse of Forest Trees*, en el que mostraba preocupación por la ausencia de árboles para calentarse en invierno, para usar como combustible para fabricar hierro y cristal, y la parálisis de la armada para proteger las costas inglesas (Evelyn, 2016). Humboldt, sin saberlo, se convirtió en pionero de los temas ecologistas. Carlos Marx advirtió de los efectos nocivos del modo de producción capitalista sobre los recursos naturales dada la interacción de la naturaleza con los sistemas humanos.

Contrario sensu, los economistas neoclásicos no consideraban los efectos de las relaciones económicas sobre los sistemas naturales. En tiempos recientes se han conciliado trabajos de la economía y la ecología, y tratan de analizar *pari pasu* sus análisis de la naturaleza, los ecosistemas, la termodinámica y el uso de la energía en los procesos productivos y de consumo

[1] A partir de la investigación "Emprendedores sociales", dirigida por Elber Berdugo C. de la Facultad de Ciencias Administrativas y Contables de la Universidad de La Salle en 2015. Este caso es de la autoría de Jorge Gámez G. y se agregó en 2017 a los resultados de ese proyecto que se publicarán en 2018.

(Rendón, 2006). El cambio climático presenta retos para la conservación y manejo de los recursos naturales; para algunos, deberían someterse a revisión y replantearse todos los documentos de planeación de las agencias del Estado (Wentz, 2017; The World Bank Group, 2011) y, por qué no, las demás organizaciones privadas.

En el siglo XX, la Primavera Silenciosa (Carson, 1962) es uno de los más reconocidos llamados a tomar conciencia ambiental por los efectos del uso de pesticidas en tiempos de la crisis de las armas nucleares. Más adelante, el Club de Roma se sumó a la invitación de carácter interdisciplinar por el deterioro del medio ambiente, la violencia, el crecimiento y el empleo. Otros enfoques incluyen la corriente ecologista conservacionista, el ambientalismo moderado y la corriente humanista crítica (Pierri, 2005). La ONU adhirió a estas reflexiones y sugirió la inclusión de la dimensión ambiental al desarrollo.

El cambio climático se refiere a la modificación del clima con respecto al historial climático a una escala global y regional; es, además, un fenómeno global que tiene efectos e implicaciones significativas para toda la agenda de desarrollo. El 70 % de las personas pobres en el mundo son mujeres que en su mayoría se ocupan de cultivar la tierra y producir alimentos, y ante las irregularidades en las lluvias se ven afectadas de forma directa (Tribuna Feminista, 2016). Se entiende también como el conjunto de variaciones de los promedios de la temperatura, la lluvia, el viento o la nieve en periodos largos de tiempo; "5 °C de variación en 10 mil años [...] bastó para que Francia, que hace 20 mil años se parecía al norte de la Siberia actual, se parezca a lo que nosotros conocemos" (Jancovici, 2010, p. 11).

El cambio climático actual, a diferencia de los ocurridos en el pasado geológico, que se debieron a forzantes astronómicas o endógenas, es mayoritariamente consecuencia de la emisión de gases por diferentes actividades antrópicas (Delgado, Espina y Sejenovich, 2013, p. 80). Es decir, es la especie humana la que está cambiando el clima. Además, el cambio climático se realimenta de tal forma que sus propios cambios pueden ser impredecibles (Black et al., 2008). Parte de los estudios más profundos se hacen en los polos, en razón a sus condiciones. Las observaciones de los cascos polares permiten prever incrementos de temperatura en verano hasta 3 °C y en invierno hasta –7 °C los próximos cinco años, la fuerza y tamaño de las tormentas, la acidificación de los océanos y el calentamiento del *permafrost* (Fisheries and Oceans Canada, 2013).

El análisis del cambio climático se hace desde muchas disciplinas: astrofísica, oceanografía, vulcanología, geofísica, química, biología, hidrología y glaciología, entre otros (Jancovici, 2010). En Estados Unidos en el parque Yosemite se han hecho hallazgos en las dietas de los árboles, la vida salvaje y los biomas —comunidades de organismos, plantas y animales de una zona— (González, 2016).

Parte del análisis del cambio climático se expresa en la normatividad: hay más de 1200 leyes y 250 casos relevantes en cortes judiciales.[2] Cada país lo aborda según su ordenamiento, algunos en el parlamento, otros en el poder ejecutivo, aquellos en documentos de política. En la ciencia, sin embargo, se considera que son insuficientes los esfuerzos hechos para frenar el crecimiento global de la temperatura por debajo de 2 °C. La verdadera dificultad radica en que las políticas se acompañen de compromiso político alejado de las cambiantes tendencias de cada sociedad (Nachmany, Fankhauser y Setzer, 2017).

Algunos efectos

La presencia humana tiene impacto en el cambio climático global. Acelera el agotamiento del ozono estratosférico; impacta los océanos y sus recursos vivientes; produce cambios en la cubierta de las tierras, y sus acciones llevan a la desertificación, la deforestación, la contaminación del aire —son evidentes los efectos de la contaminación en países cercanos a China—, lo cual crea cambios en la dinámica de la población y la seguridad alimentaria (Mata, 2014). Nuestra sociedad tiene una economía que enaltece el crecimiento,[3] se

[2] En Colombia las prioridades no parecen estar claras. Ante el desafío del cambio climático, más de 60 parlamentarios han sido condenados por vínculos con los paramilitares y 67 han estado investigados por nexos con esos grupos. Más de 500 dirigentes políticos —gobernadores, alcaldes y concejales— han sido acusados por ser aliados de esas organizaciones (Ávila y Valencia, 2016). En esas condiciones no parece que se dediquen a estos temas. Además, en Colombia más de ocho millones de hectáreas robadas a sus propietarios están en manos de esos grupos y otros actores del conflicto (Grupo de Memoria Histórica, 2013).

[3] El crecimiento económico no puede ser un fin en sí mismo, sino más bien elemento integrante de una estrategia más amplia de desarrollo que incluya las perspectivas ambiental y social como pilares básicos en su formulación. La cuestión radica en cómo se incentiva el crecimiento económico, cómo se distribuye y cómo se utiliza. Además, con un planeta que tiene recursos limitados no pueden satisfacerse las necesidades ilimitadas del ser humano (véase Manfred Max-Neef, 2012).

basa en tecnologías dependientes del petróleo, y detenta una tasa de consumo de bienes y servicios que crece a un ritmo más alto que su crecimiento demográfico. Esta extracción del capital natural para satisfacer a una sociedad consumista sobrepasa los límites de renovación de los ecosistemas; y en ese marco ocurre el proceso emergente conocido como cambio climático global (Delgado, Espina y Sejenovich, 2013, p. 79). En medio de la crisis ambiental se han considerado las dinámicas de la economía internacional, sus crisis y sus efectos sobre el medio ambiente, así como el rol de los pobres y el fenómeno del empobrecimiento masivo en relación con la degradación ambiental (p. 54).

La población mundial llegó a 7000 millones de habitantes. Cada año nacen 132,7 millones de niños —casi cuatro nacimientos por segundo— y mueren 56,3 millones de personas —dos personas por segundo—. Al empezar el siglo XXI los indicadores tradicionales mostraron que China exporta el 11,4% del total del mundo, seguido de Estados Unidos (8,6%) y Alemania (7,8%) (Organización Mundial de Comercio, 2016). La población creció a 1,5% entre 1987 y 2007, mientras que los alimentos lo hacen a 2% en el mismo periodo, por ello el problema no parece estar en la disponibilidad de alimentos, no en su asequibilidad. Parte de la explicación es que los precios de los fertilizantes derivados del petróleo han subido con este. El cambio climático reflejado en sequías y lluvias afecta los cultivos. Además, se ha incursionado en la producción de etanol a partir de alimentos, que a su vez dependen de los precios de la especulación (Rieff, 2016, p. 16). Visto así, el rol de los grandes fabricantes de semillas comerciales no es despreciable cuando manejan el 53% del mercado mundial (p. 328).

Parte de los efectos del cambio climático en la agricultura se expresan en las migraciones como respuestas racionales de quienes buscan mejores oportunidades económicas. La agricultura es cultura, no solo un método de producción. En Colombia la agricultura genera más del 30% del empleo de la economía, representa el 16% del área cultivada y usa el 37% de recursos hídricos. Empero, esta actividad es vulnerable a la erosión, aridez del suelo y desertificación, y se prevé el impacto del cambio climático (The World Bank Group, 2011). Los cambios en las migraciones en México afectan. Se halló correlación entre la disminución de lluvias y el crecimiento de migración a Estados Unidos de personas que dependen de las lluvias para cultivar. En África también se han hallado comportamientos similares (Black et al., 2008). De los refugiados por los efectos del cambio climático se han documentado 654 casos que van desde 2014 hasta 2017, y sugieren las

siguientes tendencias: aumentará el número de refugiados, se prevé relación directa entre el cambio climático y las migraciones, su reacomodación, recuperación de desastres, acceso a recursos y cambios en la población. Algunos consideran que 1000 millones de personas serán desplazadas hacia 2050, con incrementos significativos hacia el final de siglo de no lograrse la meta de reducir el clima por debajo de los 2 °C (Sabin Center, UN Enviroment, 2017). Las aves son vulnerables puesto que los ambientes óptimos presentan alteraciones, incluida Colombia, que podría perder entre 33 y 43% de las especies (Velásquez-Tibatá y Salaman, 2012). El estrés del agua se agudizará en el sur de Estados Unidos, México, en el Mediterráneo y medio este, donde las lluvias decaerán por regiones y localidades (Black et al., 2008).

Los efectos del cambio climático inciden en el perenne efecto invernadero —absorción de los infrarrojos por la atmósfera que retiene calor cerca del suelo—, con una población de 7000 millones de habitantes y el consumo de bienes producidos por la industria basada en diversas fuentes de energía. El uso de carbón, gas y petróleo junto con la tala de bosques incrementa la cantidad de CO_2. Los efectos más previsibles son los cambios de temperatura, inundaciones, incendios, pobreza, guerras, motines y migraciones. Las áreas habitables serán menores —hambrunas y desaparición de especies, entre otros—. En Colombia, el cambio climático ha tenido incidencia en el dengue y la malaria, y se ha identificado alguna relación entre las inundaciones y el nacimiento de vectores. Unos pocos grados pueden cambiar de manera radical el entorno de las generaciones venideras. Modelar tantas variables se vuelve un reto gigantesco (Jancovici, 2010; Mata, 2014; Black et al., 2008).

Los pobres son altamente dependientes, para su sustento y bienestar, de activos y servicios ambientales tales como suelos fértiles, agua limpia y ecosistemas saludables. También son más vulnerables ante las situaciones de catástrofes y degradación ambiental. Parte del problema también corre por su cuenta: son responsables de la degradación de los suelos, la pérdida de la biodiversidad y la reducción de la superficie boscosa con impacto en el aumento de las concentraciones de dióxido de carbono (para medir la huella se sugiere ver Carbon Footprint, s. f.). Esto se explica porque la sobreexplotación agrícola se hace sin procedimientos y tecnologías modernas. Por otro lado, no han sido exitosas las políticas para erradicar la pobreza y mejorar el medio ambiente. La riqueza generada no significa menos pobres y mejor estado del medio ambiente; por ello se revela la desigualdad como obstáculo.

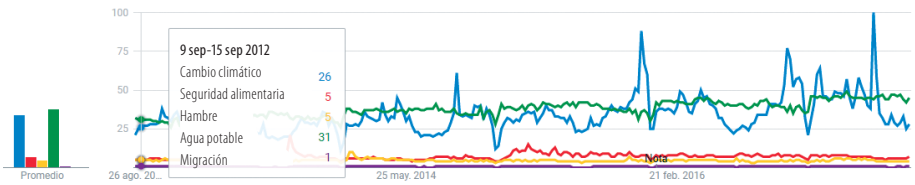
El mejoramiento y la conservación del medio ambiente suponen restricciones a la actividad económica (Delgado, Espina y Sejenovich, 2013).

Entretanto, crece la desigualdad: el 1% de la población más rica acapara casi la mitad de la riqueza mundial, con efectos no muy claros en la consolidación de la democracia (véanse los informes de Oxfam, s. f.). Los 300 hombres más ricos del mundo tienen más de 3,7 billones de dólares —millones de millones— (véanse las clasificaciones en Rankia, s. f.). Además, la desigualdad extrema tiene impacto en las vidas de las mujeres: reciben los peores salarios, padecen los mayores índices de discriminación en el ámbito laboral y asumen la mayor parte del trabajo de cuidados no remunerados (Oxfam, 2018).

Tendencias

En los buscadores de información de internet se reflejan los intereses de la población por espacios de tiempo asociados a decisiones políticas y tragedias. Google Trends recoge el número de consultas y las presenta en su página. Se hizo la consulta para cambio climático como variable principal asociada a seguridad alimentaria, hambre, agua y migraciones, entre 2012 y 2017 (figura 1). Por el volumen de búsquedas se califica de 1 a 100; hay temas que no reúnen un suficiente número de búsquedas y no se muestran tablas ni gráficos. En esta consulta en todo el mundo el mayor número de consultas ha sido sobre cambio climático a principios de 2017 (100). La preocupación por el agua es baja porque las consultas nunca han logrado calificaciones mayores a 50. La seguridad alimentaria, el hambre y las migraciones no son temas que reflejen calificaciones mayores a 15 en las consultas del buscador.

Figura 1. Cambio climático, seguridad alimentaria, hambre, agua y migraciones



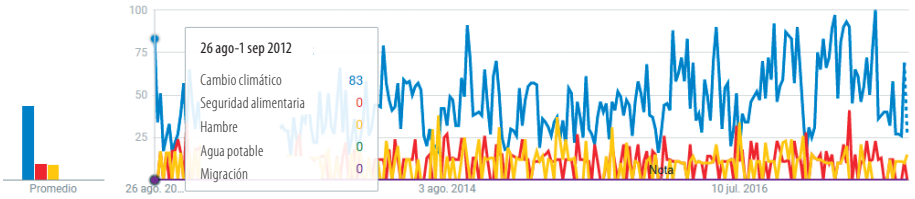
Fuente: Google Trends (2017).

Mientras, los norteamericanos gastan 41.000 millones de dólares en ropa y los chinos compran 18,2 millones de automóviles cada año. Solo ocho personas (hombres) poseen la misma riqueza que la mitad más pobre de la población mundial, 3600 millones de personas. No es claro cuánto se debe a talento, trabajo duro, herencia, corrupción y nepotismo. El tráfico ilegal de drogas estupefacientes sobrepasa los 350.000 millones de dólares al año, se gastan 115,5 mil millones de dólares en productos para ocultar los efectos del envejecimiento, 97.000 millones de dólares anuales en pornografía y 30.000 millones de dólares al año en alimentos para mascotas (Gámez, 2014).

Las consultas sobre cambio climático copan la atención de las personas seguidas de "qué es". En el caso de la seguridad alimentaria las consultas son concretas referidas a procesos de algunos países.

En Colombia hay varios hechos por resaltar. El país está en una posición privilegiada para aprovechar los acuerdos internacionales que buscan financiar iniciativas de desarrollo sostenible. Empero, de cambio climático y los temas conexos se habla mucho, pero se hace poco (Monsalve, 2017). Los reportes de Google Trends parecen corroborar el interés a lo largo del tiempo por estos temas (figura 2).

Figura 2. Interés por el cambio climático, la seguridad alimentaria, el hambre, el agua y las migraciones



Fuente: Google Trends (2017).

En 2012, el interés por el cambio climático tuvo un pico de popularidad de 83 sobre 100. En 2017, el pico más alto fue 58 para el cambio climático, 45 para el agua potable, 6 para la seguridad alimentaria, 4 para el hambre y 1 para la migración. El interés por subregión en 2017 se concentra en cambio climático en Bogotá en 100, en Cundinamarca en 68 y en Antioquia en 67. Los demás temas no generaron el número suficiente de consultas para

mostrar reportes. Llama la atención que se percibe el derretimiento de los glaciares, el blanqueamiento de corales, la pérdida de playas y la erosión costera, las lluvias, las sequías extremas y los animales en peligro (*Semana*, 2017). El agua escasea por procesos de urbanización, cambios en el uso de la tierra y degradación ambiental, a lo que se suma la débil gobernabilidad y el costo económico de los frecuentes desastres naturales de origen climático. Además, los costos económicos de la contaminación hídrica ascendieron al 3,5% del PIB, y el costo oculto de la mala calidad del agua y de los servicios de saneamiento podría ascender al 1% del PIB (Duque-Escobar, 2016). El 43% de los colombianos no tiene seguridad alimentaria, ello significa que casi la mitad de la población no tiene acceso diario a suficiente comida nutritiva y asequible (Asociación Ambiente y Sociedad, 2016). En 2016 murieron 100 niños en Colombia por desnutrición (*El Tiempo*, 2016), y Colombia tiene el mayor número de desplazados del mundo —7,3 millones, 340.000 colombianos en el extranjero (Acnur, 2017)—.

Es posible que gobierno, medios, ONG y academia no sepan comunicar. El gobierno redacta documentos de políticas públicas de cambio climático con un lenguaje muy técnico sin seguimiento de acciones. En 2001 se publicaron algunos documentos dirigidos a los municipios ("Los escenarios de cambio climático", "El inventario de gases de efecto invernadero" y "Análisis de vulnerabilidad y riesgo por cambio climático para los municipios de Colombia"). Los medios han fallado porque transmiten en su mayoría lo que el gobierno de turno emite o cuando hay tragedias. Las ONG sí producen documentos que son resultado de trabajo de campo y se expresan en campañas y divulgación. La academia publica documentos especializados en inglés, hecho que no permite su acceso a los demás actores (Monsalve, 2017). Los medios actúan en tres momentos: la producción de noticias, el discurso público y el consumo de noticias. En cualquier caso, la población se siente con frecuencia paralizada por sentimientos de desolación, desesperanza, impotencia y falta de confianza en el Estado y los gobiernos respecto de la efectividad de sus decisiones (Maxwell y Roberts, 2007).

Colombia en contexto

Colombia es un país rico en recursos hídricos, con clima de comportamientos variados y precipitación regida por el doble paso de la Zona de Confluencia

Intertropical (ZCIT). Empero, también existe la influencia de los vientos alisios y los eventos de variabilidad climática como El Niño y La Niña, además de las condiciones orográficas que se alteran por los gases de efecto invernadero (Arango, Dorado, Guzmán y Ruiz, 2012, p. 3). Para el fin de siglo se prevé un incremento generalizado de precipitación excepto la región norte cerca de La Guajira, con decrecimiento de 10% (Hurtado y Mesa, 2015). Se espera que entre 2011 y 2100 haya una disminución de la precipitación en la mayor parte de las regiones Andina y Caribe. Para el Pacífico y los departamentos de Caquetá y Amazonas se presentaría un aumento ligero de precipitación, y en la parte oriental de Colombia no se esperan cambios significativos. La temperatura media presentaría incrementos entre 0,5 y 1,5 °C en los primeros años, y puede llegar a anomalías de hasta 2,5 °C en casi todo el territorio nacional para el periodo 2031-2040, que puede llegar incluso a 5,5 °C para la región Andina, hacia la década 2091-2100 (Arango et al., 2012, p. 4). La distribución de desastres en Colombia incluye inundaciones (66%), temblores (19%), tormentas (7%), deslizamientos (5%) y epidemias (2%) (The World Bank Group, 2011).

A juicio de Garay (2013), la adopción en Colombia de modelos económicos que privilegian la apertura comercial y de fronteras ha generado riesgos para el medio ambiente, como la aparición de los grandes cultivos comerciales; la inversión en minería legal e ilegal con mínimos controles; el descontrolado crecimiento urbano; la construcción de gran infraestructura; el avance desaforado de la deforestación; el impacto en la calidad de agua, suelo y aire, y, dadas las características del país, la pérdida de biodiversidad.

La mayoría de la población colombiana reside en dos áreas: la andina, donde escasea el agua y se presentan derrumbes, y las costas y áreas insulares, que se afectan por los niveles del mar y las inundaciones. El país es rico en recursos naturales y se estima que conserva entre el 10 y el 15% de la biodiversidad mundial. Sin embargo, se prevén efectos en el largo plazo en los únicos y frágiles ecosistemas. El 95% del agua usada en producción y actividades domésticas se extrae de los ríos Magdalena y Cauca y sus subsidiarios (The World Bank Group, 2011).

¿Hay solución?

El problema de la pobreza en los países del tercer mundo no puede ser solamente analizado desde la perspectiva del cambio climático, porque un análisis hecho desde esta óptica solo puede dar soluciones parciales y funcionales a la continuidad del sistema capitalista, sin hacer cambios profundos que abarquen íntegramente el problema de las actuales tendencias sobre pobreza y ambiente. Así, la relación pobreza y ambiente debe ser estudiada en relación con un fenómeno reciente y rápido, como es el cambio de uso del suelo, vinculado a una nueva ola de agricultura agroindustrial (Delgado, Espina y Sejenovich, 2013, p. 79).

Hay propuestas desde todos los rincones, las cuales, curiosamente, se ubican en las antípodas ideológicas. Por un lado, están los ecologistas radicales, que proponen la inmediata detención de toda actividad económica que incluya extracción de recursos;[4] por el otro, se encuentra el extremo que representa la negación del cambio climático (como las propuestas de Donald Trump y de quienes los respaldan). El capitalismo y el libre mercado son propiciadores de la explotación indiscriminada de recursos (Klein, 2007 y 2010). Una opción intermedia es el desarrollo sustentable, que

> [...] desde su primera aparición pública de cierta significación en la estrategia Mundial de conservación de 1980, múltiples conceptos han sido elaborados. Su definición más extendida, formulada por la comisión Brutland, establece por desarrollo sostenible a aquel que: *"satisface las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades"* – concepto cuya ambigüedad fue eficazmente explotada en aras de readecuar el discurso neoliberal a los nuevos tiempo. (Delgado, Espina y Sejenovich, 2013, p. 59)

El desarrollo sustentable pone en perspectiva al ser humano como parte del ambiente, la vida, la evolución y las sociedades agrícola e industrial. Ello supone análisis profundos de los ecosistemas y las poblaciones, la demografía, la biogeografía y las comunidades como también de la

4 Véanse Lovelock (2012), famoso por la teoría Gaia, y Zerzan (2001), con sus propuestas de ciudades lentas, alimentación lenta y el decrecimiento económico.

inclusión de los recursos naturales, minerales y energéticos, de las fuentes alternativas de energía, del suelo y el agua, de los recursos bióticos, de la agricultura y la alimentación, de los recursos acuáticos y de las alternativas para la sostenibilidad de los recursos. Tiene en cuenta la contaminación, sus orígenes, consecuencias y soluciones, la contaminación atmosférica, del agua y del suelo, los residuos sólidos, el impacto y el riesgo ambiental, las tecnologías limpias, la prevención, el control de la contaminación industrial y la legislación. En esencia, el desarrollo sostenible tiene un soporte económico y biológico que persigue equidad, eficiencia y participación del Estado y la comunidad, con especial énfasis en la educación (Enkerlin, Cano, Garza y Vogel, 2000).

La Universidad de La Salle, sede Bogotá, incluye en sus horizontes de sentido el Desarrollo Humano Integral y Sustentable (DHIS):

> El desarrollo humano integral y sustentable implica que el respeto y defensa de la dignidad de la persona es el centro de los procesos de desarrollo social, científico y cultural tanto para las presentes como para las futuras generaciones. Como referente, que debemos preservar y reforzar, entendemos que nuestra misión se articula en torno al desarrollo con las siguientes características: socialmente participativo, culturalmente apropiado, técnicamente limpio, ecológicamente compatible, económicamente viable y sostenible, políticamente impactante, y éticamente responsable y pertinente. (Universidad de La Salle, 2007, p. 11)

Empero, las críticas a la consistencia de esta propuesta consideran lo siguiente:

> La construcción del desarrollo sostenible, de manos de la visión hegemónica capitalista, pasó por el reconocimiento de tres dimensiones fundamentales: la sostenibilidad económica, la sostenibilidad ambiental y la sostenibilidad social. Sus objetivos esenciales podrían resumirse en alcanzar: (i) la eficiencia en la utilización de los recursos y mayores índices de crecimiento económico; (ii) la preservación de los sistemas físicos y biológicos que sirven de sustento al conjunto de los seres vivos; y (iii) la lucha contra la pobreza y por la equidad social, respectivamente... en este contexto, la pobreza se reconoce

> como el más grave problema ambiental y a los pobres como grandes contaminadores, llegando a identificarse incluso a los mismos como la causa fundamental del deterioro ambiental. (Delgado, Espina y Sejenovich, 2013, p. 61)

El desarrollo sustentable como esfuerzo continuo por equilibrar e integrar el bienestar social, la prosperidad económica y la protección del medio ambiente tiene detractores: la creencia religiosa de que la tierra está para ser explotada por la humanidad; creer todavía que es posible el desarrollo, pensar que la tierra seguirá igual, conducen a "la probabilidad de un cambio climático global desastroso" (Lovelock, 2012).

¿Qué no hacemos? Vistos estos efectos se creería que la humanidad toma conciencia. En sentido contrario, el parque empresarial mira para otro lado: los temas éticos brillan por su ausencia —carteles de los pañales, del papel higiénico, de los cuadernos, del azúcar, entre otros (Jaccard, 2016)—. Otros empresarios se decantan por la obsolescencia programada —obsolescencia sistémica, logística, de inventarios, de manejo, psicológica y económica, entre otras— en detrimento de los recursos del planeta (Amankwah-Amoah, 2017). Empresarios y gente del común desperdician los alimentos —Asia y Europa contribuyen al desperdicio del 54 % de cereales, la emisión de CO_2 es encabezada por China y Estados Unidos, seguida del desperdicio de alimentos en todo el mundo (Food Wastage Footprint, 2013)—. En Colombia no parece que se haya superado al "sabio" Caldas, quien decía "¿En qué lugar de mi discurso he dicho que el clima tiene tanto influjo sobre el hombre, que le quite la libertad de sus acciones?" (Jaramillo, 2001, p. 291).

Una propuesta desde la Colombia profunda

Colombia es una nación de riqueza enorme, que incluye la variedad de grupos étnicos. En 2005, los indígenas sumaban 1,3 millones (3,4 %), los afrocolombianos 4,3 millones (10,6 %) y casi 5000 rom (0,01), de un total de 41,4 millones de habitantes (figura 3). Estos grupos étnicos se ubican en zonas definidas, aunque para ellos no son claras dadas las culturas y las condiciones de movilidad.

La población indígena es joven (40 % es menor de 15 años), y hay pocos viejos. La población afrocolombiana joven es la tercera parte. La población

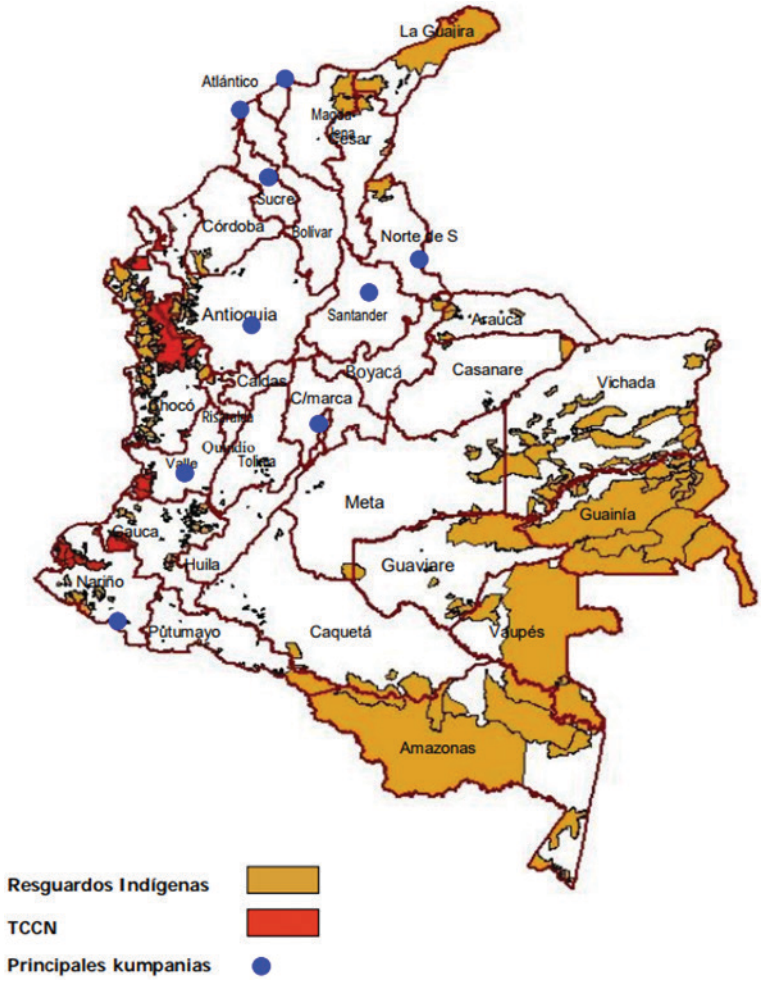
rom tiene un proceso de envejecimiento mayor que el de la población nacional (DANE, 2017). El nivel educativo de los indígenas muestra que solo 2,7 % tiene educación superior, 0,1 % media, 1,38 % básica secundaria, 3,71 % primaria y 4,2 % preescolar (DANE, 2007).

En los años setenta y con la Ley 135 de 1961 (Ley de Reforma Agraria), se inició el reconocimiento legal de tierras a grupos indígenas. En desarrollo de la ley se asignaron nuevas tierras a los indígenas en zonas marginales con la figura jurídica de las reservas. Con esta figura se crearon 158 unidades territoriales entre 1965 y 1986 sobre un área de 12 millones y medio de hectáreas. Aunque parecen grandes extensiones, casi todo se encuentra fuera de la frontera agrícola y son de régimen de baldíos a cargo de la nación (Jimeno, 1992).

Sin embargo, 35 pueblos indígenas de Colombia están en inminente riesgo de desaparecer física y culturalmente. Los acechan el conflicto armado, la falta de seguridad alimentaria y el riesgo de que se desvanezca su cultura. Sufren los efectos de la fumigación de sus suelos cuando el Estado pretende acabar los cultivos ilícitos, y los actores del conflicto los incluyen a través del reclutamiento, las amenazas, los asesinatos y el desplazamiento forzado. Los indígenas no son pobres, sino que están empobrecidos por falta de oportunidades. En algunas regiones no hay escuelas ni centros de salud. Y donde hay escuelas no se reconoce la diferencia cultural —los indígenas colombianos hablan más de 64 lenguas de 14 familias lingüísticas (Jimeno, 1992)—. La explotación de recursos naturales como metales y petróleo se hace en zonas de resguardos donde han llegado las transnacionales de manera inconsulta (véanse las sentencias de la Corte Constitucional que a la fecha no se han cumplido) (*El Tiempo*, 2013).

> La Defensoría ha constatado que un número significativo de niños y niñas, en su mayor parte del pueblo Wayúu, ha muerto en el departamento de La Guajira durante los últimos meses por causas perfectamente evitables; hechos que deben avergonzar a toda la sociedad y, en particular, a quienes hacemos parte del poder público y a quienes ejecutan políticas públicas dirigidas a esta población en particular. (Defensoría del Pueblo, 2014, p. 7)

Figura 3. Ubicación geográfica de los resguardos indígenas, territorios colectivos de comunidades negras y kumpanias del pueblo rom



Fuente: Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE, 2017).

Fucai: una propuesta diferente

Ruth Consuelo Chaparro Gómez nació en Bogotá y es comunicadora social. Con varios profesionales creó en 1991 la Fundación Caminos de Identidad (Fucai). Es una propuesta para complementar los pobres resultados de la gestión estatal con las comunidades alejadas de los espacios urbanos en temas de educación y desarrollo social de comunidades marginales indígenas, campesinas y urbanas marginales (Fucai, 2017). Al rescatar su identidad y prestar el servicio de educación pertinente, combate los efectos del cambio climático.

En principio sus intervenciones abarcaron la Amazonia con un alcance de 100%, Vaupés y Guainía; más adelante, Brasil y Perú. ¿La razón? Al trabajar con los indígenas se cruzan las fronteras, que para esas comunidades no existen, y entraron a esos países. Más adelante aparecieron nuevos aliados para su trabajo. Los proyectos de Fucai se desarrollan no solo en Colombia, sino también en los países que forman parte de la Panamazonia.

Su propuesta se basa en un enfoque real de garantía de derechos. Se abordan temas prioritarios para las comunidades. "Cómo acudir apoyo a autoridades nacionales e internacionales para no acudir a acciones de hecho. Cómo hacer una tutela, cómo hacer un derecho de petición, cómo hacer valer sus derechos sin acudir a la fuerza" (Chaparro, 2017). La vasta experiencia de Ruth Chaparro le permite afirmar:

> Las cifras son claras: 5000 niños muertos en la Guajira en 5 años, por encima de Angola; muertos por exclusión, racismo, corrupción, inequidad, indiferencia [...] perdieron 100% de masa muscular [...] todas son causas prevenibles. Con un crecimiento del PIB de 7,27 frente a 4,5 nacional, con energía eólica, con una zona minera, mucho carbón, sal, petróleo y turismo, queda claro que no es por falta de recursos. A pesar de estar en sus tierras no tienen apoyo de los gobiernos local, regional o nacional. Murieron niños por falta de comida y agua. El Comité Interamericano de Derechos Humanos emitió medidas inmediatas. Hace dos años dictaron esas medidas cautelares y aun no pasa nada. (Chaparro, 2017)

¿Qué ha hecho? Fucai, con apoyos nacionales e internacionales, ha creado escuelas y colegios en medio de la selva, en todos los niveles académicos. En la Chorrera, Amazonas, el 100% de licenciados políglotas se ha formado

en convenio con universidades. Han prestado servicios de educación aplicada e intercultural a 225.000 indígenas. Además, han trabajado en soberanía alimentaria con 800 familias y han sembrado 3000 hectáreas con 191 especies amazónicas. Para mitigar los efectos del cambio climático, y con miras a su adaptación, la fundación ha diseñado y ha puesto en marcha un modelo de intervención que incluye las aulas vivas como dispositivo pedagógico que comprende el trabajo, la danza y los rituales. Trabajaron con Colciencias, que los reconoció como centro de investigación, con distintos métodos. Tienen 140 publicaciones y videos de apoyo. En esencia,

> [...] volvimos a la tierra, a sembrar. Nuestros profesionales manejan conocimientos disciplinares, pero además deben saber sembrar, deben saber de agricultura. Trabajamos la multidisciplinariedad: el nutricionista debe interactuar con el abogado, con el agrónomo, Creemos en el poder de la palabra: usted tiene que mostrar en su vida lo que usted dice, así nos escuchan. No puedo promover agricultura si no sé sembrar. La fuerza de la palabra es la que da autoridad moral. Hablar de preservar el medio ambiente teniendo el río contaminado. (Chaparro, 2017)

El paso por la universidad le dejó muchas preguntas a la academia:

> La universidad debe apostar sin miedo a los principios éticos. Son bienvenidas la ciencia y tecnología siempre que no se haga daño a la gente y al medio ambiente. Me pregunto, ¿cómo se puede pontificar y tomar decisiones sobre un país que se conoce a través de *video beam*? No es posible conocer el mundo entre cuatro paredes, despejamos el territorio para vivir encerrados. Aprendí de Quintín Lame que para conocer el territorio hay que conocerlo, hay que recorrerlo primero con la mirada y luego caminarlo. Entre otras razones porque no tenemos control territorial y porque no hay zonas vedadas. Los límites y fronteras no existen en la realidad. Ojalá se entienda que nosotros necesitamos las regiones, posiblemente ellas no nos necesiten a nosotros. (Chaparro, 2017)

Conclusiones

Parece haber relaciones de causalidad y reforzamiento entre el cambio climático y la crisis social, basadas en la certeza de que la sociedad no puede superar la marginación con la estructura de consumo. Por ello se insiste en la revisión de los modelos imitativos de consumo para superar la dependencia cultural y hacer posible un uso más eficiente de los recursos generados en la periferia (Delgado, Espina y Sejenovich, 2013; Max-Neef, Elizalde y Hopenhayn, 2012). Las cifras muestran efectos del cambio climático en la seguridad alimentaria, el hambre, el agua y las migraciones, en un modelo que ensalza el mercado, enaltece el crecimiento, se basa en tecnologías dependientes del petróleo y detenta una tasa de consumo de bienes y servicios que crece a un ritmo más alto que su crecimiento demográfico.

Las propuestas de solución viables deben considerar una adecuada calidad de vida, la relación solidaria entre las personas y la naturaleza con una intensidad energética mucho menor. Deben promover la conservación y manejo de los recursos naturales con los más pobres, ojalá mujeres, que en su mayoría se ocupan de cultivar la tierra y producir alimentos, y que consideren que la agricultura es cultura, además de un método de producción. La propuesta de Fucai y el grupo de trabajo de Ruth Chaparro, mujer Cafam 2011, cumple esas condiciones, a partir de la educación basada en un modelo de aulas vivas.

Bibliografía

Acnur. (2017). *Situación Colombia*. Recuperado de www.acnur.org/fileadmin/scripts/doc.php?file=fileadmin/Documentos/BDL/2017/10938

Amankwah-Amoah, J. (2017). Integrated vs. add-on: A multidimensional conceptualisation of technology obsolescence. *Technological Forecasting and Social Change, 116*, 299-307.

Arango, C., Dorado, J., Guzmán, D. y Ruiz, F. J. (2012). *Cambio climático más probable para Colombia a lo largo del siglo XXI respecto al clima presente*. Bogotá: Ideam.

Asociación Ambiente y Sociedad. (2016). *Seguridad alimentaria*. Bogotá: Comunicaciones Ambiente y Sociedad.

Ávila, A. y Valencia, L. (2016). *Los retos del postconflicto*. Bogotá: Ediciones B.

Black, R., Skeldon, R., Coppard, D., Murata, A. y Schmidt-Verkerk, K. (2008). *Demographics and climate change: future trends and their policy implications for migration*. Brighton: University of Sussex.

Carbon Footprint. (s. f.). *Calculator*. Recuperado de http://calculator.carbonfootprint.com/calculator.aspx?lang=es

Carson, R. (1962). *Primavera silenciosa*. Barcelona: Crítica.

Chaparro, R. (15 de junio de 2017). Entrevista Fucai. J. Gámez, entrevistador.

Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (2007). *La visibilización estadística de los grupos étnicos colombianos*. Bogotá: autor.

Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (2017). *Colombia una nación multicultural.* Bogotá: autor. Recuperado de: https://www.dane.gov.co/files/censo2005/etnia/sys/colombia_nacion.pdf

Defensoría del Pueblo. (2014). *Crisis humanitaria en La Guajira, 2014*. Bogotá: autor.

Delgado, G. C., Espina, M. y Sejenovich, H. (2013). *Crisis socioambiental y cambio climático*. Buenos Aires: Clacso.

Duque-Escobar, G. (29 de agosto de 2016). Las cuentas del agua. *La Patria*.

El Tiempo. (11 de agosto de 2013). Indígenas, entre el hambre, la violencia y el olvido. Recuperado de: http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-12986822

El Tiempo. (4 de junio de 2016). Más de 100 niños muertos por probable desnutrición en 2016: INS. Recuperado de: http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-16611623

Enkerlin, E., Cano, G., Garza, R. y Vogel, E. (2000). *Ciencia ambiental y desarrollo sostenible*. México: Thomson.

Evelyn, J. (2016). *Sylva, a discourse of forest trees*. Londres: Bloomsbury.

Fisheries and Oceans Canada. (2013). *Climate change assessment in the arctic basin part 1: Trends and projections – A contribution to the Aquatic Climate Change Adaptation Services Program*. Sidney: autor.

Food Wastage Footprint. (2013). *Food wastage footprint: Impacts on natural resources – Summary report*. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

Fundación Caminos de Identidad. (30 de mayo de 2017). *La historia de Fucai*. Recuperado de http://www.fucaicolombia.org/historia.php

Gámez, J. (2014). El crecimiento económico es diferente al desarrollo humano integral y sustentable: una reflexión para contribuir al bienestar. *Traza,* 5(9), 72-88.

Garay, L. (2013). *Minería en Colombia. Fundamentos para superar el modelo extractivista*. Bogotá: Contraloría General de la República.

González, P. (2016). *Climate change trends, vulnerabilities, and carbon in Yosemite National Park, California, USA*. Natural Resource Stewardship and Science.

Google Trends. (26 de agosto de 2017). Recuperado de https://trends.google.es/trends/explore?date=today%205-y&q=climate%20change,food%20security,starvation,drinking%20water,population%20migration

Grupo de Memoria Histórica. (2013). *¡Basta ya! Colombia: Memorias de guerra y dignidad*. Bogotá: autor.

Hurtado, A. y Mesa, O. (2015). Cambio climático y variabilidad espacio-temporal de la precipitación en Colombia. *EIA, 12*(24), 131-150.

Jaccard, N. (2016). *La rosca nostra*. Bogotá: Planeta.

Jancovici, J.-M. (2010). *El cambio climático explicado a mi hija*. Buenos Aires: Fondo de Cultura Económica.

Jaramillo, J. (2001). *El pensamiento colombiano en el siglo XIX*. Bogotá: Ediciones Uniandes.

Jimeno, M. (1992). *Los indígenas colombianos, hoy: su situación real, problemas y alternativas.* Bogotá: Revista Credencial Historia.

Klein, N. (2007). *No logo*. Barcelona: Paidós.

Klein, N. (2013). *La doctrina del shock.* Madrid: Booket.

Lovelock, J. (2012). *La venganza de la tierra*. Madrid: Booket.

Mata, D. (2014). *The health impacts of severe climate shocks in Colombia*. Washington: Inter American Development Bank.

Max-Neef, M. (2012). *El mundo en rumbo de colisión* [Video]. Recuperado de https://www.youtube.com/watch?v=015Te4yPrho&feature=youtu.be

Max-Neef, M., Elizalde, A. y Hopenhayn, M. (2012). Desarrollo y autodependencia. En M. Max-Neef (Ed.), *Desarrollo a escala humana* (pp. 83-115). Santiago: Mimeo.

Maxwell, B. y Roberts, J. T. (2007). *Media coverage of climate change: current trends, strengths, weaknesses*. Washington: United Nations Development Programme.

Monsalve, M. (17 de junio de 2017). Colombia no sabe cómo hablar de cambio climático. *El Espectador.* Recuperado de https://www.elespectador.com/noticias/medio-ambiente/colombia-no-sabe-como-hablar-de-cambio-climatico-articulo-699099

Nachmany, M., Fankhauser, S. y Setzer, J. (2017). *Global trends in climate change legislation and litigation*. Londres: The Centre for Climate Change Economics and Policy.

Organización Mundial del Comercio. (2016). *Estadísticas del comercio internacional 2015*. Recuperado de https://www.wto.org/spanish/res_s/statis_s/its2015_s/its2015_s.pdf

Oxfam. (2018). *Calculadora de la desigualdad*. Recuperado de http://www.oxfam.org/es/iguales/calculadora-de-la-desigualdad

Oxfam. (s. f.). Recuperado de http://www.oxfam.org.

Pierri, N. (2005). *Historia del concepto de desarrollo sustentable. ¿Sustentabilidad? Desacuerdos sobre el desarrollo sustentable*. México: Universidad Autónoma de Zapatecas.

Rankia. (s. f.). Recuperado de http://www.rankia.com

Rendón, J. (2006). El desarrollo humano sostenible: ¿Un concepto para las transformaciones? *Equidad y Desarrollo,* (7), 111-129.

Rieff, D. (2016). *El oprobio del hambre*. Bogotá: Taurus.

Sabin Center, UN Enviroment. (2017). *New study identifies key trends in Worldwide Climate Change Litigation*. Londres: autor.

Semana. (2017). Cinco efectos visibles del cambio climático en Colombia. Recuperado de http://www.semana.com/nacion/articulo/efectos-del-cambio-climatico-en-colombia/512637

The World Bank Group. (2011). *Climate country risk and adaptation country profile*. Washington: autor.

Tribuna Feminista. (2016). *El cambio climático tiene género*. Madrid: Tribuna.

Universidad de La Salle. (2007). *Proyecto educativo universitario lasallista*. Bogotá: Ediciones Unisalle.

Velásquez-Tibatá, J. y Salaman, P. (2012). *Effects of climate change on species distribution, community structure, and conservation of birds in protected areas in Colombia*. Nueva York: Springer-Verlag.

Wentz, J. (2017). Planning for the effects of climate change on natural resources. *Enviromental Law Reporter,* (47), 1-25.

Wulf, A. (2017). *La invención de la naturaleza. El nuevo mundo de Alexander Humboldt*. Bogotá: Taurus.

Zerzan, J. (2001). *Futuro primitivo y otros ensayos*. Valencia: Numa Ediciones.

Cambio climático y salud animal

*Jaime Romero**

El fortalecimiento de capacidades es una tarea común de varios actores, entre ellos las organizaciones internacionales de cooperación técnica y, por definición misional, la academia. El Doctorado en Agrociencias de la Universidad de La Salle (Colombia) en la ejecución del encuentro anual de sus estudiantes doctorales releva el cambio climático (CC) como un tema de interés que le impone desafíos a la investigación y la innovación. Las agrociencias (Romero y Villamil, 2011) se conciben como una aproximación práctica desde la investigación hacia la solución de problemáticas en el contexto de la construcción y consolidación de una *nueva ruralidad* (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura [IICA], 2000) en una perspectiva interdisciplinar.

El presente documento responde a la invitación del Doctorado en Agrociencias al IICA en el contexto de su convenio marco para compartir experiencias y puntos de vista sobre el CC y la salud animal. El encuentro permitió intercambiar visiones y conocer los adelantos que se vienen desarrollando en las investigaciones doctorales en agrociencias, con el fin de crear el diálogo con problemáticas propias del CC.

Este artículo incluye cuatro partes: la primera describe el contexto institucional y misional desde donde se plantean las reflexiones; la segunda presenta los elementos conceptuales de la salud animal y los programas sanitarios; la tercera trata sobre la asociación entre salud animal y CC; y la cuarta expone la descripción de algunas acciones que el IICA está ejecutando en el tema.

Se agradece al Tema Estratégico Sanidad Agropecuaria e Inocuidad de los Alimentos (SAIA) y a la Representación IICA (Colombia) por facilitar la participación del autor en el Encuentro de Agrociencias 2017.

* Ph.D. Especialista Internacional Sanidad Agropecuaria e Inocuidad de los Alimentos. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). Correo electrónico: jaime.romero@iica.int

El Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura y la Sanidad Agropecuaria e Inocuidad de los Alimentos

El IICA es el organismo del sistema interamericano que se especializa en agricultura y promoción del bienestar de la población rural. Con su Red Hemisférica de 35 representaciones ejerce labores de cooperación técnica desde hace 75 años, siguiendo las directrices y demandas de sus Estados miembro. En la actualidad estamos ejecutando el plan estratégico, orientado a cuatro grandes objetivos sobre *productividad* y *competitividad*: contribución de la agricultura al bienestar rural, mitigación y adaptación al CC, mejor uso de los recursos naturales y contribución de la agricultura a la seguridad alimentaria de las Américas (IICA, 2014).

El IICA aborda su quehacer aplicando los diversos instrumentos de cooperación técnica, con un enfoque en el que los recursos se utilizan en actividades para crear productos y servicios que terminan en contribuciones del IICA (bienes públicos internacionales). Estas, al enlazarse con las actividades y resultados de nuestros socios, crean una cadena virtuosa de impactos que termina en transformaciones dentro de los países y contribuyen a los cuatro objetivos estratégicos señalados antes (IICA, 2014).

El acuerdo firmado entre el IICA desde su representación en Colombia y la Universidad de La Salle es un ejemplo de la manera como se trabaja colaborativamente con los socios en los países, y cómo las actividades conjuntas potencian el logro de los objetivos misionales de cada institución y aportan a las transformaciones esperadas en cada país y en el hemisferio.

En cuanto al tema atinente al Encuentro de Agrociencias 2017 y, en particular, al objeto de la presentación realizada en este y que finaliza en este artículo, el IICA realiza múltiples actividades en las cuales emplea diferentes instrumentos de cooperación. De todo esto, se resalta el hecho de que se tienen el proyecto insignia "Resiliencia y gestión integral de riesgos en la agricultura", en el cual un componente se concentra en riesgos sanitarios y CC (IICA, 2017a), y el Programa de Sanidad Agropecuaria e Inocuidad de los Alimentos (SAIA) que implementa acciones con su red de especialistas en los países, para "promover un sector agrícola productivo, rentable y competitivo que proporcione alimentos inocuos a los mercados locales, regionales y globales mediante la aplicación de medidas sanitarias y fitosanitarias apropiadas" (IICA, 2017b).

La salud animal y el clima

La agricultura en conjunto es altamente dependiente y vulnerable a los cambios en el clima. La producción de alimentos en principio parte del proceso fotosintético y luego en los sistemas de producción animal se produce proteína a partir de la alimentación de los animales. Dicha producción, por ende, depende de los recursos naturales y el ambiente: agua, suelos, lluvia, temperatura, humedad relativa, entre otros.

Desde finales del siglo pasado, y en especial en el siglo XXI, se ha incrementado notoriamente la demanda de proteína de origen animal, resultado de las dinámicas de crecimiento económico, demográfico y urbanización. La respuesta desde la oferta ha sido notoria con incrementos de producción y comercio. En ambas situaciones los países en desarrollo desempeñan un papel protagónico. Este fenómeno sienta las bases para configurar lo que se ha definido como la nueva revolución alimentaria o el siglo de la proteína de origen animal (Delgado et al., 1999).

Sin lugar a dudas, la producción de alimentos es muy importante, pero también es necesario señalar que las poblaciones animales cumplen funciones adicionales para el bienestar de la humanidad. Los animales interactúan con las personas y por ello tenemos animales domésticos tanto en el mundo rural como en el urbano desde hace miles de años.

Los animales domésticos de granja se suelen ubicar en el mundo rural y allí cumplen sus procesos biológicos que generalmente se asocian a ciclos productivos de largo o corto plazo, según sea el caso del sistema. Estos sistemas de producción generan múltiples beneficios a las personas. Se ha hecho hincapié en que los animales son fundamentales para la sobrevivencia de las personas (autoconsumo de proteína); son base del ahorro y de la seguridad de las familias; son clave como animales de trabajo en muchas regiones; en algunos casos son también generadores de energía (biogás, abono, etc.) y, sin duda, son fuente de ingreso por la venta de productos y animales vivos (Delgado et al., 1999). Aún más, los animales cumplen importantes funciones como compañía, fuente y depósito de afecto y forman parte de la cultura de las sociedades.

La forma como se ha ampliado el papel de los animales en la sociedad y la cultura y, junto a ello, la intensificación de sistemas de producción de animales de granja han hecho que el valor de los individuos en contraste con las poblaciones se modifique, tanto desde el punto de vista económico como

sanitario, hacia el enfoque poblacional (Thrusfield, 2005; Rushton, 2013). La importancia de tener animales sanos, por la generación de beneficios descrita, se refuerza por la demanda creciente de alimentos inocuos que exige cadenas de valor saludables. Con esto se desafían los programas y políticas de salud animal (Rushton, 2013).

El clima es crítico para los sistemas de producción y también para tener cadenas de valor saludables. Los animales dependen del clima (lluvia, temperatura, humedad) para su alimentación, tanto por la producción de forrajes como de gran parte de las materias primas utilizadas en alimentación de monogástricos y suplementación. Aún más, dado que parte de la producción en Latinoamérica se realiza en pastoreo, el desarrollo, el bienestar y la sobrevivencia de los animales dependerá también del clima. Así pues, los desequilibrios en pluviosidad, radiación solar y temperatura tendrán efectos determinantes en la oferta alimenticia y en las condiciones para la sobrevivencia y el desarrollo animal.

Los animales como seres biológicos crecen, se reproducen y mueren, pero también por decisiones humanas son movilizados entre lugares; se compran y se venden, y en el proceso productivo se determina (anticipa) su muerte (faenado).

Entendemos que los sistemas de producción animal forman parte de una cadena de valor que involucra múltiples actores que producen en fincas; compran y transportan animales vivos y productos como leche y huevos; faenan, seleccionan y procesan, y finalmente ingresan a una compleja cadena de distribución y consumo de alimentos. Por lo descrito antes, el proceso de agregación y apropiación de valor que termina en alimentos inocuos es dependiente de la salud animal y también del clima.

Los programas de salud animal

De acuerdo con lo planteado por Martin, Meek y Willeber (1987), mientras que la salud humana se entiende como bienestar físico, mental y espiritual, la productividad se puede utilizar como la apropiada expresión de salud en animales. Así, la presencia de agentes causales de enfermedad corresponde solamente a uno de los limitantes de productividad y, por ende, de salud, lo cual complejiza los conceptos de *salud* y *enfermedad* en animales. La ocurrencia de enfermedad puede entenderse en el marco de una confluencia de

factores asociados a la clásica triada epidemiológica del ambiente, el huésped y el agente; o, como también alternativamente se puede entender, que los agentes forman parte del ambiente en el cual los huéspedes se encuentran, lo que configura el modelo de diada epidemiológica (Martin, Meek y Willeber, 1987). En cualquiera de estas dos aproximaciones, las variables biológicas como las decisiones humanas pueden potenciar o prevenir la salud o la enfermedad.

De todas maneras, la salud y la enfermedad comparten determinantes en los cuales el ambiente condiciona la productividad por ser un elemento que limita o favorece tanto la oferta de alimento como la presencia y transmisión de agentes causales de enfermedad, por señalar dos determinantes críticos de productividad (salud) altamente dependientes del clima.

La epidemiología veterinaria estudia los patrones de salud y enfermedad en condiciones de campo. Establece las condiciones que determinan tales factores (Martin, Meek y Willeber, 1987; Thrusfield, 2005), y por lo tanto sienta bases para gestionar tales determinantes a través de programas de salud animal (PSA). Un PSA es

> [...] la formalización por escrito y explícita de una serie sistemática de decisiones entorno a la preservación de la salud, la salvaguarda del estatus sanitario y la lucha contra las enfermedades en un contexto específico y con un alcance definido. Así pues, el PSA es la expresión de decisiones cargadas de alto contenido técnico. (Romero, 2017)

El diseño y evaluación de PSA en Latinoamérica se enmarca en un nuevo contexto en el cual los esfuerzos de los servicios oficiales y privados, los desafíos de comercio exterior, las exigencias de consumidores, los sistemas de producción diversos, la interacción público-privada, la voluntad y el compromiso de los productores y sus organizaciones, entre otros, han llevado a importantes logros en estatus sanitario que ponen en una dinámica de gestión de enfermedades endémicas la gerencia de los estatus de libre uso (Rojas y Romero, 2017). Es en ese nuevo contexto de la producción animal y de los servicios veterinarios en el hemisferio que se discuten los desafíos que el CC hace a la salud animal, y requiere trabajo colaborativo de diversos actores.

El cambio climático y la salud animal

Más allá de la relevancia del clima en la salud animal presentada en los párrafos anteriores, el foco de este documento se hace sobre los desafíos que plantea el CC, tal cual se entienden en el Grupo Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés *Intergovernmental Panel on Climate Change*). El CC es cualquier cambio en el clima a través del tiempo, sea por variación natural o resultado de actividades humanas (IPCC, 2002). Se expresa por incremento global de temperaturas promedio del aire y de los océanos que desencadenan, entre otros, cambios locales y globales que afectan la temperatura y la precipitación de manera continuada, además de los ecosistemas (IPCC, 2014). En particular para Latinoamérica y el Caribe se ha definido que la región tiene una posición asimétrica en cuanto contribuye poco al CC pero es altamente vulnerable a sus efectos (Cepal, 2015). En ese mismo sentido, la Cepal (2015), basada en reportes del IPCC, señala que en Centroamérica y Suramérica las temperaturas han crecido entre 0,7 y 1 °C desde mediados de los setenta, con la excepción de Chile, y que las precipitaciones anuales han crecido en el Cono Sur y han disminuido en Centroamérica y en la parte sur y central de Chile. Son resaltantes los efectos del fenómeno de El Niño y el incremento en frecuencia y severidad de huracanes, sequías e inundaciones.

Rojas-Downing et al. (2017) sintetizan que los efectos en la población ganadera por parte del CC son diversos y tienen que ver con calidad y cantidad de oferta de forrajes y sus efectos en productividad y reproducción; disponibilidad de agua para consumo; modificación del entorno por sequías o inundaciones y efectos en la salud animal. Respecto a la salud, plantean la mortalidad por efectos de temperatura, los desastres naturales (inundaciones o sequías) y la emergencia y reemergencia de enfermedades, dentro de las cuales las parasitarias y transmitidas por vectores tienen lugar privilegiado.

Existe una amplia disponibilidad de estudios que refiere la asociación entre el CC, la epidemiología y el control de las enfermedades animales. Entre esto se incluye un número especial de la *Revista Científica y Técnica* de la Organización Mundial de Sanidad Animal (OIE), que en 2008 reunió 20 artículos de relevancia en el tema que pueden ser consultados en su página web (2008).

En particular sobre la situación en Suramérica, Pinto et al. (2008) presentan la situación focalizando sus análisis en enfermedades como el

virus del Nilo occidental, el virus de lengua azul, la estomatitis vesicular y el gusano barrenador del ganado; señalan la ocurrencia de brotes, emergencia y reemergencia de enfermedades, e indican la importancia de ajustar los programas sanitarios y los sistemas de vigilancia y respuesta a emergencia a los desafíos del CC.

Riesgos sanitarios como los generados por la influenza aviar también han sido asociados al CC. Es así como los cambios en rutas y patrones de aves migratorias y la sobrevivencia del virus, tanto por la temperatura y la humedad como del ciclo asociado a especies de animales silvestres, también han sido resaltados (Lubroth, 2012).

Otro problema sanitario que afecta a casi la totalidad de los bovinos del mundo y que ocasiona pérdidas anuales cercanas a los 20 billones de dólares anuales (Castro, 1997) es la garrapata y la fiebre de garrapatas. En particular, los efectos del CC en el hábitat de la garrapata son notorios para las Américas, ya que allí se modifica la longitud de los ciclos en zonas endémicas y se expanden por zonas geográficas en regiones temperadas o zonas tropicales altas donde normalmente el parásito no podía completar el ciclo natural (Estrada-Peña, Sánchez, Quílez y Cacho, 2005). Los desafíos para la salud animal y los programas sanitarios en las Américas son múltiples y claman por inclusión permanente de las variables del clima en los idearios de diseño y evaluación de PSA.

Algunas acciones del Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura

Tal cual se presentó al inicio del documento, las acciones del IICA en la temática son múltiples. Se hace claridad que este aparte no corresponde a un inventario exhaustivo, solamente se reseñan algunas de ellas para ilustrar al lector con el abanico de acciones que se realizan y se ponen a disposición de las contrapartes.

Un tema de preocupación en el cual la salud animal y la pública están profundamente involucradas corresponde al manejo de los animales en desastres naturales, algunos de ellos asociados al clima. El IICA publicó un documento sobre la gestión de riesgo y la atención de animales en desastres, y realizó varios talleres presenciales y virtuales para abordar la problemática desde diferentes enfoques (Díaz, Trelles y Murillo, 2015). Es así como los

servicios oficiales como el Senasa Perú, en respuesta a las emergencias por fenómenos climáticos sucedidos en 2017, ha consultado y utilizado dichas experiencias aprendidas.

Tras el convenio IICA-Universidad de La Salle se publicó un documento y se realizaron talleres de validación en Colombia y Perú sobre el manejo de la garrapata y el CC (Benavides, Romero y Villamil, 2016). Además de la difusión y receptividad del material en el ámbito hemisférico, en particular en Uruguay, y en el contexto del Programa para el Control de la Garrapata y la Tristeza Parasitaria que adelanta el Ministerio de Agricultura en respuesta a los problemas sanitarios y de restricción de comercio por mal uso de acaricidas y tiempos de retiro, se ha aplicado el documento en complemento con otros instrumentos de cooperación técnica, como *acción de respuesta rápida*, y se está colaborando en un proyecto conjunto de investigación en el INIA y en el Servicio Oficial para Manejo de la Garrapata (2017-2020).

Complementariamente, también se tienen acciones que abordan la producción animal y su relación con el clima y que trascienden a la dimensión de salud. Con miras a incrementar las capacidades técnicas, institucionales y políticas para poder medir y responder al desafío de la emisión de gases de efecto invernadero con recursos del BID-Fontagro, se ejecuta un proyecto en los cuatro países andinos (Fontagro, 2017). Y en línea similar, se ha apoyado el espacio institucional para el desarrollo y el fomento de la ganadería sostenible, que incluye actividades institucionales con grupos de trabajo en política, planificación territorial, financiamiento, encadenamiento, gestión del conocimiento, formación, integración y comunicación, en una iniciativa cuya secretaría técnica ha ejercido la representación IICA-Colombia y que se denomina la Mesa de Ganadería Sostenible (MGS, 2017).

Paralelamente, el IICA implementa en conjunto con nuestras contrapartes múltiples acciones similares, asociadas a la gestión de riesgos sanitarios y el clima, en temas agrícolas, de inocuidad y desarrollo en conjunto.

Comentarios finales

Se resalta que el clima es una variable fundamental para la producción animal y un determinante crítico de la salud y enfermedad de los animales. Es fundamental llamar la atención sobre la necesidad de trabajo interinstitucional, el desarrollo de conocimiento y la formación de talento humano

que termine en soluciones puestas al servicio de los programas sanitarios y la formulación de políticas. El CC es una realidad que modifica el entorno en el cual la producción y la salud animal se desarrollan, y se requiere considerarlo para un apropiado diseño y evaluación de programas de salud. La cooperación técnica internacional se presenta como un actor participante de estos desafíos y que puede contribuir en diversas formas, siempre siguiendo los lineamientos de los Estados miembro y las contrapartes en los países. Las actividades conjuntas con la academia son de gran potencial, en la medida que se tienen objetivos comunes en cuanto al fortalecimiento de capacidades y gestión del conocimiento.

Bibliografía

Benavides, E., Romero, J. R. y Villamil, L. C. (2016). *Las garrapatas del ganado bovino y los agentes de enfermedad que transmiten en escenarios epidemiológicos de cambio climático.* Recuperado de: http://repiica.iica.int/docs/B4212e/B4212e.pdf

Castro, J. J. de. (1997). Sustainable tick and tick-borne disease control in livestock improvement in developing countries. *Veterinary Parasitology, 71*(2), 77-97.

Cepal. (2015). *The economics of climate change in Latin America and the Caribbean. Paradoxes and challenges of sustainbale development.* Recuperado de: http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/37311/S1420655_en.pdf

Delgado, C., Rosegran, M., Steinfeld, H., Ehui, S. y Courbois, C. (1999). *Livestock to 2020. The next food revolution. Food, agriculture, and the environment discussion. Paper 27*. Washinton: IFPRI, FAO, ILRI.

Díaz, A., Trelles, S. y Murillo, J. C. (2015). *La gestión del riesgo y la atención de animales en desastres.* Recuperado de: http://www.iica.int/sites/default/files/publications/files/2017/bve17038690e.pdf

Estrada-Peña, A., Sánchez, C., Quílez, J. y Cacho, E. del. (2005). A retrospective study of climatic suitability for the tick *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* in the Americas. *Global Ecology and Biogeography, 14*, 565-573.

Fontagro. (2017). *Proyecto: emisión de gases de efecto invernadero de la ganadería andina.* Recuperado de: https://www.fontagro.org/micrositios/proyecto-emision-de-gases-efecto-invernadero-14653/

Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. (2002). *Climate change and biodiversity.* En H. Gitay, A. Suárez, D. Dokken y R. Watson (Eds.).

Recuperado de: https://www.ipcc.ch/pdf/technical-papers/climate-changes-biodiversity-en.pdf

Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. (2014). *Climate change 2014 Synthesis Report*. Recuperado de: https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5_SYR_FINAL_All_Topics.pdf

Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. (2000). *Nueva ruralidad*. San José: IICA-Dirección de Desarrollo Rural Sostenible. Recuperado de: http://biblioteca.clacso.edu.ar/ar/libros/rjave/paneles/urra.pdf

Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. (2014). *Plan de mediano plazo 2014-2018: agricultura, oportunidades de desarrollo en las Américas*. San José, Costa Rica. Recuperado de: http://repiica.iica.int/docs/b3333e/b3333e.pdf

Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. (2017a). *Resiliencia y gestión integral de riesgos en la agricultura.* Recuperado de: http://www.iica.int/es/proyectos/resiliencia-y-gesti%C3%B3n-integral-de-riesgos-en-la-agricultura

Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. (2017b). *Programa de Sanidad Agropecuaria e Inocuidad de los Alimentos (SAIA).* Recuperado de: http://www.iica.int/es/proyectos/sanidad-agropecuaria-e-inocuidad-de-los-alimentos-saia

Lubroth, J. (2012). Climate change and animal health. *Building resilience for adaptation to climate change in the agriculture sector.* Recuperado de http://www.fao.org/docrep/017/i3084e/i3084e.pdf

Martin, W., Meek, A. y Willeber, P. (1987). *Veterinary epidemiology. Principles and Methods*. Iowa State Press.

Mesa de Ganadería Sostenible. (2017). *Página principal.* Recuperado de: http://mesaganaderiasoste.wixsite.com/principal.

Organización Mundial de Sanidad Animal. (2008). *Scientific and Technical Review, 27*(2). Recuperado de: http://web.oie.int/boutique/index.php?page=ficprod&id_produit=115&fichrech=1&lang=en&PHPSESSID=f57be0b329feb592fccdd25b793861ed

Pinto, J., Bonacic, C., Hamilton-West, C., Romero, J. y Lubroth, J. (2008). Climate change and animal diseases in South America. *Revue Scientifique et Technique (International Office of Epizootics), 27*(2), 599-613.

Rojas H. y Romero, J.R. (2017). Where to next with animal health in Latin America? The transition from endemic to disease-free status. *Revue Scientifique et Technique (International Office of Epizootics),* 36(1), 331-348.

Rojas-Downing, M., Poyan, A., Harrigan, T. y Wozniki, S. (2017). Climate change and livestock: impacts, adaptation and mitigation. *Climate Risk Management, 16*, 145-163.

Romero, J. (2017). *Guía para preparación de programas de salud animal con énfasis en el diseño de estrategias de intervención.* San José de Costa Rica: Publicación Técnica IICA.

Romero Prada, J. y Villamil Jiménez, L. (2011). Las agrociencias, una escuela de pensamiento para la nueva ruralidad. *Revista Universidad de La Salle,* (55), 67-97. Recuperado de: https://revistas.lasalle.edu.co/index.php/ls/article/view/515/435

Rushton, J. (2013). An overview analysis of costs and benefits of government control policy options. *Livestock disease policies: Building briges between science and economics*. Recuperado de: http://www.oecd.org/tad/agricultural-policies/livestock-diseases-2013.htm

Thrusfield, M. (2005). *Veterinary epidemiology*. 3.ª ed. London: Blackwell Science.

Cambio climático y pequeños productores: el caso de las prácticas agrícolas en Antioquia

*Tatiana Jiménez Valderrama**

Cambio climático

Los gases tipo invernadero, como el dióxido de carbono (CO_2), el óxido de nitrógeno (N_2O) y el metano (CH_4), son un factor altamente responsable del efecto de calentamiento global, y no es de olvidar que estos tres gases son, en gran medida, resultantes de las prácticas agrícolas en el país. Su incremento (figura 1), que puede ocasionarse también por el crecimiento demográfico, lleva a un aumento en los grados de temperatura.

Lau, Jarvis y Ramírez (2011) afirman que el aumento promedio de temperatura en Colombia para 2050 será de 2,5 °C, y aunque todavía no es muy notorio este incremento, sí se puede observar que desde la década de los noventa el comportamiento de la temperatura promedio ha comenzado a estar por encima del promedio histórico (figura 2).

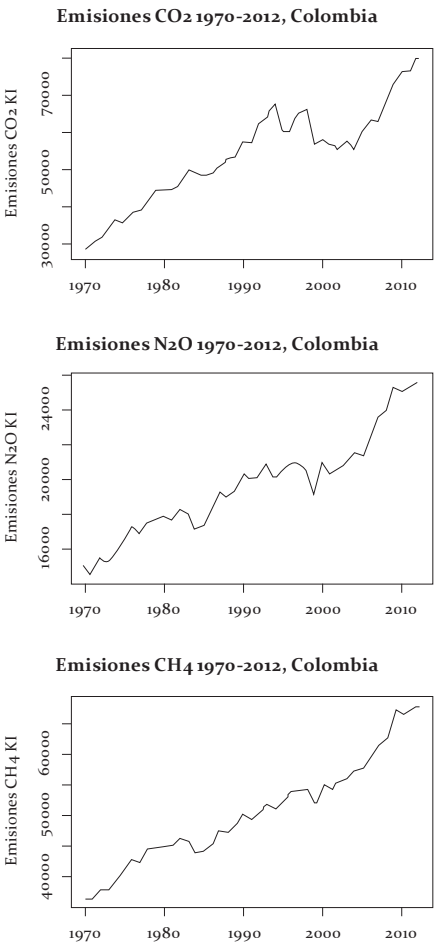
Otro de los factores en que se evidencia la influencia del cambio climático es el nivel de precipitaciones; en este asunto, Colombia es uno de los países más afectados. La recurrencia histórica de inundaciones, deslizamientos, avalanchas, sequías y estrés hídrico impactan el territorio y afectan la biodiversidad, los ecosistemas, los sectores productivos y la calidad de vida de las poblaciones, en especial las rurales (Barrera, 2015).

La seguridad alimentaria, la agricultura y el cambio climático se relacionan de manera compleja y dinámica. La agricultura es un factor esencial para el logro de la seguridad alimentaria; cualquier variación en las condiciones climáticas afecta, entonces, la seguridad alimentaria de la población. En el

* Profesora e investigadora del Departamento de Ciencias Básicas, Universidad de La Salle, Colombia. Correo electrónico: tjimenez@unisalle.edu.co

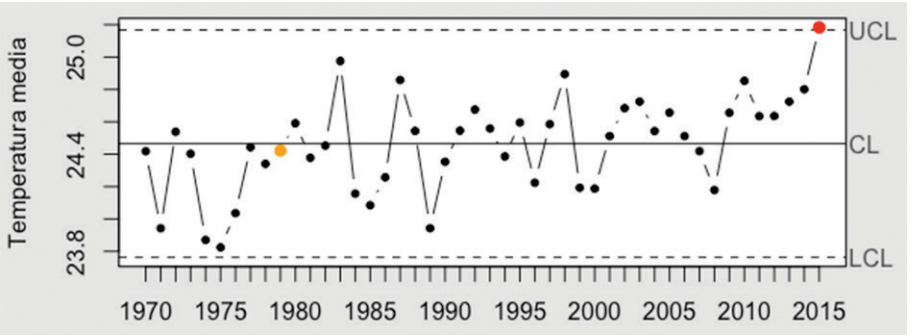
documento del Departamento Nacional de Planeación (DNP) et al. (2013), se afirma que los cambios en la distribución de las precipitaciones (figura 3), la frecuencia y severidad de fenómenos meteorológicos extremos, el aumento de riesgos de incendios, plagas y brotes de patógenos amenazan a los pequeños productores, que pasan a ser los más vulnerables a los impactos del cambio climático.

Figura 1. Comportamiento de los gases de invernadero en Colombia, 1970-2012



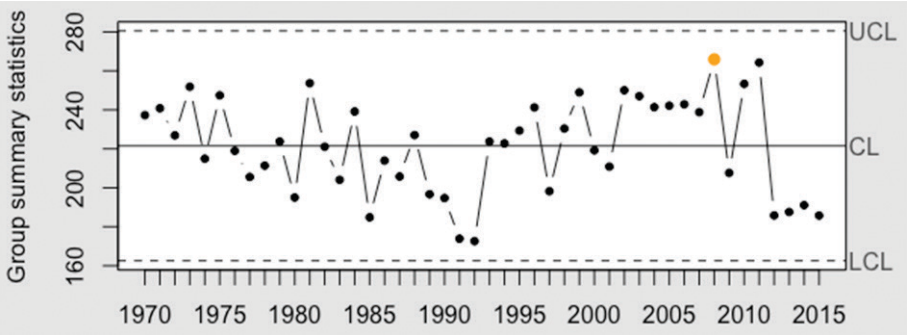
Fuente: elaboración propia con base en datos del Banco Mundial.

Figura 2. Evolución de la temperatura en Colombia, 1970-2015



Fuente: elaboración propia, con base en datos del Banco Mundial.

Figura 3. Evolución del nivel de precipitación en Colombia, 1970-2015



Fuente: elaboración propia, con base en datos del Banco Mundial.

No solo en Colombia el DNP asegura que la población más vulnerable ante el cambio climático son los pequeños productores; Fernández (2013) recopila diversos autores cuyas afirmaciones condicen en concluir que los efectos del cambio climático se reflejarán de una manera más intensiva en las economías campesinas o para los agricultores de subsistencia ubicados en ambientes frágiles.

Así, las poblaciones más vulnerables se enfrentarían a situaciones de escasez de tierras aptas para las actividades agropecuarias, lo cual puede generar escenarios de difícil obtención de alimentos y la reducción de fuentes de agua potable. Sin embargo, Ortiz (2012) afirma que ante estas complejas situaciones los productores rurales suelen responder de manera expeditiva frente a la presencia de nuevas condiciones climáticas por medio de la implementación de complejos mecanismos de adaptación en sus agroecosistemas.

Lau, Jarvis y Ramírez (2011) afirman que el mejoramiento de las prácticas agropecuarias y el manejo eficiente de los recursos son dos aspectos necesarios para la implementación de acciones de mitigación. En su artículo señalan cómo el no cambiar las prácticas en el ámbito global traería consecuencias como:

- Degradación del suelo y pérdida de materia orgánica en las vertientes andinas.
- Inundaciones en las costas Caribe y Pacífica.
- Pérdidas de nichos para el café, los frutales, el cacao y el banano.
- Cambios en la prevalencia de plagas y enfermedades.
- Descongelamiento de glaciares y estrés hídrico.

Proponen, entonces, los siguientes cambios en las fincas:

- Cambio de cultivos: cambio de variedades o especies; diversificación de cultivos o cambio hacia la ganadería y la acuicultura; nuevas semillas o razas (por ejemplo, tipos resistentes al calor, a las sequías, a la inundación).
- Manejo del agua: captación del agua de lluvia, sistemas de almacenamiento, riego y maneras de distribuir el agua; siembra de árboles a lo largo de los cauces de agua para prevenir erosión; programas de desalinización y reciclaje de aguas residuales.
- Manejo del suelo: reducir compactación, mejorar drenaje, cambiar las estrategias de labranza para reducir el uso de fertilizantes.
- Mejores prácticas agrícolas: labranza de conservación, sombrío en cafetales, aplicación de abonos verdes, rotación de cultivos, ajustes en las fechas.
- Mejores prácticas pecuarias: movilidad, vacunación, resiembra de potreros, mejoramiento genético, bancos de forraje, sistemas silvopastoriles.

Esta es una propuesta completamente compatible con la impulsada por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO): la *agricultura climáticamente inteligente* (ACI).

Agricultura climáticamente inteligente

La propuesta de una ACI motiva la integración del desarrollo agrícola y la capacidad de dar respuesta al cambio climático, con el fin de incrementar la productividad, mejorar la resiliencia y reducir los gases de efecto invernadero de manera sostenible. Claro está, la implementación de estas prácticas requiere planificación para lograr los tres pilares que la definen: productividad, adaptación y mitigación (García et al., 2015).

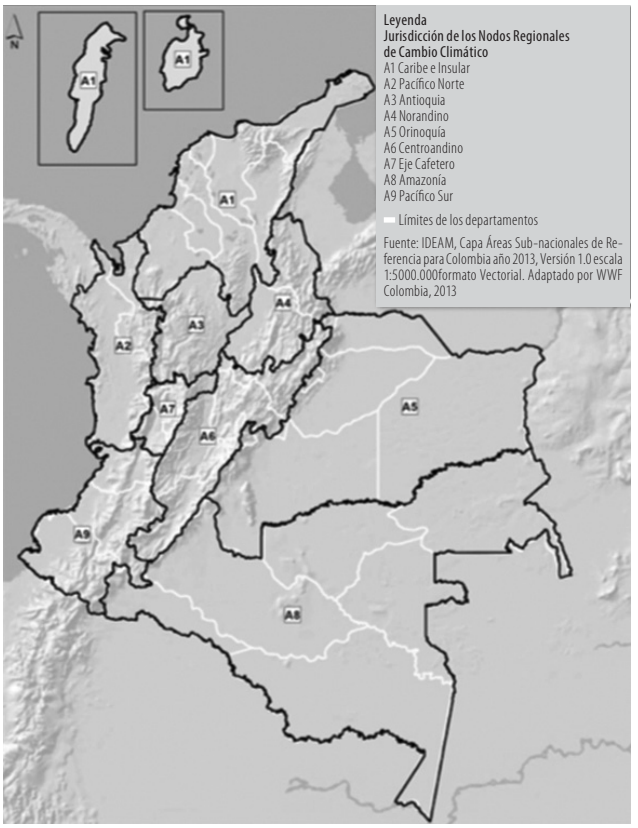
Colombia no se queda atrás en la generación de propuestas e implementación de acciones desde el enfoque de la ACI. No obstante, en su histórico se ha configurado un patrón inadecuado de distribución y uso de la tierra, lo cual ha causado inequidad y ha llevado a situaciones de crecimiento de pobreza rural. Este panorama hace aún más necesaria la participación de diversos actores en la planeación de acciones sostenibles que reflejen no solo el incremento de la producción y la mitigación de las consecuencias de los gases de efecto invernadero, sino que también muestren un alto compromiso con el mejoramiento de la calidad de vida de la población.

En el documento del DNP y el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) (2014), se hace referencia al crecimiento del sector agrícola y rural como una de las locomotoras del desarrollo sostenible del país; esto con base en su estudio de 2010 y citado en el mismo documento. También se afirma que en el sector se encuentra la oportunidad para disminuir la brecha en bienestar y pobreza en el ámbito nacional. Se añade, además, el hecho de poseer ventajas geográficas que ubican a Colombia en una buena posición para responder a la creciente demanda alimentaria mundial.

En ese contexto, se esperaría un aumento real en la inversión gubernamental en programas de investigación, desarrollo y extensión, y el fortalecimiento de las capacidades locales, como agentes transformadores de la agricultura familiar y de pequeña escala hacia una agricultura competitiva y sustentable, que tenga como consecuencia una mayor producción de alimentos y una mejora sustancial en los ingresos y la calidad de vida de los productores.

Lo que se ve en los estudios revisados indica que el motor principal de las diferentes propuestas es mejorar la productividad agrícola como medio para hacer frente a los desafíos que presenta el cambio climático. Gerald et al. (2009) sostienen que el camino hacia las mejoras requeridas en la productividad agrícola varía según la región y, hasta cierto punto, según el escenario climático. En este sentido, el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Sostenible (MADS) creó los *nodos regionales de cambio climático* (figura 4), con el fin de implementar acciones orientadas a reducir la vulnerabilidad e incrementar la capacidad regional para responder a los riesgos climáticos actuales y futuros (Banco Mundial, 2014).

Figura 4. Nodos de cambio climático



Fuente: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Social (s. f.).

El MADS (s. f.) sostiene que:

> [...] la importancia de trabajar en mitigación de gases efecto invernadero radica en la posibilidad de mejorar la eficiencia productiva del sector agropecuario e incluso disminuir costos de producción, acompañado de menores huellas de carbono. Además, la posibilidad de contribuir en el no incremento del calentamiento global lo cual es específicamente significativo para Colombia debido a que la capacidad de adaptación se prevé que excedería si aumenta la temperatura de 3 °C o más, sobre todo en las regiones cercanas al ecuador.

Las estrategias de adaptación se deben definir de acuerdo con un modelo de gestión de riesgos que involucre los impactos, las actitudes ante el riesgo y la capacidad de adaptación. La aplicación de una metodología de gestión integral en el sector agropecuario debe permitir identificar, calificar y evaluar los riesgos potenciales que orienten el diseño y la implementación de medidas de adaptación, así como monitorear y evaluar los resultados (Ocampo, 2011). En el documento del DNP et al. (2013) se plantea que es necesario tener información adecuada y contar con herramientas que faciliten la toma de decisiones ante el cambio climático, sobre todo en los proceso de adaptación a diversos escenarios climáticos, que permitan generar mayor resiliencia en los ecosistemas agrícolas y fortalecer el sector agrícola.

En el marco del desarrollo de la propuesta de mi tesis doctoral: *Economía campesina: un enfoque desde la lógica difusa*, se plantea la dificultad que existe en Colombia en el momento de tener información pertinente para el estudio y la posterior propuesta de alternativas que promuevan actividades sostenibles en el sector rural. Con base en los microdatos del III Censo Nacional Agropecuario (CNA) que publicó el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) en 2017, se vio la oportunidad de realizar un estudio de caso para el departamento de Antioquia, con el fin de identificar tendencias en algunas de las actividades agrícolas más comunes y obtener una aproximación a un diagnóstico local.

Estudio de caso

Como se mencionó, el MADS ha creado trece nodos regionales de cambio climático (figura 4). Antioquia forma parte de dos de estos nodos; el nodo 13, en particular, solo se encuentra conformado por este departamento, lo que le otorga un gran poder y libertad para la toma de decisiones sobre las acciones que se deben emprender y, por ende, sobre la manera de invertir los recursos que el Estado disponga para el estudio, planeación, diseño e implementación de programas que promuevan las prácticas productivas, de adaptación y de mitigación sobre este nodo. Por otro lado, como se muestra en el resumen de datos publicado por el DANE (2017) en su página web sobre la información recolectada en el CNA, Antioquia es el departamento con mayor área agrícola del país, con una representación de 300.599 unidades agrícolas productivas (UPA). Estas son las dos razones de presentar a este departamento como estudio de caso.

Se seleccionaron dentro de la variable *prácticas agrícolas* los siguientes indicadores: sistema de riego, origen de agua para actividades agrícolas, manejo de plagas y enfermedades, protección de fuentes de agua, prácticas de conservación del suelo y fuente de energía para prácticas agrícolas. Esto debido a que son indicadores que pueden dar evidencia sobre la implementación de prácticas acordes con el enfoque de ACI.

El estudio descriptivo univariado se llevó a cabo de manera comparativa entre los tamaños de las UPA, con el fin de identificar si existían prácticas propias para los pequeños productores y prácticas características de los grandes productores. Para esto se clasificaron las UPA en cuatro categorías: micro, pequeño, mediano y gran propiedad. Se utilizó la medida de unidad agrícola familiar (UAF), que en el caso de Antioquia representa, en promedio, 27 hectáreas (Resolución 1132 de 2013).

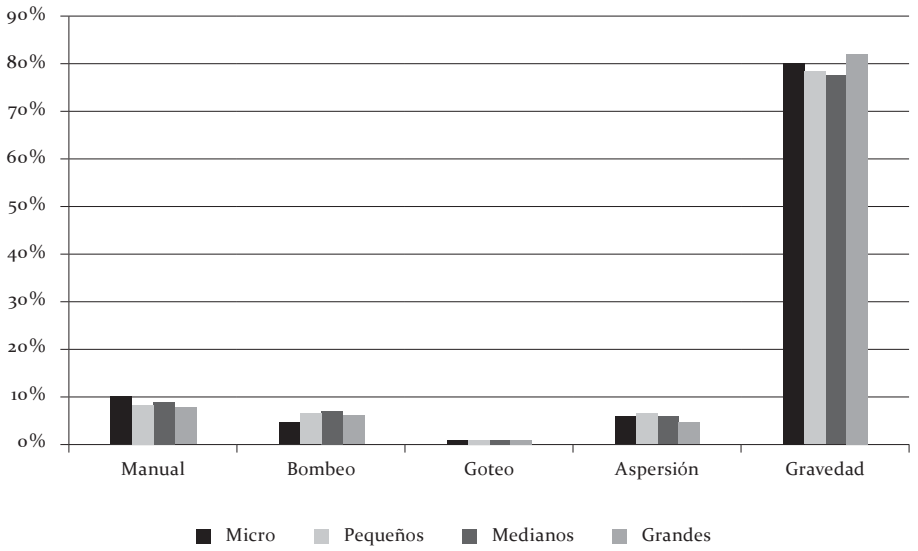
Se procedió a realizar el estudio univarido de cada uno de los indicadores, comparando las prácticas agrícolas y una prueba de homogeneidad χ^2. A continuación se presentan los resultados por cada indicador.

Sistema de riego

Se puede observar que no hay diferencia entre el comportamiento de los diferentes tipos de productor ($p > 0{,}99$). La práctica *gravedad* es la de mayor

frecuencia y la de *goteo* la de menor. Desde el enfoque ACI, el comportamiento debería ser el inverso, dado que en el sistema de gravedad se requiere más agua por unidad de superficie cultivada, y puede causar problemas de drenaje y salinidad por acumulación en subsuelo, aunque resulta más barata que la práctica de goteo. Sin embargo, esta última, al ser una práctica de precisión, hace más eficiente el manejo del agua (figura 5).

Figura 5. Distribución porcentual de tipo de sistema de riego por tipo de productor

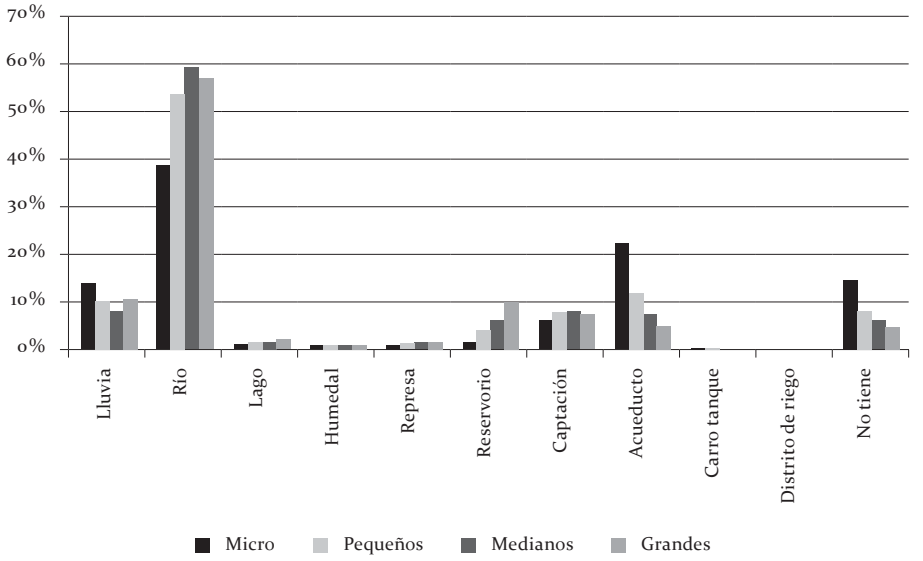


Fuente: elaboración propia, con base en los datos del III Censo Nacional Agropecuario.

Origen de agua para actividades agrícolas

Al igual que el indicador anterior, no parece existir diferencia entre las prácticas realizadas por los productores ($p > 0{,}75$); la fuente de mayor frecuencia para la obtención del agua son los ríos, lo que lleva a una extracción no controlada del recurso hídrico. Aunque en Colombia existen distritos de riego, estos son los menos frecuentes (figura 6).

Figura 6. Distribución de origen de agua por tipo de productor

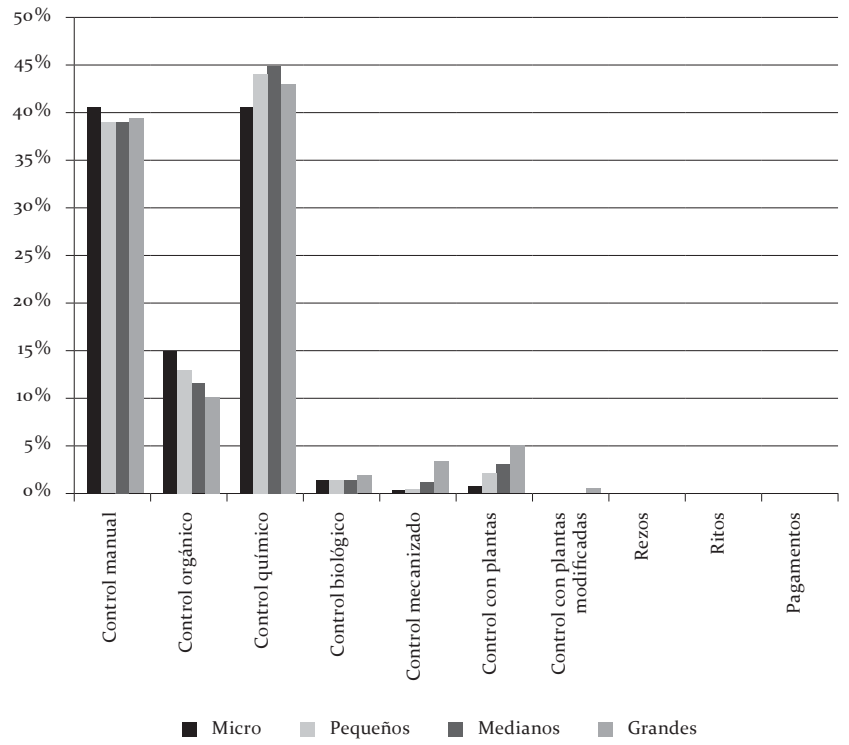


Fuente: elaboración propia, con base en los datos del III Censo Nacional Agropecuario.

Manejo de plagas y enfermedades

En el caso de este indicador, el comportamiento de los productores marcó diferencias en cuanto al uso del control manual y el control químico ($p < 0{,}05$). Para el resto de categorías no se evidenció diferencia ($p > 0{,}80$). Aunque el control orgánico parece comenzar a tener presencia en las prácticas de control de plagas y enfermedades, las prácticas propuestas desde el enfoque ACI (control por plantas, control biológico y control por plantas genéticamente modificadas) aún no son de alta relevancia. De manera adicional, vale la pena mencionar que las prácticas tradicionales parecen haberse perdido; esto en el contexto social puede ser un indicador de pérdida de identidad cultural, sobre todo desde el productor familiar (figura 7).

Figura 7. Control de plagas y enfermedades por tipo de productor

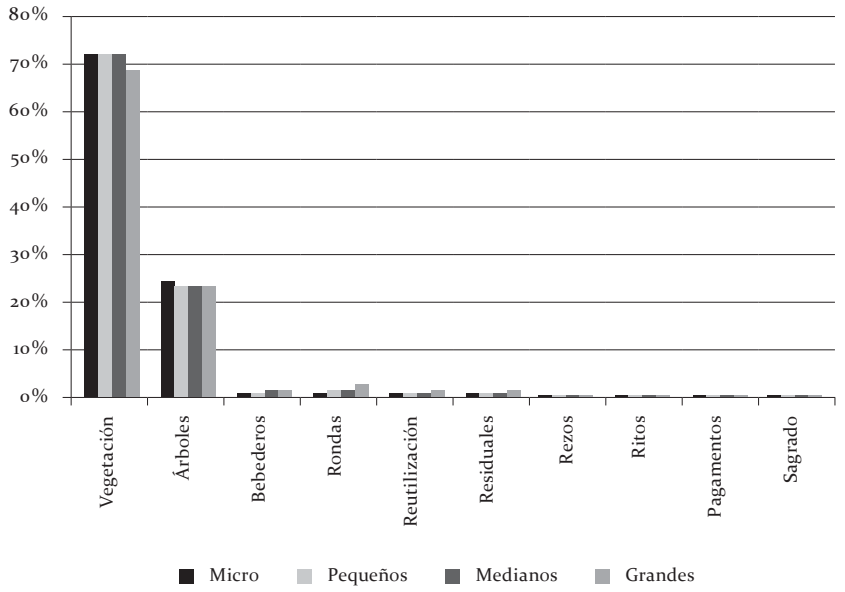


Fuente: elaboración propia, con base en los datos del III Censo Nacional Agropecuario.

Protección de fuentes de agua

En este caso, se privilegia el mantener la vegetación y los árboles nativos, aunque prácticas como el manejo de aguas residuales, reutilización o establecimiento de bebederos no son consideradas por los productores. No se evidencia diferencia entre los tipos de productores según su práctica de conservación de fuentes de agua ($p > 0{,}99$). Las prácticas tradicionales tampoco se evidencian (figura 8).

Figura 8. Protección de fuentes hídricas por tipo de productor

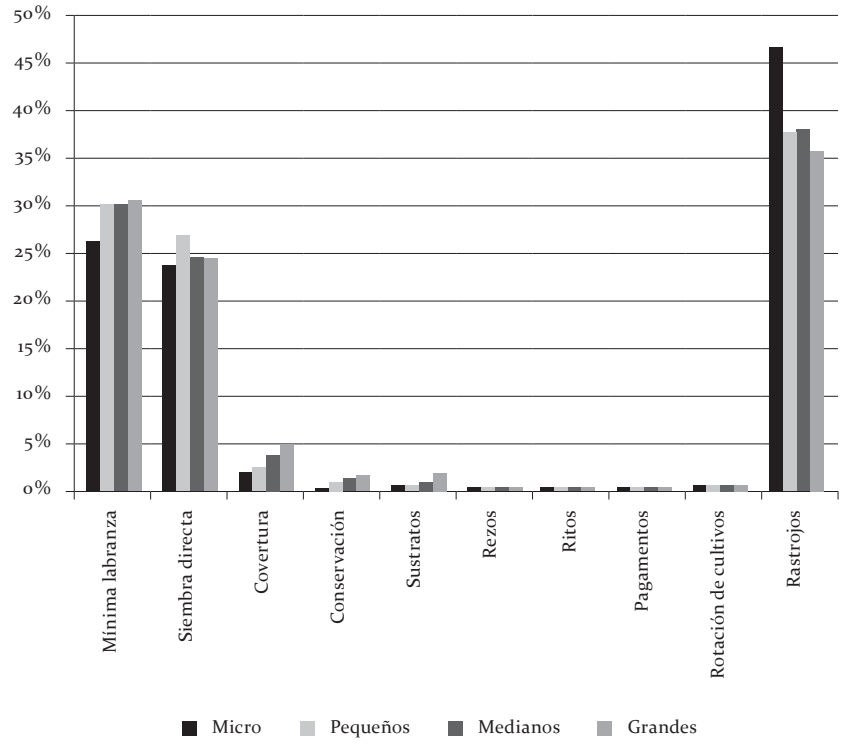


Fuente: elaboración propia, con base en los datos del III Censo Nacional Agropecuario.

Prácticas de conservación del suelo

Al igual que en los caos anteriores, no se observa diferencia entre las prácticas privilegiadas por los diversos tipos de productores ($p > 0{,}99$). Sin embargo, para este indicador ya se hace evidente el uso de la labranza mínima y de la siembra directa, prácticas sugeridas por la ACI. Pero aún la rotación de cultivos, que diversificaría la producción y les generaría a los pequeños productores la obtención de recursos durante todo el año y no solo tendrían que esperar a las fechas de cosecha de un único cultivo, no se ve reflejada en el departamento (figura 9).

Figura 9. Prácticas para conservación de suelo por tipo de productor

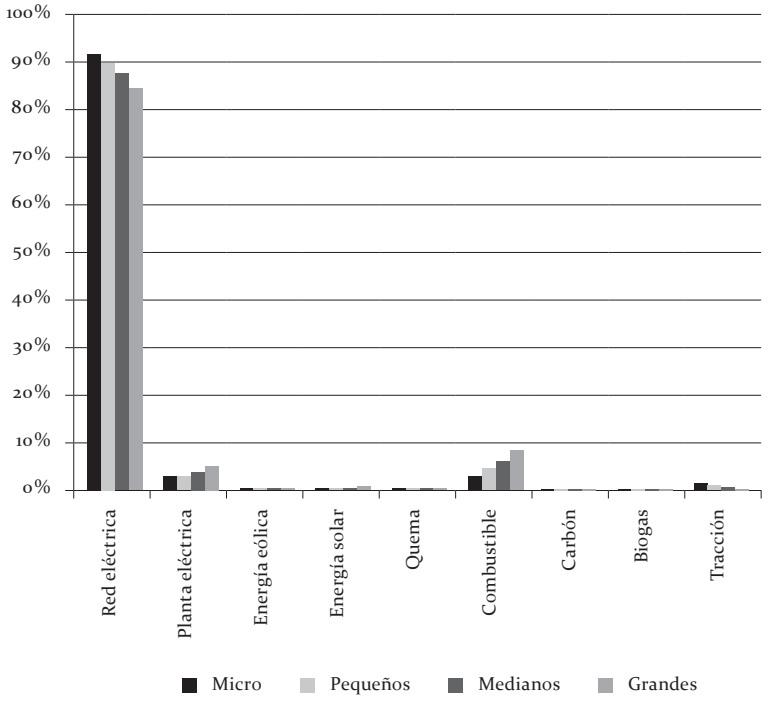


Fuente: elaboración propia, con base en los datos del III Censo Nacional Agropecuario.

Fuente de energía para prácticas agrícolas

La fuente de energía privilegiada por la mayoría de los productores es evidente: la red eléctrica ($p > 0{,}99$). Cabe resaltar que las fuentes de energía alternativa (eólica, solar, biogas) no son empleadas en el departamento. Estas fuentes de energía son las que ayudan a proteger el recurso hídrico y no generan agentes contaminantes (figura 10).

Figura 10. Fuente de energía para prácticas agrícolas por tipo de productor



Fuente: elaboración propia, con base en los datos del III Censo Nacional Agropecuario.

Conclusión

Se puede resaltar la importancia de promover e impulsar prácticas agrícolas amigables con el medio ambiente, que a su vez impacten de manera positiva en el bienestar de la comunidad rural y, por ende, en el bienestar de la población general. Las prácticas propuestas por la ACI requieren la unión entre academia, Estado y comunidad, con el fin de lograr su implementación. La academia debe contribuir con diagnósticos locales que identifiquen las potencialidades de la región y con estudios que evalúen y lleven a construir propuestas de modelos apropiados para incrementar la productividad, en coherencia con las aptitudes de la tierra y el uso razonable de los recursos.

Por su parte, el Estado debe colaborar con inversión en investigación y programas de apoyo a los pequeños productores y la creación de políticas que promuevan el desarrollo rural. La comunidad debe procurar la apropiación de su territorio, el conocimiento tradicional y las costumbres que hacen la cultura de su región; esta apropiación, este sentido de pertenencia, empodera al pequeño productor y lo conduce a la exigencia de programas en beneficio del mejoramiento de la calidad de vida.

Ahora bien, el estudio de caso nos invita a reflexionar sobre la verdadera diferencia de las prácticas agrícolas entre los pequeños y los grandes productores; parece que la única diferencia es la oportunidad de mercado. Los grandes no deberían tener excusa alguna para implementar prácticas amigables con el ambiente, pues tienen el recurso monetario para hacerlo.

También vale la pena discutir sobre la tradición, el uso de rituales y rezos y la declaración de lugares sagrados. Esto deja entrever que la población raizal ha ido desapareciendo: ¿dónde están las comunidades indígenas representadas?, ¿dónde se encuentra la cultura afrodescendiente? Parece que la tradición y lo que hace distintivas las localidades se ha desvanecido entre la homogenización de prácticas. ¿Dónde se rescata el conocimiento tradicional, la relación original con la naturaleza y el respeto por ella?

Bilbiografía

Banco Mundial, Centro Internacional de Agricultura Tropical y Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. (2014). *Agricultura climáticamente inteligente en Colombia. Serie de perfiles nacionales de agricultura climáticamente inteligente para América Latina*. Washington D. C.: Grupo del Banco Mundial.

Barrera, X. (2015). *Hacia un crecimiento verde y un clima seguro*. En C. García Arbeláez, X. Barrera, R. Gómez y R. Suárez Castaño. (2015). *El ABC de los compromisos de Colombia para la COP21*. 2 ed. WWF-Colombia.

Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (2017). *III Tercer Censo Nacional Agropecuario. Microdatos*. Recuperado de: https://www.dane.gov.co

Departamento Nacional de Planeación, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Sostenible, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Alianza Clima y Desarrollo, Universidad del Cauca, Centro Internacional de Agricultura Tropical y Cenicafe. (2013). *Agricultura, vulnerabilidad y adapta-*

ción. Desarrollo compatible con el clima en el sector agrícola del Alto Cauca colombiano. Recuperado de: http://www.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyServiciosEcosistemicos/pdf/nodo_pacifico/VISION-AVA-FINAL.pdf

Departamento Nacional de Planeación y Banco Interamericano de Desarrollo. (2014). *Impactos económicos del cambio climático en Colombia. Síntesis*. Bogotá.

Fernández, M. E. (2013). *Efectos del cambio climático en la producción y rendimiento de cultivos por sectores. Evaluación del riesgo agroclimático por sectores*. Recuperado de: http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21138/Efectos+del+Cambio+Climatico+en+la+agricultura.pdf/3b209fae-f078-4823-afa0-1679224a5e85

García Arbeláez, C., Barrera, X., Gómez, R. y Suárez Castaño, R. (2015). *El ABC de los compromisos de Colombia para la COP21*. 2 ed. WWF-Colombia.

Gerald, N., Rosegrant, M., Koo, J., Robertson, R., Sulser, T., Zhu, T., et al. (2009). *Cambio climático. El impacto en la agricultura y los costos de adaptación*. Recuperado de: http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/AGRO_Noticias/docs/costo%20adaptacion.pdf

Lau, C., Jarvis, A. y Ramírez, J. (2011). *Agricultura colombiana: adaptación al cambio climático*. Cali: Centro Internacional de Agricultura Tropical.

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Sostenible. (s. f.). *Plan de acción sectorial de mitigación de gases efecto invernadero agropecuario. Estrategia Colombiana de Desarrollo Bajo en Carbono*. Recuperado de: http://www.minambiente.gov.co/images/cambioclimatico/pdf/planes_sectoriales_de_mitigaci%C3%B3n/PAS_Agropecuario_-_Final.pdf

Ocampo, O. (2011). El cambio climático y su impacto en el agro. *Revista de Ingeniería,* (33), 115-123.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (s. f.). *Agricultura de conservación*. Recuperado de: http://www.fao.org/ag/ca/es/6c.html

Ortiz, R. (2012). *El cambio climático y la producción agrícola*. Banco Interamericano de Desarrollo. Recuperado de: http://asocam.org/biblioteca/files/original/e7a4a8a00d9ba9390d273d6dc1bb5666.pdf

Resolución 1132 de 2013 (21 de junio). *Por la cual se fijan los patrones constitutivos de Unidades Agrícolas Familiares mínima ponderado a nivel predial, para los fines propios de la Convocatoria de Incentivo de Asistencia Técnica Rural*. Bogotá: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural e Instituto Colombiano de Desarrollo Rural.

Cultivos andinos ancestrales: una estrategia de sostenibilidad y mitigación frente al cambio climático

*Elsa Fonseca Santanilla**

Actualmente, el país pasa por un momento histórico que además puede ser considerado de grandes desafíos y oportunidades, lo que en retrospectiva habrá sido crucial para la situación de la Colombia del mañana. Por un lado, se debe asegurar la perpetuación del posconflicto, cumpliendo de la mejor manera los acuerdos firmados en La Habana por el Gobierno colombiano y la guerrilla más antigua y fuerte del país: las Fuerzas Armadas Revolucionarias de Colombia (FARC). Por otro lado, debido a que la transformación del campo es parte central de estos acuerdos, se debe garantizar no solo un verdadero desarrollo rural, sino también su sostenibilidad social, económica y ambiental en el tiempo por medio de la generalización de prácticas agropecuarias que generen resiliencia de los sistemas productivos frente al cambio climático.

Afrontar exitosamente estos desafíos requerirá no solo una férrea voluntad política plasmada en la implementación de políticas radicales que garanticen el adecuado aprovechamiento de las ventajas naturales del país, para no convertirse únicamente en una de las despensas mundiales de alimentos, sino también en una nación que potencie la pequeña agricultura familiar como única opción viable de *agricultura climáticamente inteligente* (ACI), hasta el punto de su incorporación y posicionamiento en mercados internacionales con productos de valor agregado, diferenciales, generados en forma sostenible a base de recursos autóctonos propios de nuestra agrobiodiversidad. Es evidente que el logro de este objetivo requerirá la participación permanente y coordinada de todos los actores involucrados.

* Directora del Laboratorio Instrumental de Alta Complejidad (LIAC), Universidad de La Salle, Colombia. Correo electrónico: efonsecas@lasalle.edu.co

Las raíces y tubérculos andinos propios de los andes colombianos son verdaderos tesoros por sus propiedades nutricionales y medicinales; son conocidos por nuestros ancestros indígenas y campesinos, pero ignorados por la sociedad y el mercado actuales. Entre los tubérculos andinos se encuentran la ibia, la ruba y el cubio; mientras que entre las raíces tuberosas están la achira, la arracacha y la batata. Algunos de estos nombres pueden parecer desconocidos y lejanos, pero estos productos son autóctonos y formaban parte de la cultura, la culinaria y los saberes de los habitantes de Colombia y otros países andinos vecinos como Ecuador, Perú, Bolivia y Venezuela antes de la llegada de los españoles.

El almidón, proveniente de estos tubérculos y raíces andinas, sometido a algunos procesos industriales, puede emplearse como materia prima para la panificación, la industria de concentrados para animales y los alimentos funcionales para humanos, entre otros. De igual forma, estos recursos poseen sustancias denominadas "principios activos" con propiedades antioxidantes útiles en la fabricación de productos de belleza como mascarillas, cremas antiedad, polvos, bases y sombras.

En este panorama, se plantea como una posible estrategia para afrontar los desafíos mencionados el aprovechamiento del gran potencial nutricional, medicinal e industrial de una gran variedad de tubérculos y raíces andinas hasta hoy subvaloradas, por medio de su cultivo en sistemas productivos diversificados, su bioprospección y el desarrollo de procesos de transformación *in situ* en productos de interés comercial que puedan ser realizados en forma sostenible y a su vez propicien formas de economía solidaria.

La agricultura en el posconflicto, una oportunidad de oro para Colombia

El enorme desafío que obligatoriamente debe enfrentar el Gobierno colombiano para preservar la paz es la transformación del agro colombiano, que quedó estipulado como parte central de los acuerdos de paz firmados en La Habana en 2016 entre el Gobierno y las FARC. Dado que el agro tiene un enorme potencial de crecimiento gracias a la dinámica actual de la oferta y la demanda global de alimentos, en las próximas cuatro décadas la humanidad tendrá que producir más alimentos que los generados en toda la historia. Autoridades mundiales señalan que la producción de comida tendrá que

aumentar entre el 70 y el 100 % para 2050, con el fin de alimentar a la población estimada, para entonces, en 9.000 millones de personas (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2009).

Colombia, según la FAO (2016), es uno de los cinco países que puede volverse despensa mundial de alimentos, gracias a que tiene suficiente tierra para ampliar la frontera agrícola sin necesidad de tumbar bosques. Además, goza de privilegios naturales como ser el tercer país con mayores recursos de agua, biodiversidad y con diversidad climática.

El deseo del Gobierno nacional de aprovechar esta oportunidad se ve plasmado en la creación de la Agencia de Desarrollo Rural (ADR) por medio del Decreto 2364 de 2015 del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, como entidad encargada de ejecutar las políticas de desarrollo agropecuario y rural con enfoque territorial, y en el plan Colombia Siembra, que impulsa el Ministerio de Agricultura con el sector privado con el fin de incrementar en un millón de hectáreas el área sembrada en Colombia para 2018 (Congreso de la República de Colombia, 2015).

Por otra parte, el Plan Nacional de Desarrollo 2014-2018 señala los principios que deben orientar la acción del Estado y las estrategias económicas, sociales y ambientales que serán adoptadas por la administración de este. El Plan tiene como pilares la paz, la equidad, el desarrollo humano integral y la educación. Este plan denota un claro redireccionamiento de una sociedad en conflicto a una sociedad en paz a través de la implementación de estrategias de competitividad, infraestructura, movilidad social, transformación del campo, seguridad, justicia y democracia, buen gobierno y crecimiento verde.

Promover la agricultura familiar es asegurar la sostenibilidad rural

En los últimos tiempos, este tipo de agricultura ha recibido más atención por parte de organizaciones gubernamentales y no gubernamentales, pues está llamada a protagonizar la despensa mundial de alimentos. La FAO (2014) declaró al 2014 como el año Internacional de la Agricultura Familiar, teniendo en cuenta que esta provee el 70 % de los alimentos en el mundo.

En Colombia, explícitamente el Plan Nacional de Desarrollo 2014-2018 incluye la implementación del Plan Nacional para el Fomento y Protección de la Agricultura Familiar (Planpaf) con cinco ejes de política: apoyo a

la producción y transformación de productos de la agricultura familiar; financiación para la agricultura familiar; comercio justo y consumo solidario para la agricultura familiar; promoción de la agricultura familiar desde un enfoque de sostenibilidad ambiental y asociatividad; participación comunitaria y gobernanza para las familias agricultoras.

La *agricultura familiar* se caracteriza por: propiciar un limitado acceso a la tierra y al capital; ser una fuerza de trabajo basada en los miembros de la familia; darle un rol preponderante de la mujer; promover el cultivo y cría de animales principalmente para supervivencia, que se realiza en el lugar de residencia o muy cerca de este (Red Nacional de Agricultura Familiar y Comité Nacional de Impulso Colombia, 2014).

No obstante, es este tipo de agricultura, que se desarrolla en armonía con su entorno, la que silenciosamente lucha por la preservación de nuestra biodiversidad, así como por mantener los saberes y las tradiciones de nuestros ancestros. La agricultura familiar merece el reconocimiento y acompañamiento de los habitantes urbanos para abordar los desafíos más críticos, como enfrentar el cambio climático, la inseguridad alimentaria y la pobreza rural (Clavijo, 2014).

La agricultura familiar se puede clasificar en tres categorías: agricultura familiar de subsistencia (AFS), agricultura familiar intermedia (AFI) y agricultura familiar consolidada (AFC). La AFS está orientada al autoconsumo, baja disponibilidad de tierras y recursos de modo que los miembros deben buscar otras fuentes de ingresos. En la AFI hay una dependencia de la producción propia (venta y autoconsumo), accede a mejores tierras y a más recursos que la AFS, pero genera pocos excedentes. Finalmente, la AFC se distingue por tener una mayor explotación de los recursos, acceder a tecnología, capital y mercados y generar excedentes para el desarrollo de la unidad productiva (Salcedo y Guzmán, 2014). La mayor parte de los agricultores del país quedarían ubicados en la primera categoría.

Teniendo en cuenta que la sustentabilidad rural hace referencia a la permanencia en el tiempo de los logros de desarrollo que se van alcanzando en un territorio, es imposible cimentar bases para una agricultura sustentable sin asegurar la sobrevivencia, la permanencia y el trabajo continuo de los agricultores familiares en los territorios (Fawaz y Vallejos, 2011). La sustentabilidad rural, además de aspectos técnico-ambientales, implica interacciones de tipo social, político y económico. Así las cosas, en palabras de Gertler (1994), "la sustentabilidad es primero y antes que nada un tema social".

Específicamente en este sentido, la agricultura familiar reviste una importancia mayúscula por su efecto multiplicador en las economías locales al emplear mano de obra regional, dinamizar el comercio y los servicios del territorio, donde se hallan inmersas al abastecerse en las vecindades, así como usar menos insumos industriales en sus prácticas productivas que favorecen el arraigo cultural, las formas de vida y de trabajo tradicionales y la conservación de la agrobiodiversidad y de su entorno.

De tal manera que garantizar la sustentabilidad social rural a través del empoderamiento de la agricultura familiar, las instituciones y las comunidades locales es prioritario para la transformación productiva del agro colombiano, ya que solo reconociendo el territorio como una construcción social con características propias se podrá asegurar la articulación de su economía con los mercados. Al mismo tiempo, las políticas gubernamentales deben instrumentarse de tal forma que faciliten el trabajo concertado entre la academia, los actores sociales locales y las redes, además de garantizar el acceso y permanencia de las asociaciones de los pequeños productores a mercados con políticas de equidad.

Las cifras de la agricultura familiar revelan su trascendencia

El minifundio es quizá el denominador común para el sector agrícola, no solo para Colombia sino, en general, para América Latina y el Caribe. La agricultura familiar abarca a más del 80% de los agricultores; 15 millones de agricultores familiares apenas tienen 500 millones de hectáreas en toda Latinoamérica, mientras que un pequeño número de empresas concentra un altísimo porcentaje de la tierra (FAO et al., 2017).

En Colombia, el *Informe sobre desarrollo humano* de 2011 del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) reveló que el 70% de los agricultores del país son mini- y microfundistas, y tienen la responsabilidad de abastecer el 60% de los alimentos del consumo diario. Los microfundistas del país en promedio cuentan con menos de tres hectáreas por familia y suman 2,3 millones de predios y el 10,5% del área, mientras que los minifundios que tienen entre 0,5 y 2 unidades agrícolas familiares juntos suman 3,8 millones de propietarios, que solo poseen el 29% de las hectáreas de propiedad privada individual en el campo (Departamento Administrativo Nacional de Estadística [DANE], 2016).

Según el PNUD, estas categorías se encuentran concentradas en la zona andina colombiana, donde se cultivan tubérculos y raíces tuberosas que se comercializan en fresco y representan el 23,1% del área rural dispersa sembrada, y de esta área el 47% corresponde a cultivos de plátano, el 20,7% a la yuca, el 4,8% a la papa y el 27,6% a otros tubérculos entre los que se encuentran: arracacha, batata, bore, cubios, mafafa, malanga, ñame, ruba y sagú. Se puede destacar que a pesar del arraigo cultural que aún persiste en campesinos e indígenas por este tipo de cultivos, estos apenas cuentan con una representación de 2,8% en el PIB (DANE, 2016).

La agricultura familiar es armoniosa con el modelo de agricultura climáticamente inteligente

La pequeña agricultura familiar ha venido siendo sistemática e históricamente subvalorada por los gobiernos latinoamericanos debido a su marginalidad; mientras que irónicamente esta forma de actividad productiva es la única con el potencial de transformarse en el modelo de desarrollo que la FAO en 2010 conceptualizó con el nombre de *agricultura climáticamente inteligente* (ACI).

La ACI está basada en tres pilares fundamentales: el aumento sostenible de la producción de alimentos e ingresos; el incremento de la resiliencia, entendida como la capacidad de un sistema para resistir, asimilar y recuperarse de los efectos de las amenazas de manera oportuna y eficiente, manteniendo o restituyendo sus estructuras básicas, funciones e identidad esenciales (Mitchell et al., 2010) y adaptándose al cambio climático; y, por último, la reducción de emisiones o remoción de gases de efecto invernadero.

La ACI persigue mejorar la capacidad de los sistemas agrícolas para prestar apoyo a la seguridad alimentaria e incorporar la necesidad de adaptación y las posibilidades de mitigación en las estrategias de desarrollo agrícola sostenible. Tiene como elementos clave: el desarrollo sostenible con contabilidad explícita del cambio climático, la intensificación productiva sostenible y la incorporación de un amplio rango de tecnologías (FAO, 2015).

La tendencia en la pequeña agricultura (unidades agrícolas familiares) se inclina hacia los sistemas productivos diversos no solo como una estrategia consciente de conservación de recursos naturales, sino también como una estrategia de consecución de alimentos y mantenimiento de la seguridad alimentaria, ya que, al no simplificar la biodiversidad, generan

sostenibilidad y resiliencia. Este sistema se caracteriza por poseer cultivos en diferentes estados de desarrollo, los cuales pueden estar combinados con especies animales e incluso con patrones forestales de utilidad para la alimentación y el medio ambiente (agroforestería). Estos sistemas, a través de su gran diversidad de especies e interrelaciones entre ellas, logran una buena productividad sin perder la capacidad de autorregularse (Clavijo, 2014).

No obstante, el hecho de que la mayor parte de la agricultura familiar se encuentra en zonas ricas en recursos naturales y biodiversidad hace potencialmente más viable y pertinente una estrategia para la promoción de este modelo de producción. Para ello se tienen en cuenta criterios de intensificación sostenible de la producción con enfoque territorial, orientados a disminuir la provisión de subsidios individuales e incrementar la generación de bienes públicos que vayan más allá de la agricultura. Tales criterios se deben dirigir a la solución de la problemática de las áreas rurales y deben abarcar las distintas comunidades, sobre todo las menos favorecidas por la política pública.

Es evidente que contribuir con la preservación de la agrobiodiversidad y la tradición del consumo de productos alimenticios tradicionales de arraigo cultural, así como con la gestión de sistemas agrícolas diversificados, características intrínsecas de la agricultura familiar, es un aspecto que está perfectamente alineado con la ACI. Sin embargo, los pequeños productores familiares requieren un esfuerzo significativo de diversos actores para que las familias agrícolas más vulnerables puedan involucrarse equitativamente y con oportunidades en un proceso de desarrollo sostenido.

Por lo anterior, si el país pretende un desarrollo sostenible compatible con el modelo de ACI, debe crear e instrumentar políticas públicas que consoliden a la agricultura familiar como eje central de desarrollo rural sostenible en los contextos local, territorial y nacional.

Implementar sistemas productivos multidiversos en unidades agrícolas familiares: una práctica exitosa para la adaptación agrícola al cambio climático

En Latinoamérica se vienen reportando experiencias exitosas de adaptación agrícola al cambio climático, en las cuales se destaca como común denominador el regreso a las prácticas de laboreo propias de la pequeña agricultura

familiar que favorece la agrobiodiversidad, el uso racional de los recursos naturales y la armonía de la producción agrícola con su entorno, así como la posibilidad de diversificar fuentes de ingresos para los productores.

En algunos países como Costa Rica, desde los años noventa se inició una serie de prácticas agrícolas que han derivado en la producción exitosa de banano orgánico; se ha reemplazado el monocultivo por un cultivo intercalado con especies forestales, frutales, leguminosas y arbustivas, que favorecen la conservación de suelos, el uso racional del recurso hídrico, el aumento de la biodiversidad, el uso racional de insumos para control de plagas, las prácticas culturales propias de la agricultura a pequeña escala y la integración de monitoreo y alertas tempranas para control de enfermedades, plagas y alteraciones climáticas, entre otras (Magrín, 2015).

El intercalado con sistemas agroforestales también se ha venido empleando en Latinoamérica en la reconversión de cultivos de café y cacao. Este sistema ha generado resultados positivos respecto a la conservación de la biodiversidad, la polinización y la disminución en la cantidad de fertilizantes requeridos, debido a que el sistema mismo aporta los nutrientes necesarios. Los cultivos intercalados con sistemas agroforestales generan un microclima capaz de amortiguar la variabilidad climática.

La vulnerabilidad de las costas ecuatorianas a eventos extremos ha llevado en los últimos años a la implementación de manejo integrado del recurso hídrico que incluye sistemas de riego controlados para las sequías; sistemas de producción bajo invernaderos que favorecen la diversificación de cultivos en la zona; prácticas de reforestación y captación racional de aguas que, además de generar resiliencia frente al cambio climático y una mejora visible en el estado de los manglares, han permitido mejorar la capacidad los pequeños productores para producir ingresos (Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno de El Niño, 2012).

En Colombia, un país de reconocida vulnerabilidad frente al cambio climático, solo un tercio de los sistemas cafeteros ha implementado la práctica agroforestal, mientras que los productores de cacao, caucho y frutales lo proyectan para un futuro cercano. Sin embargo, para lograr una amplia implementación de prácticas de ACI es urgente superar barreras económicas e institucionales, como la inconsistencia entre políticas agrícolas, de desarrollo y de cambio climático y la falta de fondos e incentivos para la transición a estas prácticas. Solo así la Estrategia Nacional de Cambio Climático podrá ser realmente implementada (Banco Mundial, Centro

Internacional de Agricultura Tropical y Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, 2015).

En Colombia, los cultivos de sagú, achira, guatila, arracacha, batata, ñame, ibia, cubio, entre otros tubérculos y raíces tuberosas subvaloradas, pueden convertirse en alternativa viable para la generación de verdadero desarrollo rural, por cumplir con buena parte de las características de la ACI antes mencionadas (Bello y Paredes, 2009; Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, 2003; Maturana y Sáenz, 2014). Sin embargo, a pesar del arraigo cultural que aún persiste en campesinos e indígenas por este tipo de cultivos, actualmente estos apenas cuentan con una representación del 2,8% en el PIB (DANE, 2016; PNUD, 2011).

La resiliencia de los cultivos andinos frente al cambio climático: una estrategia de competitividad

Teniendo en cuenta que actualmente el mundo entero está enfrentando el reto de lograr una agricultura resiliente frente al cambio climático, los países andinos deben doblar esfuerzos para aprovechar las ventajas naturales que a este respecto presentan los tubérculos y raíces tuberosas andinos ancestrales, como la adaptación al relieve andino y a condiciones ambientales adversas; los suelos marginales y pendientes; las áreas secas de lluvias irregulares y pocos recursos; la independencia de la mecanización, de los fertilizantes y pesticidas químicos, y el crecimiento sostenido y natural en sistemas naturales polidiversos.

Los monocultivos —un solo tipo de cultivo— y policultivos —dos o más tipos de cultivos que coexisten— son los sistemas productivos que coexisten en los Andes. No obstante, la pequeña agricultura se inclina hacia los sistemas diversos —policultivos— no solo como estrategia de conservación de los recursos naturales, sino también como estrategia para la consecución de alimentos (Altieri, 1999).

Así, los agricultores andinos han creado o heredado sistemas complejos de agricultura que durante siglos les han ayudado a satisfacer su subsistencia, incluso en condiciones ambientales adversas, como suelos marginales y pendientes, áreas secas de lluvias irregulares y pocos recursos, sin depender de la mecanización ni los fertilizantes y pesticidas químicos (Hermann y Heller, 1997).

El diseño de infraestructura para aprovechar el relieve andino y adaptar especies de interés para las comunidades agrícolas propició el desarrollo no solo de diversas plantas alimenticias y medicinales, sino también la construcción de identidades culturales alrededor de ellas. Esto hizo de esta zona geográfica uno de los principales centros de origen de importantes especies cultivadas que acompañaron la consolidación de culturas con sociedades como los incas y los muiscas, de características definidas gracias a su relación y conocimiento de los recursos naturales y sus cultivos (Clavijo, 2014).

La agrobiodiversidad actualmente es considerada por diversos países como una estrategia para que los sistemas agrícolas se adapten al cambio climático, dado que la diversidad de especies silvestres y domesticadas permiten su interacción continua con el entorno, lo que deriva en una mejora de su resiliencia frente a las condiciones de variabilidad climáticas. Por ejemplo, en Perú los programas de conservación de semillas de papas nativas resistentes a heladas y sequías, la restauración de paraderas altoandinas y la reforestación con especies nativas son prácticas de adaptación al cambio climático que se desarrollan en la actualidad (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura [IICA], 2015).

El escaso o nulo empleo de agroquímicos en el cultivo de tubérculos y raíces tuberosas andinas no solo representa una ventaja de tipo económico para el productor, sino que además se contribuye con una actividad agrícola compatible con el desarrollo sostenible por no ocasionar impactos ambientales negativos sobre los recursos naturales: no genera contaminación en los suelos, ni problemas en las aguas subterráneas por lixiviación.

Por otra parte, este tipo de cultivos inmersos en sistemas armoniosos con su entorno, que en contravía con los monocultivos tradicionales favorecen la preservación de la biodiversidad, ha evolucionado en armonía con las necesidades de las familias que los producen, de tal manera que estas han ideado sistemas productivos intercalados. En este tipo de sistemas se ubica, por ejemplo, un cultivo que exuda ciertos metabolitos que sirven de repelente natural de plagas al lado de otros cultivos vulnerables a estos vectores biológicos.

Otra ventaja de los cultivos andinos frente al cambio climático son las infraestructuras (terrazas) construidas por nuestros ancestros y en las cuales muchas especies de raíces tuberosas y tubérculos andinos ya se encuentran adaptadas. Estas terrazas les permiten soportar efectivamente problemas como la erosión del suelo, las cambiantes condiciones climáticas y las

pronunciadas pendientes del relieve andino. Estos sistemas indirectamente favorecieron la construcción de identidades culturales alrededor de ellas (Mujica y Holle, 1998).

De igual forma, la generalización de este tipo de cultivos favorecería la resiliencia de la agricultura colombiana frente al cambio climático, ya que los tubérculos y raíces andinos son típicos en los sistemas productivos diversos de los agricultores familiares que favorecen la preservación de la biodiversidad y están alineados con el modelo de agricultura climáticamente inteligente, que además busca el incremento sostenible de la productividad y los ingresos y la reducción de la contribución de la agricultura a la variabilidad climática.

Específicamente el cubio (*Tropaeolum tuberosum R&P*) presenta ventajas que le otorgan resiliencia frente al cambio climático; tolera bien las heladas; su cultivo requiere cuidados mínimos, pues los isotiocianatos que posee repelen las plagas; se puede sembrar en cualquier época del año si el suelo se prepara adecuadamente (Flores et al., 2003); su cosecha se realiza cuatro a seis meses después de la siembra, y se puede almacenar una vez cosechado durante meses sin que pierda sus características.

En cuanto a *Oxalis tuberosa M.*, se destaca su rusticidad y su tolerancia a las bajas temperaturas, dado que a pesar de que su follaje se afecta con las heladas, sus tubérculos tienen la propiedad de regenerarse rápidamente. Además de ello, a este cultivo le es indiferente el tipo de suelo; tolera terrenos con pH acido mayor a 3,5; se adapta a suelos pobres en nutrientes, y se puede cultivar entre los 2600 y los 4000 m s. n. m., aunque no tolera climas con temperaturas mayores a los 28 °C (Clavijo, 2014).

Finalmente, la tradición de las pequeñas unidades agrícolas familiares andinas de cultivar varias especies intercaladas andinas reduce las malezas, plagas y enfermedades; mejora la calidad del suelo; hace más eficiente el uso del agua y nutrientes; incrementa la productividad de la tierra y reduce la variabilidad de los rendimientos.

Sin embargo, los campesinos que en los departamentos de Boyacá, Cundinamarca, Nariño y Cauca conservan la tradición y el conocimiento precolombino de más de 8000 años de cultivar y consumir tubérculos andinos subvalorados, entre los que se encuentra *Tropaeolum tuberosum* (cubio), *Oxalis tuberosa* (ibia) y *Ullucus tuberosus* (ruba), son muy vulnerables debido a la pobreza y al acceso a servicios básicos (Barrera, Tapia y Monteros, 2004).

La bioprospección es clave para la generación de valor agregado a los cultivos andinos promisorios

En procesos previos de investigación realizados en municipios boyacenses, se ha reconocido la variabilidad morfológica de tubérculos y raíces tuberosas que se cultivan en Colombia, así como sus prácticas de cultivo, usos, valoraciones ancestrales y las características de los sistemas productivos diversificados en los cuales se encuentran inmersos (Clavijo, 2014).

Los miembros de la unidad agrícola familiar se involucran en el mantenimiento de variedades de sistema de cultivo dentro de los sistemas agrícolas tradicionales. Con ello privilegian no solo el valor biológico o técnico de la agrobiodiversidad, sino también el conocimiento local, el comportamiento cultural, social y económico, así como la organización local de las poblaciones de campesinos (National Research Council Panel on Lost Crops of the Incas, 1989).

Es así como el mantenimiento de los recursos genéticos agrícolas en los sistemas productivos donde han evolucionado depende de las comunidades campesinas autoras de los procesos de domesticación y preservación de especies vegetales en espacios temporales y naturales específicos. Por ello, la conservación *in situ* se convierte en una estrategia apropiada para fines productivos en los que la preservación de los cultivos está basada en la participación activa de la familia.

El mantenimiento y el fomento de la agrobiodiversidad representan una estrategia que asegura dietas e ingresos, una producción estable, también un mínimo riesgo y el aumento del rendimiento con bajos niveles de tecnología, además de los beneficios ambientales propios que brindan las expresiones de biodiversidad. No obstante, los esfuerzos de conservación de la agrobiodiversidad no serán suficientes si no se incrementan sus posibilidades de uso.

Existen pocos estudios de investigación y procesos de conservación de cultivos de tubérculos y raíces tuberosas subvaloradas como el cubio (*Tropaeolum tuberosum*), la ibia (*Oxalis tuberosa*), la ruba (*Ullucus tuberosus*), la achira (*Canna edulis*) o la batata (*Ipomoea batatas*), que poseen propiedades nutricionales y medicinales aprovechadas por nuestros ancestros, y algunos de ellos son recomendados para asociarlos con otras siembras por su función ecológica en los cultivos de repeler plagas (Tapia y Fries, 2007).

A pesar del desconocimiento sobre la composición y metabolitos presentes en la gran diversidad de tubérculos y raíces tuberosas que se cultivan

o se han cultivado en Colombia, en los estudios realizados sobre algunos de ellos se ha establecido que estos poseen, entre otras moléculas de interés, carbohidratos, proteínas, vitaminas y principios activos con potenciales aplicaciones medicinales, agrícolas e industriales (Clavijo, 2014).

En Colombia, el potencial de generación de valor de los cultivos de tubérculos y raíces tuberosas estará ligado directamente al conocimiento y la búsqueda sistemática de los genes y metabolitos que posea cada especie en particular y sus aplicaciones. La investigación de estos genes y componentes está enmarcada dentro de la bioprospección, que por medio de la investigación metódica se encamina al establecimiento de la riqueza de la biodiversidad y agrobiodiversidad de un territorio particular. Estos procesos de bioprospección exigen la interacción entre el conocimiento científico y los saberes tradicionales que poseen las comunidades locales e indígenas (Castree, 2003). Sin embargo, los escasos estudios de bioprospección realizados en raíces y tubérculos andinos han revelado su potencial como fuentes de carbohidratos, vitaminas, proteínas, minerales y principios activos de interés nutricional y comercial.

Una de las macromoléculas más abundantes presente en estos recursos andinos es el almidón, que se encuentra almacenado en los amiloplastos, principal metabolito de las plantas, constituido por gránulos de diversa complejidad, forma y tamaño. El almidón en su forma natural, o modificado por medio de procesos físicos o químicos, posee propiedades que le otorgan gran potencial para su aprovechamiento en la industria química y de alimentos humanos y pecuarios.

El almidón nativo que poseen estos recursos puede transformarse por medios físicos y químicos en almidón resistente (AR): fracción del almidón dietario que se escapa de la digestión en el intestino delgado y es procesado en el intestino grueso, lo que produce por fermentación bacteriana ácidos grasos volátiles de cadena corta (Englyst, Kingman y Cummings, 1992). Estos ácidos grasos son útiles para combatir la diarrea, la inflamación intestinal y el crecimiento de células tumorales. De hecho, el término *almidón resistente* obedece a que este tiene la capacidad de soportar el ataque de las enzimas digestivas. Además, su consumo fortalece el sistema inmunológico, reduce el índice glicémico en personas con diabetes, disminuye la grasa corporal y previene el cáncer de colon (Shi y Manjngat, 2013).

Los demás nutrientes y principios activos presentes en estos tubérculos y raíces tuberosas no tradicionales también se podrían aprovechar en

diversas aplicaciones medicinales, agrícolas e industriales. De esta forma, se constituyen en materia prima potencial de agroindustrias dedicadas a su transformación en productos de valor agregado de alta demanda en los mercados.

No obstante, el histórico desinterés estatal por el cultivo de tubérculos y raíces tuberosas andinas ancestrales ha influido en la desaparición de germoplasma nativo, que se expresa en la ausencia total de ciertos morfotipos y, por ende, en una reducción sistemática de nuestra agrobiodiversidad, con una combinación única de genes con valor particular y una utilidad inmediata aún inexplorada (FAO, 1996).

La desaparición de estas variedades nativas también ocasiona la desaparición de la memoria colectiva de su cultivo, uso y sabor, que es parte de la identidad y cultura de indígenas y campesinos de los Andes (Hermann y Heller, 1997). La ausencia de recursos estatales para la investigación y promoción de raíces y tubérculos andinos también ha llevado a que estos no se incluyan en programas de nutrición rural o urbana ni en la lista de cadenas productivas prioritarias (Tapia y Fries, 2007; Clavijo, 2014).

La inserción y permanencia de los cultivos andinos en cadenas de valor es viable

En el mercado actual de los alimentos, los productos agrícolas de las unidades familiares se encuentran en clara desventaja, dado que su producción marginal debe competir en precios y calidad con productos de grandes cooperativas, empresas agroindustriales y los importados por cadenas de supermercado. Adicionalmente, la cadena de intermediación entre el agricultor y el consumidor final cuenta con muchos eslabones (Maluf, 2004).

Para que los productos agrícolas derivados de la agricultura a pequeña escala se vinculen y sostengan en el tiempo en cadenas de valor dinámicas, se requiere tanto el acceso a mercados que hayan implementado el modelo de *comercio justo* como los procesos tecnológicos innovadores que permitan transformar estos recursos en derivados con valor agregado de alta demanda en los mercados locales y globales, para propiciar el desarrollo rural sostenible.

El *comercio justo* es un modelo de desarrollo que busca: el empoderamiento, la visibilización y la remuneración laboral equitativa para la mujer

rural; reivindicar los derechos de los pequeños productores; preservar y favorecer la soberanía alimentaria, y aliviar la pobreza de las familias, de la comunidad y del país (IICA, 2007).

El Estado, para una efectiva inserción de cultivos de la pequeña agricultura familiar en cadenas de valor sostenibles que respeten los principios del *comercio justo*, debe implementar políticas públicas que garanticen los principios del comercio justo para las unidades agrícolas familiares y sus asociaciones, y garantizar recursos para proyectos que privilegien la generación de productos diferenciales con valor agregado. Así mismo, el Estado deberá velar por la agilidad en la evaluación y desembolsos para los proyectos; estructurar un sistema ágil de información y trámites para productos y servicios; estimular, financiar y acompañar en el diseño e implementación de campañas publicitarias; implementar un sistema regionalizado de información de mercado con indicadores de ámbitos locales, regionales, nacionales e internacionales, y de mercados de productos e insumos; y ofrecer equipos y tecnología, entre otros (Maluf, 2004).

La academia deberá aportar significativamente, para la cristalización de estas iniciativas de los productores familiares, la capacitación y acompañamiento permanente a las unidades agrícolas familiares y sus asociaciones, no solo a través de la capacitación y acompañamiento en aspectos técnicos, de gestión, de administración, de trámites y de protección intelectual. Entre los temas técnicos de capacitación y acompañamiento en que será indispensable el apoyo de la academia se encuentran las tecnologías de producción y transformación, los procesos de inocuidad y los sistemas de gestión de calidad.

En cuanto a los temas de orden administrativo, la academia deberá contribuir con la preparación de los productores en aspectos de organización, administración y gestión, así como realizar un verdadero acompañamiento en el diseño de propuestas y proyectos, en aspectos de mercadeo y protección intelectual para los productos desarrollados que así lo ameriten, y en la preparación de documentación para lograr sellos y certificaciones diferenciales por producto, forma de producción, origen socioespacial o ventajas para consumidores (Maluf, 2004).

Los procesos tecnológicos y productos de valor agregado para desarrollar en el país deben estar basados en cultivos autóctonos con ventajas competitivas naturales o de mercado, con metabolitos de interés nutricional, medicinal e industrial (bioprospección), de fácil manejo y sostenibilidad en unidades agrícolas familiares, e inmersos en cultivos de sistemas multidiversos y

resilientes frente al cambio climático. Estas características son propias del cultivo de tubérculos y de raíces andinas subvaloradas (Flores et al., 2003).

Es así como la bioprospección, entendida como la investigación de las sustancias de interés medicinal, nutricional e industrial (Duarte y Velho, 2009) de nuestra agrobiodiversidad de tubérculos y raíces tuberosas andinos, y su transformación en productos de valor agregado, se puede llegar a constituir en la base para la conformación de agroindustrias asociativas de pequeños productores, como estrategia para contribuir al desarrollo y la sustentabilidad social del sector rural colombiano en el actual marco del posconflicto.

La generación de valor de los cultivos de tubérculos y raíces tuberosas ancestrales, a partir de la aplicación de enfoques participativos y de una clara visión de la demanda, y del valor de la tecnología de transformación de esta agrobiodiversidad, será clave para la generación de ingresos y la sostenibilidad de los pequeños productores. Con el fin de lograr los resultados esperados, estas iniciativas deberán ser planteadas y desarrolladas desde sus etapas iniciales conjuntamente con miembros de las unidades agrícolas familiares productoras de los recursos.

La producción de almidón resistente: una alternativa para generar valor a los cultivos andinos

Recientemente, se ha observado un creciente interés para productos como los almidones nativos y modificados con aplicaciones nutricionales, medicinales e industriales. En 2012, el mercado de almidones nativos a partir del ñame fue de 13,2 billones de dólares mientras que el de modificados fue de 12,8 billones de dólares; estos son consumidos por la industria farmacéutica y fabricantes de concentrados para animales y alimentos funcionales para humanos, entre otros (FAO, 2015). Esta oportunidad en el creciente mercado global de los almidones nativos y modificados es una importante alternativa de valoración para los tubérculos y raíces tuberosas.

Un tipo de almidón modificado es el AR, carbohidrato que no es digerido por las enzimas digestivas (Moorthy, 2002; Thompson, 2000). Se puede obtener a través de procesos físicos, químicos y biotecnológicos de transformación de almidón nativo procedente de diversas fuentes botánicas naturales, como los tubérculos y las raíces tuberosas andinas.

El AR es considerado un prebiótico para humanos y animales por producir beneficios potenciales para la salud (similares a los generados por una fibra soluble), al influenciar positivamente el funcionamiento del tracto digestivo y la microbiota intestinal (Shi y Maningat, 2013). Sin embargo, a pesar de sus propiedades, actualmente, a conocimiento de los autores, son escasos los productos comerciales formulados con AR. La obtención de AR se puede constituir en una importante alternativa de agroindustria innovadora que genere valor agregado a estos recursos, más aún si se tiene en cuenta que a nivel global los productos comerciales de almidón resistente son escasos y en su mayoría obtenidos del maíz (Sajilata, Singhal y Kulkarni, 2006).

Entre los beneficios que hacen atractiva la producción de AR, según lo reportado por diversos autores, se encuentra que su consumo mejora el funcionamiento del tracto digestivo y estimula la microbiota intestinal benéfica (Lee, Kim, Choi y Moon, 2012; Fuentes, Riquelme, Sanchéz y Pérez, 2010); produce la liberación lenta y prolongada de insulina; forma mayor cantidad de butirato (fuente energética de los enterocitos), generado por fermentación bacteriana (Annison, Illman y Topping, 2003, Hasjim et al, 2010); inhibe daños genéticos causados por dietas altas en proteína (Okuma y Kishimoto, 2004); incrementa la oxidación de las grasas para producir energía (Gibson y Roberfroid, 1995; Rodríguez, 2013), y disminuye la grasa corporal (Gordon, 2007; Ackerson, 1961). Además de estos aportes, al AR se le atribuyen beneficios sobre el sistema inmune intestinal; no obstante, aún no se ha establecido completamente el mecanismo de acción (Ganguly, 2013).

En este promisorio y poco explorado campo de trabajo, en la Universidad de La Salle se ha venido desarrollando una propuesta de investigación que pretende contribuir con el desarrollo de procesos para la obtención de AR a partir de tubérculos y raíces tuberosas subvaloradas y cultivadas en pequeñas unidades de producción agrícola familiar diversificadas, de municipios cundiboyacenses.

Como resultado de este proceso, a la fecha se han desarrollado dos procesos diferentes: uno de tipo físico y otro de tipo químico, que permiten obtener AR de características nutricionales, químicas y morfológicas similares a los escasos productos que se encuentran en el mercado internacional a partir de dos raíces tuberosas y un tubérculo de origen andino, y subvalorados en los mercados locales. Estos procesos de obtención se encuentran en etapa de evaluación tecnológica con el fin de establecer la viabilidad de obtener una patente. Sin embargo, cristalizar la inserción sostenible del AR obtenido

a partir de nuestra agrobiodiversidad en cadenas de valor requerirá la demostración de los efectos benéficos de su consumo en animales y humanos a través del empleo de modelos y del monitoreo de indicadores biológicos en humanos participantes de estudios especiales.

Prospectivas para los tubérculos y raíces tuberosas andinos subvalorados

De acuerdo con el panorama expuesto, la inserción en cadenas de valor de raíces y tubérculos andinos hasta hoy subvalorados estará supeditada al verdadero aprovechamiento de su potencial. Para este propósito es esencial la investigación de los metabolitos de cada especie, así como la implementación y consolidación de agroindustrias para su transformación en productos de valor agregado. Para ello será fundamental, por otra parte, la generación e implementación de políticas de gobierno que acompañen todo el proceso. Dentro de las industrias que se pueden desarrollar a futuro a partir de la investigación de los metabolitos presentes en gran variedad tubérculos y raíces tuberosas andinas se encuentran las basadas en su etnobotánica: propiedades laxantes y facilitadoras del parto del *Ullucus tuberosus C.*; propiedades nematicidas, bactericidas e insecticidas de los isotiocianatos de *Tropaeolum tuberosum R&P* y *Oxalis tuberosa M.*; propiedades antioxidantes de los polifenoles presentes en *Tropaeolum tuberosum R&P.*

Estos recursos presentan otras propiedades medicinales conocidas por nuestros ancestros, pero aún se requieren investigaciones científicas para identificar los productos bioactivos de *Tropaeolum tuberosum R&P* con potencial antibiótico, antifúngico, anticancerígeno, diurético y coadyuvante en tratamientos de fertilidad para la mujer; de *Oxalis tuberosa M.*, con capacidad de aliviar el reumatismo y enfermedades biliosas, entre otras (Bernal y Correa, 1998).

Por otra parte, se puede desarrollar industria cosmética basada en los almidones de calidad que se pueden obtener de *Oxalis tuberosa M.* e *Ipomoea batatas* (Tapia y Fries, 2007; Alcázar y Almeida, 2015); industria de alimentos que aproveche el contenido de carbohidratos, fibra, carotenos, vitaminas y minerales presentes en estos recursos, así como alimentos funcionales basados en los extractos polifenólicos de *Tropaeolum tuberosum R&P,* que protegen contra el daño oxidativo de estructuras biológicas (Clavijo, 2014), e

ingredientes para concentrados animales de alto valor nutritivo, entre otros (Flores et al., 2003).

Otra posible aplicación de *Tropaeolum tuberosum R&P* está en la agricultura orgánica, en la cual se pueden aprovechar sus metabolitos que actúan como controladores biológicos para hongos de otros cultivos cuando se siembra intercalado con estos (Hermann, 2003; Clavijo, 2014).

Este tipo de desarrollos requerirá la articulación de los saberes tradicionales con la ciencia y la tecnología, para generar valor en función de las agroindustrias que se conviertan en alternativas de conservación y uso sostenible de nuestra agrobiodiversidad, así como del apoyo y la integración de diversos actores: los productores de las unidades agrícolas familiares que cultivan las materias primas, el Estado, la academia y la industria, con el fin de plantear y desarrollar participativa y conjuntamente las estrategias requeridas para garantizar la producción y comercialización de los productos de valor agregado generados.

Consideraciones finales

En este momento histórico en que el Gobierno colombiano ha firmado el Acuerdo de Paz con las FARC, existen las condiciones y la voluntad política para que se dé un verdadero desarrollo rural en el país, descrito en dicho documento como "reforma rural integral con enfoque territorial". Esta reforma rural debe centrar sus esfuerzos en promover la agricultura familiar a través de la implementación de políticas públicas que aseguren la producción económica y socialmente sostenible de productos de valor agregado por parte de asociaciones de pequeños productores, así como la inserción y permanencia de estos productos en cadenas de valor que respeten los principios del comercio justo.

Sin embargo, será indispensable que las políticas generadas aseguren que la academia, el sector financiero y el Estado brinden apoyo, capacitación y acompañamiento permanente a los productores en aspectos técnicos, administrativo, financieros y de gestión desde el planteamiento de los proyectos hasta su fase de implementación. En esta instancia se debe incluir no solo la producción, sino también la obtención de sellos distintivos y posicionamiento en el mercado, con el fin de llegar a concretar en hechos los

lineamientos estipulados en el Plan Nacional para el Fomento y Protección de la Agricultura Familiar descrito en el Plan Nacional de Desarrollo 2014-2018.

Por otra parte, es un hecho que el desarrollo de la agricultura familiar es la mejor forma de implementar extensamente las prácticas de ACI, teniendo en cuenta que es en la unidad agrícola familiar donde se cultiva en sistemas productivos multidiversos, se preservan alimentos tradicionales de arraigo cultural, se salvaguarda la agrobiodiversidad, se hace un uso razonable de los recursos naturales y se evita el uso de agroquímicos. Esta forma de producción favorece la resiliencia de los sistemas frente al cambio climático a la vez que reduce el impacto ambiental negativo de la agricultura sobre el ambiente.

Así mismo, será fundamental que se empleen cultivos autóctonos con ventajas competitivas naturales o de mercado para generar productos de valor agregado a partir de la agrobiodiversidad andina, así como implementar enfoques participativos con los pequeños productores del país para buscar el aprovechamiento de los metabolitos de interés nutricional, medicinal e industrial que estos recursos poseen.

Será imprescindible, entonces, que la academia colombiana cuente con el apoyo financiero de entidades estatales para realizar un gran esfuerzo investigativo conjunto y coordinado, con el fin de realizar una amplia bioprospección de principios activos presentes en variedades vegetales autóctonas actualmente subvaloradas. Al mismo tiempo, los investigadores deben trabajar en el desarrollo y optimización de los procesos requeridos para la transformación de nuestra agrobiodiversidad en productos de valor agregado de alta demanda en los mercados nacionales e internacionales, priorizando tecnologías de fácil implementación en las zonas rurales.

El cultivo y la bioprospección de los metabolitos presentes en tubérculos y raíces tuberosas ancestrales andinas hasta ahora subvaloradas representan una oportunidad para el empoderamiento de las unidades agrícolas familiares que los producen, dado que además de cumplir con características de ACI, se ha establecido que poseen una serie de principios activos de interés medicinal e industrial de acuerdo con lo reportado en documentos históricos y en los escasos estudios realizados sobre su composición.

Por su parte, desde hace algunos años investigadores de la Universidad de La Salle vienen realizando investigaciones con algunos de estos tubérculos y raíces tuberosas subvalorados: *Ipomoea batatas*, *Oxalis tuberosa M.*, *Tropaeolum tuberosum R&P*, *Ullucus tuberosus C.*, *Smallanthus sonchifolius*, *Canna edulis*. Como resultado, se ha logrado establecer la composición y

los metabolitos de interés presentes en algunos de ellos, así como algunos procesos de transformación en productos de valor agregado como el AR.

Con el fin de establecer si el AR desarrollado se puede emplear en la industria de alimentos para animales y humanos, actualmente en la Universidad de La Salle se realiza el diseño de un experimento *in vivo* que, empleando pollo de engorde como modelo animal, pretende establecer los efectos sobre la salud y el sistema inmune intestinal del consumo de dietas balanceadas formuladas con el AR producido a partir de estos recursos ancestrales andinos.

Se espera que con base en estos resultados y los arrojados por otras investigaciones que se desarrollan actualmente en Universidad de La Salle y otras universidades sobre el valor nutricional, medicinal e industrial de estos recursos andinos, así como su importancia en la resiliencia frente al cambio climático, se logre el compromiso del Gobierno nacional para incluir este tipo de agrobiodiversidad en sus cadenas prioritarias, y así obtener todas las garantías para el impulso de su cultivo, bioprospección y transformación en productos de valor agregado por parte de asociaciones de unidades agrícolas familiares con todo el apoyo y acompañamiento requerido de la academia.

Bibliografía

Ackerson, C. W. (1961). High-amylose corn in a diet for day-old chicks. *Feed Age, 11*, 25-27.

Alcázar, S. y Almeida, M. (2015). Physicochemical properties, modifications and applications of starches from different botanical sources. *Food Science and Technology (Campinas), 35*(2), 215-236. https://dx.doi.org/10.1590/1678-457X.6749

Altieri, M. A. (1999). *Agroecología: bases científicas para una agricultura sustentable*. Montevideo: Editorial Nordan-Comunidad.

Annison, G., Illman, R. y Topping, D. (2003). Acetylated, propionylated or butyrylated starches raise large bowel short-chain fatty acids preferentially when fed to rats. *Journal of Nutrition, 133*(11), 3523-3528.

Banco Mundial, Centro Internacional de Agricultura Tropical y Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. (2015). *Agricultura climáticamente inteligente en Colombia*. 2.ª ed. Washington D.C.: Grupo del Banco Mundial.

Barrera, V. H., Tapia, C. G. y Monteros, A. R. (Ed.). (2004). *Raíces y tubérculos andinos: alternativas para la conservación y uso sostenible en el Ecuador*. Lima: Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias.

Bello, L. y Paredes, O. (2009). Starches of some food crops, changes during processing and their nutraceutical potential. *Food Engineering Reviews,* (1), 50-65.

Bernal, Y. y Correa, J. (1998). *Especies vegetales promisorias de los países del Convenio Andrés Bello*. Caracas: Secretaría del Convenio Andrés Bello.

Castree, N. (2003). Bioprospecting: from theory to practice (and back again). *Transactions of the Institute of British Geographers*, *28*(1), 35-55. doi:10.1111/1475-5661.00076.

Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno de El Niño. (2012). *Fase I: Diagnóstico. Vulnerabilidad social, económica y ambiental de la provincia del Guayas*. Guayaquil, Ecuador: Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial del Guayas, Dirección de Medio Ambiente.

Clavijo, N. (2014). *Tubérculos andinos: conservación y uso desde una perspectiva agroecológica.* Bogotá: Editorial Pontificia Universidad Javeriana.

Congreso de la República de Colombia (2015). *Proyecto de ley 223*. Bogotá.

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. (2003). *El almidón de achira o sagú* (*Canna edulis, Ker*). Recuperado de http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/jspui/bitstream/11348/3744/1/Almidon%20de%20achira%20o%20sagu.pdf

Departamento Nacional de Planeación. (2014). Transformación del campo. *Bases del Plan Nacional de Desarrollo* 2014-2018. Bogotá: autor.

Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (2016). Resultados. *Tercer Censo Nacional Agropecuario.* T. 2. Bogotá: autor.

Duarte, O. y Velho, l. (2009). La bioprospección como un mecanismo de cooperación internacional para fortalecimiento de capacidades en ciencia y tecnología en Colombia. *Ciência da Informação, 38*(3), 96-110.

Englyst, H. N., Kingman, S. M. y Cummings, J. H. (1992). Classification and measurement of nutritionally important starch fractions. *European Journal Clinical Nutrition*, *46*(S2), S33-S50.

Fawaz, J. y Vallejos, R. (2011). Calidad de vida, ocupación, participación y roles de género: un sistema de indicadores sociales de sostenibilidad rural (Chile). *Cuadernos de Desarrollo Rural, 8*(67), 45-68.

Flores, H., Walker, T., Guimaraes, R., Bais, H. y Vivanco, J. (2003). Andean root and tuber crops: underground rainbows. *Horticulture Science, 38*(2), 161-167.

Fuentes, E., Riquelme, M., Sanchéz, E. y Pérez, J. (2010). Resistant starch as functional ingredient. A review. *Food Research International, 43*(4), 931-942. doi:10.1016/j.foodres.2010.02.004.

Ganguly, S. (2013). Nutraceutical and pharmaceutical implications of prebiotics in livestock and poultry feed. *Bulletin of Pharmaceutical Research, 3*(2), 71-79.

Gertler, M. (1994). *Rural communities and the challenge of sustainability. Towards sustainable rural communities* (pp. 69-78). Guelph, Canadá: University School of Rural Planning and Development.

Gibson, G. R. y Roberfroid, M. B. (1995). Dietary modulation of the human colonic microbiota: introducing the concept of prebiotics. *Journal Nutrition, 125*(6), 1401-1412.

Gordon, D. T. (2007). The effect of resistant maltodextrin on blood glucose, insulin and triacylglyceride levels, and fat accumulation after meal feeding in humans. En H. Salovaara, F. Gates, M. Tenkanen (Eds.), *Dietary fiber: components and functions* (pp. 305-322). Wageningen: Wageningen Academic Publishers.

Hasjim, J., Lee, S.-O., Hendrich, S., Setiawan, S., Ai, Y. y Jane, J. (2010). Characterization of a novel resistant-starch and its effects on postprandial plasma-glucose and insulin responses. *Cereal Chemistry,* 87(4), 257-262.

Hermann, M. (2003). *Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops*. Lima: International Potato Center; Roma: International Plant Genetic Resources Institute.

Hermann, M. y Heller, J. (1997). Andean roots and tubers at the crossroads. En M. Hermann y J. Heller. (Eds.), *Andean roots and tubers: Ahipa, arracacha, maca and yacon* (pp. 5-11). Roma: International Plant Genetic Resources Institute.

Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, Comisión Económica para América Latina y el Caribe, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2015). *Perspectivas de la agricultura y del desarrollo rural en las Américas: una mirada hacia América Latina y el Caribe*. San José de Costa Rica: autor.

Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. (2007). *El comercio justo como alternativa para el desarrollo equitativo. Propuesta para una estrategia de fortalecimiento y consolidación del comercio justo en Colombia. Cuaderno técnico*. San José de Costa Rica: autor.

Lee, C. J., Kim, Y., Choi, S. J. y Moon, T. W. (2012). Slowly digestible starch from heat-moisture treated waxy potato starch: preparation, structural characteristics, and glucose response in mice. *Food Chemistry, 133*(4), 1222-1229.

Recuperado de: http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.09.098.10.1016/j.foodchem.2011.09.098.

Magrín, G. (2015). *Adaptación al cambio climático en América Latina y el Caribe*. Santiago de Chile: Organización de las Naciones Unidas-Cepal.

Maluf, R. (2004). Mercados agroalimentares e a agricultura familiar no Brasil: agregacao de valor, cadeias integradas e circuitos regionais. *Ensaios FEE, 25*(1), 299-322.

Maturana, D. y Sáenz, N. (2014). *Análisis de las propiedades funcionales y fisicoquímicas de almidón resistente de ñame (Dioscorea rotundata)*. Bogotá: Universidad de La Salle.

Mitchell, T., Ibrahim, M., Harris, K., Hedger, M., Polack, E., Ahmed, A., et al. (2010), *Climate smart disaster risk management*. Strengthening Climate Resilience. Brighton: IDS.

Moorthy, S. N. (2002). Physicochemical and functional properties of tropical tuber starches: a review. *Starch-tärke, 54*(12), 559-592.

Mujica, E., Holle, M. (1998). Los Andes y la transformación cultural del paisaje. En E. Mujica Barreda (Ed.), *Paisajes culturales en los Andes.* Arequipa, Perú: Unesco.

National Research Council Panel on Lost Crops of the Incas. (1989). *Lost crops of the Incas*. Washington: National Academy Press.

Okuma, K. y Kishimoto, Y. (2004). Effect of resistant maltodextrin on metabolism of glucose and lipids. En J. W. Van Der Kamp, N.-G. Asp, J. Miller y G. Schaafsma (Eds.), *Dietary fiber.* Wageningen: Wageningen Academic Publishers.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (1996). *Informe sobre el estado de los recursos fitogenéticos en el mundo. Conferencia técnica internacional sobre recursos fitogenéticos*. Roma: autor.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2009). *La perspectiva mundial en la perspectiva del año 2050*. Roma: autor.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2010). *Manual de agricultura climáticamente inteligente.* Roma: autor.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2014). *FAO declara al 2014 año internacional de la agricultura familiar*. Recuperado de: http://www.un.org/spanish/News/story.asp?newsID=26019#.WVJpcuGPIU

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2015). *Perspectivas alimentarias. Resúmenes de mercado.* Roma: autor.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2015). *Climate smart agriculture: a call for action*. Bangkok: autor.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2016). *El estado de los bosques del mundo*. Roma: autor.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola, Unicef, Programa Mundial de Alimentos y Organización Mundial de la Salud. (2017). *El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo. Fomentando la resiliencia en aras de la paz y la seguridad alimentaria*. Roma: autor.

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (2011). *Informe sobre desarrollo humano*. México: Ediciones Mundi-Prensa.

Red Nacional de Agricultura Familiar y Comité Nacional de Impulso Colombia. (2014). *Agricultura familiar para Colombia*. Bogotá.

Representantes Gobierno Nacional de Colombia y Fuerzas Armadas Revolucionarias de Colombia. (2016). *Acuerdo final para la terminación del conflicto y la construcción de una paz estable y duradera.* Punto 1. La Habana.

Rodríguez, D. E. (2013). *Efecto de la concentración de almidones resistentes de la papa común (Solanum tuberosum) y criolla (Solanum phureja) sobre la digestibilidad de nutrientes, energía metabolizable e integridad del tracto gastrointestinal de pollos de engorde*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.

Sajilata, M., Singhal, R. y Kulkarni, P. (2006). Resistant starch-A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety,* 5(1), 1-17.

Salcedo, S. y Guzmán, L. (2014). *Agricultura familiar en América Latina y el Caribe: recomendaciones de política.* Santiago de Chile: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

Semana. (2016). El agro: una oportunidad de oro. Recuperado de: http://www.semana.com/economia/articulo/colombia-potencia-alimentaria-y-agricola/459490

Shi, Y. C. y Maningat, C. C. (2013). *Resistant starch: sources, applications and health benefits*. Oxford: John Wiley & Sons.

Tapia, M. E. y Fries, A. M. (2007). *Guía de campo de los cultivos andinos*. Lima: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura-Asociación de Productos Agroecológicos.

Thompson, D. B. (2000). Strategies for the manufacture of resistant Starch. *Trends in food Science & Technology,* (11), 245-253.

Topping, D. L., Morell, M. K., King, R. A., Li, Z., Bird, A. R. y Noakes, M. (2003). Resistant starch and health-Himalaya 292, a novel barley cultivar to deliver benefits to consumer. *Starke,* 55(12), 539-545.

Villanueva, A., Halewood, M. y Noriega, I. (2017). Agricultural biodiversity in climate change adaptation planning. *European Journal of Sustainable Development, 6*(2), 1-8.

Estrategias de mejoramiento y reproducción en la ganadería bovina para la adaptación y mitigación al cambio climático

*Guillermo Andrés Torres Leyva**
*Liliana Chacón Jaramillo***
*Ariosto Ardila Silva****

El cambio climático está trasformando los ecosistemas de la tierra y amenazando el bienestar de las actuales y futuras generaciones. Se recomienda evitar un aumento de la temperatura mundial superior a los 2 °C. Para lograr esto se requiere con urgencia recortes sustanciales de las emisiones mundiales (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2013).

El sector ganadero mundial contribuye con una parte importante de las emisiones de los gases de efecto invernadero (GEI) antropogénicas, pero también puede colaborar de manera importante con los esfuerzos de mitigación necesarios para reducirlos. La importancia de reducir las emisiones del sector ganadero y su huella ecológica se han hecho cada vez más apremiantes en vista de su continuo aumento para garantizar la seguridad alimentaria de una población mundial creciente, más rica y urbanizada (Delgado et al., 1999).

Se debe tener en cuenta que al hablar de ganadería no solamente se refiere al ganado bovino, sino a todas las especies domesticables que están dentro de un sistema de producción humano. Si bien el ganado bovino es el

* Estudiante del Doctorado en Agrociencias, Universidad de La Salle, Colombia. Correo electrónico: gtorreso6@unisalle.edu.co
** Profesora e investigadora de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de La Salle, Colombia. Correo electrónico: lichacon@lasalle.edu.co
*** Decano de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de La Salle, Colombia. Correo electrónico: aardilas@lasalle.edu.co

que más contribuye como generador de GEI, el sistema ganadero tiene varias etapas productivas, las cuales también contribuyen de manera importante a estas emisiones (Pérez, 2008; Berndt y Tomkins, 2013). De acuerdo con el potencial mitigador, se han determinado estrategias para que la ganadería bovina baje las emisiones y pueda seguir contribuyendo a la producción de proteína de origen animal para continuar alimentando la gran cantidad de seres humanos que se están reproduciendo en el mundo.

Contribución antropogénica de la ganadería bovina al cambio climático

La ganadería es el conjunto de actividades humanas para la cría, cuidado, uso y mercadeo hasta llegar al consumidor final de todos los animales domesticables para la producción de carne, leche, huevos, cueros y otros subproductos (Amézquita, 2017). Es decir, el sector ganadero mundial contribuye con una parte importante de las emisiones de GEI antropogénicas (FAO, 2013). Estas actividades van en aumento con el crecimiento de la población mundial humana y deben garantizar la seguridad alimentaria de esta población, la cual se prevé pasará de 7200 millones actuales de personas a 9600 millones en 2050. Se estima que la demanda de carne y leche aumenten en 73 y 58% respectivamente, en relación con los niveles de 2010 (FAO, 2011).

Del total de las emisiones antropogénicas (49 giga toneladas de CO_2 –eq estimadas para 2004) de los GEI (CO_2, H_2O, CH_4, N_2O, O_3) que estaban causando el calentamiento global, las que provienen de las cadenas de suministro ganadero se estimaron en 7,1 giga toneladas (GT) de CO_2 –eq para 2005. Este total representó el 14,5% de todas las emisiones inducidas por el ser humano según las estimaciones más recientes (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [IPCC], 2007).

El ganado bovino es el principal generador de emisiones del sector con alrededor de 4,6 GT de CO_2 –eq, que representan el 65% de las emisiones provenientes de las actividades pecuarias. El ganado vacuno de carne y el ganado bovino de leche producen cantidades similares de emisiones (GEI 2.4 GT de CO_2 – eq y 2,1 GT de CO_2 –eq respectivamente); las aves de corral, los cerdos, los búfalos y los pequeños rumiantes tienen niveles de emisión más bajos (9,6; 9,4; 8,7 y 6,6%, respectivamente). Existe una clara diferencia en lo que se refiere a la intensidad de emisiones entre la carne de bovino producida

por sistemas lecheros y la producida por sistemas de carne especializada: la intensidad de emisión de la carne de bovina proveniente de hatos de carne especializada es casi cuatro veces mayor que la proveniente de sistemas lecheros (68 kg frente 18 kg de CO_2 –eq por kg de peso en canal) (FAO, 2013).

Producción de carne y leche bovina

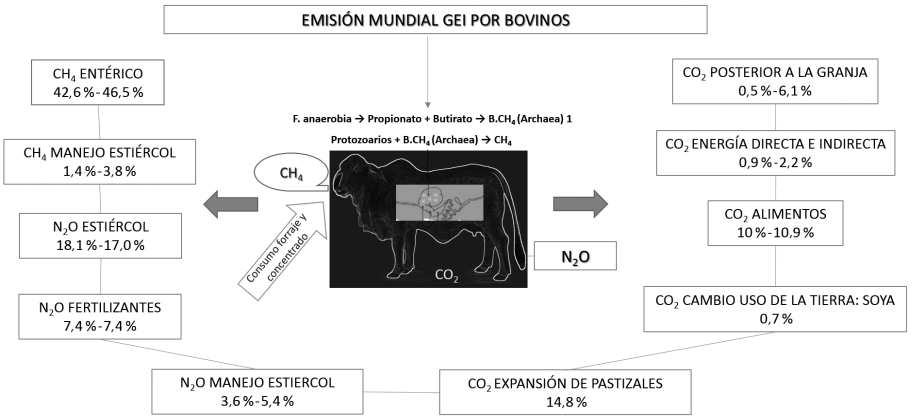
La fermentación entérica elimina metano (CH_4) a través del eructo en un 98% por este mecanismo (Carmona, Bolívar y Giraldo, 2005); es la fuente principal de emisiones provenientes del ganado bovino. Este gas es producto de la digestión de la celulosa en el rumen a través de los microrganismos presentes en este órgano (Verge, Kimpe y Desjardins, 2007). La celulosa se digiere en condiciones anaeróbicas, se degrada a glucosa, se fermenta después a ácido acético y se reduce el CO_2, formando CH_4 en el proceso (McCaughey, Wittenberg y Corrigan, 1999). Estas emisiones ascienden a 1,1 GT de CO_2 –eq, que representan el 46 y el 43% del total de las emisiones en las cadenas de suministros lácteos y carne de bovino, respectivamente, que son del 15 al 20% de la emisión mundial de CH_4 (McCaughey, Wittenberg y Corrigan, 1997). Los otros dos gases que emite el bovino de forma importante pero en menor proporción son el óxido nitroso (N_2O), producido por el estiércol, manejo de fertilizantes y manejo del estiércol, y el CO_2, producto de la expansión de pastizales, la elaboración de alimentos para bovinos, los procesos posteriores a la granja (comercialización y transporte), la energía directa e indirecta del proceso y el cambio del uso de la tierra (figura 1).

Se ha demostrado que las emisiones de GEI (CH_4, N_2O y CO_2) están inversamente relacionadas con la productividad animal (Gerber, Vellinga, Opio y Steinfeld, 2011).

Importancia del consumo de los productos bovinos

El consumo de productos pecuarios ha aumentado rápidamente en los países en desarrollo durante los últimos decenios, especialmente desde la década de los ochenta. El consumo per cápita de productos pecuarios sigue al alza a un ritmo mucho mayor que el consumo de otros grupos importantes de productos alimenticios. Desde comienzos de la década de los sesenta, el

Figura 1. Esquema general de las emisiones de gases de efecto invernadero en los bovinos



Fuente: McCaughey, Wittenberg y Corrigan, (1997); DeRamus, Clement, Gianpola y Dickison (2003) y Boland et al. (2013).

consumo per cápita de leche en los países en desarrollo se multiplicó casi por dos, el consumo de carne se multiplicó por más de tres y el consumo de huevos se quintuplicó (FAO, 2009). Esto le ofrece al sector ganadero enfrentar un difícil reto para reducir las emisiones de los GEI debido al incremento que se prevé en la demanda de los productos pecuarios como consecuencia del aumento de la población humana con mejor bienestar económico y más urbanizada (FAO, 2011). También se estima que el consumo per cápita de carne para 2030 pase a 37 kg en países en vía de desarrollo y a 89 kg en países desarrollados (FAO, 2006). El crecimiento y las innovaciones tecnológicas han originado profundos cambios estructurales en el sector pecuario, tales como el abandono de las explotaciones agropecuarias en pequeña escala en favor de sistemas productivos industriales especializados en gran escala, el traslado de la ubicación geográfica de la demanda y la oferta al mundo en desarrollo y el creciente énfasis en el abastecimiento y la comercialización mundial.

Estos cambios tienen repercusiones en la capacidad del sector pecuario de incrementar la producción de manera sostenible de modo que se promuevan la seguridad alimentaria, la reducción de la pobreza y la salud pública (FAO, 2009). La ganadería representa el 40 % del valor mundial de la producción agrícola y es la base de los medios de subsistencia y la seguridad

alimentaria de casi mil millones de personas. El progreso y la transformación del sector ofrecen oportunidades de desarrollo agrícola, reducción de la pobreza y mejora de la seguridad alimentaria, pero el rápido ritmo del cambio podría marginar a los pequeños agricultores. Por otro lado, deben abordarse los riesgos sistémicos para el medio ambiente y la salud humana con vistas a garantizar la sostenibilidad. En el ámbito mundial, el ganado aporta el 15% de la energía alimentaria total y el 25% de las proteínas de la dieta. Los productos provenientes del ganado proporcionan micronutrientes esenciales que no se obtienen fácilmente a partir de alimentos vegetales (Neumann, et al., 2003).

El 80% de la población subnutrida del mundo vive en zonas rurales y la mayor parte de ella obtiene sus medios de subsistencia de la agricultura, incluida la ganadería (Proyecto del Milenio de las Naciones Unidas, 2004). Los ganaderos en pequeña escala, especialmente las mujeres, se enfrentan a numerosos desafíos, como el acceso deficiente a los mercados, los bienes, los servicios y la información técnica; las sequías y enfermedades periódicas; la competencia por el uso de los recursos; unas políticas que favorecen a los productores en gran escala o a los mercados exteriores, y unas instituciones pobres (FAO, 2009). Los reportes indican que la población pobre, en particular los niños de corta edad y sus madres en los países en desarrollo, no consumen una cantidad suficiente de alimentos de origen animal (Instituto Internacional de Investigaciones sobre Políticas Alimentarias [IFPRI], 2004), mientras que otros grupos de población, de manera especial en los países desarrollados, consumen demasiados (Organización Panamericana de la Salud [OPS], 2006). Pero los elevados índices de subnutrición e insuficiencia de micronutrientes que presenta la población rural pobre sugieren que, a pesar de que cría ganado con frecuencia, este grupo de población consume muy pocos alimentos de origen animal.

Aproximadamente entre 4000 y 5000 millones de personas tienen un nivel insuficiente de hierro, un mineral fundamental para la salud de las mujeres embarazadas y lactantes y para el desarrollo físico y cognitivo de los niños de corta edad (Comité Permanente de Nutrición del Sistema de las Naciones Unidas, 2004). Los productos pecuarios son una excelente fuente de proteínas de alta calidad y de micronutrientes esenciales, como la vitamina B, y oligoelementos de alta biodisponibilidad, como el zinc y el hierro. La biodisponibilidad es en particular importante para las madres y los niños de corta edad, quienes tienen dificultades a la hora de obtener una cantidad

suficiente de micronutrientes con una dieta de base vegetal. Una pequeña cantidad de alimentos de origen animal puede proporcionar los nutrientes necesarios para la salud materna y el desarrollo físico y mental de los niños de corta edad. Sin embargo, el consumo excesivo de productos pecuarios está asociado con un mayor riesgo de sufrir obesidad, cardiopatías y otras enfermedades no transmisibles (Organización Mundial de la Salud [OMS] y FAO, 2003).

La ganadería víctima del cambio climático

El cambio climático afecta las fuentes de alimento. El cambio en el clima tiene un potencial y una drástica alteración de los ecosistemas en pastoreo, lo que da como resultado el calentamiento climático y la alteración de las precipitaciones lo cual perjudica la ganadería, la cantidad y calidad del forraje (Huxman et al., 2004). Este cambio de clima altera las fuentes de alimento de los bovinos, ya que en todo el mundo menos del 20 % de la energía requerida por el ganado para alcanzar el peso de mercado es derivada de cereal, mientras el restante proviene de los pastizales, pasturas u otra fuente de fibra celulosa (Oltjen y Beckett, 1996). La proteína de la planta y la energía digerible limitan el desempeño del ganado bovino cuando el suplemento es escaso y las deficiencias son costosas para mitigar (Poppi y Mclennan, 1995). Las praderas con calentamiento ocasionada por el aumento de la temperatura ambiental y el cambio climático han mostrado disminución en las concentraciones de nitrógeno foliar. No solamente se debe analizar la calidad del forraje, sino también hay que tener en cuenta que otros factores afectan el éxito productivo del animal (Rincón y Ligarreto, 2010). Estas emisiones relacionadas con los alimentos, incluidas las emisiones provenientes del manejo de pastizales, son la segunda categoría más importante de emisiones, y contribuyen con cerca del 36 % de las emisiones derivadas de la producción de leche y carne. En esta categoría predominan las emisiones de N_2O provenientes en su mayor parte de la fertilización de los alimentos. Cuando se añaden las emisiones derivadas de la expansión de los pastizales, las emisiones provenientes de los alimentos representan más de la mitad de las emisiones de los sistemas de carne de bovino especializado; los sistemas lecheros generalmente no están asociados a la expansión de pastizales (Cederberg y Stadig, 2003).

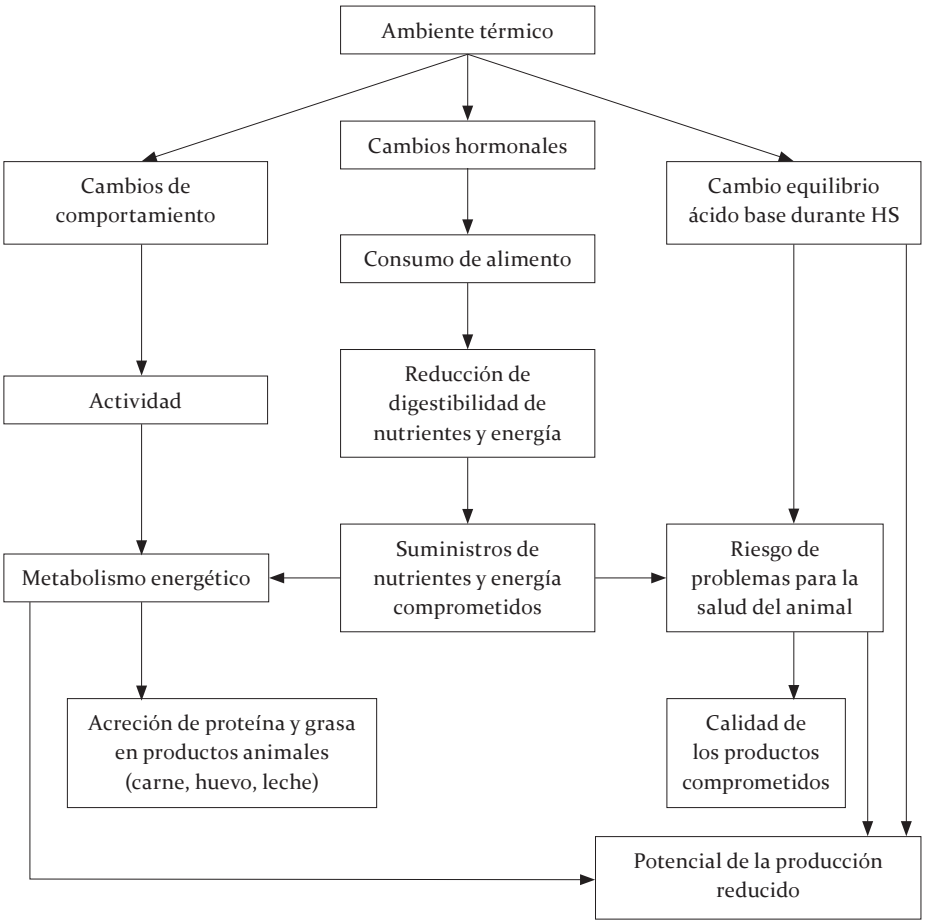
El calentamiento climático y la alteración en las precipitaciones (Hertel, Burke y Lobell, 2010) está ocasionando mayor frecuencia de episodios de sequía y lluvias torrenciales, el cambio en la temperatura ambiental, la humedad, el flujo de aire, la radiación solar y el manejo inadecuado de los pastos (Armstrong, 1994). Estos cambios están produciendo una alteración en las praderas; han causado algún grado de degradación de las pasturas; han disminuido la capacidad de producir biomasa; han producido un deterioro del suelo, lo que aumenta la acidez y disminuye los nutrientes, una baja en la entrada de nitrógeno al suelo y cambios físicos en especial los de erosión y los biológicos (Marques da Silva, Soares y Karlen, 2004). Esta degradación ocasiona la disminución de retención de carbono por parte de las pasturas por debajo de 0,6 GT de CO_2 –eq por año que es lo que se estima en la capacidad de retención de las pasturas en buenas condiciones (FAO, 2013).

En el bovino un aumento en la temperatura ambiental origina cambios en el comportamiento en la actividad física, lo que genera variación en el metabolismo energético. Esto da como resultado una disminución en la proteína y grasa en los productos de carne y leche. Otro efecto que sufre el animal son los cambios hormonales, los cuales causan disminución en el consumo de alimento (Beede y Collier, 1986), la reducción de la digestibilidad de los nutrientes y la disminución en el metabolismo energético para el producto final que el animal produce (Hammami et al., 2013). Se presenta, además, un aumento en el riesgo de problemas de la salud del bovino junto con el cambio en el equilibrio ácido base durante el estrés calórico, lo cual disminuye la calidad y cantidad de los productos (figura 2).

En los animales con estrés calórico se afecta su fertilidad, lo que produce aumentos en los costos de administración, pérdida de ingresos, disminución en los indicadores productivos como porcentaje de natalidad, ganancia diaria de peso, intervalo entre partos, bajos pesos al destete, aumento en la edad al destete y aumento en la edad al primer parto (Haile Mariam, Collins y Higgins, 2008). Por este motivo, los indicadores productivos en Colombia son tan bajos como el porcentaje de natalidad, cuyo promedio nacional está entre 52 y 66 % y debe ser sobresaliente por encima del 77,5 %; la capacidad de carga (UGG/ha) se encuentra entre 0,5 y 0,7 pero es ideal que esté por encima de 1,8; la ganancia diaria de peso (gramos por día) se encuentra entre 200 y 380 g, pero lo óptimo debe estar por encima de 525 g; el intervalo entre partos (días) está entre 700 y 550 días, pero lo deseado debe estar por debajo de 475 días; en el caso de los pesos ajustados al destete en machos (ajustado

a 240 días) lo ideal debe estar por encima de 211 kg, y en hembras por encima de 199,5 kg; esto ocasiona que los becerros se desteten en edades entre 8 y 9,5 meses lo cual contribuye a que el anestro posparto de la vaca se alargue. En las hembras de primer parto lo ideal es que sea menor de 32,5 meses edad (Fedegan, 2014).

Figura 2. Esquema general de los cambios fisiológicos en el bovino cuando hay aumento en la temperatura corporal



Fuente: adaptado de Babinszky, Halas y Martin (2011).

En el macho reproductor bovino, el estrés calórico tiene efecto en la espermatogénesis; la calidad del espermatozoide se ve afectada; hay daños en las células germinales y en el ADN del espermatozoide (Durairajanayagam, Agarwal y Ong, 2015). Esto ha ocasionado eventos de subfertilidad en estos toros (Nardone et al., 2010). En la hembra bovina el estrés por calor causa cambios metabólicos, disminución en el número de folículos, alteración en el ambiente folicular, degeneración de los ovocitos, los cuales afectan la función ovárica, la expresión del estro y el desarrollo embrionario; todos estos cambios ocasionan disminución en la eficiencia reproductiva de la hembra bovina (Boni, Perrone y Cecchini, 2014).

Estos efectos que suceden tanto en machos como en hembras bovinas producen una disminución de la detección de calores (Boni, Perrone y Cecchini, 2014); bajan la tasa de preñez; aumentan la inseminación por preñez y los días abiertos; incrementan los intervalos generacionales; disminuyen los becerros destetos por año; aumentan la edad de sacrificio, e incrementan los animales improductivos, lo que lleva al aumento de la tasa de descarte de vacas y novillas y, por lo tanto, demora en el mejoramiento genético. Esto finalmente genera aumento en los costos de producción y pérdidas económicas (Russell et al., 2014). La tasa de concepción en Estados Unidos por el aumento de la temperatura ocasionó una disminución de la tasa de concepción del 30 al 12 % en los animales con estrés calórico (Hansen y Block, 2004).

Estrategias de la ganadería bovina para la mitigación y adaptación al cambio climático

Existen técnicas para mitigar las emisiones de GEI a lo largo de las cadenas de suministro ganadero. Las que se tratarán a continuación están en orden de importancia de acuerdo con su potencial efecto mitigador en la reducción de CH_4 y N_2O. Las estrategias de manejo reproductivo para la cría son las que tienen mejor potencial efecto mitigador de CH_4 y N_2O. Las siguientes son las estrategias en el manejo reproductivo que aplican para los bovinos: las estrategias de apareamiento, la vida reproductiva mejorada, la atención y la salud peripuerperal, la reducción del estrés y las tecnologías reproductivas asistidas.

En Colombia la relación toro-vaca recomendada es 1:25 a 1:30 con dos meses de monta y un mes de descanso (Moreno, 2013), hacia la posibilidad

de cambiar a la proporción tradicional toro-vaca de 1:25; cuando se usan relaciones de 1:80 y 1:40 repercute en reducciones en el costo de cada becerro destetado. Por ejemplo, en una investigación en Brasil con ganado de la raza nelore en sistema multitoro en vacas nelore multíparas, sin sincronizar y sin cría, las vacas se dejaron por 30 días (tasa de preñez 62 *vs.* 67,3%), 60 días (tasa de preñez 84,5 *vs.* 87,3%) y 90 días (tasa de preñez de 93,5 *vs.* 97,5%) con los toros, para los grupos respectivamente en el periodo de monta. Se observó una reducción de 22,8% en los costos de administración cuando se usa una relación toro-vaca de 1:80 sobre 1:25 (Fonseca, Franco y Bergmann, 2000).

Franco, Fonseca y Gaste (2006) realizaron un trabajo en Brasil con sistema multitoro de la raza nelore con pasturas de *Brachiaria humidicola* con una proporción de toro-vaca de 1:100 y 1:50. Las vacas eran de raza nelore, multíparas, sin ternero y sin sincronizar. Estas vacas se dejaron 30 días (tasa de preñez 54 *vs.* 57%), 60 días (tasa de preñez 79,5 *vs.* 82%) y 70 días (tasa de preñez 87 *vs.* 88%) con los toros durante el periodo de monta. Se reveló una reducción de costo de 25,6% del becerro desteto cuando se utilizó una proporción de toro-vaca de 1:100 sobre la proporción tradicional de 1:25. Un estudio realizado en Australia (Blockey 1976) demostró que toros de raza angus con alta capacidad de servicio y de una circunferencia escrotal mayor de 35 cm registraron porcentajes de preñez entre 52-63% en 20 días en una relación toro-vaca 1:75. Tribulo (1994) comparó el porcentaje de preñez logrado con toros brahman con una relación toro-vaca 1:25, 1:33 y 1:50, en el cual no se obtuvieron diferencias significativas en el resultado final de preñez; estos toros utilizados habían superado los controles clínicos, sanitarios y de capacidad de servicio y calidad.

Rupp, Ball, Shoop y Chenoweth (1977) afirman que cuando se utilizan toros maduros, altamente fértiles y con excelente circunferencia escrotal, la expresión de libido y fertilidad puede ser afectada por la proporción toro-vaca (BFR del inglés *bull to female ratios*), porque la actividad de apareamiento aumenta con el número de hembras en estro. También encontraron que no hay diferencias significativas entre la proporción toro-vaca de 1:25 a 1:60 para la detección de estro y de las tasas de preñez en los primeros 21 días de la estación de monta. Pexton et al. (1989) hicieron un estudio para buscar la eficiencia de las tasas de preñez de toros de carne con vacas y novillas con estro sincronizado. A los toros se les realizó la evaluación reproductiva, incluyendo la prueba de libido y la capacidad de servicio. Las hembras fueron asignadas a un grupo con un solo toro, con una proporción de toro-vaca con

un rango de 1:7 a 1:51. El grupo control eran hembras mantenidas con un solo toro con una proporción de 1:24 a 1:37 sin aplicarle algún tipo de tratamiento. Estos dos grupos permanecieron en pasturas. El porcentaje de preñez para el grupo sincronizado fue de 43,5% comparado con el grupo control que fue de 58,9% después de 23 días. Al final del día 28 (tratadas) y el día 46 (control), el porcentaje de hembras preñadas fue de 75 y 79,6% respectivamente, sin haber diferencias significativas en las tasas de preñez. Healy et al. (1993) compararon la relación toro-vaca de 1:16 y 1:25, usando vacas sincronizadas con toros maduros altamente fértiles y con una gran circunferencia testicular, y no encontraron diferencias significativas de las preñeces entre los dos grupos.

La fertilidad individual de los toros es un rasgo importante en la producción y la economía, lo cual afecta el rendimiento reproductivo de todo el hato. Sin embargo, no es un rasgo fácilmente definido; comprende una variedad de rasgos heredables que pueden ser útiles para la selección de los animales que tienen una maduración temprana (Cammack, Thomas y Enns, 2009). Mientras que estimaciones de heredabilidad para los rasgos de fertilidad para la hembra son bajos, para los machos los rasgos testiculares son de moderados a altos y por lo tanto puede ser usado como una efectiva selección en los reproductores (Cammack, Thomas y Enns, 2009; Evans et al., 1999). Como parte de uno de los parámetros que se miden en la evaluación reproductiva del toro está la circunferencia escrotal que es una medida fácil de tomar y es el indicador de un rasgo consistente en la pubertad de los toros con una heredabilidad de media a alta (Vargas et al., 1998). También la medición de la circunferencia escrotal es favorablemente correlacionada a otros rasgos, lo que afecta a ambos, al macho y a la hembra, en su habilidad reproductiva. Aquí se incluye la calidad espermática, el porcentaje de espermatozoides normales, la concentración del semen, el peso corporal, la edad de la primera preñez, las concentraciones de progesterona y la edad de la pubertad (Evans et al., 1999; Siddiqui et al., 2008).

Otras de las estrategias de manejo reproductivo son las tecnologías reproductivas asistidas, las cuales tienen un efecto en la productividad de alto a medio y un efecto de mitigación potencial del CH_4 y N_2O de alto a medio. Estas estrategias contribuyen a disminuir los días abiertos y aumentar la concepción de las vacas con estrés calórico. Mediante la mejora de la detección de calores, se debe aumentar la tasa de detección del estro (Ealy et al., 1994). Para lograr esta mejora existen diferentes herramientas comerciales y de manejo que ayudan a mejorar este indicador.

El uso de la inseminación a tiempo fijo (IATF) aumenta la tasa de preñez en vacas con estrés calórico (Aréchiga, Staples, McDowell y Hansen, 1998; y Sota et al., 1998). La transferencia de embriones congelados transferidos a vacas con estrés calórico colectados de vacas donadoras que no tienen estrés calórico mejora la tasa de preñez en animales con estrés calórico (Drost et al., 1999).

Ahora bien, se debe tener en cuenta el manejo de las diferentes estrategias de destetes con el fin de reducir el anestro posparto. En ganadería de carne para obtener nacimientos de un becerro por año, la vaca debe preñarse máximo 85 días después del parto; el estímulo de succión contribuye a retrasar o suprimir completamente la ciclicidad y es más severa cuando la nutrición no es la adecuada. Hay una supresión endocrina inducida por la succión y la lactación (Crowe, 2008). En sistemas con buenas fuentes de alimento los destetes tempranos son efectivos para inducir la ciclicidad de las vacas (Zi, 2003). En sistemas con una baja fuente de alimento se deben usar destetes temporales intermitentes; en *Bos indicus*, este sistema mejora la tasa de concepción en sistemas extensivos (Escrivão, Webb y Garcês, 2009).

Como otra estrategia con potencial mitigador de medio a alto está la de mejoramiento, en la cual se deben seleccionar animales resistentes al estrés calórico. Sin embargo, la heredabilidad de los animales que son resistentes al estrés calórico es de baja a media (Bernabucci et al., 2014). Entonces se opta por cruzar razas que se adaptan mejor y tienen un buen desempeño reproductivo con razas que son puras introducidas con mayor capacidad productiva (El Tarabany y Nasr, 2015). Es posible introducir genes de razas resistentes al calor a las razas que no lo son (Renaudeau et al., 2012). Al igual que otros genes responsables como el color de la capa y el pelo corto de cobertura que contribuyen a que el bovino no aumente su temperatura corporal, el gen de espesor de pelo ha sido identificado junto con una tasa de sudoración adecuada como agente que disminuye la tasa metabólica en el animal (Dikmen et al., 2008).

Se han identificado genes que contribuyen a la adaptación de los animales: el gen ATP1A1, conocido como Na+/K+ ATPasa subunidad alfa-1, contribuye a mantener la homeostasis celular y los fluidos del cuerpo (Liu et al., 2010), el gen HSP contribuye a mantener el sistema inmune y mejora la aclimatación (Collier et al., 2008), el gen HSP70 mejora la tolerancia y capacidad adaptativa de los bovinos a los ambientes secos, calientes y húmedos. Estos genes se encuentran en dos razas cebuinas: sahiwal y tharparkar

ubicadas en Pakistán y la India (Kumar et al., 2015). Existen otros genes: ATPA1, ATPB2 y osteopontina los cuales se encuentran en los búfalos y contribuyen a la termotolerancia de estos animales (Jayakumar, 2014).

Se encuentran herramientas como la plataforma de información genómica, en la que se encuentra el potencial productivo y la genealogía de cada individuo bovino; de esta manera, se puede estimar cuál va a ser el mejor cruce posible entre un toro y una vaca, con el fin de obtener unos descendientes de mejores características que los progenitores, manteniendo un grado de consanguinidad adecuada (Jiménez, 2015). En las últimas décadas, con el desarrollo de la informática y de métodos estadísticos, es posible predecir el valor genético de los animales, con lo cual se obtiene lo que en ganado de carne se conoce como *diferencias esperadas de progenie* (DEP). Esta evaluación describe la diferencia que se espera que la progenie de un determinado individuo produzca en promedio con relación al promedio de la progenie de otro individuo o base genética utilizada. Este valor va acompañado de un valor de confiabilidad, el cual indica en qué medida el valor de DEP se va a cumplir y reflejar en la progenie. La determinación de los DEP permite seleccionar los animales genéticamente superiores y contribuye a aumentar el rendimiento productivo y económico del hato (Montes, Vergara y Barragán, 2011).

Hay una relación positiva entre la salud y la fertilidad en los animales de granja (Weigel, 2006), y el mayor riesgo de contraer una enfermedad en la hembra animal es durante el periodo de periparto (Gumen et al., 2011). Las enfermedades posparto son consecuencia del retraso de la reanudación de la actividad ovárica (Thatcher et al., 2006). Hay recomendaciones con las dietas ricas en grasas, como las dietas enriquecidas con omega 6 (proinflamadoras) en el inmediato periodo del periparto que son el interruptor para las grasas omega 3 (antiinflamatorias) en el día 30 posparto con el fin de promover el establecimiento de la preñez (Silvestre et al., 2011). Adicionalmente, la selección genética para la resistencia a enfermedades y los desórdenes metabólicos deberían mejorar la producción y la salud durante el periodo del periparto (Weigel, 2006). Para contribuir a una óptima fertilidad, se debería tener un cuidado adicional y una óptima nutrición durante los periodos antes y después del parto. Los animales deberían tener un adecuado estímulo para las enfermedades endémicas, especialmente las enfermedades que causan temprana mortalidad embrionaria y abortos. Los animales que son diagnosticados deberían tener cuidado médico especial, pero esto no ocurre.

La reducción del estrés (por calor) tiene un efecto en la productividad de alto a medio y un efecto de mitigación potencial del CH_4 y N_2O de alto a medio. Los principales ambientes estresantes son el calor, en primer lugar, seguido del trasporte, la depredación y la contaminación del agua y del alimento (Hansen y Block, 2004). Como estrategia para mitigar el estrés por calor se usan los diferentes sistemas silvopastoriles, los cuales proporcionan un ambiente más fresco para el animal (Navas, 2010), estimulando el mayor consumo voluntario de forraje en un 6% (Escobar, Hernández, Giraldo y Mahecha, 2001). Hay un mayor tiempo de la actividad de pastoreo de 5 al 10% (Ferreira, 2010), lo cual aumenta la eficiencia productiva y reproductiva. Para la producción lechera se reporta un incremento entre 7,1 y 15,8% (Bucklin, Beede y Bray, 1991). También estos sistemas silvopastoriles tienen una capacidad de retener carbono entre 17.013 y 34.778 kg de CO_2 –eq por hectárea por año (Naranjo et al., 2012); este sistema contribuye a mejorar la productividad y hay un mayor almacenamiento de carbón.

En cuanto a las estrategias nutricionales, la gran mayoría tienen un potencial efecto mitigador de CH_4 de bajo a medio, a excepción de la adición de nitratos a los alimentos, ya que su potencial mitigador es alto, pero no tiene un efecto a largo plazo. Las otras estrategias nutricionales tienen efecto a largo plazo muy variable entre cada estrategia. Las dietas basadas en forrajes con bajo pH disminuyen la capacidad de producir metano (Moss y Givens, 2002). La defaunación del rumen no disminuye significativamente la producción de metano, pero la adición de grasa en la dieta de los rumiantes por diferentes mecanismos afecta la producción de metano, junto con un buen suministro de gran cantidad de fibra de buena digestibilidad y un buen consumo por parte del animal (Johnson y Johnson, 1995). Las vacunas contra *archaea* están siendo desarrolladas exitosamente *in vitro* y es una opción muy promisoria que podría ser aplicada a todos los rumiantes (Wedlock et al., 2010). Además, las dietas altas en energía como con el almidón pueden disminuir la producción de metano, ya que predomina la formación de propionato. La adición de ionóforos en especial la monensina a través de distintas relaciones con los ácidos grasos también pueden disminuir las emisiones de CH_4 (Moss, Jouany y Newbold, 2000). Los taninos presentes en las leguminosas pueden estar asociados a la disminución de producción de CH_4, pero no están asociados a todas las leguminosas (Vargas, Pabón y Carulla, 2014).

Las dietas también afectan a las emisiones provenientes del estiércol, al modificar el contenido de este: la composición de las raciones y los aditivos

influyen en la forma y la cantidad de nitrógeno en la orina y las heces, así como en la cantidad de materia orgánica fermentable en las heces (Hristov et al., 2013). Mejorar la calidad de las pasturas en cuanto a su digestibilidad de forraje es una forma eficiente de disminuir las emisiones de GEI de los bovinos y el estiércol producido. Sin embargo, mejorar la calidad de las pasturas significa aplicar fertilizantes nitrogenados, los cuales pueden tener un impacto negativo sobre la excreción urinaria de nitrógeno y las emisiones de NH_3 y N_2O (Montes et al., 2013).

Las emisiones de CH_4 provenientes al estiércol se pueden controlar eficazmente acortando la duración del almacenamiento, garantizando condiciones aerobias o capturando el biogás emitido en condiciones anaerobias. Sin embargo, resulta mucho más difícil prevenir las emisiones directas e indirectas de N_2O una vez excretado el nitrógeno. Las técnicas que evitan las emisiones durante las fases iniciales del manejo conservan el nitrógeno en el estiércol, que a menudo es liberado en fases posteriores. Por tanto, la mitigación eficaz de las pérdidas de nitrógeno en una determinada forma (NH_3) resulta compensada a menudo por pérdidas de nitrógeno en otras formas como sucede con N_2O o NO_3 (Gerber et al., 2013).

Conclusiones

El uso de las estrategias de la ganadería que se usan para la mitigación y adaptación al cambio climático y que, a su vez, bien aplicadas sirven para aumentar la producción y rentabilidad deben estar encaminadas a multiplicar los bovinos más productivos. Esto debe hacerse sin caer en el inconveniente que se tiene en la actualidad, pues debido a la gran diversidad de los criterios de selección que tienen los productores ganaderos y los demás actores que participan en el sector, en algunas ocasiones prefieren escoger animales que se destacan por rasgos no productivos, y prefieren otras características, en especial las fenotípicas como el color de la piel, el tipo del tren posterior, la presencia y el tipo de cuernos (Gizaw et al., 2011). Cuando se introducen razas a un medio ambiente en el que no están adaptadas buscando mejorar la característica de mayor interés, se producen malos resultados en los indicadores productivos y económicos, y además se obtienen animales altamente emisores de GEI. Es por eso por lo que se deben unificar los criterios de selección por parte de los actores del sector ganadero, con el fin

de hacer una presión en la selección de los animales bovinos e ir dejando los más productivos para producir mejor y mayor producto final (carne, leche) por hectárea con menos animales, lo que contribuye a mantener la frontera agrícola. Dicha frontera ha tenido desde 1990 hasta 2013 un promedio de deforestación de 265.014 hectáreas por año (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [Ideam], 2014). Estos terrenos sin importar la causa por la cual fueron deforestados terminan manteniendo bovinos sin las condiciones de nutrición ni de bienestar óptimas para su buen desarrollo. Los terrenos, entonces, se convierten en zonas sin capacidad de retener carbono y con la presencia de animales altamente emisores de GEI, lo que afecta la biodiversidad de fauna y flora de las regiones intervenidas por el hombre para la deforestación. Todo esto viene acompañado de un abandono y una falta de políticas de Estado para crear y hacer cumplir las normas que involucren integralmente al sector agropecuario. No se debería dejar la responsabilidad del sector ganadero a los productores particulares sin el apoyo que debe tener un ganadero para producir eficiente y amigablemente con el medio ambiente.

Bibliografía

Amézquita, C. (2017). *La idea de que la ganadería es el mayor contaminante fue un error.* Recuperado de: http://www.contextoganadero.com/reportaje/la-idea-de-que-la-ganaderia-es-el-mayor-contaminante-fue-un-error

Aréchiga, C., Staples, C., McDowell, L. y Hansen, P. (1998). Effects of timed insemination and supplemental β-carotene on reproduction and milk yield of dairy cows under heat stress. *Journal of Dairy Science, 81*(2), 390-402.

Armstrong, D. V. (1994). Heat Stress Interaction with Shade and Cooling. *Journal of Dairy Science, 77*(7), 2044-2050.

Babinszky, L., Halas, V. y Martin W. (2011). Impacts of climate change on animal production and quality of animal food products. En J. Blanco y K. Housan (Eds.), *Climate change-socioeconomic effects*. InTech.

Beede, D. K. y Collier, R. J. (1986). Potential nutritional strategies for intensively managed cattle during thermal stress. *Journal of Animal Science, 62*, 543-554.

Berndt, A. y Tomkins, N. (2013). Measurement and mitigation of methane emissions from beef cattle in tropical grazing systems: a perspective from Australia and Brazil. *Animal, 7*(2), 363-372.

Bernabucci, U., Biffani, S., Buggiotti, L., Vitali, A., Lacetera, N. y Nardone, A. (2014). The effects of heat stress in Italian Holstein dairy cattle. *Journal of Dairy Science, 97*(1), 471-486.

Blockey, M. A. (1976). Sexual behaviour of bulls at pasture: a review. *Theriogenology, 6*(4), 387-392.

Boland, T., Quinlan, C., Pierce, K., Lynch, M., Kenny, D., Kelly, A. y Purcell, P. (2013). The effect of pasture pregrazing herbage mas son methane emissions, ruminal fermentation, and average daily gain of grazing beef heifers. *Journal Animal Science, 91*, 3867-3874.

Boni, R., Perrone, L. y Cecchini, S. (2014). Heat stress affects reproductive performnce of high producing dairy cows bred in an área of southern Apennines. *Livestock Science, 160*, 172-177.

Bucklin, R. A., Beede, D. K. y Bray, D.R. (1991). Methods to relieve heat stress for dairy cows in hot, humid climates. *Applied Engineer Agricultural, 7*(2), 241-252.

Cammack, K. M., Thomas, M. G. y Enns, R. M. (2009). Reproductive traits and their heritabilities in beef cattle. *The Professional Animal Scientist, 25*(5), 517-528.

Carmona, J., Bolívar, D. y Giraldo, L. (2005). El gas metano en la producción ganadera y alternativas para medir sus emisiones y aminorar su impacto a nivel ambiental y productivo. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias, 18*(1), 49-63.

Cederberg, Ch. y Stadig, M. (2003). System expansión and allocation in life cycle assessment of milk and beef production. *The International Journal of Life Cycle Assessment, 8*, (6), 350-356.

Collier, R. J., Collier, J. L., Rhoads, R. P. y Baumgard, L. H. (2008). Genes involved in the bovine heat stress response. *Journal of Dairy Science, 91*(2), 445-454.

Comité Permanente de Nutrición del Sistema de las Naciones Unidas. (2004). *5th report on the world nutrition situation. Nutrition for improved development outcomes.* Ginebra: autor.

Crowe, M. (2008). Resumption of ovarian cyclicity in post-partum beef and dairy cows. *Reproduction in Domestic Animals, 43* (supl. 5), 20-28.

Delgado, C., Rosegrant, M., Steinfeld, H., Ehui, S. y Courbois, C. (1999). Livestock to 2020. The next food revolution. *Food, Agriculture and the Environment Discussion Paper 28.* Washington, D.C.; Instituto Internacional de Investigaciones sobre Políticas Alimentarias; Roma: FAO; Nairobi: Instituto Internacional de Investigaciones Agropecuarias.

DeRamus, H., Clement, T., Giampola, D. y Dickison, P. (2003). Methane emissions of beef cattle on forages: efficiency of grazing management systems. *Journal of Environmental Quality, 32*(1), 269-277.

Dikmen, S., Alava, E., Pontes, E., Fear, J. M., Dikmen, B. Y., Olson, T. A. y Hansen, P. J. (2008). Differences in thermoregulatory ability between slick-haired and wild-type lactating Holstein cows in response to acute heat stress. *Journal of Dairy Science, 91*(9), 3395-3402.

Drost, M., Ambrose, J., Thatcher, C., Cantrell, C., Wolfsdorf, K., Hasler, J. y Thatcher, W. (1999). Conception rates after artificial insemination or embryo transfer in lactating dairy cows during summer in Florida. *Theriogenology, 52*(7), 1161-1167.

Durairajanayagam, D., Agarwal, A. y Ong, Ch. (2015). Causes, effects and molecular mechanisms of testicular heat stress. *Reproductive Biomedicine Online, 30*(1), 14-27.

Ealy, A. D., Aréchiga, D. R., Bray, D., Risco, C. y Hansen, P. (1994). Effectiveness of short-term cooling and vitamin E for alleviation of infertility induced by heat stress in dairy cows. *Journal Dairy Science, 77*(12), 3601-3607.

El-Tarabany, M.S. y Nasr, M.A.F. (2015) Reproductive performance of Brown Swiss, Holstein and their crosses under subtropical environmental conditions. *Theriogenology, 84*(4), 559-565.

Escobar, B., Hernández, R., Giraldo, L. y Mahecha, L. (2001). Efecto de la sombra arbórea sobre los hábitos de pastoreo y el consumo de vacas Cebú en Caucasia, Antioquia. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias, 14*(supl.), 92-94.

Escrivão, R., Webb, E. y Garcês, A. (2009). Effects of 12 hour calf withdrawal on conception rate and calf performance of *Bos indicus* cattle under extensive conditions. *Tropical Animal Health and Production, 41*(1), 135-139.

Evans, J. L., Golden, B. L., Bourdon, R. M. y Long, K. L. (1999). Additive genetic relationships between heifer pregnancy and scrotal circumference in Hereford cattle. *Journal Animal Science, 77*(10), 2621-2628.

Fedegan. (2014). *Estadísticas*. Recuperado de: http:// www.fedegan.org.co/estadisticas/publicaciones-estadisticas.

Ferreira, L. (2010). *Respostas fisiológicas e comportamentais de bovinos submetidos a diferentes ofertas de sombra* (tesis de maestría). Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil.

Fonseca, V. O., Franco, C. S. y Bergmann, J. A. G. (2000). Potencial reprodutivo e econômico de touros Nelore acasalados coletivamente na proporção de um touro para 80 vacas. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia, 52*(1), 77-82.

Franco, C. S., Fonseca, V. O. y Gaste, L. (2006). Reproductive potential of Nellore bulls colectivelly mated with the ratio of one bull for each one hundred cows. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia, 58*(6), 1154-1161.

Gerber, P., Hristov, B., Henderson, H., Makkar, J., Lee, R., Meinen, F., el at. (2013). Technical options for mitigation of direct methane and nitrous oxide emissions from livestock: a review. *Animal, 7*(2), 220-234.

Gerber, P., Vellinga, T., Opio, C. y Steinfeld, H. (2011). Productivity gains and greenhouse gas intensity in dairy systems. *Livestock Science, 139*(1-2), 100-108.

Gizaw, S., Getachew, T., Tibbo, M., Haile, A. y Dessie, T. (2011). Congruence between selection on breeding values and farmer's selection criteria in sheep breeding under conventional nucleus breeding schemes. *Animal*, 5(7), 995-1001.

Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. (2007). *Mitigación del cambio climático: contribución del grupo de trabajo. Tercero al cuarto informe de evaluación del IPCC*. Vol 4. Cambridge University Press.

Gumen, A., Keskin, A., Yilmazbas-Mecitoglu, G., Karakaya, E. y Wiltbank. M. (2011). Dry period management and optimization of postpartum reproductive management in dairy cattle. *Reproduction in Domestic Animals, 46*(supl. 3), 11-17.

Haile-Mariam, S., Collins, H. P., y Higgins, S. S. (2008). Greenhouse Gas Fluxes from an Irrigated Sweet Corn (*Zea mavz*)-potato (*Solanum tuberosum L-.*)-rotation. *Journal of Environmental Quality, 37*(3), 759-771.

Hammami, H., Bormann, J., M'Hamdi, N., Montaldo, H. y Gengler, N. (2013). Evaluation of heat stress effects on production traits and somatic cell score of Holsteins in a temperate environment. *Journal of Dairy Science, 96*(3), 1844-1855.

Hansen, P. J. y Block, J. (2004). Towards an embryocentric world: the current and potential uses of embryo technologies in dairy production. *Reproduction Fertility, and Development, 16*(1-2), 1-14.

Healy, V. M., Boyd, G. W., Gutierrez, P. H., Mortimer, R. G. y Piotrowski, J. R. (1993). Investigating optimal bull: heifer ratios required for estrus-synchronized heifers. *Journal of Animal Science, 71*(2), 291-297.

Hertel, T., Burke, M. y Lobell, D. (2010). The poverty implications of climate-induced crop yield changes by 2030. *Global Environmental Change, 20*(4), 577-585.

Hess, H., Monsalve, L., Carulla, J., Lascano, C., Díaz, T. y Kreuzer, M. (2002). *In vitro evaluation of the effect of Sapindus saponaria on methane release and microbial populations*. Recuperado de: http://www.ciat.cgiar.org/forrajes/pdf/output1_2002.pdf

Hristov, A., Ott, T., Tricarico, J., Rotz, A., Waghorn, G., Adesogan, A., et al. (2013). Special topics--Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from animal operations: III. A review of animal management mitigation options. *Journal Animal Science, 11*, 5095-5113.

Huxman, T., Smith, M., Fay, P., Knapp, A., Shaw, R., Loik, M., et al. (2004). Convergence across biomes to a common rain-use efficiency. *Nature International Weekly Journal of Science, 429*, 651-654.

Instituto de Hidrología, Meterología y Estudios Ambientales. (2014). *Escenarios de cambio climático.* Bogotá: autor.

Instituto Internacional de Investigaciones sobre Políticas Alimentarias. (2004). *The changing face of malnutrition*. Washington D.C.: IFPRI Forum, 1, 9, 10.

Jayakumar, S. (2014). *Molecular characterization of thermoregulatory genes in Murrah buffaloes.* (tesis doctoral). National Dairy Research Institute, Karnal, Haryana, India.

Jiménez, A. (2015). Selección y mejoramiento. *Cebú al D*ía. 8, 8-9.

Johnson, K. y Johnson, D. (1995). Methane emissions from cattle. *Journal of Animal Science, 73*(8), 2483-2492.

Kinsman, R., Sauer, F., Jackson, H., y Wolynetz, M. (1995) Methane and carbon dioxide emissions from cows in full lactation monitored over a six-month period. *Journal of Dairy Science, 78*(12), 2760-2766.

Kumar, A., Ashraf, S., Goud, T. S., Grewal, A., Singh, S. V., Yadav, B. R. y Upadhyay, R .C. (2015). Expression profiling of major heat shock protein genes during different seasons in cattle (Bos indicus) and buffalo (Bubalus bubalis) under tropical climatic condition. *Journal of Thermal Biology, 51*, 55-64.

Liu, Y. X., Zhou, X., Li, D. Q., Cui, Q. W. y Wang, G.L. (2010) Association of ATP1A1 gene polymorphism with heat tolerance traits in dairy cattle. *Genetics and Molecular Research,* 9(2), 891-896.

McCaughey, W., Wittenberg, K. y Corrigan, D. (1997). Methane production by steers on pasture. *Journal of Animal Science, 76*(3), 519-524.

McCaughey, W., Wittenberg, K. y Corrigan, D. (1999). Impact of pasture type on methane production by lacting beef cows. *Journal of Animal Science, 79*(2), 221-226.

MacLeod, M., Vellinga, T., Opio, C., Falcucci, A., Tempio, G., Henderson, B., et al. (2017). *Invited review: A position on the Global Livestock Enviromental Assessment Model (GLEAM). The Animal Consortium.* Cambridge University Press.

Marques da Silva, J.R., Soares, J. y Karlen, D. (2004). Implement and soil condition effects on tillage-induced erosion. *Soil & Tillage Research, 78*, 207-216.

Montes, D., Vergara, O. y Barragán, W. (2011). Diferencia esperada de progenie como herramienta de selección para peso al destete en ganado Brahman. *Revista MVZ Córdoba, 16*(1), 2381-2390.

Montes, F., Meinen, R., Dell, C., Rotz, A., Hristov, A., Oh, J., et al. (2013). Special Topics, Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from animal operations: II. A review of manure management mitigation options. *Journal of Animal Science, 91*(11), 5070-5094.

Moreno, C. (2013). Manejo reproductivo y sanitario del toro. *Revista El Cebú, 392*, 23-26.

Moss, A. y Givens, D. (2002). The effect of supplementing grass silage with soya bean meal on digestibility, *in sacco* degradability, rumen fermentation and methane production in sheep. *Animal Feed Science and Technology, 97*(3-4), 127-143.

Moss, A., Jouany, J. y Newbold, J. (2000). Methane production by ruminants: its contribution to global warming. *Annales de Zootechnie, 49*(4), 231-253.

Naranjo, J., Cuartas, C., Murgueito, E., Chará, J. y Barahona. R. (2012). Balance de gases de efecto invernadero en sistemas silvopastoriles intensivos con *Leucaena leucocephala* en Colombia. *Livestock Research for Rural Development, 24*(8), 150.

Nardone, A., Ronchi, B., Lacetera, N., Ranieri, M. y Bernabucci, U. (2010). Effects of climate changes on animal production and sustainability of livestock systems. *Livestock Science, 130*(1-3), 57-69.

Navas, A. (2010). Importancia de los sistemas silvopastoriles en la reducción del estrés calórico en sistemas de producción ganadera tropical. *Revista de Medicina Veterinaria,* (19), 113-122.

Neumann, C. G., Bwibo, N. O., Murphy, S. P., Sigman, M., Whaley, S., Allen, L. H., et al. (2003). Animal source foods improve dietary quality, micronutrient status, growth and cognitive function in Kenyan school children: background, study design and baseline findings. *Journal of Nutrition, 133*(11 supl. 2), 3941S-3949S.

Oltjen, J. y Beckett, J. (1996). Role of ruminant livestock in sustainable agricultural systems. *Journal of Animal Science, 74*(6), 1406-1409.

Organización Mundial de la Salud y Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2003). *Dieta, nutrición y prevención de enfermedades crónicas. Informe de una Consulta mixta de expertos OMS/FAO. OMS, Serie de Informes Técnicos 916.* Ginebra: Organización Mundial de la Salud.

Organización Panamericana de la Salud. (2006). *Assessing the economic impact of obesity and associated chronic diseases: Latin America and the Caribbean.* Washington, D.C.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2006). *La larga sombra del ganado: problemas ambientales.* Roma: autor.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2010). *Agriculture, food security and climate change in the post-Copenhagen process.* Roma: autor.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2011). *World Livestock 2011 – Livestock in food security.* Roma: autor.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2013). *Enfrentando el cambio climático a través de la ganadería. Una evaluación global de las emisiones y oportunidades de mitigación.* Roma: autor.

Pérez, R. (2008). El lado oscuro de la ganadería. *Revista Latinoamericana de Economía, 39*(154), 219-227.

Pexton, J. E., Farin, P. W., Gerlach, R. A., Sullins, J. L., Shoop, M. C. y Chenoweth, P. J. (1989). Efficiency of single-sire mating programs with beef bulls mated to estrus synchronized females. *Theriogenology, 32*(5), 705-716.

Poppi D. y McLennan S. (1995). Protein and energy utilization by ruminants at pasture. *Journal of Animal Science, 73*(1), 278-290.

Proyecto del Milenio de las Naciones Unidas. (2004). *Halving hunger by 2015: a framework for action. Informe provisional. Grupo de Trabajo sobre el Hambre*. Nueva York: autor.

Renaudeau, D., Collin, A., Yahav, S., de Basilio, V., Gourdine, J. L. y Collier, R. J. (2012). Adaptation to hot climate and strategies to alleviate heat stress in livestock production. *Animal, 6*(5), 707-728.

Rincón, A. y Ligarreto, G. (2010). Relación entre nitrógeno foliar y el contenido de clorofila, en maíz asociado con pastos en el Piedemonte Llanero colombiano. *Revista Corpoica-Ciencia y Tecnología Agropecuaria, 11*(2), 122-128.

Rupp, G. P., Ball, L., Shoop, M. C. y Chenoweth, P. J. (1977). Reproductive efficiency of bulls in natural service: effects of male to female ratio and single- vs multiple-sire breeding groups. *Journal of the American Veterinary Medical Association, 171*(7), 639-642.

Russell, E., Nguyen, T., Leanne, D., Marina, R., Matthew, K., Sean, M., et al. (2014). Evidence for positive selection of taurine genes within a QTL region on chromosome X associated with testicular size in Australian Brahman cattle. *BMC Genetics, 15*, 6.

Siddiqui, M. A., Bhattacharjee, J., Das, Z. C., Islam, M. M., Islam, M. A., Haque, M. A., et al. (2008). Crossbred bull selection for bigger scrotum and shorter age at puberty with potentials for better quality semen. *Reproduction Domestic Animals, 43*(1), 74-79.

Sota, R., Burke, J., Risco, C., Moreira, F., DeLorenzo, M., y Thatcher, W. (1998). Evaluation of timed insemination during summer heat stress in lactating dairy cattle. *Theriogenology, 49*(4), 761-770.

Thatcher, W. Bilby, T. Bartolome, J. Silvestre, F. Staples, C. y Santos, J. (2006). Strategies for improving fertility in the modern dairy cow. *Theriogenology, 65*, 30-44.

Tribulo, H. (1994). *Manejo de toros en servicio.* Cordoba, Argentina: Universidad Nacional de Córdoba.

Vargas, C. A., Elzo, M. A., Chase, C. C., Jr. Chenoweth, P. J. y Olson, T. A. (1998). Estimation of genetic parameters for scrotal circumference, age at puberty in heifers, and hip height in Brahman cattle. *Journal of Animal Science, 76*(10), 2536-2541.

Vargas, J., Pabón, M. y Carulla, J. (2014). Producción de metano *in vitro* en mezcla de gramíneas-leguminosas del trópico alto colombiano. *Archivos de Zootecnia, 63*(243), 397-407.

Verge, X., De Kimpe, C. y Desjardins, R. (2007). Agricultural production, greenhouse gas emissions and mitigation potential. *Agricultural and Forest Meteorology, 142*(2-4), 255-269.

Wedlock, D., Pedersen, G., Denis, M., Dey, D., Janssen, P. y Buddle, B. (2010). Development of a vaccine to mitigate greenhouse gas emissions in agriculture; vaccination of sheep with methanogen fractions induces antibodies that block methane production in vitro. *New Zealand Veterinary Journal, 58*(1), 29-36.

Weigel, K. A. (2006). Prospects for improving reproductive performance through genetic selection. *Animal Reproduction Science, 96*(3-4), 323-330.

Zi, X. (2003). Reproduction in female yaks (*Bos grunniens*) and opportunities for improvement. *Theriogenology, 59*(5-6), 1303-1312.

La ecología de los microorganismos y salud animal en el contexto del cambio climático: retos y prioridades

*Martha Fabiola Rodríguez**
*Patricia Gómez***
*Luis Carlos Villamil Jiménez****

La emergencia y reemergencia de las enfermedades infecciosas se ha asociado con el cambio climático, especialmente con la temperatura, la cual ha incrementado en 0,6 °C en los últimos 50 años (Bindoff et al., 2013). La evidencia muestra que el clima es el principal determinante en la distribución y epidemiología de la mayoría de las enfermedades infecciosas, sin desconocer otros factores como el uso de la tierra, la demografía de las poblaciones, la actividad antropogénica, la dinámica de transmisión de la enfermedad, etc. (Thornton et al., 2009).

Los efectos directos del clima en la salud involucran los cambios en los procesos fisiológicos, debido al intercambio de calor entre el animal y su ambiente (temperatura, humedad, viento y radiación térmica). Así, las oleadas de calor y frío, las inundaciones y las sequías han ocasionado la muerte de millones de personas y animales en todo el mundo (Oyhantçabal, Vitale y Lagarmilla, 2010). Los efectos indirectos se relacionan con el cambio en la calidad del agua, el aire, los alimentos y la ecología de los vectores que favorecen la difusión de los patógenos (Confalonieri et al., 2007). Por ejemplo, los brotes epidémicos de infecciones transmitidas por vectores generalmente

* Bacterióloga, MSc. en Inmunología. Estudiante del Doctorado en Agrociencias, Universidad de La Salle, Colombia. Correo electrónico: mafarodriguez@unisalle.edu.co
** Médica veterinaria, Ph.D. Docente de la Universidad Nacional de Colombia. Correo electrónico: apgomezr@unal.edu.co
*** Ph.D. Profesor titular, Universidad de La Salle, Colombia. Correo electrónico: luvillamil@unisalle.edu.co

ocurren cuando incrementa la temperatura y las precipitaciones. Por el contrario, las infecciones respiratorias por virus aumentan en invierno o en las épocas más frías, y las infecciones gastrointestinales se diseminan durante eventos extremos como inundaciones y sequías (Polgreen y Polgreen, 1976).

A pesar de que las evidencias muestran conexiones causales entre el cambio climático y las enfermedades infecciosas, las predicciones exactas sobre el comportamiento de una enfermedad no pueden hacer basándose únicamente en proyecciones climáticas. El análisis debe incluir las relaciones complejas en un contexto más amplio del cambio en los ecosistemas. Estas comprenden: la adaptación microbiana y el cambio; la susceptibilidad del huésped; el clima y la demografía poblacional; el desarrollo económico y uso de la tierra; el comercio y los viajes; la tecnología y la industria; los servicios de salud; la pobreza y la inequidad social, y la guerra y la falta de voluntad política. Teniendo en cuenta estos factores, los miembros de la Organización Mundial de Sanidad Animal (OIE) establecieron que las enfermedades trasmitidas por vectores son las que están más asociadas con los cambios climáticos y ambientales (tabla 1).

Las conexiones entre la biología y la geografía han ayudado a abordar el problema desde la ecología, donde las mediciones ecológicas se comparan con la prevalencia de las enfermedades infecciosas, generalmente a través de los sistemas de información geográfica (SIG) (Jamison, Tuttle, Jensen, Bierly y Gonser, 2015). Los modelos matemáticos también han contribuido a identificar los principales manejadores de la dinámica de las poblaciones de huéspedes, vectores y patógenos, en el ambiente local y regional (Morin y Comrie, 2013). Por ejemplo, la ecología de los trópicos comprende una mayor diversidad de especies debido a la temperatura cálida que acorta los tiempos de generación y favorece la especiación. A medida que aumenta la latitud, la mayoría de los taxones de patógenos, vectores y huéspedes disminuyen en variedad, así como las enfermedades infecciosas que se transmiten por vectores. Por lo tanto, la probabilidad de que estas enfermedades se propaguen de los trópicos a las regiones temperadas dependerá del vector o del reservorio específico que vive en el trópico. En otras palabras, la comprensión del nicho ecológico de los vectores y patógenos es la clave para predecir el efecto del cambio climático sobre la epidemiología de las enfermedades infecciosas (Lafferty, 2009).

Tabla 1. Enfermedades emergentes y reemergentes asociadas a cambios climáticos y ambientales

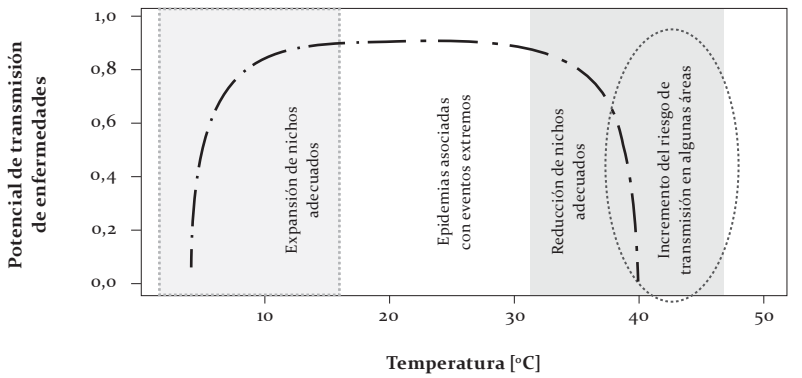
Enfermedades animales	Cambio climático	Cambio ambiental
Trasmitidas por vectores		
• Enfermedad de la lengua azul	Sí	Sí
• Fiebre del Valle Rift	Sí	No
• Fiebre del Nilo occidental	Sí	No
• Enfermedad de los caballos africanos	Sí	No
• Leishmaniosis	Sí	Sí
• Enfermedad diarreica epizoótica	Sí	No
• Enfermedades transmitidas por garrapatas	Sí	Sí
Enfermedades parasitarias	Sí	Sí
Pasteurelosis	Sí	No
Influenza aviar	Sí	Sí
Ántrax	Sí	Sí
Pierna negra	Sí	No
Rabia	Sí	Sí
Tuberculosis	No	Sí

Fuente: Black y Nunn (2009).

El nicho ecológico de los patógenos depende de una serie de interacciones bióticas y abióticas que involucran la competencia con otros microorganismos por los huéspedes susceptibles y la capacidad de sobrevivir en el ambiente, reservorios o vectores (Matthews y Whittaker, 2014; Roche et al., 2014). Las zonas o áreas donde los factores biofísicos y biológicos y las actividades y procesos evolutivos se concentran e intensifican se denominan *ecotonos*. De esta forma, cuando las actividades antropogénicas producen diferentes combinaciones de hábitat y de ecosistemas, se crea una mezcla de especies que normalmente son miembros de distintas comunidades ecológicas, superponiendo los ecotonos, lo cual brinda la oportunidad de propagación de los patógenos. Además, las condiciones que proporcionan el aumento en poblaciones de huéspedes, como la ganadería, o de vectores potencian el alcance de una densidad crítica de patógenos (Despommier, Ellis y Wilcox, 2006).

En el caso de los vectores, la mayoría son altamente dependientes del cambio climático. El incremento de la temperatura ambiental tiene profundos efectos sobre el tamaño de estas poblaciones; aumenta las tasas de desarrollo y favorece las condiciones para la supervivencia y la transmisión (Wall, Rose, Ellse y Morgan, 2011). La temperatura también cambia la actividad de los insectos, como la necesidad de alimentación, la frecuencia en la que ellos depositan los huevos o larvas y la maduración de los estados primarios (Bett et al., 2017). Las tasas de reproducción y diseminación de los mosquitos varían principalmente en los sitios donde las temperaturas son muy bajas (14-18 °C) o muy altas (35-40 °C). El esquema de mortalidad de los mosquitos, ilustrado por Ermert et al. (2011), demuestra que entre 2 y 10 °C la tasa de supervivencia incrementa rápidamente, entre 10 y 35 °C es constante y de 35 a 40 °C declina precipitadamente. Cuando se grafica el potencial de transmisión de la infección *versus* la temperatura (figura 1), se observa que en las zonas con bajas temperaturas se potencia el desarrollo, la persistencia y la expansión del rango geográfico de la enfermedad. En las condiciones de temperatura en las que la reproducción de los mosquitos es estable, las epidemias ocurren generalmente asociadas a eventos extremos. Por el contrario, en los rangos de temperaturas muy altas, un aumento adicional afecta la supervivencia del vector, llevando a la reducción de rango espacial de la enfermedad (Bett, 2015).

Figura 1. Clasificación de los cambios en la distribución de los vectores según el potencial de transmisión de las enfermedades infecciosas *vs*. la temperatura



Fuente: Bett (2015).

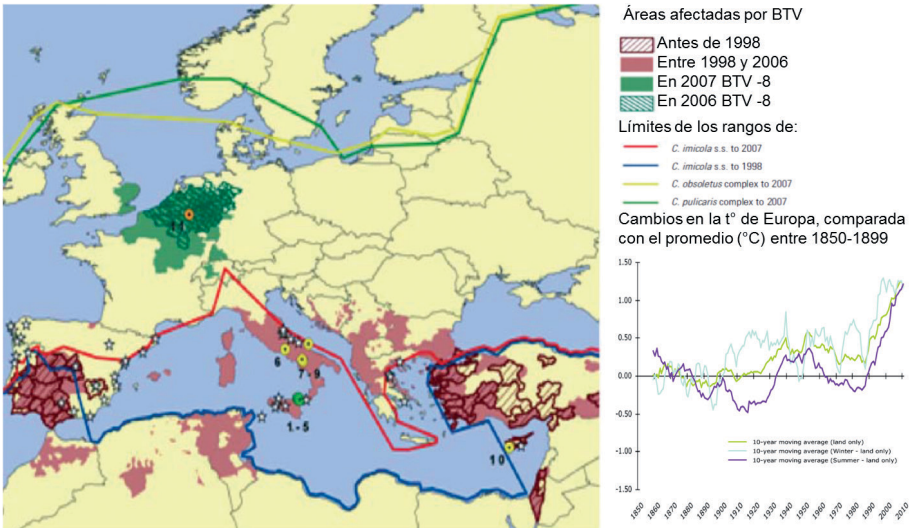
Al igual que los vectores, la curva de crecimiento de los microorganismos, bacterias, hongos y parásitos tiene una fase exponencial, una estacionaria y la etapa de declinación de la población. Por lo tanto, a continuación se describen las principales infecciones influenciadas por el cambio climático, trasmitidas o no por vectores, según la clasificación de Bett (2015).

Infecciones que han expandido su rango geográfico

La *enfermedad de la lengua azul* es transmitida principalmente por *Culicoides imicola*, vector del virus de la lengua azul (BTV), perteneciente a la familia *Reoviridae* (Coetzee, Stokstad, Venter, Myrmel y Van Vuuren, 2012). Esta enfermedad es endémica en el sur de África, pero se ha extendido a Europa, ocasionando epidemias de forma periódica desde 1998, inicialmente en el sur del continente (Portugal, España, Lesbos, Rhodes, Grecia, Bulgaria, Turquía, Italia y Mallorca), y más reciente (2006 y 2007) en el norte de Europa (Purse, Brown, Harrup, Mertens y Rogers, 2008). La llegada de la infección a este continente se ha asociado a la expansión del rango geográfico del vector, debido al calentamiento global, el cual ha sido más marcado en Europa desde 1990 (European Environment Agency, 2011) (figura 2).

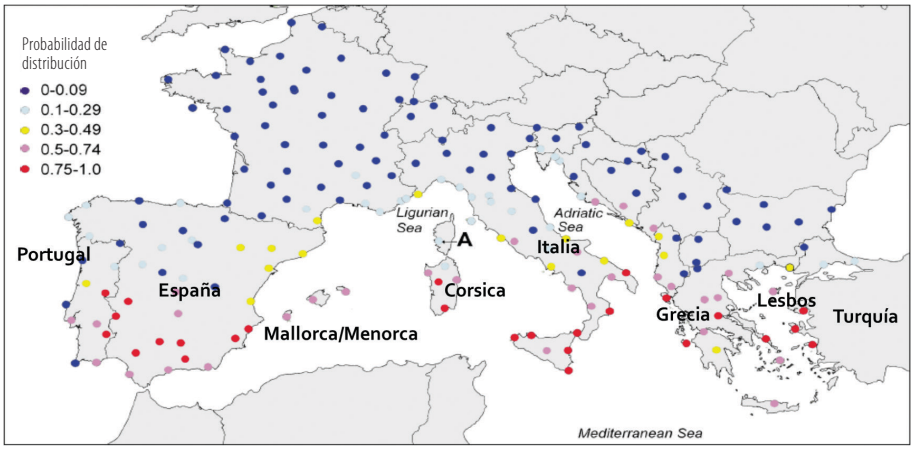
La temperatura media en la mayor parte del año de Europa es ≥ 12,5 °C, y la temperatura mínima en la que sobrevivie el género *Culicoides* es de 10,5 °C. Un modelo de regresión logística basado en estos datos meteorológicos y los datos de distribución del vector reportados en Iberia demostró que el potencial de distribución de *C. imicola* en Europa coindice con la mayoría de los países donde han ocurrido las epidemias, y que en las condiciones actuales, en España, Grecia e Italia el vector podría extenderse e invadir otros países (figura 3). El modelo identifica que la temperatura es el determinante más significativo en la distribución del mosquito y de la infección *Culicoides* (Wittmann, Mellor y Baylis, 2001), además de otros factores ambientales, como las precipitaciones que también regulan el tamaño y la persistencia de los criaderos semiacuáticos de las larvas de *Culicoides*, así como la disponibilidad y duración de estos hábitats húmedos en verano y otoño, donde los adultos pueden protegerse de la desecación (Purse et al., 2008).

Figura 2. Expansión del rango geográfico de la enfermedad de la lengua azul (áreas de color rojo y verde) y el vector *Culicoides* (líneas de color rojo, azul y verde); a la derecha se muestra el incremento exponencial de la temperatura en Europa desde 1990



Fuente: Purse et al. (2008).

Figura 3. Representación de la probabilidad de distribución de *Culicoide imicola* en Europa, basado en un modelo de regresión logística



Fuente: Wittmann, Mellor y Baillys (2001).

El BTV también es sensible al clima. Su reproducción se favorece a temperaturas entre 28 y 29 °C, y puede persistir a temperaturas inferiores a 10 °C más de 25 días en los vectores adultos. La evidencia apunta a que el cambio climático es uno de los manejadores más importantes en la expansión del nicho fundamental del BTV. No obstante, en el nicho realizado otras interacciones bióticas pueden influir en ocurrencia de brotes epidémicos, por ejemplo: una mayor población de huéspedes susceptibles que nunca han estado en contacto con el virus, otros vectores nativos para la trasmisión regional del virus y otras especies de huéspedes que no se encuentran en el nicho fundamental (Maclachlan, 2010).

Además de África, Europa y Asia, la enfermedad de la lengua azul se ha presentado en Australia, Norteamérica y Suramérica. En Latinoamérica, la especie *C. insignis* parece ser la responsable de trasmitir el virus. Entre 1985 y 2006 se reportaron hallazgos serológicos de la enfermedad en Brasil, Colombia y Perú, la mayoría asintomáticos; los serotipos del virus confirmados son 4, 6, 14, 17, 19 y 20 en Brasil; 12, 14 y 17 en Colombia, y 14 y 17 en Guyana. Falta más investigación para conocer la verdadera distribución de los serotipos en la región (Pinto, Bonacic, Romero y Lubroth, 2008).

La *fiebre del Nilo occidental* es la infección por arbovirus con mayor expansión geográfica en el mundo asociada a cambios meteorológicos, especialmente temperatura y precipitaciones. El virus pertenece a la familia *Flaviviridae*, de la cual forman parte el virus de la fiebre amarilla, el dengue, el zika y el virus de la encefalitis japonesa, entre otros. Fue aislado por primera vez en Uganda en 1937, y de allí se diseminó a los países del occidente de África en 1950. Llegó a Europa en 1958, pero las epidemias con mayor intensidad y severidad se reportaron entre 1990 y 2000. En 1999 llegó a Nueva York y posteriormente se ha registrado su presencia en gran parte del continente americano (Saxena, Bolling y Wang, 2017) (figura 4).

Aedes y *Culex* son los vectores del virus del Nilo occidental, el cual hace un ciclo enzoótico entre el mosquito, las aves (huéspedes amplificadores), los humanos y los equinos (huéspedes incidentales). El género *Culex* es el más importante en la transmisión del virus en todo el mundo. Dependiendo de la región, hay una especie dominante (Ciota, 2017). El virus tiene más de ocho genotipos. Cuando el mosquito se alimenta con la sangre infectada, solo algunos linajes pasan barrera anatómica, reduciendo la variabilidad, la cual se restablece rápidamente mediante la introducción de secuencias de interferencia de RNA, con el fin de evadir la respuesta antiviral del vector.

El resultado es la formación de subpoblaciones únicas y muy diferentes entre cada vector, con la acumulación de muchas mutaciones que se reducen durante la trasmisión en las aves, donde hay una selección purificadora de las cepas con mayor adaptación (Grubaugh y Ebel, 2016).

En los países temperados, el virus puede sobrevivir en los mosquitos adultos en las épocas de invierno y transmitirse de manera vertical, aunque la transmisión horizontal en los climas cálidos es más eficiente. Los estudios de epidemiología molecular han demostrado que el virus se adapta rápidamente a los vectores locales durante los procesos de invasión y que el aumento de las temperaturas incrementa las tasas de reproducción viral en los mosquitos, dependiendo de la especie; por ejemplo, en Europa se ha demostrado que en los mosquitos nativos la máxima taza de infección de *C. torrentiun* es 25 °C, mientras que para *C. pipines* es de 18 °C (Leggewie et al., 2016).

Culex ha sido el mosquito con mayor éxito en el mundo en la diseminación del virus del Nilo occidental, aunque su acondicionamiento varía significativamente según las fluctuaciones geográficas y temporales (Ciota, 2017). Se ha demostrado una correlación positiva entre la temperatura, las precipitaciones y los vientos con la incidencia de la enfermedad, la población

Figura 4. Distribución mundial de la enfermedad del virus del Nilo occidental

Fuente: Fundación IO (s. f.).

de mosquitos y la eficiencia en la trasmisión del virus a las aves (Paz, 2015). En Marruecos, en el análisis de las epidemias ocurridas entre 2003 y 2010, se demostró que los días con precipitaciones extremas fueron significativamente mayores en el primer o segundo mes antes de que se presentaran los casos de la enfermedad (Calistri et al., 2013). En Estados Unidos, las epidemias ocasionales en 2002, 2003, 2006 y 2012, se asociaron principalmente al incremento de la temperatura y a la presencia de fuertes lluvias en los meses previos al reporte de los casos (Beasley, Barrett y Tesh, 2013; Soverow, Wellenius, Fisman y Mittleman, 2009). Un modelo matemático mostró que las precipitaciones y la temperatura influyen interdependientemente en la dinámica de la población de *Culex*. En el sur y el suroeste del país, la escasez de agua es la variable limitante dominante; los estados de larva y pupa son los más vulnerables en los periodos secos con altas temperaturas. Por el contrario, en el sudeste de Estados Unidos hay suficientes precipitaciones para soportar las poblaciones de mosquitos durante todo el año, convirtiendo a la temperatura en la variable dominante que influye en la dinámica de la población de vectores (Morin y Comrie, 2013).

En Latinoamérica, la primera evidencia serológica de la presencia de infección por el virus del Nilo occidental se reportó en Jamaica en 2001; posteriormente, en México, las Bahamas, Cuba, Colombia y Argentina. Los estudios genéticos revelaron que el virus aislado de equinos y humanos se asocia al genotipo del virus norteamericano, posiblemente debido a la propagación de este por las aves silvestres durante su migración hacia el sur, lo cual es soportado por la seropositividad de las aves en algunos países (Paz, 2015; Pinto et al., 2008) (figura 5). Los mosquitos *Culex* por lo general se alimentan de la sangre de especies aviares altamente competentes, entre las que se incluyen petirrojos americanos, gorriones domésticos y varias especies de córvidos.

Las aves son los vectores animales que tienen el más alto potencial para mediar la dispersión a largas distancias (LDD) (> 1000 km) de una amplia gama de taxones, incluidos los virus (influenza, newcastle, Nilo occidental), las bacterias asociadas con ectoparásitos (*Borrelia burgdorferi* en garrapatas), las esporas de hongos, los parásitos, las semillas, etc. Las aves migratorias son vectores LDD porque se mueven estacionalmente sobre amplias escalas espaciales y pueden superar importantes barreras geográficas, y cuando se detienen en sitios con características de hábitat similares, a lo largo de sus rutas de migración, proporcionan dispersión dirigida (figura 5).

Figura 5. Rutas de las aves migratorias en el mundo

Fuente: AviNews (2016).

La dispersión del propágulo comprende tres fases consecutivas: iniciación o toma del propágulo, transporte y deposición. Las consecuencias ecológicas de LDD por las aves migratorias incluyen el movimiento y la conectividad de muchos taxones sobre escalas espaciales extremadamente grandes, conectividad entre paisajes antropogénicos y naturales, colonización de otros hábitat lejanos, formación de patrones filogeográficos y biogeográficos y propagación de las invasiones biológicas por patógenos (Viana, Santamaría y Figuerola, 2016). La temperatura tiene una fuerte correlación estadística con la distribución de las aves migratorias, en particular las temperaturas invernales. Las señales ambientales sincronizan la aparición, progresión y terminación de las etapas del ciclo anual a través de la producción y secreción de señales endocrinas que regulan los sistemas conductuales, morfológicos y fisiológicos (Ramenofsky, 2011).

Los estímulos ambientales locales como temperatura, lluvia, campo geomagnético, velocidad y dirección del viento, disponibilidad de recursos, interacciones sociales y detalles sobre el hábitat aceleran o desaceleran las funciones migratorias. Esto permite al individuo ajustar o sincronizar con mayor precisión su comportamiento y fisiología a las condiciones actuales. La temperatura probablemente influye de forma indirecta en el momento

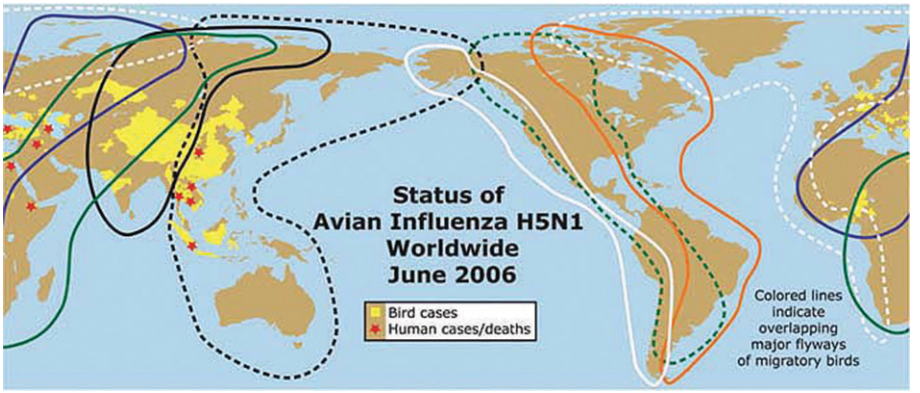
de la migración otoñal al afectar la disponibilidad de alimentos y agua. En primavera, las temperaturas cálidas pueden inducir fechas de salida más tempranas de los lugares de invierno para las aves de vida libre (Cornelius, Boswell, Jenni-Eiermann, Breuner y Ramenofsky, 2012). Muchas especies de aves han cambiado algunos aspectos de su comportamiento migratorio en respuesta a la disponibilidad de alimentos y a las condiciones climáticas. Los registros fenológicos muestran que el 59% de 68 especies europeas y norteamericanas han adelantado la fecha de puesta aproximadamente entre 2 y 8 días en las últimas décadas, debido al incremento en la temperatura, lo cual trae como consecuencia las alteraciones en los ecosistemas y la diseminación de infecciones a través de los continentes.

La *gripe aviar* es ocasionada por el virus de influenza H5N1. Es considerada una de las enfermedades reemergentes directamente asociadas con el cambio climático en América (FAO, 2016; OIE, 2008). El virus fue identificado por primera vez en Europa en el siglo XIX, antes de la industrialización avícola, y los brotes se asociaron al transporte de aves de corral. En 1920 se aisló el virus en Estados Unidos por el transporte en tren de estas aves, y en China, en 1996 (Sims y Narrod, 2004). Un nuevo *clade* emergente del virus 2.2 se extendió a escala mundial en toda Europa, Oriente Medio y África después de su incursión en Asia en 2005 (Sonnberg, Webby y Webster, 2013) (figura 6). En la actualidad es endémico en la mayoría de los países; las aves migratorias son el reservorio de virus de la gripe A (alta patogenicidad) (HPAIV), y las aves acuáticas son el principal reservorio de virus de la influenza aviar de baja patogenicidad.

Existe una tendencia estacional en el riesgo de brotes de H5N1. En los inviernos más cálidos, las aves migratorias se hacen más cerca de las zonas de cría en el hemisferio norte. Así, los migrantes de larga distancia pueden convertirse en migrantes de corta distancia, lo que favorece la mezcla de las poblaciones en el invierno. Por lo tanto, el aumento en la temperatura restringe la distribución del virus durante este periodo (Tian et al., 2015).

Las aves de corral (principalmente pollos y patos) también desempeñan un papel clave en el origen de nuevos genotipos relacionados con el linaje asiático, y que se ha diseminado por todos los continentes, probablemente impulsados por la migración humana. La detección continua de HPAIV en la misma región indica que hay aves de corral infectadas, en particular en los mercados de aves vivas y en granjas. Estas cepas pueden permanecer infecciosas en el agua durante largos periodos, pero la persistencia depende

Figura 6. Países con epidemias de influenza aviar en humanos y aves y rutas de las aves migratorias



Fuente: Ucce.ucdavis (s. f.).

de varios factores externos e internos que influyen en presencia y estabilidad del virus HPAIV en el agua (Njabo et al., 2016).

En América, los brotes de influenza aviar coinciden con la ruta de migración de aves silvestres terrestres y acuáticas, lo cual sugiere que estas son rutas importantes de transmisión de los virus. En el mundo se han adoptado medidas para vigilar la prevalencia de HPAIV en aves silvestres migratorias, sobre todo por la posibilidad de que algunas especies puedan ser reservorios permanentes de los virus H5N1 sin manifestar signos clínicos (OIE, 2008). En Colombia, se ha dado más importancia a la vigilancia de la enfermedad, con la detección de anticuerpos contra el virus. La trasmisión del virus de las aves a los humanos representa un grave problema, con muchos factores de riesgo difíciles de contralar y que promueven la persistencia y transmisión del virus a diferentes especies, como las actividades antropogénicas, el transporte, la industrialización, la urbanización, etc. A ello hay que agregar que los principales reservorios son las aves que pueden diseminar los patógenos a largas distancias.

La *fiebre de la garrapata* es una enfermedad febril del ganado bovino, ocasionada por *Babesia bigemina*, *Babesia bovis* y *Anaplasma marginale*, transmitidos por la garrapata común del ganado *Rhipicephalus microplus* (Benavides, Romero y Villamil, 2016). La babesiosis se presenta en la mayor

parte de los países tropicales y subtropicales, principalmente en Latinoamérica, donde solo Chile es libre de la enfermedad. Los brotes epidémicos han sido reportados en Argentina y Uruguay, y se asocian a la distribución de las garrapatas en la región (Guglielmone, 1995). La anaplasmosis es más prevalente; es endémica en Norteamérica, Centroamérica y Suramérica, así como en África, Asia y Australia. *Ixodid* es el principal vector, pero más de veinte especies de garrapatas y algunos mosquitos, agujas contaminadas y fómites pueden transmitir la *Rickettsia* (Suárez y Noh, 2011).

La temperatura y la humedad del suelo afectan la supervivencia y el establecimiento de la garrapata, una vez que llega a un nuevo ecosistema. Los cambios extremos en el clima como las inundaciones o temperaturas muy bajas permanentes ocasionan la muerte de los artrópodos (Benavides et al., 2016). El impacto del cambio climático en las enfermedades transmitidas por garrapatas es un tema polémico. Los modelos sugieren grandes expansiones de las garrapatas y enfermedades transmitidas por estas como resultado del calentamiento climático, principalmente en los límites geográficos de las distribuciones actuales, donde las temperaturas subóptimas limitan la propagación de vectores infectados (Dantas-Torres, 2015).

En Europa y Eurasia, el aumento sustancial de los casos de babesiosis, ehrlichiosis, rickettsiosis, encefalitis transmitida por garrapatas y la enfermedad de Lyme está relacionado con el aumento en los rangos preexistentes de las garrapatas, principalmente *Ixodes ricinus* e *Ixodes persulcatus* (Kilpatrick y Randolph, 2012). En Suecia, el límite de distribución septentrional de *I. ricinus* y de otras especies animales y vegetales se ha desplazado hacia el norte desde que el clima empezó a cambiar notablemente a finales de los ochenta. El rango de distribución geográfica de *I. ricinus* estaba por debajo de 61° N, pero ahora las garrapatas se establecen a lo largo de toda la costa del Mar Báltico, hasta 66° N. Este cambio en la distribución de latitud se ha demostrado que está relacionada con los cambios en temperaturas vitales para la supervivencia de garrapatas, su actividad y desarrollo (Gray, Dautel, Estrada-Pena, Kahl y Lindgren, 2009).

Epidemias asociadas con cambios extremos

Los eventos climáticos extremos se refieren a un valor de uno por encima del límite superior o inferior de la gama de valores observados. Incluyen eventos

extremos a escala global: los fenómenos de El Niño y de La Niña. Aunque estos eventos son raros, su frecuencia e intensidad han ido en aumento, lo que representa un aspecto importante del cambio climático global y en el contexto regional. Generalmente producen cambios drásticos en una o más variables climáticas, sequías, oleadas de calor, inundaciones, que pueden cambiar la dinámica de las enfermedades infecciosas, lo cual afecta los patógenos, los vectores/huéspedes o las rutas de transmisión (Wu, Lu, Zhou, Chen y Xu, 2016).

El agua es el principal canal a través del cual se harán sentir los impactos del cambio climático sobre los ecosistemas del mundo y sobre los medios de vida de las sociedades. Las enfermedades infecciosas sensibles al clima matan a millones de personas cada año, aproximadamente 900.000 de malaria y 2,2 millones de personas por diarrea. El aumento de las temperaturas terrestres y oceánicas y los cambios en los patrones de humedad y precipitaciones tienen el potencial de alterar los patrones globales de este tipo de enfermedades, que afectan a las poblaciones con poca o ninguna resistencia adquirida y a los sistemas de salud desestabilizados. Las inundaciones o las sequías prolongadas pueden dar lugar a la contaminación del agua, lo que lleva a las epidemias de enfermedades transmitidas por este medio (Watt et al., 2011).

La *fiebre del Valle de Rift* fue primero reconocida en Kenya (Great Rift Valley). Según el clima y la región geográfica, la infección es endémica o epidémica. En las zonas de alta pluviosidad, costeras y del África central ocurren periodos endémicos en humanos y animales. Las epidemias se presentan en ciclos de 5 a 15 años, generalmente asociadas a las lluvias torrenciales, a las inundaciones y a la intensificación de la ganadería (Martin et al., 2008). En 2000 se detectó por primera vez fuera de África, en Arabia Saudita.

La infección es ocasionada por un *Bunyavirus* transmitido por seis géneros y más de 30 especies de mosquitos, principalmente *Aedes*. Estos insectos se reproducen en charcos o lodo, donde las hembras ponen los huevos, los cuales pueden sobrevivir por años en periodos de desecación. Las hembras del género *Aedes* pueden transmitir el virus a los huevos, los cuales al ser inundados eclosionan. Así, durante los periodos de fuertes lluvias, hay una gran población de vectores que pueden tener el virus, transmitirlo y ampliarlo a los animales susceptibles, donde los vectores secundarios como *Culex* y *Anopheles* se involucran en la transmisión del virus.

La *leptospirosis* es la zoonosis más ampliamente distribuida en el mundo. Representa un ejemplo claro del impacto del cambio climático en los ecosistemas. El agua es un factor clave en la supervivencia y trasmisión

de la *Leptospira*, principalmente en las zonas rurales del trópico, probablemente debido a que las especies patógenas pueden sobrevivir en el agua sin nutrientes hasta por tres meses (Trueba, Zapata, Madrid, Cullen y Haake, 2004). El incremento en la temperatura, las bajas condiciones económicas y la presencia de animales domésticos y reservorios se ha asociado positivamente con los aislamientos de la bacteria en las muestras de agua (Muñoz-Zanzi, Mason, Encina, Astroza y Romero, 2014). Los modelos matemáticos construidos para evaluar las variaciones climáticas en relación con la incidencia de la enfermedad han reafirmado que la humedad relativa y las lluvias presentan correlaciones positivas con los casos de leptospirosis (Oses, Bonet, Rodríguez, Saura y Pedraza, 2010), especialmente cuando hay brotes epidémicos (Torres, Lele, Pascual, Bouma y Ko, 2008).

Retos y prioridades

Las condiciones climáticas y sus efectos en las enfermedades infecciosas se imponen a través de los impactos sobre los patógenos, los huéspedes, los vectores y la transmisión de enfermedades. La reducción de la vulnerabilidad mediante la identificación de las medidas de adaptación más eficaces requiere avances científicos y sociales en varios aspectos. Es necesario comprender mejor y modelar el proceso espaciotemporal del cambio climático para la predicción de los impactos de salud y la adopción de medidas preventivas apropiadas. Los modelos matemáticos deben incluir todos los factores ambientales que impulsan la transmisión de la enfermedad, así como los factores socioeconómicos más complejos, mediante enfoques correlativos.

La expansión de las poblaciones ha facilitado la diseminación de los patógenos entre los animales y los humanos. La ecología, la epidemiología y los modelos matemáticos muestran que la incidencia de las enfermedades infecciosas está aumentando con el tamaño de las poblaciones y el cambio climático. De acuerdo con la ecología, la emergencia de las enfermedades infecciosas implica procesos biológicos que operan a escala de moléculas y células a la de sistemas naturales, acoplados a escala regional, que involucra factores económicos y políticas que impulsan el cambio ambiental en las regiones y en todo el mundo. Este proceso de globalización es al que se le puede atribuir, en gran medida, la actual tendencia mundial de la emergencia de enfermedades infecciosas.

Este es un desafío interdisciplinario que hasta ahora se ha centrado en la investigación disciplinar con una gran división entre los aspectos genéticos y biológicos de la enfermedad, por un lado, y los factores sociales, económicos, políticos y físicos del medio ambiente, por otro. Las distinciones disciplinarias en las investigaciones de las enfermedades infecciosas no revelan la verdadera naturaleza transdisciplinaria de esta y la mayoría de los problemas en el ámbito mundial de la salud y el medio ambiente (Wilcox y Gubler, 2005).

Es imprescindible la vigilancia y el diagnóstico precoz, lo que aumenta las interacciones entre los sectores de la salud humana y animal y del medio ambiente, en una forma más coordinada y consecuente que hasta ahora. Lo urgente del tema y su impacto socioeconómico exige la revisión de estrategias de vigilancia de los servicios veterinarios en relación con el riesgo percibido y previsible de ocurrencia de enfermedades asociadas al cambio climático.

La investigación deberá estar acompañada del consecuente desarrollo tecnológico, de tal forma que se optimice la producción animal con el cuidado del medio ambiente para el desarrollo de estrategias regionales de prevención de enfermedades. Para ello será preciso profundizar en estudios dirigidos al cambio climático y la aparición de enfermedades.

Por último, debe tenerse presente que la acción preventiva ofrece claras ventajas económicas, ambientales y sociales porque anticipa el impacto potencial y minimiza las amenazas a los ecosistemas, la salud humana y animal. La institucionalización de la gestión de riesgos se convierte así en un instrumento adecuado para minimizar las amenazas, lo que contribuye a la necesaria adaptación al cambio climático.

Actualmente, la OIE está trabajando en la renovación de su Sistema Mundial de Información Zoosanitaria (WAHIS), con la finalidad de satisfacer los nuevos retos sanitarios y prepararse para las exigencias del futuro. A la nueva herramienta WAHIS+ se le añadirán nuevas características tecnológicas orientadas a mejorar la recolección y difusión de los datos sobre las enfermedades animales,

> [...] de acuerdo con el enfoque "Una sola salud". Se requiere un punto de vista transdisciplinario y holístico de la recolección, el análisis y la difusión de datos —no solo abordando las enfermedades animales, sino también las amenazas para la salud pública teniendo en consideración el cambio climático y los factores medioambientales, entre otros. (OIE, 2017)

Bibliografía

AviNews. (2016). *Aves migratorias: rumbo a todos los continentes*. Recuperado de https://avicultura.info/aves-migratorias-rumbo-todos-los-continentes/

Beasley, D. W. C., Barrett, A. D. T. y Tesh, R. B. (2013). Resurgence of west nile neurologic disease in the United States in 2012: What happened? What needs to be done? *Antiviral Research, 99*(1), 1-5. https://doi.org/10.1016/j.antiviral.2013.04.015

Benavides, E., Romero, P. y Villamil, L. C. (2016). *Las garrapatas del ganado bovino Guía para el manejo de garrapatas y adaptación al cambio climático*. San Jose, Costa Rica: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura.

Bett, B. (2015). *Climate change and animal health*. Documento procedente de 14th Conference of the International Society for Veterinary Epidemiology and Economics, Mérida, p. 43.

Bett, B., Kiunga, P., Gachohi, J., Sindato, C., Mbotha, D., Robinson, T., et al. (2017). Effects of climate change on the occurrence and distribution of livestock diseases. *Preventive Veterinary Medicine, 137*(2015), 119-129. https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2016.11.019

Black, P. y Nunn, M. (2009). *Impact of climate change and environmental change on emerging and re-emerging animal diseases and animal production*. Documento procedente de la Conferencia OIE, pp. 15-25.

Bindoff, N. L., Stott, P. A., AchutaRao, K. M., Allen, M. R., Gillett, N., Gutzler, D., et al. (2013). Detection and attribution of climate change: From global to regional. En T. F. Stocker, et al. (Eds.), *Climate Change 2013: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 867-952). Nueva York: Cambridge University Press. https://doi:10.1017/CBO9781107415324.022

Calistri, P., Ippoliti, C., Candeloro, L., Benjelloun, A., El Harrak, M., Bouchra, B., et al. (2013). Analysis of climatic and environmental variables associated with the occurrence of West Nile virus in Morocco. *Preventive Veterinary Medicine, 110*(3-4), 549-553. https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2013.02.011

Ciota, A. T. (2017). West Nile virus and its vectors. *Current Opinion in Insect Science, 22*, 28-36. https://doi.org/10.1016/j.cois.2017.05.002

Coetzee, P., Stokstad, M., Venter, E. H., Myrmel, M. y Van Vuuren, M. (2012). Bluetongue: a historical and epidemiological perspective with the emphasis on South Africa. *Virology Journal, 9*(1), 198. https://doi.org/10.1186/1743-422X-9-198

Confalonieri, U., Menne, B., Akhtar, R., Ebi, K. L., Hauengue, M., Kovats, R. S., et al. (2007). Human health. Climate change 2007: Impacts, adaptation and vulnerability. *Contribution of working group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 391-431). Nueva York: Cambridge University Press. https://doi.org/10.1038/nature04188

Cornelius, J. M., Boswell, T., Jenni-Eiermann, S., Breuner, C. W. y Ramenofsky, M. (2012). Contributions of endocrinology to the migration life history of birds. *General and Comparative Endocrinology*, *190*, 47-60. https://doi.org/10.1016/j.ygcen.2013.03.027

Dantas-Torres, F. (2015). Climate change, biodiversity, ticks and tick-borne diseases: the butterfly effect. *International Journal for Parasitology: Parasites and Wildlife*, *4*(3), 452-461. https://doi.org/10.1016/j.ijppaw.2015.07.001

Despommier, D., Ellis, B. R. y Wilcox, B. A. (2006). The role of ecotones in emerging infectious diseases. *EcoHealth, 3*(2004), 281-289. https://doi.org/10.1007/s10393-006-0063-3.

Ermert, V., Fink, A. H., Jones, A. E. y Morse, A. P. (2011). Development of a new version of the Liverpool Malaria Model. I. Refining the parameter settings and mathematical formulation of basic processes based on a literature review. *Malaria Journal, 10*, 1-17. doi: 10.1186/1475-2875- 10-35

European Environment Agency. (2011). *Global and European temperature*. Recuperado de: vhttps://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/global-and-european-temperature/global-and-european-temperature-assessment-4

Fundación IO. (s. f.). *Index*. Recuperado de: https://fundacionio.org/viajar/img/west%20nile%20virus%20world%20map.jpg

Gray, J. S., Dautel, H., Estrada-Pena, A., Kahl, O. y Lindgren, E. (2009). Effects of climate change on ticks and tick-borne diseases in Europe. *Interdisciplinary Perspectives on Infectious Diseases*, *2009*, e593232. https://doi.org/10.1155/2009/593232

Grubaugh, N. D. y Ebel, G. D. (2016). Dynamics of West Nile virus evolution in mosquito vectors. *Current Opinion in Virology*, *21*, 132-138. https://doi.org/10.1016/j.coviro.2016.09.007

Guglielmone, A. A. (1995). Epidemiology of babesiosis and anaplasmosis in South and Central America. *Veterinary Parasitology, 57*(1-3), 109-119. https://doi.org/10.1016/0304-4017(94)03115-D

Jamison, A., Tuttle, E., Jensen, R., Bierly, G. y Gonser, R. (2015). Spatial ecology, landscapes, and the geography of vector-borne disease: a multi-disci-

plinary review. *Applied Geography*, *63*, 418-426. https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2015.08.001

Kilpatrick, A. M. y Randolph, S. E. (2012). Drivers, dynamics, and control of emerging vector-borne zoonotic diseases. *The Lancet*, *380*(9857), 1946-1955. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(12)61151-9

Lafferty, K. (2009). The ecology of climate change and infectious diseases. *Ecology*, *90*(4), 555-900. https://doi.org/10.2307/23143908

Leggewie, M., Badusche, M., Rudolf, M., Jansen, S., Börstler, J., Krumkamp, R., et al. (2016). Culex pipiens and Culex torrentium populations from Central Europe are susceptible to West Nile virus infection. *One Health*, *2*, 88–94. https://doi.org/10.1016/j.onehlt.2016.04.001

Maclachlan, N. J. (2010). Global implications of the recent emergence of bluetongue virus in Europe. *Veterinary Clinics of North America-Food Animal Practice*, *26*(1), 163-171. https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2009.10.012

Martin, V., Chevalier, V., Ceccato, P., Anyamba, A., De Simone, L., Lubroth, J., et al. (2008). The impact of climate change on the epidemiology and control of Rift Valley fever. *Revue Scientifique et Technique (International Office of Epizootics)*, *27*(2), 413–4261.

Matthews, T. J. y Whittaker, R. J. (2014). Neutral theory and the species abundance distribution: Recent developments and prospects for unifying niche and neutral perspectives. *Ecology and Evolution*, *4*(11), 2263-2277. https://doi.org/10.1002/ece3.1092

Morin, C. W. y Comrie, A. C. (2013). Regional and seasonal response of a West Nile virus vector to climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *110*(39), 15620-15625. https://doi.org/10.1073/pnas.1307135110

Muñoz-Zanzi, C., Mason, M. R., Encina, C., Astroza, A. y Romero, A. (2014). Leptospira contamination in household and environmental water in rural communities in southern chile. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *11*(7), 6666-6680. https://doi.org/10.3390/ijerph110706666

Njabo, K. Y., Zanontian, L., Sheta, B. N., Samy, A., Galal, S., Schoenberg, F. P. y Smith, T. B. (2016). Living with avian FLU-Persistence of the H5N1 highly pathogenic avian influenza virus in Egypt. *Veterinary Microbiology*, *187*, 82-92. https://doi.org/10.1016/j.vetmic.2016.03.009

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2016). Highly pathogenic avian influenza (H5N1 HPAI) spread in the Middle East: risk assessment. *Empres Watch, 36*, 1-8.

Organización Mundial de Sanidad Animal. (2008). *Avian influenza*. Interministerial Conference, Sharm El-Sheikh, 25 y 26 de octubre.

Organización Mundial de Sanidad Animal. (2017). Un mundo una salud. Recuperado de http://www.oie.int/es/para-los-periodistas/editoriales/detalle/article/one-world-one-health/

Oses, R., Bonet, J., Rodríguez, O., Saura, G. y Pedraza, A. (2010). Evaluación del comportamiento de la leptospirosis humana mediante un modelo matemático atendiendo a variables climáticas como predictoras. *Revista Electrónica de Veterinaria, 11*(03B), 1-12.

Oyhantçabal, W., Vitale, E. y Lagarmilla, P. (2010). *Climate change and links to animal diseases and animal production*. Documento procedente de la Conferencia OIE, pp. 179-186.

Paz, S. (2015). Climate change impacts on West Nile virus transmission in a global context. *Philosophical Transactions of the Royal Society Biological Sciences, 370*(1665), 20130561.

Pinto, J., Bonacic, C., Romero, J. y Lubroth, J. (2008). Climate change and animal diseases in South America. *Revue Scientifique et Technique-Office International Des Epizooties*, *27*(2), 599-613.

Polgreen, P. M. y Polgreen, E. L. (1976). *Consequences of a changing climate*. *Infectious diseases*. 4a. ed. Elsevier Ltd. https://doi.org/10.1016/B978-0-7020-6285-8.00004-6

Purse, B. V., Brown, H. E., Harrup, L., Mertens, P. P. C. y Rogers, D. J. (2008). Invasion of bluetongue and other orbivirus infections into Europe: the role of biological and climatic processes. *Revue Scientifique et Technique-Office International des Epizooties, 27*(2), 427-442.

Ramenofsky, M. (2011). *Hormones in migration and reproductive cycles of birds*. *Hormones and reproduction of vertebrates*. Vol. 4. Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374929-1.10008-3

Roche, B., Broutin, H., Choisy, M., Godreuil, S., de Magny, G. C., Chevaleyre, Y., et al. (2014). The niche reduction approach: an opportunity for optimal control of infectious diseases in low-income countries? *BMC Public Health, 14*(1), 753. https://doi.org/10.1186/1471-2458-14-753

Saxena, V., Bolling, B. G. y Wang, T. (2017). West Nile Virus. *Clinics in Laboratory Medicine, 37*(2), 243-252. https://doi.org/10.1016/j.cll.2017.01.001

Sims, L. y Narrod, C. (2004). Current state of knowledge on highly pathogenic avian influenza. En Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación

y la Agricultura (Ed.), *Undestanding Avian Influenza* (pp. 1-15). Recuperado de https://www.fao.org/avianflu/documents/key_ai/key_book_preface.htm

Sonnberg, S., Webby, R. J. y Webster, R. G. (2013). Natural history of highly pathogenic avian influenza H5N1. *Virus Research, 178*(1), 63-77. https://doi.org/10.1016/j.virusres.2013.05.009

Soverow, J. E., Wellenius, G. A., Fisman, D. N. y Mittleman, M. A. (2009). Infectious disease in a warming world: How weather influenced West Nile virus in the United States (2001-2005). *Environmental Health Perspectives, 117*(7), 1049-1052. https://doi.org/10.1289/ehp.0800487

Suárez, C. E. y Noh, S. (2011). Emerging perspectives in the research of bovine babesiosis and anaplasmosis. *Veterinary Parasitology, 180*(1-2), 109-125. https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2011.05.032

Thornton, P., Steeg, J., Notenbaert, A. y Herrero, M. (2009). The impacts of climate change on livestock and livestock systems in developing countries: A review of what we know and what we need to know. *Agricultural Systems, 101*(3), 113-127. https://doi:10.1016/j.agsy.2009.05.002 .

Tian, H., Zhou, S., Dong, L., Van Boeckel, T. P., Pei, Y., Wu, Q., et al. (2015). Climate change suggests a shift of H5N1 risk in migratory birds. *Ecological Modelling, 306*, 6-15. https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2014.08.005

Torres, C., Lele, S., Pascual, M., Bouma, M. y Ko, A. (2008). A stochastic model for ecological systems with strong nonlinear response to environmental drivers: application to two water-borne diseases. *Journal of the Royal Society, Interface / the Royal Society, 5*(19), 247-252. https://doi.org/10.1098/rsif.2007.1135

Trueba, G., Zapata, S., Madrid, K., Cullen, P. y Haake, D. (2004). Cell aggregation: a mechanism of pathogenic Leptospira to survive in fresh water. *International Microbiology: The Official Journal of the Spanish Society for Microbiology, 7*(1), 35-40. Recuperado de: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15179605

Ucce.ucdavis. (s. f.). Recuperado de: http://ucce.ucdavis.edu/files/repository/calag/img6003p110b.jpg

Viana, D. S., Santamaría, L. y Figuerola, J. (2016). Migratory birds as global dispersal vectors. *Trends in Ecology and Evolution, 31*(10), 763-775. https://doi.org/10.1016/j.tree.2016.07.005

Wall, R., Rose, H., Ellse, L. y Morgan, E. (2011). Livestock ectoparasites: integrated management in a changing climate. *Veterinary Parasitology, 180*(1-2), 82-89. https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2011.05.030

Watt, N., Maiero, M., Olso, S., Hales, J., Miller, C., Campbell, K., Romanelli, C., Cooper, D. (2011). *Our planet, our health, our future. Human Health and Rio conventions: biological diversity, climate change and desertification*. World Healt Organization. Recuperado de: http://www.who.int/globalchange/publications/reports/health_rioconventions.pdf

Wilcox, B. A. y Gubler, D. J. (2005). Disease ecology and the global emergence of zoonotic pathogens. *Environmental Health and Preventive Medicine,* 10, 263-272. https://doi.org/10.1007/BF02897701

Wittmann, P., Mellor, S. & Baylis M. (2001). Using climate data to map the potential distribution of Culicoides imicola (Diptera: Ceratopogonidae) in Europe. *Scientific and Technical Review of the Office International des Epizooties,* 20(3), 731-740 .

Wu, X., Lu, Y., Zhou, S., Chen, L. y Xu, B. (2016). Impact of climate change on human infectious diseases: Empirical evidence and human adaptation. *Environment International, 86*, 14-23. https://doi.org/10.1016/j.envint.2015.09.007

La productividad ecológica del sector lácteo en Colombia: una apuesta ante el cambio climático

*Rubén Darío Díaz Mateus**
*Jaime Alberto Rendón Acevedo***

Antecedentes del problema

Las condiciones del bienestar humano de la población mundial han mejorado. Se han reportado indicadores sociales y económicos de gran optimismo para las generaciones presentes y futuras, tal como lo exponen los informes de los Objetivos de Desarrollo Sostenible: "En el curso de las últimas dos décadas, la pobreza extrema se ha reducido de manera significativa. En 1990, casi la mitad de la población de las regiones en desarrollo vivía con menos de 1,25 dólares al día. Este porcentaje ha descendido a 14 % en 2015" (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 2016, p. 4). Así mismo, las dinámicas en los modos de producción y consumo están influenciadas:

> En 2010, la huella material por unidad del PIB material (cantidad de materia prima utilizada) por las regiones desarrolladas se ubicó en 23,6 kilogramos por unidad de PIB, en comparación con el 14,5 kilogramo por unidad de PIB en las regiones en Desarrollo. El consumo nacional de materiales per cápita en las regiones desarrolladas fue 72 % más alto que el de las regiones en desarrollo. (p. 8)

* Estudiante del Doctorado en Agrociencias. Docente investigador, Facultad de Ciencias Administrativas y Contables, Universidad de La Salle, Colombia. Correo electrónico: rudiaz@unisalle.edu.co
** Docente investigador, Facultad de Ciencias Económicas y Sociales y Doctorado Agrociencias, Universidad de La Salle, Colombia. Correo electrónico: jrendon@unisalle.edu.co

No obstante, estas mejoras contrastan con el crecimiento de la población: "la población mundial aumentó en 2.000 millones —pasando de 5.300 millones en 1990 a 7.300 millones en 2015" (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo [PNUD], 2016, p. 3). Sin embargo, el desarrollo humano no se universaliza por toda la población mundial, lo cual crea divergencias entre los diferentes grupos poblacionales y territorios. Estas circunstancias generan nuevos conflictos socioambientales que van desde las desigualdades hasta el cambio climático, como los efectos de la misma problemática ambiental en el marco de un crecimiento verde que garantice la sostenibilidad de los bienes y los servicios ambientales, de los cuales depende el sistema natural y económico. "El cambio climático reduce la seguridad alimentaria, y la rápida urbanización margina a la población urbana pobre. Sea cual sea su alcance, estos problemas tienen una repercusión negativa en el bienestar de las personas" (PNUD, 2016, p. 4).

Por consiguiente, el aumento de los desequilibrios entre los sistemas económicos y los sistemas naturales aumenta con la incertidumbre en las acciones potenciales del crecimiento y el desarrollo económico. Este escenario involucra el cambio climático como el conector de persistentes privaciones y de una intensidad de desigualdades en el uso de tierra, agua y energía. Por ello, la magnitud de los costos en la sustitución de capital físico por capital natural extiende barreras a la tendencia lineal del crecimiento económico. Del mismo modo, se exterioriza una vulnerabilidad humana experimentada en grados de inseguridad estructural y tipos de vulnerabilidad en distintos momentos del ciclo de vida (PNUD, 2014).

La problemática del cambio climático evidencia un desvinculado en la agenda de la política económica en la última década, lo cual representa un reto en los nuevos escenarios de desarrollo económico y social de los territorios. Una valoración indirecta de los efectos sobre el sistema económico adquiere significancia cuando los costos de los desastres y efectos permean la productividad y competitividad de un país. Estos cambios en el entorno ambiental en Colombia son visibles en las últimas olas de invierno y verano como efecto del cambio climático. "La emergencia invernal ha afectado, entre otros, a más de 2,27 millones de personas, 341.000 viviendas, 751 vías, 807.609 hectáreas, 813 centros educativos y 15 centros de salud. Los recursos para atender estas y otras consecuencias del invierno se han estimado en 26 billones de pesos" (Departamento Nacional de Planeación [DNP], 2011, p. 424).

La biósfera está sufriendo grandes transformaciones condicionadas por la acción humana asociadas al consumo permanente de energía exosomática. Esto dificulta la realidad rural de los sistemas productivos y su responsabilidad en la construcción de mejores condiciones económicas y sociales de los entornos territoriales. En efecto, "el desempeño ambiental de Colombia debe ser entendido en el contexto de la riqueza y diversidad de recursos y una economía que está creciendo sobre la base de recursos naturales no renovables" (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos [OCDE] y Comisión Económica para América Latina y el Caribe [Cepal], 2014, p. 22). De ahí que el Informe del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC, 2007) defina el cambio climático como los "procesos naturales internos o a cambios del forzamiento externo, o bien a cambios persistentes antropogénicos en la composición de la atmósfera o en el uso de las tierras" (p. 77).

Los cambios en el clima se han presentado a lo largo de millones de años en el planeta. Las causas de estas variaciones químicas están en el marco de los ciclos naturales generados en los ecosistemas existentes; aún más, lo representativo en los fenómenos del clima actualmente se caracteriza por la aceleración de los ciclos naturales por medio de la utilización de fuentes energéticas basadas en la combustión de fósiles. Así, "el dióxido de carbono (CO_2) es el GEI antropógeno más importante. Las emisiones anuales aumentaron en torno a un 80% entre 1970 y 2004. La disminución a largo plazo de las emisiones de CO2 por unidad de energía suministrada invirtió su tendencia a partir del año 2000" (IPCC, 2007, p. 5). Según esto, el CO_2 se convierte en el principal causante del efecto invernadero y del cambio climático global actual, pero este elemento ya viene acumulándose en la atmosfera desde los principios de la Revolución industrial. "La tierra se ha calentado 0,7 °C desde 1900 y, solo en virtud de las emisiones pasadas [...] de mantenerse las tendencias actuales, las temperaturas globales medias podrían incrementarse en 2-3 °C en los próximos cincuenta años" (Stern, 2007, p. 38).

La mayor parte del consumo de los combustibles se da en países de mayores ingresos. Sin embargo, los países de menores ingresos también están generando volúmenes de emisiones de CO_2, lo cual se ha observado en la deforestación y quema de los bosques. Por esta razón, el cambio climático se debe identificar como un fenómeno de ámbito global con repercusiones en ámbitos locales. Independientemente del lugar del planeta donde se emitan

gases, su efecto nocivo sobre el clima global será el mismo. De no modificar estas tendencias

> [...] las concentraciones de gases invernadero en la atmósfera podría alcanzar ya en 2035 el doble de su nivel previo a la era industrial [...], habría una probabilidad superior al 50% de que ese incremento sobrepáselos 5 °C [...]. Semejante cambio radical de la geografía física del mundo conduciría, forzosamente, a alteraciones muy significativas de la geografía humana, es decir, de la distribución de lugares de residencia de la población y de la forma en que ésta vive su vida. (Stern, 2007, p. 22)

Sobre todo, el cambio climático por su impacto sobre el desarrollo humano,[1] económico y social obliga a repensar el esquema institucional y de prioridades en planeación territorial. La adaptación a este debe ser el marco de referencia para una propuesta de ordenamiento y uso de los recursos naturales para crear escenarios de resiliencia. Según el IPCC (2007), algunos de los impactos regionales proyectados en América Latina son: aumentos de temperatura que generan efectos en la humedad del suelo, lo que provoca una sustitución en bosques tropicales por sabanas en el este de la Amazonía; pérdidas de biodiversidad biológica; pérdida de productividad de cultivos y en el sector pecuario, lo que en consecuencia alteraría la seguridad alimentaria; por último, los cambios en las pautas de precipitación y la desaparición de los glaciares, lo cual repercutirá en la disponibilidad de agua para el consumo humano, agrícola e hidroeléctrico (p. 11). Las cifras sobre el costo y riesgos del cambio climático están estimadas en un valor del 5% del PIB mundial. Si se ampliara el espectro de los daños socioambientales podría elevarse hasta el 20% o más del PIB mundial (Stern, 2007, p. 21). Evidentemente, los países más pobres son los más vulnerables al cambio climático porque la dependencia y la dotación de recursos donde desarrollan su vida no cumplen con características dignas para resistir los impactos de este problema ambiental global.

[1] Los problemas ambientales están definidos desde una actuación sin límites, en la que se reconoce que un daño ambiental, en diferentes casos, como los impactos socioambientales y ecológicos, es irreversible: "la crítica al PIB ha llevado a crear el Índice de Desarrollo Humano (IDH) de las Naciones Unidas. Este índice considera aspectos sociales, pero no los impactos ambientales" (Martínez, 2004).

En otras palabras, el recurso agua estará afectado por el cambio del clima al disponer de menores cantidades y aumentos de sequías en latitudes medias y latitudes bajas semiáridas. Por lo tanto, unos grupos vulnerables humanos estarán expuestos a un mayor estrés hídrico, contrario a otros grupos vulnerables humanos, que experimentarán mayores disponibilidades de agua en los trópicos húmedos y en latitudes altas. Así, la oferta y la regulación de los recursos naturales se alterarán, lo cual puede crear dificultades en su consumo. Este factor incidirá en la calidad de vida y en la pobreza en los escenarios urbanos y rurales. El sector agropecuario representará el principal consumidor de energía con el fin de suministrar más alimento para mantener un nivel de producción acorde con el aumento de la población humana, y proporcionar una nutrición suficiente y adecuada (Samavatean et al., 2011). Para tal fin se demandará un alto consumo energético, tanto endosomático como exosomático en los sistemas productivos, con un dominio de las fuentes de energía fósiles.

En contraste a lo expuesto anteriormente, en el creciente desarrollo socioeconómico de Colombia soportado en la minería y en el sector agropecuario, la conservación y la gestión de los servicios ambientales se convierten en limitantes para futuros desarrollos y cambios demográficos.[2] De igual forma, la perspectiva en Colombia del sector externo y del mercado interno no incorpora la condición de dependencia que imponen los costos ambientales y la capacidad de carga de los ecosistemas como soporte de vida, los cuales son adquiridos por la naturaleza humana.

En otras palabras, el progreso asocia un mayor consumo de recursos naturales y a un cambio estructural de la economía. Por tanto, "durante los años 1975-2012, Colombia ha venido experimentando un proceso de desindustrialización [...] de niveles del 24 % hace tres décadas a uno del 15 %

[2] Colombia es uno de los países más desiguales del mundo. En 2011, la desigualdad de los ingresos medida por el coeficiente de Gini se situaba en 0,55, superior al promedio de 0,31 de la OCDE. La propiedad de la tierra está muy concentrada, lo que se refleja en un coeficiente de Gini de 0,86, uno de los más altos a nivel mundial. Se han logrado avances en la reducción de la pobreza absoluta: la incidencia de la pobreza según el ingreso se redujo del 49 % de la población en 2002 al 34 % en 2011, mientras que la incidencia de la pobreza multidimensional cayó de un 60 % en 1997 al 29 % en 2011. Sin embargo, dado que el 22,5 % de la población tiene un ingreso inferior al 50 % de la mediana del ingreso, la tasa de pobreza relativa equivale a más del doble del promedio de los países de la OCDE; por último, la esperanza de vida al nacer es de 74,5 años, frente a 79,7 años, en promedio, en la OCDE (OCDE y Cepal, 2014, p. 22).

hace una década y actualmente se perfila hacia tan solo un 9%-12% en dicha relación hacia el periodo 2012-2020" (Clavijo, Vera y Fandiño, 2012, p. 11).

Por ello, la estructura agraria en Colombia se caracteriza por el conflicto en la ocupación económica y social del territorio. Este comportamiento ineficiente está representado por baja productividad, uso inadecuado de los recursos naturales, alta concentración de la propiedad, niveles de pobreza y exclusión superiores a los observados en las zonas urbanas (PNUD, 2011). La vulnerabilidad de las unidades productoras rurales y la de la fragilidad del sector pecuario en los grados de autosuficiencia y de dependencia interna y externa visualizan grandes brechas sociales y económicas en el desarrollo rural. En el Informe Nacional de Desarrollo Humano (2011) *Colombia rural razones para la esperanza*, se evidencia información descriptiva de las brechas urbano-rurales: el 80% de los propietarios-poseedores están prácticamente en la pobreza absoluta, pues obtienen un ingreso que no supera medio salario mínimo legal; en los centros urbanos, en promedio, la pobreza es 2,3 veces menor que en municipios de alta ruralidad; las tasas de cobertura bruta en educación media en los municipios de alta ruralidad son 2,7 veces menores que en los centros urbanos; en municipios de alta ruralidad los niños se mueren 2,4 veces más que en los centros urbanos; en las zonas rurales de Colombia, solo se utiliza el 22,7% de la superficie apta para actividades agrícolas y silvoagrícolas; los municipios con más persistencia política (grado de control de las elecciones por parte de las élites) tienen mayores niveles de necesidades básicas insatisfechas (NBI), de miseria y niveles de indicadores de servicios inadecuados más altos en relación con los municipios donde no se presenta persistencia política; el 65% de los campesinos que están en situación de desplazamiento son menores de 25 años (PNUD, 2011, pp. 64-66).

Por tanto, el crecimiento del sector rural de un país o región y su participación en el producto interno bruto (PIB) están relacionados con la calificación del grado de desarrollo primario. Esta condición es frágil para la economía de Colombia en función del sector rural, donde la inversión es débil frente a la dinámica de otros sectores: "En el sector rural han aumentado entre 2010 y 2013, pasando de representar el 3,7% del total de la inversión en el sector en el caso de colombiano [...], siendo insuficientes frente a las necesidades del sector rural y los requerimientos para la reducir las brechas urbano-rural" (Conpes 3810, 2014, p. 12).

En este orden de ideas, la estructura agraria y las actividades de producción de leche y carne en nuestro país reflejan conflictos territoriales correlacionados con la gestión de la sostenibilidad que son entendidos desde la eficiencia económica clásica sin incorporar el balance de la eficiencia ecológica. Ejemplo de este evento son las cadenas productivas, consideradas como "elementos básicos constitutivos de la estructura agraria: la estructura de la tenencia de la tierra; el uso productivo de los recursos (los conflictos de uso del suelo); las relaciones laborales y sociales; las relaciones con el mercado; las relaciones con la política (el sistema político) y con el Estado (política pública)" (PNUD, 2011, p. 181). Por tanto el análisis de la de eficiencia desde la capacidad de carga de los sistemas de producción animal, que incluyen los procesos que ocurren dentro de la sociedad, comprende la porción interna del fenómeno metabólico, reconociendo los elementos y procesos inmateriales e intangibles que existen en toda la sociedad. Así, los análisis convencionales del metabolismo socioeconómico en los sistemas productivos presentan limitaciones en los cálculos. Aquí se identifica la energía como un factor productivo crítico de alta dependencia para los sistemas productivos locales, con perspectivas bajas de sostenibilidad en entornos rurales con potenciales de autosuficiencia en términos energéticos (Valdés et al., 2009).

La tendencia en el consumo de materia y energía de las unidades productivas de leche reflejan interrelaciones de ineficiencia entre el sistema productivo y la gestión de los recursos naturales. Dentro del factor socioeconómico no está desagregado la apropiación creciente de los ecosistemas y la transformación biológica y química que ocurre en los sistemas productivos rurales. Así, la problemática de las realidades agrarias a escala regional o local está definida por los impactos socioecológicos ocasionados por el proceso de transformación económica en el abastecimiento de materia y uso de energía por parte del ser humano, en combinación con una mayor eficiencia en el uso de los recursos y los bienes naturales, incluidos un aumento en la productividad, una reducción de los residuos y el consumo de energía, así como la disponibilidad de recursos para un uso con el valor más alto.

Análogamente, la apropiación creciente de los ecosistemas por parte del sector lácteo contrasta con los problemas de eficiencia económica: elevados costos de producción; deficiencia en la infraestructura de los centros de producción en conexión con los mercados; dispersión de la producción primaria, es decir, presentan una desarticulación de pequeños y medianos productores

del primer eslabón de valor en la cadena láctea. Así mismo, en sus estructuras organizacionales están constituidos por débiles esquemas asociativos y baja competitividad en la configuración de conglomerados productivos, lo cual obstaculiza la disponibilidad, el acceso y la mejora en el usos de los factores productivos básicos (suelo, agua y recursos energéticos) (Conpes 3675, 2010). Por tanto, la tierra representa el centro de las relaciones sociales entre los servicios ecosistémico y los niveles de eficiencia en la producción de leche.

Los sistemas productivos locales están definidos por la base energética orgánica, lo que lleva a una disputa por el acceso, la apropiación y el usufructo de los recursos naturales de un territorio, aquellos que hacen posible el pastoreo, el cultivo agrícola, la extracción de materiales, el aprovechamiento de aguas de riego, entre otras actividades realizadas por las unidades producción lechera. Al no definir los perfiles metabólicos de los territorios vinculados con la generación de valor del eslabón primario en la cadena de valor del sector lácteo, no se pueden visibilizar las dinámicas de intercambio en los procesos que apropian, consumen y transforman los bienes y servicios utilizados en las unidades productoras de leche. La tendencia en el consumo de materia y energía de las unidades productivas de leche reflejan interrelaciones de ineficiencia entre el sistema productivo y la gestión de los recursos naturales.

Dentro del factor socioeconómico no está desagregada la apropiación creciente de los ecosistemas y la transformación biológica y química que ocurre en los sistemas productivos rurales. Así, la problemática de las realidades agrarias a escala regional o local está definida por los impactos socioecológicos causados por el proceso de transformación económica en el abastecimiento de materia y uso de energía por parte del ser humano. De acuerdo con la problemática presentada, la pregunta que se plantea para esta indagación es *¿Cuáles son los factores que influyen en la productividad ecológica del sector lácteo en Colombia?*

Fundamentación teórica

La economía y la ecológica humana son las bases para interpretar la productividad económica y ecológica. El debate sobre si la economía es una ciencia, una ingeniería o, en ciertos momentos, simplemente una ideología corresponde a un flujo de cuestionamientos que circula alrededor de los temas relacionados con la ética, el medio ambiente y los sistemas ecológicos.

La economía sopesa desde sus orígenes la crisis del medio ambiente. En un sentido de inocencia prevé una relación con el entorno natural: lejos de un paternalismo, de caprichos a nuevos estilos de vida, o de eludir nuevos conflictos (económicos, sociales y políticos), el acceso a los núcleos sociales estará construido por una apertura en la relación de las fuentes dinámicas de demanda de recursos de la tierra; estos, combinados con la riqueza artificial creada por el ser humano, definen la valoración de los beneficios y costos a partir de la crematística, base de la economía. Para enfrentar este riesgo hay que dar el paso de la frontera disciplinaria convencional de la economía para aceptar los vínculos y las críticas de otras disciplinas. Un deber social debe mantener argumentos que no traten de reinventar la economía ni otra disciplina, sino que sean los nuevos conocimientos transdisciplinares los que den respuesta a los nuevos fenómenos sociales (Martínez y Schlüpmann, 1991). Por ello, un tratamiento de los problemas económicos con criterios interdisciplinarios ya invalidaría la propia economía. Esta pretensión da fuerza al reclamo de despolitización de la economía, de la sociedad y hasta de la misma política (Acosta, 1999). El desafío está en la sensibilización del término más general introducido por la teoría económica de "exterioridad o externalidad", para expresar los efectos laterales caracterizados por ausencia de reciprocidad en beneficios, y de un empleo poco voluntario como alternativo (Commoner, 1973). Por lo tanto:

> [...] la tecnología y la mecanización han tomado el mando, imponiendo sus imperativos tanto a la agricultura como a la industria. Lo que solía ser un sistema (biológico) sumamente diversificado de cultivo de mercancías alimentarías y materias primas, se han transformado en monocultivos a gran escala y altamente especializados. Además, la agricultura moderna se ha transformado en un principal usuario de bienes de capital producidos por las industrias sustentadoras de la agricultura que emplean cada vez mayor cantidad de trabajadores industriales, y que hacen fuertes y cada vez mayores demandas de recursos escasos, sobre todo electricidad y petróleo. (Kapp, 1978, p. 179)

La importancia del tema recobra nueva fuerza en la actualidad por describir una sociedad mundial organizada en sus enormes logros materiales y tecnológicos. Esto contrasta con la realidad en la cual convergen crecientes

desequilibrios en términos de ingresos-riqueza, oportunidades y libertades, como también en los conflictos ecológico-distributivos.[3]

Una sociedad dominada por profundos y contradictorios fenómenos de globalización comercial, financiera y tecnológica, caracterizados, además, por una mundialización de culturas y por una crisis de la institucionalidad de los Estado-nación, permite abrir el debate en estos tiempos considerados de modernidad para responder al siguiente cuestionamiento: ¿es posible relacionar el comportamiento de las actuales tendencias económicas con los principios de la economía ecológica en el replanteamiento de políticas públicas y sus realidades territoriales? Según Kapp (1978), "la introducción de las curvas de coste social en la teoría formal, ni las propuestas actuales de 'deducir' los costes sociales de las mediciones del producto nacional neto o bruto nos llevarían muy lejos" (p. 211). Así este autor sugería la incapacidad de la teoría económica de los agentes privados de acoplar las implacables externalidades, cuyo origen está en las fuerzas económicas. Los cuestionamientos plantean una realidad no muy lejana de la percepción en pleno siglo XXI. Así mismo, se pregunta: ¿hasta qué punto es compatible el sistema económico con respecto al mantenimiento ecológico de la capacidad de carga de la biosfera?, y ¿en qué fase de la actividad económica podrá compensar la deuda ecológica para ser integrada, evitando mayores catástrofes ecológicas? (Commoner, 1973, p. 14).

La economía atraviesa por un contexto en el cual se mezclan lo humano y lo viviente. De igual forma, se fundamenta en el respeto a las reglas que la soportan y que la representan en el seno conceptual donde debe encontrar un ámbito de optimización a los problemas socioeconómicos. En consecuencia, las relaciones establecidas entre las esferas económicas, humanas y naturales impondrán demandas estructurales teóricamente correspondientes a una aproximación transdisciplinaria. De esta manera, se englobarán diversas escalas de valores. Tal es el caso de los valores sociales (filosóficos, estéticos, morales) para no ser reducidos necesariamente a lo económico. Las regulaciones de la naturaleza (véanse Daly, 1990; Ehrlich, 1989) escapan a las leyes del mercado. Los niveles de organización definen los límites a partir de los cuales no se puede llegar más allá de evidentes grados de complejidad que

3 Terminó acuñado por Martin O'Connor y Martínez Alier de manera paralela a la estructura de la economía política, cuando abordan el estudio de los conflictos económicos entre los agentes económicos y factores de producción.

implicarían una modificación radical de los modos de regulación y desarrollo del propio sistema. Por ende, se parte de la identificación de los valores intrínsecos que contribuyen a la acción y el objeto de estudio en el momento de acoplamiento al sistema natural. Algunos organismos pueden mantener un sistema con dichos valores frente a los ecosistemas o especies. De esta forma, se pretende satisfacer sus necesidades al igual que el ser humano. No obstante, la inclinación al determinar los valores económicos promueve una preferencia a la satisfacción humana, lo que desconoce el principio de conservación (Faber, Costanza y Mattew, 2002).

La idea de responsabilidad y el autocontrol en una sociedad permitirán demostrar el grado de conservación correspondiente a una mezcla de valores, fuente determinante en la combinación de políticas y normas, que alternativamente pueden ser correctas o equivocadas. Por tanto, la evaluación de los diversos componentes de la gestión medioambiental de las organizaciones no puede establecer un diálogo claro con la correspondiente diferenciación de su efectividad. Las sociedades dependen del contacto directo en el uso de recursos naturales; en otras palabras, el éxito en la gestión de los ecosistemas estará asociado a procesos en la toma de decisiones respecto a la subsistencia, donde los valores implícitos moldearán un estilo de vida conforme a sus entornos y necesidades:

> Hay algunas cosas que sabemos con seguridad. Sabemos que la gran mayoría de los pobres del mundo se concentran en zonas rurales. Dependen de los campos, bosques y aguas —la prima de los ecosistemas— para mantener su forma de vida. Estos ecosistemas aportan un bien natural básico que las pobres de zonas rurales pueden utilizar para iniciar un proceso que genere riqueza que les permita superar la subsistencia para entrar en la corriente principal de las economías nacionales —pero solo bajo las circunstancias adecuadas. (Instituto de Recursos Mundiales, Programa de las Naciones Unidas para el Ambiente [PNUMA], PNUD y Banco Mundial, 2006, p. 57)

El proceso de constatación, punto de partida, de la economía ecológica representará el traslado de viejos argumentos, como el pensamiento en lo económico, que no implica necesariamente lo monetario. De hecho, las diversas definiciones que en principio transfieren un sentido a la economía no dicen nada sobre la representación monetaria. Con todo, el análisis

económico se basa en un conjunto de principios básicos que son aplicados a diferentes ámbitos. Para ello la expresión de los bienes o prejuicios en unidades monetarias representa un instrumento útil y habitual, pero no inherente al proceso económico. Lo que está explícito es el reconocimiento y la preocupación ambiental para la supervivencia de un orden económico mundial y de un modelo de desarrollo dominante, cuya pretensión no es salvar el planeta, sino transferir responsabilidades a una sociedad, que caracteriza al modernismo en condiciones de una evolución artificial con instrumentos señalados por el mercado (Martínez, 1992, p.227). En este sentido, la ideología ecológica mercantilista legitimará el sistema de precios, determinando una clara ineficiencia en la asignación de los bienes y servicios ambientales, así como la respuesta a los impactos que genera en el hábitat del ser humano (Jiménez, 1989). A la vez, la economía forma parte de las instituciones sociales que están inmersas en los flujos físicos de los impactos ambientales. Esta relación evidencia dos aspectos: en primer lugar, la historia humana se desarrolla en un contexto de circunstancias naturales y de igual manera la naturaleza modifica los entornos sociales; en segundo lugar, la percepción de la relación de los seres humanos y de la naturaleza se ha ido transformando a lo largo del tiempo (Martínez, 1992, p. 36).

En síntesis, la introducción de señales que caractericen el desarrollo de una economía ecológica matizará con los problemas ambientales originados en el proceso de producción, distribución y consumo de bienes y servicios de un territorio. Por ello la formación de valor no es solo de resultados externos a las relaciones económicas, sino que también pertenecen a procesos de conflictos sociales o ambientales inherentes al proceso económico, y como tal, parten del orden natural que adquieren las materias primas y los servicios ambientales conducentes en el soporte del sistema económico.

No obstante, la función receptora final de toda clase de residuos de un ecosistema permite comprender el ciclo rápido de las influencias antropocéntricas y de la posible garantía en la capacidad económica, en la cual los individuos posean libertad en el consumo y en la producción. Esta es una eventualidad muy débil en la vida de todos los subsistemas de la biósfera cuando incorporan las leyes de la naturaleza y de la entropía (Ropke, 2004). En este sentido, la necesidad de analizar la producción económica en un contexto global, con criterios cointegradores del sistema natural, implica asumir las restricciones del medio físico y del entorno en que se vive, para evidenciar el fundamento del segundo principio de la termodinámica, que:

> [...] establece una importante limitación a cualquier transformación que utilice calor o trabajo o energía útil, sea o no económica; nos dice que todo al utilizar trabajo lo reduce. De acuerdo con él, los productos de toda transformación económica contienen solo una parte del trabajo o calor útil utilizado para su obtención, en otras palabras, la producción supone una reducción de la energía y un aumento de la entropía del universo. (Sánchez, 1999, p. 23)

En general, el sistema económico operará si el valor económico obtenido en todo el proceso productivo genera excedentes de mayor grado que el valor económico de los recursos empleados.

En línea con los eventos cronológicos de la economía de finales del siglo XIX e inicios del siglo XX, se pueden apreciar los principales aportes teóricos de personajes con carácter transdisciplinario, que hoy reivindican la diferencia de la economía ecológica (EE) con otras disciplinas. Así el biólogo y planificador urbano Patrick Geddes y el médico Sergei Podolinsky llevan obligatoriamente a considerar el "estudi[o] [de] la energética de la vida y [la aplicación de] esos resultados al estudio de los fenómenos económicos" (Gómez, Vargas y Posada, 2007, p. 53). Por su parte, el ingeniero y reformista social Josef Popper-Lynkeus intentó sin éxito promover una visión biofísica de la economía como un subsistema incrustado en un sistema mayor sujeto a las leyes de la termodinámica (Martínez y Schlüpmann, 1991).

Un primer ejemplo está dado en el concepto de *energía*, que adquiere un significado diferente al sentido de calórico que presentaba a principios del siglo XIX. Puesto que los flujos de energía se extienden por toda la naturaleza, según las propiedades de los cuerpos y sus respectivos niveles de temperatura, se obliga a conservarla o al efecto de disipación. En efecto, la energía adopta nuevos roles y asume funciones alternativas requeridas para el trabajo. El calor y la energía tienen nuevas acciones en un trabajo mecánico; además de la eficiencia de las máquinas, son los elementos que desvelan básicamente los ciclos biogeoquímicos. Desde el punto de vista de la termodinámica, una planta viva se convierte en un sistema abierto, intercambia energía y materia con su ambiente. Por tanto, la planta mantendrá un orden en su sistema energético al no tomar más energía de la que su ambiente le permite; esta es una contribución de los ciclos del carbono y los ciclos de los nutrientes de las mismas plantas. De ahí se desprende que el tamaño del flujo de energía refleja el tamaño del impacto ambiental. Cuando en la economía

se intensifica el uso de energía, todos los procesos productivos movilizan y transforman más materia y viceversa. De igual modo, esta experiencia le permitió a Clausius la posibilidad de formular el principio de conservación de la energía y el principio de entropía, en los cuales se descubre la energía en sí misma como la "moneda de la naturaleza". Este evento explora con rigor las ideas de energía y entropía para dar información del procedimiento llevado a cabo, en el que, de un nicho inicial (la física) se pasa al campo de las ciencias naturales y, posteriormente, es introducido en las ciencias sociales.

Igualmente, se consideran las enseñanzas de Leopold Pfaundler (1839-1920), cuya preocupación se basaba en la energía disponible, al considerar que tanto los costes energéticos como los económicos están sometidos a la influencia de la capacidad de sustentación de la tierra, sinónimo de dependencia directa con el flujo de energía solar. Este nuevo planteamiento redefine la teoría del valor-trabajo representada en unidades de energía, consideraciones que son rechazadas por otras disciplinas al identificar la economía y las ciencias naturales limitadas de posibilidades en la construcción de conocimiento a razón de su unión. Los aportes de Pfaundler, Podolinsky y Sacher (1834-1903) formulan la tesis sobre la eficiencia energética en la producción agraria para dar inicio a una exposición sintética sobre el balance energético de la agricultura moderna; es decir, los incrementos que experimenta el sector de la agricultura en sociedades modernas creadas de constantes subsidios energéticos de otros territorios constituyen una idea en contravía a la realidad de la agricultura tradicional, en la que la fuente de energía depende de la intensidad en el trabajo humano. De esta manera, se rescata el aporte de F. Soddy (1877-1956), que en su línea de trabajo critica la estructura moderna de producción industrial, al promover elevadas tendencias en el consumo de recursos naturales no renovables y en el efecto disipador que lleva dentro del entorno natural (Urteaga, 1985, pp. 193-205).

El conflicto entre la teoría "optimista" y la "pesimista" de la evolución, en las cuales se explicaba la diversidad de la vida con la segunda ley de la termodinámica, constituyó un elemento cultural causal de inicios del siglo XX como antecedente principal de una visión ecológica de la economía, mucho antes del nacimiento de una economía ecológica consciente de sí misma. Este retraso se explica por la estricta frontera entre las ciencias naturales y sociales (Martínez, 2004, p. 37). El reconocimiento en los aportes de Kenneth Boulding, quien trabajó en el análisis de sistemas, en su ensayo *The Economics of the Coming Spaceship Earth* (1966), permite una representación del

planeta tierra a semejanza de una "nave espacial", donde el funcionamiento y reaprovisionamiento dependerán de una energía externa, la energía solar, y de su capacidad de carga. La combinación de estas dos fuentes les permitirá a los diferentes sistemas una esperanza de vida. En síntesis, Boulding replica la necesidad de ver la tierra como un sistema económico cerrado, en la que la economía y el medio ambiente se caracterizan por tener una relación circular (Castiblanco, 2007, p. 10).

En el estado actual, la EE no solo se queda en una crítica. Intenta dar indicadores físicos cuyo el objetivo es diferir si la economía es ecológicamente sostenible. Los aportes de Nicolás Georgescu-Roegen son base crucial en la construcción del marco teórico de la EE, y también lo son los conceptos biofísicos, las leyes de conservación de la masa y de la energía y la ley de la entropía al análisis económico. De igual forma, Joan Martínez Alier describe tres posiciones en la discusión de la relación entre energía y economía; de hecho, solo atribuye a una como posición verdadera, es decir, la posición que constituye el carácter revelador de las aplicaciones en un lenguaje de la física o de las leyes termodinámicas como instrumento en el entendimiento de los hechos económicos que la hacen partícipes en un sistema natural como la biósfera.

Esta posición desvela una economía de flujos en forma de espiral del intercambio de valor, como flujo entrópico de energía y materiales que se difunden en el sistema económico. "Los planteamientos de Georgescu-Roegen llevan a entender que es la ley de la entropía la que determina la verdadera ley de escasez y el verdadero valor en los procesos económicos" (Jiménez e Higón, citados en Castiblanco, 2007, p. 10). De modo similar, se considera errónea la posición que viene en apoyo de las características de la economía neoclásica, para explicar cómo una transacción de mercado lleva implícito el intercambio de energía física y social; por tanto, se acepta el paralelismo de los intercambios sociales analizados por los economistas como los fenómenos naturales estudiados por los físicos (Martínez, 1999, p. 18).

En tercer lugar, se ubica la posición de la teoría del valor y energía, o la teoría energética del valor, cuyo representante es Howard Odum. En ella existe una cooperación interdisciplinaria. Odum estudia desde un reduccionismo adyacente de la disciplina económica los fenómenos de las transacciones de energía; por esta razón, la energía es considerada como el único determinante del valor de los bienes (energía incorporada). Esta teoría adquiere un grado básico del valor al asumir como una sustancia localizada dentro de los bienes. Para ello se crea energía controlada como objetivo desde el sector

de la industria energética, por un proceso segundario económicamente útil a partir de la energía primaria, mecanismo que ayudará mutuamente en la transformación material de otros sectores; de esta forma, los consumidores usan y destruyen el valor (Sollner, 1999).

Las ecología humana rescata el acervo de la ecología y lo incorpora a las relaciones de los sistemas económicos y naturales, en los cuales destaca las posibilidades "en el uso de energía y materia entre personas y entre territorios poblados por estas" (Martínez y Schlüpmann, 1991, p. 13). Entonces, la ecología humana describe los elementos que explican la desigualdad entre las personas desde el uso de energía endosomática y exosomática, como de la distribución del espacio. Estos aspectos inciden en la productividad económica y ecológica de un territorio. Al cuestionar los efectos en la eficiencia económica desde la productividad de recursos naturales, influirán en los pronósticos de crecimiento económico. En consecuencia, la debilidad en el análisis de la productividad en el sector agropecuario está en su medición por depender de los precios de mercado, para posteriormente restar del valor de producción el valor de los *inputs* primarios. En este sentido, la productividad ecológica propuesta por Leff corresponde por las "estructuras funcionales de los ecosistemas a partir de la conversión de energía solar en biomasa mediante el proceso fotosintético y de sus transformaciones en las cadenas tróficas de las comunidades florísticas y faunística" (citado en Meza, 2013, p. 73). Esta definición permite incorporar un análisis de lo económico desde un enfoque ecológico no centrado únicamente en energía, sino también con una profundidad en la apropiación primaria de la naturaleza de un territorio.

Aproximación a la competitividad y productividad de la cadena láctea en Colombia

El sector rural referenciado desde el territorio articula diversas actividades. Dentro de las más representativas se encuentran la agricultura, la ganadería, la minería, la extracción de recursos naturales, el turismo y las pequeñas industrias. Entre estas predomina el uso del suelo con mayor participación en el PIB del sector agropecuario (Martínez y Correa, 2002). Por tanto, la seguridad alimentaria representa un factor de estabilidad en los hogares rurales, no solo en función de la productividad, la sostenibilidad y la resiliencia, sino también en el factor nutricional; "los agricultores, pastores,

pescadores y silvicultores comunales dependen de actividades que están íntima e indisociablemente ligadas al clima, y estos grupos son también los más vulnerables al cambio climático" (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2016, p. 5). El desafío de los sistemas productivos de alimentos está en garantizar la satisfacción de la demanda e integrar procesos ecológicos que permitan sinergias con el territorio en las diferentes dimensiones socioeconómicas.

Los sistemas productivos y los territorios configuran elementos esenciales en los modelos agroindustriales. En Colombia los mercados agroindustriales están sometidos a problemas de competitividad frente a mercados globales de alimentos más especializados y dinámicos. "Es evidente que la ausencia de articulación entre sector y territorio imposibilita el desarrollo de capacidades territoriales que permitan la competitividad sectorial en el mercado global" (Chacón y Jolly, 2006, p. 316).

Las actividades de investigación e innovación en el sector de alimentos han permitido avances en competitividad y productividad en el marco de la globalización. Sin embargo, son débiles los avances en "adopción de un nuevo modelo de desarrollo sostenible y de preservación de recursos naturales; ciencia y tecnología para el desarrollo humano y social y la Dinámica geopolítica y nuevo orden mundial" (Colciencias, citado en Giraldo, 2011, p. 16).

Desde la perspectiva de cadenas productivas, el sector de alimentos permite integrar la generación de valor del sector agropecuario y de servicios, "el 36% del consumo intermedio de la industria manufacturera es procesado por el sector de alimentos" (Giraldo, 2011, p. 55). No obstante, los eslabones de las cadenas presentan vínculos débiles entre los sectores agropecuarios, industrial y de servicios. Esta integración desconoce el comportamiento de la competitividad y productividad de los diferentes eslabones.

Según la FAO (2016, párr. 4), el consumo de leche per cápita en América Latina y el Caribe se ubica en el rango medio de 30 a 150 kg per cápita al año. Este producto proporciona un suministro de energía alimentaria entre el 11 y el 14%. En el contexto mundial, 6000 millones de personas demandan leche y derivados, contando con un consumo significativo en los países en vía de desarrollo. Las dinámicas de crecimiento en los ingresos de los países emergentes, en vía de desarrollo y desarrollados han generado una mayor demanda de azúcar, aceites y grasa por encima de los alimentos básicos y de proteínas. Esto ha propiciado un debate en los problemas de salud, como la desnutrición y la obesidad. Así, la presión de una mayor demanda de carne,

pescado y lácteos generará nuevas escalas de producción de suministros, áreas de cultivo y ganadería en la cadena láctea. Sin embargo, los precios de los productos lácteas en el contexto mundial están disminuyendo debido a la desaceleración económica, a los menores precios del petróleo y a la mayor acumulación y oferta de productos lácteos (OCDE y FAO, 2016, pp. 17 y 18).

La producción de lácteos en la década de los noventa se caracterizó por un crecimiento del mercado interno. La respuesta estuvo en el proceso y abastecimiento de la producción de leche líquida, lo cual impulsó la inversión en los eslabones de la cadena láctea:

> El valor de la producción de leche fresca, representó en 1980 el 4,8% del PIB agropecuario, pasando a 6,3% en 1990, y 10% en 1997. En 1997 la participación del sector agropecuario sobre el PIB del país fue de 19% con una contribución del sector pecuario de 38,4%; de este valor la producción de carne y leche representaron el 15% y 10% respectivamente. (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural e Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura [IICA], 1999, p. 8)

El efecto de esta tendencia produjo un incremento en la productividad lechera. "La producción nacional de leche fresca ha presentado en la última mitad del siglo un aumento en forma rápida y sostenida. Pasó de 728 millones de litros en 1950 a 1.879 millones en 1978 y se calcula en 5.326 millones de litros en 1997" (p. 10). La tendencia del sector lácteo colombiano dejó de ser deficitaria para la los siguientes años a 2000, cuando

> [...] comenzó a exportar alcanzando en el año 2002 ventas en el exterior por más de 50 millones de dólares, y en el año 2008 más de 70 millones de dólares, sin embargo desde el 2009 con el cierre del mercado venezolano las exportaciones se disminuyeron considerablemente, cerrando el 2010 con exportaciones de apenas 11 millones de dólares. (Consejo Nacional Lácteo, 2011, p. 1)

Con todo, la reducción en los costos de producción por animal es contraria a la tendencia de los precios en el mercado para el productor de leche. Este escenario desata la discusión económica en el vínculo de mayores tierras para la producción de leche, contrario al incremento de animales, con lo cual se aumenta la productividad en litros producidos en hectárea por

año. Así, se acepta la hipótesis de que el área de la finca está inversamente relacionada con la productividad, medida en litros producidos en hectárea por año (Palacio, 2001). Sobre todo en Colombia, la región de menor variación en costos es Antioquía, donde los "insumos que son un 79% del total, en especial aquellos relacionados con la actividad de ordeño, mientras que otras regiones como Nariño y Cundinamarca es la mano de obra la que tiene mayor participación (50%)" (Aktivia, 2013, p. 3).

Por esta razón, el análisis institucional se centra en la competitividad y productividad del sector lácteo colombiano, a partir del desarrollo de estrategias e instrumentos que permitan disminuir los costos de producción e incrementar ventajas comparativas. La evidencia está fundamentada en los documentos: *Acuerdo de competitividad del sector lácteo en Colombia*, de 1999; *Acuerdo de competitividad del sector lácteo para Antioquia*, de 2001; *Acuerdo de competitividad del sector lácteo para Colombia*, de 2010, y el documento Conpes 3676 para el sector lácteo en Colombia, de 2010. Esto da como resultado de comparación entre todas fuentes el rescate del común denominador en los 11 años de la búsqueda en una modernización de la cadena láctea, para potenciar la participación en el mercado interno y externo (Quintero, 2011).

La complejidad de los sistemas productivos rurales, en especial la cadena láctea, está asociada a la dinámica del mercado interno y en la integración de los diferentes eslabones que permitan satisfacer la expansión de demanda y el consumo de productos lácteos. La tendencia, más significativa, en la producción y transformación láctea se define en la organización del sistema productivo cerca de los centros urbanos para potenciar el apalancamiento en el consumo. No obstante, la creciente tecnificación del proceso productivo con miras a mejorar la productividad de los sistemas de producción implica la incorporación de nuevas tecnologías, tales como ordeños mecánicos, tanques de enfriamiento, entre otros aspectos, los cuales requieren energía y materia externa para el funcionamiento. En esa medida, se prevé que este rubro sea representativo en los costos de producción láctea y en la competitividad en los mercados internacionales. En Colombia, esta práctica permea los procesos productivos como procesos innovadores al entrar en asocio con la tecnología y maquinaría que viene desde afuera. Esta situación es negativa por la no identificación del conocimiento de procesos internos generadores de valor en los diferentes eslabones de la cadena láctea.

Del mismo modo, el diagnóstico realizado y citado en los estudios del Departamento de Planeación Nacional (DNP) y Colciencias describe como

problema central, en los sistemas productivos rurales, la baja capacidad en gestión del conocimiento en las organizaciones, principalmente a la hora de identificar, producir, difundir, usar e integrar conocimiento, innovación y tecnología aplicable al sector productivo, en especial su apropiación en el sector rural. Así mismo, las organizaciones rurales presentan limitantes de acceso, nuevas tecnologías, resistencia cultural de adaptación y perspectivas de alto riesgo al invertir en innovación y tecnología. El resultado de estas conductas se evidencia en una baja productividad sobre todo por parte de los pequeños productores, quienes pierden oportunidades de integración para crear valor en la cadena láctea (Conpes 3582 de 2009).

En consecuencia, la política de Ciencia Tecnología e Innovación para el sector agropecuario en Colombia está orientada a atender la baja productividad del sector, resultado de las dinámicas del mercado internacional. En este escenario, las organizaciones integrantes de la cadena láctea adquieren el reto en la investigación e innovación tecnológica para articularse entre los diferentes eslabones para aumentar la competitividad en el mercado internos y externo. Las debilidades evidentes en los diagnósticos resaltan la influencia de los altos costos de producción, la baja productividad en relación con los principales actores internacionales, la dispersión en la producción primaria, el mínimo nivel de asociatividad en los eslabones de la cadena, la alta informalidad en la comercialización y transformación de la leche y sus derivados, el bajo nivel de diversificación de productos y destinos de exportación[4] y un deficiente estatus sanitario en relación con las exigencias de los mercados. Por estas razones se requiere la formulación de estrategias que permitan consolidar la competitividad del subsector, tanto en el mercado interno como en el externo (Conpes 3675 de 2010, p. 4).

Dentro de las actividades pecuarias, el eslabón más representativo de la cadena productiva es la producción y transformación de leche. Entre los procesos más representativos en el manejo de la leche[5] para consumo humano se encuentran la pasteurización y la vigilancia y control de la cadena

4 El principal destino de las exportaciones colombianas de derivados lácteos es el mercado venezolano, partícipe en 2004 con el 89 % del total de las divisas. El segundo destino de las exportaciones es el mercado estadounidense, donde se dirigió el 8 % de los productos lácteos (Giraldo, 2011, p. 54).

5 La complejidad bioquímica de la leche en su composición y su elevada actividad de agua la convierte en uno de los alimentos naturales en el que proliferan fácilmente la mayor parte de los microorganismos y bien se podría catalogar como un medio universal de cultivo (Hesschen, citado en Fernández y Hernández, 2006, p. 3).

de frío en la manipulación del producto por parte de las plantas industriales, que procesan este alimento para garantizar su inocuidad. El proceso de producción, transformación y comercialización por lo general en el sector lácteo se caracteriza por tener una estructura tradicional influenciada por la región. Por eso el sector lácteo participa activamente en la dinámica del crecimiento económico para contribuir al PIB. "Entre los años 2013 y 2019 se proyecta que el sector presentará tasas de crecimiento reales del 5%, en las cuales los rubros más dinámicos serán las exportaciones y la penetración del mercado interno" (Consejo Nacional Lácteo, 2011, p. 2). También espera producir aportes en la canasta familiar y principalmente, por su capacidad, generar empleo. "Las encuestas de empleo realizadas por Fedegán, en un sistema de lechería especializada se generan 7,9 empleos por cada 100 animales, y en un sistema de producción doble propósito se generan 5,5 empleos por cada 100 animales" (p. 3).

Las condiciones de análisis en la cadena láctea evidencian una dispersión y ausencia de mecanismos de captura y análisis de información homogénea de los precios, costos de producción, rendimientos, consumos, informalidad, calidad de los bienes y servicios, entre otros. Estos aspectos representan obstáculos en la definición de políticas de competitividad, las cuales se relacionan con niveles bajos en la configuración de valor dentro de la misma cadena productiva. Así lo evidencia el Conpes 3675 de 2010, en el cual se afirma la importancia de gestionar costos en el eslabón de transformación.

> La mayor parte del costo de fabricación lo constituye el consumo de materia prima, que es la leche fresca y que representa aproximadamente el 80% del total. Los gastos en mano de obra constituyen el 5%, y el 15% restante se destina a otros rubros, como los empaques, los cuales son muy importantes en la comercialización de yogures y leche larga vida. (Giraldo, 2011, p. 54)

Las perspectivas de competencia internacional y el contrabando de productos lácteos obligan al sector a reconfigurar su operación, procesando en diferentes momentos de la cadena láctea:

> En 2012 Colombia produjo alrededor de 6300 millones litros de leche, de los cuales aproximadamente el 10% fueron procesados en finca, el 8% fueron de autoconsumo, el 45% en acopio formal y 37% en

> sector informal; 2861 millones de litros correspondieron a lechería especializada y 3498 millones de litros de leche fueron de doble propósito. (Aktivia, 2013, p. 2).

Método

La metodología escogida fue la descriptiva analítica. Se revisaron los planteamientos y estudios realizados frente a los conceptos *energía*, *producción láctea*, *alimentación*, *eficiencia energética* y *eficiencia alimentaria*, en cada una de las siguientes bases científicas: Acsess DL (Digital Library), CABI, EBSCO-Interfaces, Jstor, Passport, ScienceDirect, Scopus. No obstante, la información hallada fue escrita en el periodo 2000-2016. La mayor cantidad de artículos de investigación se encontró en las bases de datos Science Direct, Web of Science y Scopus. El origen de estas investigaciones se dio principalmente en Estados Unidos y Países Bajos. Sin embargo, se encuentran algunos documentos de México, Uruguay, Brasil, Chile, Cuba, Irán, Irak, Portugal, Francia, Senegal, Suiza, Dinamarca, Alemania e Italia. La realización de resúmenes analíticos especializados permitió definir cuatro categorías de estudio que influyen directamente en la energía como elemento base en el análisis de la productividad ecológica en la cadena láctea. Las categorías definidas son: *nutrición animal*, *impactos ambientales*, *eficiencia energética* y *costos de producción*. Se evidenció un limitante del análisis en Colombia, al encontrar pocas investigaciones y publicaciones relacionadas con el tema objeto de estudio.

Resultados

Costos de producción

Los costos de producción en la cadena láctea corresponden a las erogaciones necesarias para llevar a cabo la operación. Estos costos se clasifican en costos fijos, como arriendos, servicios públicos, salarios de personal operativo, y costos variables, como las materias primas, maquinaria y mano de obra.

Son un factor determinante debido a que permiten evaluar el uso de los recursos con el fin de establecer las posibles mejoras para la eficiencia de las herramientas disponibles, y con esto obtener el beneficio de disminuir los costos de producción sin alterar la calidad de los productos. En la cadena láctea, el uso de energía es elevado teniendo en cuenta las actividades que se realizan en los diferentes eslabones, pero no se tiene un control específico sobre estos costos. Por tal razón, se estudia la posibilidad de crear una eficiencia energética para beneficiar económicamente las granjas lecheras.

En el caso de la producción láctea, los componentes que determinan la variación son: el tamaño de las granjas lecheras, el estrato socioeconómico, el uso de tecnología, la ubicación geográfica y la nutrición de las vacas. Existe una relación directa entre el tamaño de la granja y el estrato; por ejemplo, cuando la granja es pequeña y de estrato bajo, el uso de tecnología es mínimo, porque estas se caracterizan por no contratar mano de obra ni utilizar maquinaria tecnificada, lo cual la convierte en un negocio familiar.

Por otra parte, la ubicación geográfica tiene relación directa con el tamaño de la granja. Por lo general, las pequeñas granjas o familiares se ubican en Latinoamérica, lo cual es positivo porque disminuye el costo de alimentación de los animales debido a que las condiciones climáticas son favorables para producir su propio alimento.

Por el contrario, en Europa, las granjas cuentan con mayor tecnología que en Latinoamérica. Esto lleva a un mayor consumo de energía eléctrica, debido a que algunas actividades requieren el uso de equipos y maquinaria, como el enfriamiento de la leche, el calentamiento del agua, la maquinaria de ordeño y la iluminación. Por lo tanto, se evidencia un incremento en los costos de electricidad.

Nutrición

La alimentación es un factor importante que se debe analizar en la producción láctea debido a que la mayor parte de los costos totales de producción pertenecen a los alimentos y suplementos para animales (43 %). La eficiencia alimentaria en bovinos es una estrategia que permite reducir costos de producción. También está relacionado con el tipo de animal y sus características genómicas metabólicas, puesto que si el animal al consumir alimento lo transforma en la energía utilizada para su mantenimiento y produce gran

cantidad de calor, se pierde el restante de la energía metabolizable. Esto lleva a que sea un animal ineficiente en función de la producción de leche. Por ejemplo, el aumento de la generación de leche por vaca requiere mayor y mejor alimento para el animal. Gran parte de esta alimentación se divide en la producción de leche en lugar de mantenimiento y crecimiento de su cuerpo.

Por consiguiente, la influencia de la nutrición de las vacas en un estado de variabilidad climática expone cambios en la producción de leche, por ejemplo en la estación de invierno. En edad de parición desde la temporada de otoño se realizó un estudio en el que se analizó la influencia del forraje y los suplementos alimenticios en la mejora de la producción de leche, porque en la época invernal el consumo energético y calórico aumenta. Por lo tanto, el animal debe solventar necesidades básicas de mantenimiento, optimizando la ingesta de forraje adecuado y otros suplementos que permitan mejorar no solamente la producción de leche, sino también su calidad.

Respecto a la eficiencia alimentaria, existen muchas alternativas no solo destinadas a la calidad y mayor producción láctea. Existen investigaciones en las que se promueve la inclusión de mezclas de forraje en la dieta de crecimiento en novillas lecheras a fin de determinar los impactos en la digestión, la utilización de energía y las emisiones de metano residuales, que afectan el medio ambiente por la emisión de gases efecto invernadero. Expertos de la Federación Colombiana de Ganaderos (Fedegán) consideran al girasol como un alimento proteico, junto a las tortas de algodón, la soya o la harina de pescado, los cuales, mezclados con energéticos, son positivos para los semovientes.

Impactos ambientales

El proceso de producción de leche contribuye en un amplio porcentaje a la generación de los impactos ambientales, debido al uso de la tierra y los recursos naturales. Por ende, se ocasionan daños en el suelo, agua y aire, lo cual produce perjuicios en el ambiente, como la eutrofización, la acidificación, la pérdida de biodiversidad y el uso de los recursos, como la tierra y la energía fósil. Cada uno de los procesos de la cadena láctea requiere el uso de recursos naturales, y por esto se provocan cambios de forma directa o indirecta en el medio ambiente. Estas actividades abarcan diferentes clases de impactos

ambientales, entre ellos la contaminación, la emisión de gases de efecto invernadero y el daño del hábitat por el uso de los suelos.

En las diferentes etapas se originan estudios y métodos que buscan evaluar el daño ambiental y asimismo poder generar estrategias para su mitigación. Existen procesos ajenos a la cadena láctea como la elaboración de los alimentos para los animales, el sustento de las granjas y el uso de energía para el mantenimiento y producción, los cuales también están ocasionando daños ambientales.

La elaboración de alimento en las granjas lecheras es una gestión de mucha importancia, debido a que esta puede aumentar o reducir costos según el manejo que se le dé. Las vacas requieren una dieta determinada para poder optimizar la producción de leche, pero en muchas ocasiones no se tienen en cuenta los impactos ambientales que la fabricación pueda dejar. Además del método de producción, el uso de energía y las emisiones de GEI relacionadas con la producción de alimentos también están fuertemente influenciadas por la composición del paquete de alimentos.

Por otra parte, las granjas que producen su propio forraje y cultivan alimentos necesitan insumos de producción como fertilizantes, herbicidas, pesticidas y combustibles que requieren energía fósil y producen GEI durante todo el proceso. Por este motivo, se busca generar una reducción de los insumos de combustibles fósiles. Una de las formas para operaciones sobre el terreno es reemplazar el combustible diésel con fuentes de energía renovables, como el combustible de aceite vegetal recto (SVO). Estudios previos han demostrado también que la reducción del uso de plaguicidas a través de mejores prácticas de gestión puede mejorar la eficiencia energética y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, sin dejar de ser más productivos que los sistemas de control convencional.

Eficiencia energética

La energía es uno de los recursos básicos necesarios para desarrollar diferentes actividades económicas y sociales. Se debe resaltar que la mayor fuente de energía con la que contamos es la solar, la cual se presenta por medio de la radiación del sol, que proporciona energía luminosa y calórica. Además, la radiación es primordial para el crecimiento de las plantas (a través de la

fotosíntesis), que son la base de la cadena alimenticia en la Tierra, y proveen de energía a todo el reino animal. Actualmente, el sector agrícola se ha convertido en el principal consumidor de energía con el fin de suministrar más alimento para mantener y aumentar la población humana y proporcionar una nutrición suficiente y adecuada. Así, el alto consumo energético y la extinción de las fuentes de energía fósiles se ha propuesto desarrollar y promocionar el consumo óptimo de energía para alcanzar una mayor producción, y de esta forma contribuir a la economía, la rentabilidad y la competitividad de la agricultura sostenible de las comunidades rústicas.

Por el contrario, los resultados del estudios confirmaron que el uso de energía en la granja lechera orgánica es menor que en una granja convencional, ya que produce la misma cantidad de leche por hectárea. El menor uso de energía en las granjas orgánicas puede explicarse por la baja cantidad de utilización de concentrados importados y la escasa manipulación de fertilizantes. Así mismo, el uso de energía por unidad de leche en los productos lácteos orgánicos es aproximadamente 25% menor que en los productos lácteos convencionales, mientras que las emisiones de GEI son 5 a 10% menores. Las granjas orgánicas utilizan menor cantidad de energía principalmente por su bajo uso de concentrados importados y de fertilizantes minerales. En cuanto al impacto ambiental, las granjas lecheras orgánicas generaron alrededor del 10 al 15% menos emisiones directas e indirectas de N_2O por miligramos de leche. Por último, se requiere evaluar cada uno de los eslabones de la producción para determinar los posibles derroches energéticos y hacer un seguimiento al flujo de la energía, partiendo desde los insumos y las salidas de la producción para definir la eficiencia energética y encontrar un óptimo consumo de energía que permita mejorar los procesos de producción de leche. De esta forma, se pretende crear sistemas con menos emisiones de gases de efecto invernadero.

Discusión

Colombia tiene un buen desempeño en intensidad energética: utiliza 2,38 megajulios por cada dólar producido de PIB. Es decir, se emplea el 58% de la energía que usa el promedio de países latinoamericanos, e incluso menos de la mitad de la que utilizan los países de IMA (5,17 MJ/USD) y la OCDE (5,05 MJ/USD). Esta particular baja intensidad se debe a que en la

economía colombiana predominan el sector servicios y otras actividades menos intensivas en el uso de energía, como la minería y la agricultura, y no necesariamente por un alto grado de eficiencia energética. Las actividades más intensivas en el uso de este recurso, como el sector industrial, generaron apenas el 11% del PIB en 2015 (García, Martínez y Farfán, 2017, p. 21).

Posteriormente, la intensidad en el consumo de materiales para 2013 en Colombia está en consumo de 2,28 kg de materiales para producir un dólar de PIB, lo que significa que se utilizaron 2,8 veces más materiales que el promedio de la OCDE en los procesos productivos. Más aún, Colombia es el único país de América Latina que ha alcanzado una fuerte y continua senda de reducción en el consumo de materiales; en 2008 logró gastar 16% menos en materiales que el promedio regional. Es decir, si bien este eje temático tiene un pobre desempeño en comparación con la OCDE, ha tenido mejoras notables con respecto al resto de los países del mismo nivel de ingreso y de la región. Estos elementos permiten referencias a otros factores en el análisis de la productividad ecológica para evaluar la formulación de la política pública en la mitigación de los efectos del cambio climático en el sector lácteo. Un referente está relacionado con la estructura agraria en Colombia. Esta va cambiando con la historia y son, concretamente, los elementos exógenos los que más influyen en su transformación. Dentro de estos se debe mencionar la influencia de los mercados, de las empresas transnacionales y de la industria que subordina la agricultura en las relaciones de poder político y social.

De igual manera, es relevante reconocer, analizar y evaluar las características propias de la estructura agraria de cada país, y la manera como esta influye y se ve influenciada por los entornos tanto internos como externos. En síntesis, la explotación de la tierra concentra grandes diferencias en el sector rural frente a los avances de las ciudades, lo que genera desigualdad no solo en términos económicos, sino también en oportunidades para los campesinos. Por tanto, las reformas agrarias en Colombia trasmiten un ideal en las expectativas de los campesinos, pero no con un espíritu de justicia y equidad que le permitan al campesino tener posesión de su tierra, tranquilidad, productividad y dignidad.

Una vez definidas las relaciones entre los sistemas y subsistemas que conforman la estructura agraria, es pertinente referirse a algunas de las formas como pueden organizarse las empresas y los particulares dentro de dicha estructura para entender el concepto de la energía y el cambio

climático. Para ello la productividad en el uso del suelo desempeña un rol importante. En Colombia la productividad del suelo se sitúa muy por debajo de sus países pares. Tiene un desempeño más bajo que los cuatro grupos de comparación. Colombia produjo en 2013, 33.200 dólares por cada kilómetro cuadrado de tierra arable, el equivalente al 38,6% de producción de los países de IMA, y al 29% del promedio de los países latinoamericanos de IMA y de la OCDE. Esta ineficiencia puede verse asociada a varios factores como la poca productividad del agua, el uso ineficiente de la tierra en actividades que toman demasiado territorio y aportan poca riqueza, como la ganadería extensiva, que ocupa un tercio del territorio nacional, y los usos distintos a la vocación del uso del suelo que generan aprovechamientos inadecuados. En particular, este uso ineficiente ha desencadenado conflictos en la distribución de la riqueza que la tierra produce, tal y como se comprueba con el elevado índice de Gini de tierras de 0,86 puntos y la elevada tasa de pobreza rural que aún afecta a 41,4% de las personas (García, Martínez y Farfán, 2017, p. 23).

Conclusiones

La responsabilidad de la academia no solo debe estar enfocada en la construcción de conceptos individuales o separados, sino también en la transferencia de elementos correspondientes a la energía. No debe centrarse únicamente en el animal, sino también en su entorno natural y económico, para el reconocimiento de la realidad del mundo rural colombiano. Esto con el fin de permitir la internalización de los efectos del cambio climático en la perspectiva de una mayor calidad de vida con un enfoque de desarrollo rural integral.

El diálogo en la agrociencias permite una interdisciplinariedad en la que la economía y la ecología humana rescatan el acervo en la relación del ser humano y la naturaleza, para incorporar las relaciones de los sistemas económicos y naturales en el uso de energía y materia, entre personas y entre territorios, desde un enfoque físico y no solo monetario.

La energía es un factor fundamental dentro de la producción de leche. Existe interdependencia en los factores de producción, como la nutrición de los animales, el cultivo de alimentos y el combustible para procesos mecánicos. Así, debido al alto consumo de energía que demanda esta actividad económica, se requiere que las granjas adopten y conozcan escenarios de eficiencia energética, no solo con el consumo de combustibles fósiles, sino

también de otros elementos de los sistemas socioecológicos, especialmente la gestión en la apropiación del suelo y los recursos naturales.

La eficiencia energética busca disminuir la cantidad de energía utilizada sin alterar la producción, y minimizar su derroche. Para ello se pueden aprovechar al máximo las condiciones climáticas como fuentes alternativas de energía; por ejemplo, utilizar paneles de energía solar o la velocidad del viento para generar energía e impulsar modos de producción más amigables con el medio ambiente.

Bibliografía

Aktivia (2013). *Estudios sectoriales. Primer sector productor de leche y productos lácteos en Colombia*. Recuperado de: http://aktiva.com.co/app/webroot/blog/Estudios%20sectoriales/2013/Lacteos_2013.pdf

Clavijo, S., Vera, A. y Fandiño, A. (2012). *La desindustrialización en Colombia*. Bogotá: Anif.

Consejo Nacional Lácteo. (2011). *Propuesta de valor cadena láctea*. s. l.: Programa de Transformación Productiva.

Castiblanco, C. (2007). La economía ecológica: una disciplina en busca de autor. *Gestión y Ambiente, 10*(3), 7-22.

Chacón, L. E. R. y Jolly, J. F. (2006). Hacia la construcción de modelos agroempresariales en una perspectiva territorial. *Cuadernos de Administración, 19*(32), 295-317.

Commoner, B. (1973). *El círculo que se cierra*. Barcelona: Plaza y Janés.

Conpes 3810. (2014). *Política para el suministro de agua potable y saneamiento básico en la zona rural.* Bogotá: Departamento Nacional de Planeación.

Conpes 3675. (2010). *Política nacional para mejorar la competitividad del sector lácteo colombiano*. Bogotá: Departamento Nacional de Planeación.

Daly, H. (1990). Towards an environmental macroeconomices. *The ecologicas economics of sustainability: making local and short term goals consistent with global and long term goals*. Washington D. C.: Sociedad Internacional para la Economía Ecológica.

Departamento Nacional de Planeación. (2011). *Bases del Plan Nacional Desarrollo 2010-2014. Prosperidad para todos*. Bogotá: autor.

Ehrlich, P. (1989). The limits of substitution: meta-resource depletion and an new economic-ecológicas paradigm. *Ecological Economics, 1*, 9-16.

Faber, S. C., Costanza, R., Mattew, A. W. (2002). Economics and ecologicals concepts for valuing ecosystem services. *Ecological Economics, 41*(3), 375-392.

Faber, M. (2008). How to be an ecological economist. *Ecological Economics, 66*(1), 1-7.

Giraldo, C. I. (2011). *Cadenas productivas lácteas y café*. Bogotá: Univ Hipótesis.

Gómez, L., Vargas, E. y Posada, L. (2007). *Economía ecológica. Bases fundamentales*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.

Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. (2007). *Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los grupos de trabajo I, II, II al cuarto informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático*. Ginebra: autor.

Instituto de Recursos Mundiales, Programa de las Naciones Unidas para el Ambiente, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo y Banco Mundial (2006). *Guía de los recursos mundiales. La riqueza del pobre. Mejorar los ecosistemas para combatir la pobreza*. Madrid: Ecoespaña.

Jaimes, L. J., Cerón, J. M. y Correa, H. J. (2015). Efecto de la *época* del año y la etapa de lactancia sobre el consumo alimenticio de vacas Holstein pastoreando kikuyo (Cenchrus clandestinus) en Colombia. *Livestock Research for Rural Development, 27*(24), 182-194.

Jiménez, L. M. (1989). *Medio ambiente y desarrollo alternativo*. 2.ª ed. Madrid: Iepala.

Kapp, W. (1978). El carácter de sistemas abiertos de la economía y sus implicaciones. En: D. Kurt, *La economía del futuro*. México: Fondo de Cultura Económica.

Martínez, A. (2004). *El ecologismo de los pobres: conflictos ambientales y lenguajes de valoración*. Barcelona: Icaria.

Martínez, J. (1992). *De la economía ecológica al ecologismo popular*. Barcelona: Icaria.

Martínez, J. (1999). "Prólogo". En R. A. Berrío Cárdenas, *Economía ¿Ecológica?* Medellín: Universidad Nacional de Colombia.

Martínez, J. (2006). Los conflictos ecológico-distributivos y los indicadores de sustentabilidad. *Polis,* (13), 1-15.

Martínez, J. y Schlüpmann, K. (1991). *La ecología y la economía*. México: Fondo de Cultura Económica.

Martínez, J. y Roca Jusmet, J. (2001). *Economía ecológica y política ambiental*. México: Fondo de Cultura Económica.

Martínez, M. P. y Correa, E. P. (2002). El sector rural en Colombia y su crisis actual. *Cuadernos de Desarrollo Rural,* (48), 36-58.

Meza, C. (2013). Productividad ecológica territorial. ¿Un camino a la seguridad alimentaria? *Equidad & Desarrollo,* (20), 71-87.

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural e Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. (1999). *Acuerdo de competitividad de la cadena láctea colombiana* (No. IICA SCCD-12). Bogotá: autor.

Organización de las Naciones Unidas. (2016). *Objetivos de Desarrollo del Milenio: Informe de 2016*. Nueva York: autor.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2016a*). El estado mundial de la agricultura y la alimentación: cambio climático, agricultura y seguridad alimentaria*. Roma: autor.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2016b). *Datos sobre la leche y los productos lácteos*. Recuperado de: http://www.fao.org/agriculture/dairy-gateway/leche-y-productos-lacteos/es/

Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos y Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2016). *OECD-FAO Agricultural Outlook 2016-2025*. Recuperado de: http://dx.doi.org/10.1787/agr_outlook-2016-en

Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos y Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (2014). *OECD Environmental Performance Reviews: Colombia 2014*. París: autor.

Palacio, V. (2001). *Acuerdo de competitividad de la cadena láctea de Antioquia* (No. IICA SCDC-20). Bogotá: Corporación para la Innovación Tecnológica-Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (2011). *Informe Nacional de Desarrollo Humano 2011. Colombia rural Razones para la esperanza*. Bogotá: INDH-PNUD.

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (2014). *Panorama general. Informe sobre Desarrollo Humano 2016. Sostener el progreso humano: reducir vulnerabilidades y construir resiliencia*. Washington D. C.: Communications Development Incorporated.

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (2015). *Panorama general. Informe sobre Desarrollo Humano 2016. Trabajo al servicio del desarrollo humano*. Washington D. C.: Communications Development Incorporated.

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (2016). *Panorama general. Informe sobre Desarrollo Humano 2016. Desarrollo humano para todos*. Washington D. C.: Communications Development Incorporated.

Ropke, I. (2004). The early history of modern ecological economics. *Ecological Economics*, 50(3-4), 293-314.

Quintero, E. (2011). *Evolución y desarrollo del sector lácteo en Colombia desde la perspectiva del eslabón primario (producción)* (tesis de grado). Corporación Universitaria Lasallista, Medellín, Colombia.

Samavatean, N., Rafiee, S., Mobli, H. y Mohammadi, A. (2011). An analysis of energy use and relation between energy inputs and yield, costs and income of garlic production in Iran. *Renewable Energy*, 36(6), 1808-1813.

Sánchez, J. (1999). Eficiencia termodinámica y el valor económico. *VII Jornadas de Economía Crítica*. Albacete.

Sánchez, Y. Á., Vélez, J. E. S., Guzmán, A. H., Reyes, D. C. y Mateus, R. D. D. (2012). Relación entre la estructura agraria y la cadena productiva láctea. *Gestión & Sociedad,* 5(1), 117-132.

Sollner, F. (1999). Un reexamen del papel de la termodinámica en la economía ambiental. En *Economía ¿Ecológica?* Medellín: Universidad Nacional de Colombia.

Stern, N. (2007). *El informe Stern. La verdad del cambio climático*. Barcelona: Paidós Ibérica.

Urteaga, L. (1985). La economía ecológica de Martínez Alier. *Documents dÁnalisi Geográfica, 7*, 193-250.

Valdés, N., Pérez, D., Márquez, M., Angarica, L. y Vargas, D. (2009). Funcionamiento y balance energético en agroecosistemas diversos. *Cultivos Tropicales,* 30(2), 00-00.

El cuerpo de texto del libro
Agrociencias y cambio climático
está compuesto en tipos Constantia 10.5/13,7.

Esta obra se imprimió en los talleres de
Digiprint Editores

Con un tiraje de 200 ejemplares.
Universidad de La Salle
Bogotá, Colombia
Julio de 2018