# Las dos caras de Jano

## Seguridad alimentaria en tiempos de tensión ambiental

Ernesto F. Viglizzo

Ediciones de Yeug

# Las dos caras de Jano

# Las dos caras de Jano

## Seguridad alimentaria en tiempos de tensión ambiental

Ernesto F. Viglizzo

Ediciones de Yeug

Viglizzo, Ernesto Francisco
Las dos caras de Jano : seguridad alimentaria en tiempos de tensión ambiental / Ernesto Francisco Viglizzo. - 1a ed . - Tigre : De Yeug, 2017.
212 p. ; 21 x 15 cm.

ISBN 978-987-98278-9-5

1. Seguridad Alimentaria. I. Título.

CDD 664.028

*Las dos caras de Jano*
1º edición: agosto de 2017

© 2017, Ernesto F. Viglizzo
© 2017, Ediciones de Yeug

Diseño: *Mariana Rangone*

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra sin contar con la autorización por escrito de los titulares de la propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual.

Queda hecho el depósito que establece la Ley 11.723

Impreso en Argentina - *Printed in Argentina*

Impreso en Latingráfica.
Rocamora 4161, Ciudad Autónoma de Buenos Aires.
Agosto, 2017.

ISBN 978-987-98278-9-5

# Índice

Prólogo ..... 9
Prefacio ..... 13

**PARTE I: LA ENCRUCIJADA** ..... 17
**CAPÍTULO 1.** Caminos que se bifurcan ..... 19
**CAPÍTULO 2.** Inasible seguridad ..... 29

**PARTE II: LÍNEAS DE FRACTURA** ..... 43
**CAPÍTULO 3.** ¿Se carboniza el planeta? ..... 45
**CAPÍTULO 4.** Luces y sombras sobre el ganado ..... 61
**CAPÍTULO 5.** Mieses: armonías y discordias ..... 75
**CAPÍTULO 6.** Recursos en fuga ..... 97
**CAPÍTULO 7.** Sobre huellas y cadenas ..... 109
**CAPÍTULO 8.** Bajo el sino de la química ..... 121
**CAPÍTULO 9.** Prestaciones de natura ..... 137

**PARTE III. EN BUSCA DEL EQUILIBRIO POSIBLE** ..... 151
**CAPÍTULO 10.** Avances en clave tecnológica ..... 153
**CAPÍTULO 11.** Dogma, utopía y realidad ..... 163
**CAPÍTULO 12.** Luces en el Antropoceno ..... 175

Epílogo ..... 187
Referencias ..... 195

# Prólogo

El hambre, el cambio climático y cuidado del ambiente, el terrorismo y la generación de empleo son los cuatro grandes desafíos que enfrenta la humanidad. Por su complejidad son interrogantes que se mantienen abiertos y que generan su cuota de incertidumbre a un mundo que ya hace rato perdió la calma. Y las más de las veces se presentan en los medios y las noticias en forma apocalíptica como problemas insolubles que sólo pueden agravarse.

Por eso siempre es motivo de agradecimiento cuando en el medio de tanto ruido irrumpe una reflexión amplia y profunda sobre dos de estos desafíos críticos que aquejan a la humanidad. Reflexión que además aporta una luz de esperanza en cuanto a la posibilidad cierta de encontrar soluciones. Es el caso de este libro escrito por Ernesto Viglizzo, Las Dos Caras de Jano: seguridad alimentaria en tiempos de tensión ambiental.

La obra encierra un desafío mayúsculo porque sale del molde y no trata el problema del hambre y la preservación del ambiente en forma separada sino que las integra y al mismo tiempo enfrenta a cara a cara. Hay por lo tanto un nervio que está presente del primer al último renglón y es el que logra mantener la

atención y el interés de la lectura. Seguramente porque Ernesto Viglizzo quedó cautivado y dedicó años de estudios a este cruce entre la seguridad alimentaria y la preservación de los recursos naturales, es que este libro logra cautivar.

En algún punto hasta parece una novela de suspenso donde el héroe enfrenta una bomba a la que intenta desactivar la emisión de dióxido de carbono y el agotamiento de los recursos naturales y al mismo tiempo proveer de alimento a una población que crece. El problema se agudiza porque los minutos corren, no hay un manual de instrucciones antes probado, y nuestro héroe tiene que cortar sólo algunos cables de una maraña de cables interconectados.

Aunque la imagen utilizada es una ficción, la complejidad del fenómeno en los sistemas biológicos es pura realidad.

Esta obra llega en un momento de aguas agitadas, de polémicas y de posiciones enfrentadas en cuanto al tratamiento que debería tener el ambiente cuando se lo dedica a la producción de alimentos. No podría ser de otro modo ya que lo que está en juego es nada menos que el pan y la única vivienda que tiene la humanidad. Hay quienes afirman sobre el calentamiento global y la emisión de dióxido de carbono que nuestra generación "está realizando un experimento no controlado en la única casa que tenemos". En este sentido, la aplicación Google Earth es una herramienta de internet que brinda un aporte relevante a este debate. Permite que millones de personas conozcan en forma directa nuestro planeta Tierra y tomen conciencia que no es infinito al igual que sus recursos naturales.

A lo largo de estas páginas el lector podrá encontrar las expresiones de todo el arco de pensamiento. Desde las posturas productivistas más extremas que ignoran al ambiente hasta quienes la privilegian en forma absoluta ignorando la creciente demanda mundial de alimentos. El autor las presenta con todas sus aristas sin guardar ni esconder nada. En este sentido, participan en forma profusa pensadores de distintas escuelas y disciplinas.

Lejos de ser una obra enciclopédica, los aportes se van dando en forma muy llevadera y de la mano del autor se van desbaratando lugares comunes y soluciones simplistas que se fueron generando al calor de los debates. Con gracia expositiva, Ernesto Viglizzo va dejando muy en claro que la producción de alimentos y el cuidado del ambiente ocurren en sistemas dinámicos, donde a cada acción le cabe una reacción. Y que a veces con las mejores intenciones el tiro termina saliendo por la culata. Los dogmas, cualquiera sea su orientación, quedan muy mal parados en este libro.

Por último hay que agradecer al autor su esfuerzo deliberado para facilitar la comprensión del desafío que la humanidad tiene entre manos. Así es como llega a trascender los aspectos meramente técnicos incorporando los procesos históricos y culturales de los pueblos.

Esta tensión entre las dos caras de Jano que se mantiene durante todo el libro encuentra en el último capítulo un puente que Ernesto Viglizzo construye entre las distintas tendencias. Allí elabora una posible solución en la que la ciencia será la que brinde las respuestas y la que abra los nuevos campos de acción. Es una apuesta a los desarrollos tecnológicos que permitirán una intensificación de la agricultura en forma sustentable con el ambiente.

A pesar de la gravedad del desafío, el autor de este libro es optimista. Quizás es de los que creen que lo que se presenta como problemas insolubles son en realidad grandes oportunidades.

Félix Sammartino

*Editor del Suplemento Campo*
*Diario La Nación*
*Buenos Aires, Argentina*

# Prefacio

En la mitología romana, Jano se nos presenta como un dios bifronte, con dos caras que miran en sentido opuesto. Simbólicamente, ellas marcan el principio y el final de las cosas. No es sorprendente que el mes de enero (*Januarius* en latín, *January* en Inglés, *Janeiro* en portugués), el primer mes del año, esté consagrado a Jano, porque éste marca el final de un tiempo y el comienzo de otro. Para los romanos, Jano era el encargado de mantener la armonía del universo, integrando sus partes en un todo. Sus dos rostros le permitían mirar hacia adelante y hacia atrás, hacia el pasado y el futuro, hacia la izquierda y la derecha. Según Ovidio, esta deidad resumía lo que todo líder sabio debe saber: mirar todas las cosas desde perspectivas distintas.

He tomado la metáfora de Jano para titular esta pequeña obra. Y lo he hecho porque la producción de alimentos y la preservación del ambiente se despliegan y enfrentan a lo largo de una línea clivaje o fisura. Una línea de ruptura conceptual divide las opiniones entre quienes defienden una visión productivista que ignora la problemática ambiental, y quienes la privilegian soslayando la necesidad de alimentar al mundo. Sorprende encontrar una alta proporción de opinantes que cree que estas dos visiones

se excluyen y repelen mutuamente, generando una ecuación de suma cero en la cual lo que gana una lo pierde la otra, y viceversa.

Crece en importancia a través de los años una corriente de pensamiento que tiende a ver al sector rural como un riesgo para los ecosistemas. Quienes opinan distinto creen que sin una producción creciente de alimentos no será posible desactivar las consecuencias de la bomba demográfica que amenaza al planeta. El dilema, en esencia, es esclarecer cuánto hay de certeza científica, y cuánto de incertidumbre, en esas dos visiones enfrentadas.

No necesitamos especulaciones complejas ni cálculos sofisticados para llegar a conclusiones obvias. **Un razonamiento elemental y una aritmética simple son suficientes para percatarnos que el ambiente se deteriora y que los recursos naturales se agotan. Y que, mientras eso ocurre, necesitamos cada vez más alimentos para satisfacer la demanda de una población humana que se multiplica a tasas preocupantes.** Enfrentamos el imperativo de alimentar 9000 millones de almas en el 2050 y detener, al mismo tiempo, el calentamiento global, el cambio climático, y otros efectos indeseables de la degradación ecológica y ambiental.

El objetivo de este pequeño ensayo es abrevar en esas cuestiones. Hay varios caminos para hacerlo, pero he privilegiado aquel que me ha exigido utilizar la mejor información científica a la que he tenido acceso. Sin embargo, como me propuse escribir una obra que pueda ser leída y entendida por un público no especializado, he resistido la tentación de caer en el tecnicismo. En ese intento he debido ceder algo: voluntariamente he aceptado algunas simplificaciones y atajos que espero haber conjurado con cierta elegancia, sin complicarle la vida al lector.

Más que buscar respuestas definitivas, he privilegiado formular preguntas desafiantes formuladas desde el sentido común **¿Estamos realmente cautivos de un problema de suma cero? ¿Hay margen para armonizar intereses contrapuestos? ¿Hay**

**otras opciones más allá de esos dos caminos que se bifurcan? ¿Estamos en condiciones de garantizar seguridad alimentaria a una población que crece rápidamente? ¿Dónde están los límites reales del planeta para proveer lo que necesitamos? ¿Podemos producir lo que necesitamos y, al mismo tiempo, detener o menguar la degradación de los ecosistemas? ¿Es posible poner este problema bajo un paraguas de gobernabilidad global? ¿Qué pueden aportar los gobiernos y la sociedad civil?**

La obra está dividida en tres partes. La primera (La encrucijada), en sus dos capítulos, aborda la gran bifurcación conceptual que se registra entre quienes impulsan un productivismo extremo, y quienes sostienen un ecologismo o ambientalismo combativo. La segunda parte (Líneas de fractura) aborda los fundamentos de la crítica ecológica/ambiental a la producción de alimentos, y los argumentos con los cuales el sector productivo y agroindustrial se defiende. La tercera parte (En busca del equilibrio posible) se ocupa de analizar y discutir las opciones, buscando una tangente funcional o salida pragmática frente a las posiciones enfrentadas.

No puedo menos que expresar mi sincero agradecimiento a quienes han colaborado con notable generosidad para que esta obra viera la luz.

Institucionalmente, no puedo dejar de reconocer en un sentido amplio el apoyo ofrecido por las personas que, desinteresadamente, integran GPS (Grupo de Países Productores del Sur, www.grupogpps.org). GPS es un grupo de pensamiento estratégico (*think/actiontank*) conformado por miembros de entidades empresariales y de la sociedad civil provenientes de cuatro países, Argentina, Brasil, Paraguay y Uruguay. El objetivo principal de esta organización es estudiar, discutir y difundir a escala mundial el rol clave que tendrá esta gran región del cono sur de Sudamérica en la seguridad alimentaria global durante las

próximas décadas. Igualmente, debo reconocer el estímulo que me han brindado en la Maestría de Agro-negocios de la Universidad Austral de Argentina para llevar a cabo esta obra y difundir la problemática que en ella se aborda.

En lo individual, vaya un especial reconocimiento para Horacio A. M. Sánchez Caballero, Luis M. Bameule, Roberto J. Feeney y Félix Sammartino. Con encomiable compromiso, ellos aceptaron la responsabilidad de leer detalladamente la obra y hacerme llegar sus observaciones, con sus fortalezas y debilidades, méritos y críticas. Horacio Sánchez Caballero, coordinador de GPS, ha hecho un aporte destacable y de alta calidad a esta obra. Su juicio preciso y riguroso, y siempre constructivo, me permitió enmendar errores y aclarar ideas y conceptos necesarios o confusos. Luis Bameule, conocido empresario del sector de los agro-negocios y rubros asociados, hizo una lectura crítica detallada del trabajo que me ayudó de manera decisiva a jerarquizar los problemas abordados. Su rica experiencia empresarial fue fundamental para guiarme directamente al foco de los asuntos relevantes. Imprimió una versión en papel del borrador, lo subrayó y lo sub-escribió con el compromiso y la minuciosidad de quien juzga una tesis doctoral. Roberto Feeney, ex Director Académico del Centro de Agronegocios de la Universidad Austral y profesor e investigador de esa Universidad, ha sido un entusiasta impulsor de la publicación de esta obra, que la apoyó a través de su criterioso estimulante juicio crítico, facilitando la aclaración de conceptos claves del trabajo. Finalmente, es menester agradecer la generosidad del prologuista del libro, Félix Sammartino, Editor del Suplemento Campo del diario La Nación. Félix hizo una lectura meticulosa del trabajo, y supo interpretar con agudeza el sentido de la obra. Su prólogo, ingenioso, creativo y contundente, habla por sí mismo. Es el mejor atajo posible para estimular al lector a sumergirse en esta breve obra.

PARTE I

# La encrucijada

CAPÍTULO 1

# Caminos que se bifurcan

Ecologismo y productivismo discurren por caminos opuestos que, en un punto, se bifurcan. Es la encrucijada donde detona el conflicto entre la preservación de la naturaleza y la seguridad alimentaria. Varios interrogantes emergen en esa encrucijada ¿Qué representan esas dos visiones? ¿Cuáles son sus raíces? ¿Y cuáles sus fundamentos filosóficos y conceptuales? ¿Hacia dónde nos llevan? ¿Pueden convivir, o están condenadas a chocar?

## Ecologismo

«…Si defecáis sobre vuestra tierra, un día apareceréis durmiendo sobre vuestras propias heces…». Según han difundido los ecologistas de todo el mundo, este párrafo correspondería a una legendaria carta que un cacique Sioux le habría escrito al Presidente de los Estados Unidos hacia 1860. Fue, aparentemente, la reacción de un nativo americano a la expansión acelerada de la agricultura, la ganadería y una incipiente industrialización que, impulsada por el colonizador blanco, avanzaba y degradaba sus

tierras. De ser así, es éste quizás el antecedente más temprano de un enfrentamiento entre dos visiones en pugna: una que apunta decididamente a preservar la naturaleza en su estado prístino, y otra que privilegia la productividad y el crecimiento económico. La fricción se intensificó con el paso del tiempo y adquirió características más virulentas durante las últimas décadas. De manera bastante simplista, podemos identificar a estas dos visiones como "ecologismo" y "productivismo".

El ecologismo encuentra sus raíces en el "maltusianismo". Malthus fue un clérigo inglés que vivió a fines del siglo XVIII cuya obra más conocida (Malthus, 1798) se tituló "Un Ensayo sobre el Principio de la Población y cómo ésta Afecta el Futuro de la Humanidad". En ella avizoró un mundo en el cual la población humana crecería a una velocidad tal que desbordaría la capacidad del planeta para sostenerla. Teorizó acerca de la aptitud natural de la Tierra para proveer a las demandas crecientes de los humanos, y acerca de los límites que el propio planeta impondría ante tal exigencia. Dentro de ese planteo, fue inevitable que Malthus predijera un futuro catastrófico para la humanidad. Otros autores se ocuparon posteriormente del tema, presentando visiones que oscilaron entre un pesimismo exacerbado y un optimismo prometedor.

Saltando etapas, Dobson (1997) se ocupó de describir el ideario ecologista en su obra *"Pensamiento Político Verde: Una Nueva Ideología para el Siglo XXI"*, obra que tuvo una importante repercusión a fines de los noventa y comienzos del siglo 21. Dobson retomó los argumentos de Malthus acerca de los límites del crecimiento y cuestionó con rudeza el antropocentrismo moral que regía la vida de los humanos imponiendo un predominio avasallante sobre el resto de las especies. Este autor definió al ecologismo como un movimiento ideológico necesario y oportuno que hace activismo a favor de la naturaleza.

El ecologismo agrupa hoy distintas vertientes con diferente grado de radicalización. Las versiones más extremas extienden

su crítica al "modelo neo-liberal de mercado", ya que ven allí la raíz misma de todos los males que afectan al planeta. Reclaman una ruptura con el sistema económico dominante basado en el crecimiento utilitarista y, como tal, exigen transformaciones sociales, políticas y económicas profundas que conduzcan a un "eco-socialismo" o a la aplicación de una "ecología política y popular". Denuncian la ideología del desarrollo sustentable, ya que consideran que no es posible conciliar el crecimiento económico y la preservación de la naturaleza. Pero cuestionan también el dogma de la izquierda marxista por considerar que ésta pone un énfasis desmesurado en el progreso social, y es inviable pensar en un progreso social sin un paralelo crecimiento económico. En síntesis, para esta corriente de pensamiento el liberalismo y el marxismo conducen a un mismo resultado: la destrucción de la naturaleza.

En paso adicional, algunos pensadores se preguntan si es la democracia moderna compatible con el ecologismo radical. Si el decrecimiento económico es el único camino para prevenir males mayores tal como postula el ecologismo radical, ¿cómo lograrlo sin recurrir a medidas autoritarias? No deja de sorprender la influencia que este radicalismo ecologista tiene sobre la opinión pública en una ciudadanía ilustrada, como la europea, que asienta su alta calidad de vida justamente en un sistema democrático con crecimiento económico. Llama la atención ver una contradicción teórica evidente: cómo una parte de esta ciudadanía se alinea en la crítica al sistema político y económico que le da sustento. En los hechos, muchas ONG ecologistas generan más confianza en la ciudadanía que las propias organizaciones científicas, a quienes con frecuencia se acusa de defender intereses de grandes grupos económicos. Esta crítica es particularmente notable en el caso de los cultivos transgénicos, de la industria nuclear, de la aeronavegación y del automóvil.

# Productivismo

En la vereda de enfrente encontramos el "productivismo" a ultranza, que es otra manera extrema de interpretar el rol de la naturaleza, la cual es vista como proveedora inagotable de los recursos necesarios para mejorar la calidad de vida y el nivel de consumo del hombre moderno. Responde, esencialmente, a una concepción claramente antropocéntrica: el hombre está por encima de las otras especies y de la naturaleza misma. Los productivistas encuentran su inspiración en el ciclo "más producción-más consumo-más demanda-más producción", propio de la Revolución Industrial, sin tener en cuenta los efectos negativos de la extracción de recursos y generación de desechos. Rápidamente se vincula la producción con la productividad, es decir, la búsqueda de un mayor rendimiento productivo y económico por unidad de tiempo (generalmente, un año), por unidad de espacio (generalmente, una hectárea de tierra), o por unidad de capital invertido. La noción de eficiencia en el uso del tiempo, de la tierra o del capital se convirtió en un paradigma cultural que persiste hasta hoy.

Hay que bucear en la obra de otro filósofo social inglés, David Ricardo, discípulo de Malthus, para encontrar los fundamentos teóricos que sostienen esta visión. En 1817, Ricardo retomó la tesis malthusiana de los límites del crecimiento económico y la enriqueció con una idea novedosa que denominó "principio de los rendimientos marginales decrecientes". Esta tesis, confirmada empíricamente a través de gran cantidad de evidencias posteriores, se sometió rápidamente a prueba en el campo de la agricultura: al incorporar unidades adicionales de un factor productivo (por ejemplo, un fertilizante), la producción responde con aumentos altos al principio, y decrecientes luego, hasta que finalmente la respuesta se detiene. Aunque se incorporen más y más unidades del factor en cuestión, el rendimiento del cultivo

no aumenta y se llega a un punto de indiferencia. Para Ricardo, la incorporación de tecnología apropiada significaba un camino efectivo para no caer en la trampa malthusiana, y era posible elevar la producción más allá del agotamiento de los recursos naturales ¿Qué significancia tuvo esto en la práctica? Que los productivistas dejaron de creer en la existencia de límites al crecimiento, como sostenía Malthus, y confiaron en que la tecnología permitiría aumentar indefinidamente la capacidad de carga y la productividad del planeta. El éxito de la llamada Revolución Verde, que eclosionó en la década de 1960, pareció corroborar empíricamente la visión ricardiana. Fueron tiempos de un exacerbado optimismo tecnológico, que contrastaba con el pesimismo planetario que propulsaban los malthusianos.

Obnubiladas por el crecimiento económico, las corrientes productivistas hicieron caso omiso a las advertencias que desde la década de 1970 empezaban a surgir desde la ciencia ecológica y ambiental. La rápida expansión del modelo de la Revolución Verde fue tomado como un caso testigo. Fue en los países desarrollados donde más rápidamente se advirtieron los beneficios y las debilidades de este sistema. La productividad de los cultivos y el crecimiento económico generado volaban por el aire y una atmósfera de optimismo se generalizaba en el mundo al haber encontrado un camino para terminar con las hambrunas masivas que asolaban, sobre todo, a los países más pobres y vulnerables del planeta. Pero surgieron problemas no previstos. La experiencia doméstica en los propios países desarrollados rápidamente reveló que ocurrían externalidades indeseables que afectaban al ambiente y los ecosistemas: los episodios de erosión de suelos se expandían, aumentaba la contaminación por nutrientes debido al uso indiscriminado de fertilizantes, se expandía exponencialmente la aplicación de plaguicidas agresivos, las fuentes de agua superficial y subterránea resultaban afectadas, se consumía cada vez más agua dulce para regar los cultivos, aumentaba la mortandad de varias especies en

tierras y aguas, y en algunos casos se detectaban casos de enfermedad y morbilidad en humanos atribuidas (con o sin razón) al uso de plaguicidas. En los países subdesarrollados, en los cuales se promovía la autosuficiencia alimentaria, aparecían problemas que se sumaban a los anteriores: por un lado, carecían de los recursos financieros necesarios para adquirir la tecnología (nuevos genotipos, maquinaria imprescindible, o insumos clave como semillas mejoradas, fertilizantes y plaguicidas); por el otro, si accedían a estos bienes, los operarios rurales no estaban suficientemente capacitados para manipular los plaguicidas, los fertilizantes ni la maquinaria incorporaba. Eran frecuentes los casos de mortandad por envenenamiento o por accidentes mecánicos. A ello se sumaban los procesos de deforestación o conversión de tierras naturales en tierras de producción de ganado y de granos. Se devoraban bosques y pastizales a tasas preocupantes.

Estas situaciones determinaron que el modelo productivista de la Revolución Verde fuera severamente cuestionado por grupos ecologistas que se multiplicaban de manera exponencial por el orbe. Era necesario buscar caminos alternativos, pero éstos no se encontraban fácilmente. El conflicto se aceleró en varios países desarrollados cuyas economías tenían un fuerte componente agrario, como Estados Unidos o Francia. La bifurcación de los caminos estaba a la vista. El debate llegó más tarde a los países asiáticos y latinoamericanos, pero hoy está presente en todas las economías que tienen su basamento en la producción y provisión de alimentos.

## ¿Ecologismo o ambientalismo?

A esta altura del capítulo es necesario diferenciar dos conceptos que a menudo se confunden: ecologismo y ambientalismo.

En primer lugar, ambos conceptos tienen un fuerte sesgo antropocéntrico. La especie *Homo sapiens* queda siempre en el centro de la escena, sin que se valore de igual manera a otras especies, animales o vegetales, que forman parte de la naturaleza. Esto ha desatado críticas de parte de muchos naturalistas, que consideran que el antropocentrismo representa, en los hechos, una devaluación o una valoración asimétrica de la naturaleza. Dicho en otros términos, la concepción antropocéntrica considera que la naturaleza es importante, solamente y de manera excluyente, si le es útil al hombre.

¿Qué diferencia al ecologismo del ambientalismo? Para algunos, el ambientalismo engloba al ecologismo, pero lo ecologistas más radicalizados se empeñan en marcar una diferencia entre ambos. Más arriba delineamos la lógica conceptual del ecologismo. No está tan clara en el caso del ambientalismo, pero quizás la crítica ecologista al ambientalismo nos ayude a dilucidar las diferencias. Esa crítica parece focalizarse en tres ejes:

Primero, mientras el ecologismo se nos presenta como una ideología filosófica y política con sentido y valores propios, el ambientalismo carece de ideología y se asemeja, en cambio, a una concepción tecnocrática y administrativa, racionalizada y alejada de la génesis de los problemas que afectan a los ecosistemas y al entorno natural.

Segundo, mientras el ecologismo vertebra su accionar en una crítica a las economías de mercado, el ambientalismo parte del supuesto que todos los problemas ambientales, económicos y sociales, se resuelven dentro de una racionalidad económica que preserva al mercado como un componente esencial de la sociedad moderna. Considera que los problemas deben ser resueltos dentro de las normas preexistentes y mediante tecnologías novedosas de aplicación factible, al margen de los intereses políticos o sectoriales. Una crítica frecuente a los ambientalistas es creer que los problemas pueden ser resueltos sin cambios fundamentales en

los sistemas actuales de producción y de consumo. Y por confiar exageradamente en la existencia de un "mercado verde", actual o potencial, que debe ser perfeccionado y explotado a favor de la salud del ambiente.

Tercero, el ecologismo reprocha al ambientalismo hacer recaer el costo de las externalidades sobre la sociedad en su conjunto, y no sobre quienes las causan ("quien contamina, paga"). En ese reproche está implícita la crítica de no modificar las pautas de crecimiento económico y de acumulación de capital, ni la lógica del sistema de producción-consumo, que los ecologistas consideran detrás de todos los problemas ecológicos y ambientales que afectan a la naturaleza.

Las diferencias parecen ser bastante claras: Mientras el ecologismo se apoya fuertemente en una visión malthusiana, el ambientalismo se inclina hacia un modelo ricardiano en el cual la tecnología modifica la relación hombre-naturaleza.

## Entre sirenas y termodinámica

Una vez emprendido el camino de regreso a su patria, la isla de Ítaca, el mítico Ulises vive una serie de aventuras que conforman la trama central de la Odisea, el célebre poema épico atribuido al poeta griego Homero. La primera de esas aventuras será el encuentro con las sirenas, seductoras doncellas semi-humanas capaces de encantar con su voz, y engañar con los placeres del mundo a los curtidos marinos que atravesaban el mar Jónico. Las sirenas vivían en la isla de Artemisa, y en ese lugar yacían esparcidos, según la mitología, los huesos de los marineros que se habían rendido a sus encantos.

Advertido del peligro, Ulises decide colocar tapones de cera en los oídos de sus marineros y mandar a que le aten al mástil de

su barco. Puede ver y escuchar, pero no moverse ni ser escuchado por sus hombres. Es así como logra retornar indemne a su isla sin ser seducido por las sirenas que representan el espejismo que aparta a los hombres de su ruta.

Ya en estos tiempos modernos, más inclinados al pragmatismo cotidiano que a la mitología de tiempos históricos, no deja de sorprender que con frecuencia claudiquemos a otros cantos de sirena. Uno de ellos en particular no deja de seducir a quienes los escuchan: la idea que es posible producir sin afectar al ambiente ¿En qué consiste ese espejismo? En creer que es posible producir alimentos, fibras y otras materias primas de manera inocua y sustentable para el ambiente. Claro, cuando caemos en esto, es la propia ciencia quien se encarga de poner nuestra cabeza en orden. Y son las leyes inmutables de la física las que se encargan de avisparnos. Hay una condena explícita e inevitable en la segunda ley de la termodinámica, y es que cuanto más producimos, más energía disipamos y más desechos generamos. Este dispendio es una manifestación de entropía, o sea, aquella fuerza que tiende a desorganizar los sistemas naturales (Prigogine, 1996) ¿Es posible eludir ese determinismo impiadoso? Sencillamente, no. Cuando aramos o cosechamos, cuando aplicamos un fertilizante o un plaguicida, es inevitable quemar combustibles, la mayor parte de ellos de origen fósil. Y cuando estos insumos se aplican en exceso, generamos contaminación. Cuando utilizamos sistemas de labranza inadecuados, perdemos suelo por erosión y sedimentamos aguas. Estos fenómenos no deseados son, en esencia, una manifestación de entropía, es decir, una externalidad ambiental negativa. La entropía es el precio inevitable que la termodinámica nos obliga a pagar si queremos producir. Producir granos, frutos, carnes, leche, fibras o biocombustibles sin afectar el ambiente es utópico, y quienes dicen o creen lograrlo, están mal informados o ignoran la realidad. Sin embargo, no todas las noticias son malas. En medio de

esta realidad inmodificable, es posible buscar y encontrar algunas trayectorias o rutas productivas que son menos nocivas que otras para el ambiente y los ecosistemas.Y en esa búsqueda es la tecnología quien nos ofrece opciones superadoras.

No viene al caso caer en tecnicismos, pero en términos domésticos la entropía nos enseña que no es posible cocinar una tortilla sin romper huevos. O movilizarnos en nuestro automóvil convencional sin quemar energía y generar residuos. O producir carne en un sistema intensivo sin desechar grandes cantidades de nutrientes que contaminan el entorno. En términos más académicos, la entropía nos advierte que pretender la inocuidad ambiental de cualquier producción es, sencillamente, una utopía. En síntesis, debemos aceptar que un dilema no resuelto en las sociedades modernas es cómo lograr que la producción y los ecosistemas convivan en armonía, sin excluirse mutuamente. Cataratas de palabras y ríos de tinta se liberan anualmente en los medios de comunicación y en los eventos y publicaciones científicas para argumentar cómo podemos escapar, ilusoriamente, a la trampa termodinámica.

CAPÍTULO 2

# Inasible seguridad

## ¿Qué entendemos cuando hablamos de seguridad?

En un sentido político, el concepto de seguridad nace en el complejo universo de la defensa nacional. Tiene larga vigencia en la mayoría de los países del mundo. La incierta doctrina de la "seguridad nacional" ha sido y es objetivo prioritario –y motivo de intenso debate– de todos los gobiernos, sean éstos de países en desarrollo o desarrollados.

A menudo, la doctrina de la seguridad en materia de defensa ha caído en un cierto desprestigio social, sobre todo cuando detrás de ella se esconden proyectos ambiguos o poco transparentes de poder o negocios, o simplemente negociados económicos. Ante preguntas como ¿de quién debemos defendernos? o ¿quiénes son nuestros enemigos? aparecen respuestas ambiguas y confusas. A raíz de ello, la noción de seguridad nacional fue experimentando cambios con el paso del tiempo. Ya no se habla solamente de "defender fronteras", sino también de proteger o prevenir a los ciudadanos de riesgos de tipo político, económico,

social, ecológico, ambiental, etc. Hoy se reconoce la existencia actual o potencial de nuevos conflictos, algunos de ellos emergentes, que no eran tenidos en cuenta décadas atrás.

En muchos países, la ecología y el ambiente han pasado a integrar la lista de prioridades en materia de seguridad. Ello es consecuencia de desequilibrios inducidos por eventos naturales o por el hombre en los ambientes rurales y urbanos. Los medios hablan con mayor frecuencia de las guerras (concretas o simbólicas) que se desatan por el control de la energía, los minerales, el agua o las tierras fértiles. O por las migraciones causadas por el cambio climático o a la desertificación. O por la contaminación del aire y el agua. Sobre este tipo de problemas se articula la noción de seguridad ecológica y ambiental, que poco tiene que ver con la visión convencional de los conflictos bélicos que se desatan por la defensa de las fronteras nacionales o por el control de un territorio.

## Seguridad ecológica y ambiental, ¿Una nueva doctrina?

Karl Marx escribió una frase que se hizo célebre: "la historia se repite: la primera vez como tragedia; la segunda, como farsa". Con este argumento, Jeffrey Sach nos introduce con mordacidad en la doctrina de la seguridad ecológica. Nos dice que el hombre no deja de lamentarse por las tragedias ecológicas y ambientales provocadas por él mismo, pero cae una y otra vez en la farsa de cometer los mismos errores que provocan esas tragedias.

¿Quién es Jeffrey Sach? Es un economista estadounidense, doctorado en la Universidad de Harvard, con enorme prestigio internacional. Profesor de Desarrollo Sustentable y de Políticas y

Gestión de la Salud, y director del Earth Instituteen la Universidad de Columbia. También asesora al Secretario General de las Naciones Unidas en la implementación de los Objetivos de Desarrollo del Milenio. La revista Time lo incluyó en una lista de las 100 personas más influyentes del mundo, y el New York Times lo consideró "… el economista más importante del mundo". Sachs publica habitualmente sus artículos, extensamente leídos, en The New York Times, el Financial Times de Londres y la prestigiosa revista The Economist. No es, ciertamente, un personaje menor. Sus cavilaciones giran principalmente alrededor de temas globales apremiantes como la pobreza, la crisis ecológica y ambiental, y el propio desarrollo sustentable.

Sachs se lamenta que sean dos las escuelas de pensamiento que dominan hoy el debate económico: Por un lado, la economía del libre mercado, que favorece la producción y el consumo desmesurado, no sustentable, generando grandes beneficios para los ricos que se vuelven cada vez más ricos, sin derramar beneficios al resto de la sociedad. Su percepción es que el crecimiento global se ha inclinado peligrosamente a favor del poder financiero y ha sido destructivo para los ecosistemas y el ambiente si se lo mide a lo largo de la escala temporal de un siglo, y no en ciclos de corto plazo (de tres o cuatro años) generalmente regidos por el interés económico, político o electoral. Por el otro lado, critica a la economía keynesiana, que inspira a los gobiernos populistas a promover la demanda y el consumo a través de la emisión monetaria, la inflación y los grandes déficits presupuestarios. De acuerdo a su tesis, ninguno de los dos planteamientos produce buenos resultados, ya que ambos apuntan a incentivar un consumo exacerbado a expensas de la naturaleza, que es quien provee los recursos naturales que sostienen a la sociedad humana. De allí que impulse con energía una tercera vía, la del desarrollo sustentable, que presenta como una opción económica que permite reducir la pobreza y garantizar la sustentabilidad ecológica y ambiental del planeta.

En síntesis, Sach es un crítico de toda doctrina económica o política que promueva la producción y el consumo a expensas de agotar o destruir los recursos naturales y contaminar el ambiente. Entre otras cosas, propone reconvertir el enorme presupuesto militar y armamentista de las potencias mundiales, que genera cientos de miles de muertos por año y cuesta miles de millones de dólares, en un gran programa global de inversión destinado a reducir la pobreza y preservar el medio ambiente global. Esos recursos, aplicados estratégicamente, serían decisivos para solucionar los problemas subyacentes de pobreza, hambre, destrucción de ecosistemas y migraciones forzadas debidas a la guerra, al cambio climático y a la degradación ambiental. Cree que las tragedias del planeta no deben ser sucedidas por farsas ni por otras tragedias, sino por la decencia y la cooperación desinteresada entre los humanos.

Soslayando la ortodoxia económica, Sach identifica cinco formas de capital: el comercial, el humano (como fuerza laboral e intelectual) la infraestructura, el social (la confianza comunitaria) y el natural (ecosistemas y ambientes saludables). La seguridad ecológico-ambiental descansa, precisamente, en esta última forma de capital, que incluye entre otras cosas un clima inocuo, suelos productivos, agua disponible, acceso a energías no contaminantes y un ambiente saludable.

Para algunos economistas Sach es un visionario que ve la realidad de estos tiempos desde una lógica rigurosa e irrefutable. Para otros, sean de la escuela liberal o de la keinesiana, es un intelectual idealista y utópico, llamativamente ingenuo, que desconoce la verdadera naturaleza humana y, más aún, desconoce las fuerzas que rigen y movilizan la sociedad moderna de producción y consumo.

En medio de este fuego cruzado proliferan ideas y posiciones ideológicas de distinto tipo que, lejos de aclarar las cosas, las confunden más. A menudo los medios se han convertido –de manera

voluntaria o involuntaria– en agentes de transmisión y difusión de dogmas o creencias que carecen de sustento científico. Cada tanto nos advierten acerca de las sombrías intenciones de potencias extranjeras o corporaciones multinacionales que vienen para "apropiarse" o "llevarse a casa" nuestro patrimonio ecológico y natural, como los paisajes, la tierra, el agua, o la diversidad biológica de nuestros ecosistemas. Ciertamente, esto suena bastante infantil. Que un inversor compre tierras en un sitio de gran valor escénico, no quiere decir que pueda llevárselas a su casa en otro país. La historia cambia si ese señor impide que otros disfruten de ese paisaje. El Acuífero Guaraní, compartido por varios países en Sudamérica es, sin duda, motivo de una recurrente pesadilla para los ecologistas que creen –a veces sinceramente– que esa enorme reserva de agua dulce puede ser extraída y expatriada, es decir, empaquetada y transportada a otras partes del mundo. Quienes creen en esto ignoran que esa reserva es permanente alimentada por lluvias que no son propiedad de nadie, sino que forman parte de un ciclo hidrológico natural. Tan ingenuo como eso es creer que alguien se puede robar los hielos de la Antártida, los glaciares de alta montaña o las tierras fértiles de las pampas sudamericanas. Sin duda estos recursos pueden ser degradados o contaminados por acción irresponsable u omisión de terceros o por nosotros mismos, pero no robados en un sentido literal. Y esto no es patrimonio exclusivo de las sociedades desinformadas o mal informadas. Muchos europeos educados suponen que la introducción de cultivos transgénicos en sus agro-ecosistemas va a provocar problemas masivos de salud. O creen es posible producir alimentos a gran escala sin recurrir al uso de agroquímicos. Este proceso de desinformación se potencia en una audiencia social receptiva a este tipo de mensajes, que justamente le dicen al oído lo que quieren escuchar.

Dentro de ese contexto conflictivo, ¿qué es en realidad la seguridad ecológica? Estas definiciones nunca resultan sencillas. Una

chanza que circula acerca del facilismo que cultivan los economistas, dice que cuando éstos pierden su reloj de pulsera nunca lo buscan en el sitio más probable sino debajo de un farol, porque allí hay más luz y resulta más confortable la búsqueda. El problema no se resuelve buscando soluciones fáciles o cómodas. Aceptemos, en primer lugar, que los problemas de la ecología y del ambiente no tienen fronteras políticas. Más aún, muchos de esos problemas se externalizan y tienen una proyección transfronteriza. La enorme diversidad de problemas en los campos de la ecología y el ambiente se proyectan a distintas escalas y, por lo tanto, lo que entendemos como seguridad ecológica puede ser analizado desde distintas perspectivas. Muchos de los problemas tienen atributos emergentes que dependen de la escala de abordaje. Es decir que un problema que no es visible a una escala de cuenca, puede serlo cuando bajamos a un sitio específico. Esto suele ocurrir con casos puntuales de contaminación que son sitio-específicos pero no llegan a afectar a la cuenca en su conjunto. Pero cuando los puntos de contaminación se multiplican, los problemas de seguridad ambiental pueden externalizarse a una escala más amplia, por ejemplo, una región o una cuenca en la cual convergen arroyos y ríos que se conectan con cuerpos de agua y napas subterráneas. Aunque no se perciba localmente, la seguridad ecológica y ambiental está afectada a escala mundial por efectos del calentamiento global, el cambio climático o el agrandamiento del agujero de ozono. Estos problemas no solo se transfieren espacialmente, sino también en una escala temporal. En general, hay una correlación entre el alcance geográfico de un proceso de degradación y el alcance temporal del problema. Un problema puntual de emisión de gases de efecto invernadero puede enmendarse con relativa facilidad en el corto plazo, pero esa acción no alcanzará para frenar la enorme inercia temporal del calentamiento global en el planeta.

En los hechos, la problemática de la seguridad ecológica y ambiental no es sencilla de entender, tampoco de comunicar, y

mucho menos de abordar. Una nueva doctrina parece necesaria para insertar el problema dentro de una noción comprehensiva de la seguridad.

## Seguridad alimentaria: un concepto que evoluciona

La seguridad alimentaria es otro componente esencial de la seguridad para los países y para el propio planeta en su conjunto. Mientras los progresos tecnológicos de la agricultura permiten hoy satisfacer las demandas globales de alimentos, unos mil millones de personas sufren todavía los embates del hambre y otros dos mil millones muestran carencias de nutrientes esenciales. Paradójicamente, más de dos mil millones de habitantes de países desarrollados están afectados por sobrepeso u obesidad (Ingram, 2011). Suele darse la paradoja que ciertos países que contribuyen a garantizar la seguridad alimentaria global muestren bolsones de inseguridad alimentaria –en términos de cantidad y calidad– dentro de sus propias fronteras. Por ejemplo, Feeney y MacClay (2016) han demostrado que mientras Argentina, con una población de 42 millones de habitantes, tiene potencial para alimentar una población estimada de 300 millones de personas a escala global, exhibe problemas de inseguridad alimentaria dentro de su territorio. Un 11.2% de su población (unos 5.5 millones de habitantes) sufre algún grado de inseguridad alimentaria interna. Esta situación se replica en varios países productores y exportadores de alimentos, como Brasil, Paraguay, Bolivia, China, India, Indonesia y otros (FAO, FIDA y PMA, 2014).

El acceso a los alimentos ha quitado el sueño al *Homo sapiens* desde los tiempos inciertos de especie recolectora y cazadora.

La domesticación de animales 15 siglos atrás durante la Edad de Piedra, y el invento de la agricultura unos 10.000 años atrás en el Medio Oriente y otras regiones del planeta, fueron la consecuencia lógica de poblaciones humanas dispersas que procuraban estabilizar el acceso a alimentos toscos y prevenir hambrunas recurrentes. Naturalmente, los niveles de productividad eran muy bajos en aquellos lejanos tiempos.

Los británicos siempre se inclinaron a llevar registros numéricos de todo, y la producción de alimentos no escapó a esa vocación. Numerosos estudios (Allen, 2000, Campbell, 2000, 2007) se han abocado a rastrear la productividad de algunos de los cultivos más valorados (como trigo, cebada, avena, centeno) desde la Edad Media. Lo han hecho relevando los testimonios escritos, desde el año 1200 DC en adelante a partir de registros que elaboraron los señores feudales. Como concedían en préstamos sus tierras a labradores que la trabajaban, llevaban un registro de los rendimientos (generalmente expresados en *bushels* por acre) con el objeto de retener una parte proporcional de la producción en pago por el alquiler de las tierras. Los rendimientos eran variables pero se mantuvieron en un mismo nivel entre los siglos 13 y 17. A partir de 1650 los rendimientos comienzan a aumentar y logran triplicarse. Ni en el mejor de los casos son aquellas cifras comparables con las actuales, ya que representaban apenas entre un 3 y un 10% de lo que rinden los cultivos modernos de esas mismas especies. De todas maneras, el esfuerzo invertido en pos de estabilizar la producción de alimentos significó un notable avance para aquellas poblaciones austeras, habituadas a la escasez y la inseguridad alimentaria.

Mucha agua corrió bajo el puente desde el Medioevo. La seguridad alimentaria, medida en términos puramente cuantitativos (cantidad bruta de alimento producido) entre los siglos 13 y 19, pasó a tener un componente cualitativo y cultural recién durante el cercano siglo 20. En realidad, los organismos internacionales

comienzan a ocuparse de la seguridad alimentaria a mediados de la década de 1970. Desde entonces el concepto cambió y evolucionó hasta incorporar una dimensión humana del problema. La FAO en 1975 definía la seguridad alimentaria como la capacidad permanente de los humanos para aprovisionar a todo el mundo con alimentos básicos, sosteniendo un crecimiento del consumo independientemente de las fluctuaciones y los cambios de precios. En 1990 ya se habían incorporado dos nuevos atributos, el de asegurar la provisión a largo plazo y la calidad nutricional del alimento. Otros dos atributos se agregaron más tarde, el de inocuidad y el de salubridad e higiene de los alimentos. Estas nociones engloban lo que hoy se denomina "seguridad alimentaria" o *food security* en Inglés. Luego aparecen otras variantes conceptuales que marcan una diferencia entre la seguridad alimentaria y la soberanía alimentaria. La soberanía alimentaria hace referencia a la facultad de cada pueblo para definir sus propias políticas agropecuarias de acuerdo a objetivos del desarrollo sustentable y la propia seguridad alimentaria.

Actualmente, la FAO (FAO, 2015) considera que se ha logrado seguridad alimentaria cuando todas las personas de un país o región tienen un acceso estable y permanente a alimentos suficientes, seguros y nutritivos para cubrir sus necesidades diarias y satisfacer sus preferencias culturales dentro del marco de una vida sana y activa. Para este organismo, la inseguridad alimentaria puede ser categorizada como crónica o transitoria. La inseguridad crónica es la más preocupante porque conlleva un alto grado de vulnerabilidad a las hambrunas, lo cual genera malnutrición irreversible en condiciones de pobreza.

¿Cómo medir la seguridad alimentaria de las naciones? Un trabajo meticuloso que realiza anualmente la Unidad de Inteligencia de la revista británica The Economist (EIU, 2015) titulado *Global Food Security Index* nos permiteacceder a una de las mediciones confiables que miden hoy la seguridad alimentaria de los

países. El índice es el resultado de calcular un indicador combinado que toma en cuenta un conjunto de 19 variables divididas en tres categorías: i) la capacidad para acceder a los alimentos, que implica literalmente el poder de compra, ii) la disponibilidad de alimentos, o sea, el suministro estable y seguro, y iii) la calidad e inocuidad, que incluye aspectos asociados a la diversidad de alimentos, a la cantidad y calidad de las proteínas, al aporte de micronutrientes, y a la inocuidad en términos de salud humana.

Sobre un total de 109 países durante el período 2012-2015, la EIU elaboró un mapa que clasificó la seguridad de estos países en cuatro niveles: muy buena, buena, moderada y mejorable. En la primera categoría (muy buena) ingresan Australia, Nueva Zelanda, Canadá, Estados Unidos, Japón, los países del norte de Europa y Chile. En la segunda categoría (buena), aparecen gran cantidad de países de moderados ingresos, que incluyen a la Argentina, Brasil, Colombia, Méjico, Perú, Uruguay, y otros países más de Centro y Sudamérica, junto a China, Rusia, Sudáfrica y países de Medio Oriente y norte de África. En la tercera categoría (moderada) podemos encontrar a algunos países latinoamericanos (como Bolivia, y Paraguay), del Asia (como India y varias naciones del sudeste asiático), y del centro de Europa. Finalmente, en la última categoría (con tendencia a mejorar) se encuentra la mayoría de los países del África subsahariano. Estas diferencias están básicamente explicadas por las inversiones que los países hacen en materia de infraestructura, que incluyen entre otras la capacidad de almacenamiento y la existencia de rutas y puertos. En los países con bajos índices de seguridad alimentaria inciden negativamente aspectos tales como el bajo ingreso económico bruto, la inestabilidad política y la corrupción.

Más allá del posicionamiento relativo de esas 109 naciones, el informe muestra progresos que permiten abrigar optimismo. Los indicadores muestran una tendencia consistente a la mejora en la mayoría de los países de Centro y Sudamérica, Norteamérica,

Medio Oriente y Norte del África, África subsahariana, el Asia y el Pacífico. Paradójicamente, se detectó un leve retroceso de la seguridad alimentaria en varios países ricos debido a un consumo excesivo de alimentos que, pese a su alta calidad, son causa de obesidad, la cual es considerada una forma de malnutrición.

El comercio global de alimentos parece jugar un rol decisivo en la seguridad alimentaria de las naciones, ya que el 23% de los alimentos producidos ingresan al circuito del comercio internacional. Un grupo de expertos que se ocupó de investigar ese tema (D'Odorico y otros, 2014) demostró que la cantidad de calorías de alimento transferida entre los países a través del comercio internacional se duplicó entre 1986 y 2009, y los vínculos en la red comercial se incrementaron un 50% en ese período. En términos nutricionales, ese incremento significó una mejora cuantificable en la seguridad alimentaria del planeta, con un aumento de 2700 a 3000 kilocalorías por persona por día como promedio global.

## Seguridad alimentaria, ecología y ecologismo

En un informe del Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA, 2015) se lee que hay "profundos desequilibrios que están aumentando las presiones sobre los ecosistemas para satisfacer una creciente demanda en cantidad, calidad y diversidad de alimentos". El informe critica que los avances tecnológicos producidos durante el siglo 20 aumentaron de manera significativa la producción mundial de alimentos mediante la expansión de las áreas regadas, el uso de fertilizantes, de plaguicidas y el avance de las tierras de cultivo sobre tierras naturales de bosques y pastizales. Señala que en el siglo 21, el 24% de la

superficie terrestre del planeta ya estaba degradada y el 40% de las tierras agrícolas del mundo experimentaba distintos grados de degradación y pérdida de biodiversidad. El informe señala que la toxicidad de los plaguicidas intoxica cerca de cinco millones de trabajadores rurales por año, y causa retrasos en el crecimiento infantil. Igualmente, que la sobrepesca y la contaminación de los mares amenazan la riqueza ictícola de los mares y océanos. Que la deforestación y la degradación de los bosques debido a la expansión de los cultivos agrícolas son responsables de más del 17% de las emisiones globales de gases de efecto invernadero. Predice que la producción agrícola se reducirá entre 5-20% en todos los cultivos del África Subsahariana como resultado del calentamiento y el cambio climático global.

También advierte que el aumento de la población mundial previsto para el año 2050 (más de 9.000 millones de personas) exigirá un aumento del 60% en producción mundial de alimentos. Y como las dietas requieren hoy mayor cantidad de aditivos, azúcares y grasas, ese aumento puede ir acompañado de cambios negativos en las preferencias de los consumidores. Predice que esas tendencias generarán una tensión considerable entre los sistemas de producción de alimentos y los ecosistemas, y afectarán negativamente la salud humana.

Sin duda, este relato es una buena introducción para una película de cine-catástrofe que nos aventura un futuro funesto y una condena inevitable para el planeta. No es sorpresivo encontrar informes de este tipo en organismos internacionales muy conocidos o en ONGs abocadas a criticar ácidamente los sistemas actuales de producción de alimentos. Más allá de las buenas intenciones y algunas razones atendibles en sus planteos, estas organizaciones no nos dicen mucho acerca de lo que habría que hacer. O cómo hay que alimentar a la imparable marea que genera el crecimiento demográfico del planeta. En el mejor de los casos, proponen un retorno a sistemas de producción de bajos

insumos propios del Medioevo, sin tener en cuenta que los rendimientos de esos sistemas no alcanzan mínimamente para sostener los requerimientos de una población mundial expansiva.

La clave de esta discordancia entre un mundo ideal y el mundo real es el resultado de un choque entre el dogma y la ciencia ¿Cuánto hay de ciencia y cuánto de dogma en esos planteos? Si aceptamos que el dogma se imponga a la ciencia, nos deslizamos sobre un plano inclinado que nos lleva al precipicio. De esto nos ocuparemos en los capítulos siguientes. Procuraremos discutir críticamente qué nos dice el ecologismo, y qué nos dice la ciencia, respecto a sistemas y tecnologías de producción que configuran el andamiaje conceptual de la agricultura moderna y lo que hoy entendemos como seguridad alimentaria y seguridad ambiental.

Para abordar estos asuntos, debemos tener en cuenta que la ecología es una rama relevante de las ciencias biológicas, y como tal posee una base científica sólida que le confiere rigor y confiabilidad. El ecologismo, en cambio, se nos presenta como una variante dogmática de la ecología, una especie de integrismo ideológico y militante, que reconoce algunas verdades científicas siempre que las mismas estén alineadas a sus creencias. Naturalmente, esta manera de ver el mundo es incompatible con la flexibilidad intelectual que se requiere para abordar con seriedad los problemas apremiantes que enfrenta el planeta.

PARTE II

# Líneas de fractura

**CAPÍTULO 3**

# ¿Se carboniza el planeta?

La *canica azul* es una fotografía muy difundida de la Tierra tomada a 45.000 km de distancia por astronautas de la nave espacial Apolo 17 en 1972. La Tierra tiene la apariencia de una pequeña bola de vidrio azul cuando aparece completamente iluminada por la luz del sol. Otra fotografía tomada en 1990 por la sonda espacial Voyager desde una distancia mucho mayor (6000 millones de kilómetros) muestra a nuestro planeta como una pequeñísima mota o punto de color azul pálido que es casi imperceptible en la inmensidad del universo. El color azul, mostrado una y otra vez en imágenes captadas desde el espacio, se debe a los océanos que ocupan el 70% de su superficie, y a una delgada capa atmosférica impregnada de agua, que alberga vida, y que llamamos hidrósfera. En el lenguaje más propio de un poeta que de un científico, el célebre cosmólogo Carl Sagan nos habló de "... ese pequeño punto azul pálido... en el que todo lo conocido existe, ha existido o existirá mientras le demos oportunidad…". Haciendo abstracción de todo conocimiento previo, y visto objetivamente desde el espacio, ¿podemos suponer que esta canica azul sufre los embates de una carbonización creciente, es decir, de un calentamiento global que pone en riesgo el futuro de la vida?

Corría el año 1896 cuando un reconocido científico sueco, Svante Arrhenius, dudaba en su laboratorio si debía o no comunicar una teoría novedosa que rondaba su mente. Al estudiar, junto a Thomas Chamberlin, los efectos de algunos gases atmosféricos sobre los procesos de hielo y deshielo en la Tierra, había demostrado la existencia de una asociación positiva y directa entre la concentración de dióxido de carbono ($CO_2$) y la temperatura de la atmósfera terrena. Su conclusión fue que el uso creciente de combustibles fósiles derivados del carbón y del petróleo duplicaba la concentración de $CO_2$ en la atmósfera y provocaba un aumento promedio de 5º C en el clima global. Esta teoría, temeraria en su tiempo, permaneció casi olvidada durante el siglo siguiente. Pero a mediados de 1980, los registros térmicos de varias estaciones meteorológicas en el hemisferio norte confirmaron un ascenso preocupante de la temperatura media. Se reconoció que la atmósfera global se había tornado más caliente en relación a la década de 1880, y que la teoría del efecto invernadero de Arrhenius era creíble. Los científicos comenzaban a aceptar que este fenómeno podía estar asociado a la emisión acumulada de gases de efecto invernadero.

## Luces de emergencia

Aceptada como posible la teoría del calentamiento planetario de Arrhenius, el mundo académico, el ecologismo y los medios masivos de comunicación encendieron luces de alarma, y la propia opinión pública se preocupó rápidamente. A través del Programa Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y la Organización Meteorológica Mundial (OMM) se creó el Panel Inter-gubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC), que es reconocido como el grupo de cooperación científica de referencia

de mayor envergadura internacional. Varias centenas de científicos y técnicos de todo el mundo colaboran con esta organización y producen informes periódicos con el objetivo de actualizar y difundir conocimientos, analizar modelos y predecir el impacto del calentamiento global sobre los sistemas climático, oceánico, económico, ecológico, alimentario y sanitario. Sucesivos informes del IPCC ratificaron que el efecto invernadero podía ser atribuido, con alta probabilidad de certeza, a las emisiones de anhídrido carbónico y otros gases emitidos por el hombre. Los informes más recientes de esta organización ofrecen 10 conclusiones que surgen de sus informes anteriores:

(1) La influencia del hombre sobre el sistema climático de la Tierra es clara y las últimas emisiones antropogénicas (de origen humano) de gases de efecto invernadero (GEI) son las más altas de la historia; (2) Desde el año 1850, cada década fue más cálida que la anterior. El calentamiento del sistema climático es inequívoco y muchos de los cambios observados desde la década de 1950 no tienen precedentes en el último milenio. Este cambio explica el aumento de la temperatura de la atmósfera y de los océanos, la reducción de la superficie de hielos y el ascenso del nivel del mar; (3) Las emisiones GEI alcanzaron un máximo desde el comienzo de la era industrial debido en gran parte al aumento de la población y el crecimiento de la economía. Hoy se registran las mayores concentraciones de dióxido de carbono ($CO_2$), metano ($CH_4$) y óxido nitroso ($N_2O$) de los últimos 800.000 años; (4) Los efectos de las emisiones de GEI sobre el calentamiento global se prolongarán más allá del siglo 21; (5) Desde la década de 1950 se registró un aumento de eventos extremos del tiempo y del clima: una disminución de las temperaturas frías extremas, un aumento de las temperaturas cálidas extremas, un incremento del nivel medio de los mares y un aumento en la proporción de precipitaciones torrenciales en varias regiones del planeta; (6) Aumentará la probabilidad de consecuencias graves,

generalizadas e irreversibles tanto para el hombre como para los ecosistemas. Para reducir esos riesgos es imprescindible reducir drásticamente las emisiones GEI y promover políticas locales que reduzcan la vulnerabilidad y favorezcan la adaptación al cambio climático; (7) Aumenta la probabilidad de que se produzcan prolongadas olas de calor, que las lluvias se tornen más intensas y frecuentes en muchas regiones, que se calienten y acidifiquen los océanos y se eleve el nivel de los mares. (8) Es probable que muchos de los efectos del calentamiento global perduren durante siglos. Con el calentamiento aumenta también el riesgo de cambios abruptos o irreversibles; (9). Los riesgos tendrán una distribución desigual y afectarán más a las comunidades más pobres; (10) Si se redujeran sustancialmente las emisiones, en las próximas décadas se atenuarán los riesgos climáticos, aumentarán las posibilidades de una adaptación eficaz, se reducirán los costos de mitigación en el largo plazo y se crearán trayectorias estabilizadoras del clima, necesarias para un desarrollo sustentable.

Como una respuesta preventiva a esas conclusiones, 186 países (con la notable ausencia de algunas potencias, entre ellas Estados Unidos y China) firmaron en el 2001 el denominado Protocolo de Kyoto. Su objetivo inicial fue inducir a los países a reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero (anhídrido carbónico, metano, óxido nitroso y compuestos cloro-fluor-carbonados entre otros) a niveles inferiores a los que tenían en 1990. Con mejores intenciones que resultados, y desgastado prematuramente por el incumplimiento de los propios países firmantes, el Protocolo cayó en el descrédito. Con las evidencias adicionales que se agregaron, hoy la situación ha cambiado y la comunidad global tiende a alinearse detrás de acciones concretas para frenar el aumento de la temperatura media global y detener sus efectos negativos sobre el planeta.

En Diciembre del 2015 se celebró un nuevo encuentro de en París, conocido como la COP21 o Cumbre del Clima. 195 países

participantes de esa Conferencia Mundial, incluido el reticente Estados Unidos, –que juntos suman más del 95% de las emisiones globales– arribaron a un documento final para reducir el calentamiento global y sus efectos negativos sobre el planeta. Como detalle singular, en esa oportunidad no hubo objeciones para evitar el acuerdo, que de esta manera ha reemplazado al Protocolo de Kioto. Sienta las bases para la reducción de emisiones GEI y, más importante aún, para diseñar una economía mundial libre de carbono, con mínima dependencia de los combustibles fósiles. Plantea un gran desafío para el sector energético, y abre oportunidades impensadas para la industria de las energías limpias. El texto propone limitar el aumento de la temperatura del planeta muy por debajo de 2°C con respecto a los niveles preindustriales y hacer un esfuerzo pare estabilizar el aumento de la temperatura a 1,5°C. Los países industrializados, responsables históricos del problema, se comprometieron a ayudar financieramente a los países más pobres para que se adapten al cambio climático. El monto comprometido (cien mil millones de dólares) es importante, pero hay que tener en cuenta que esa cifra representa solamente el 8% de lo que se gasta en la industria de los armamentos. Los compromisos sobre los países menos desarrollados son menores, pero les dejan abierta la posibilidad de colaborar en forma voluntaria. Sin embargo, las potencias más ricas (como los EEUU y la UE) exigieron que las potencias emergentes que más contaminan (como la China y la India) contribuyan obligatoriamente a ese acuerdo. Todos los países se comprometen a implementar planes de control mutuo  bajo un mecanismo quinquenal de inventarios que permitirá evaluar progresos, aunque sin fijar porcentajes como propusieron algunos países más rigurosos.

# Un pasado tumultuoso

Más allá de los atendibles argumentos que cuestionan el marco analítico que propone el IPCC, las evidencias científicas corroboran que la Tierra se calienta a tasas preocupantes. Pero también otros elementos aparecen en escena. Si nos atrevemos a abrir una escala de tiempo más extensa, apreciaremos que la Tierra esconde un pasado climático muy caótico. Hasta mediados de la década de 1980, la corriente científica dominante aceptaba que el clima de la Tierra cambiaba, pero lo hacía gradualmente, en respuesta a causas naturales y a otras inducidas por el hombre. Las evidencias posteriores demostraron que en el pasado el clima había cambiado de manera más caótica y vertiginosa de lo que se creía, con saltos abruptos e inesperados, sin la presencia del hombre en la Tierra. La ciencia se planteó entonces un interrogante inevitable, "… si ocurrió en el pasado ¿por qué no podría ocurrir en el futuro?".

El análisis de algunos archivos paleo-climáticos (campo del conocimiento que estudia el clima antiguo del planeta) comenzó a mostrar los rastros de un pasado tumultuoso. Datos surgidos del estudio minucioso de núcleos de hielo, anillos de crecimiento de árboles antiguos, sedimentos en océanos, mares y lagos, y otras fuentes de información ofrecían un testimonio incuestionable. Los núcleos o "testigos" de hielo, por sus características de estabilidad a través del tiempo, se convirtieron en la estrella de la ciencia paleo-climática. Se trata de largos cilindros de hielo que se extraen luego de perforar gruesas capas glaciales de los polos. Ellos contienen datos que muestran variaciones prehistóricas en la concentración de $CO_2$, metano y otros gases. Año tras año, y siglo tras siglo, se acumulan en los polos capas de hielo que retienen burbujas de gases que registran, con precisión, la composición del aire al momento en que el hielo se acumuló. Las muestras, al ser analizadas, no solo proveen datos de los gases

presentes, sino también, a través de la presencia de moléculas de hidrógeno y oxígeno radiactivo, permiten hacer una estimación de la temperatura atmosférica al momento en que las burbujas de aire quedaron apresadas en la masa de hielo. Las primeras perforaciones, que comenzaron en 1980 en la base rusa de Vostok en la Antártida, permitieron extraer un cilindro de hielo de más de 2 kilómetros de longitud (Petit y otros, 1999). Mediante un proceso de datación, a partir de ese núcleo inicial se pudieron reconstruir las variaciones, muy ricas en detalles, que experimentó el clima a través de un período de unos 160.000 años. Extracciones posteriores permitieron retrotraer la historia del clima hasta 800.000 años atrás, y los científicos creen que será posible tener un registro continuo de 1.500.000 años.

Las imágenes aserradas de los gráficos muestran un clima planetario que saltó, desde cientos de miles de años atrás, de un período glacial a uno inter-glacial. Es decir, de un frío extremo a un calentamiento marcado, un cambio poco saludable para los seres vivos. Pero una de las sorpresas más inesperadas fue el hallazgo de ciclos anidados que se repitieron, con cierta regularidad, cada 100.000, 41.000 y 26.000 años. Fue una evidencia concreta que el clima de la Tierra se comportó caóticamente durante centenares de miles de años, pero lo hizo dentro de ciertos patrones de orden que es necesario interpretar. Es ese el desafío que hoy moviliza a la comunidad climatológica mundial.

Por supuesto, hay hipótesis y teorías que explican esas arritmias. De un lado están las teorías orbitales, y del otro las bio-físicas. Las hipótesis orbitales vinculan los grandes ciclos de calentamiento y enfriamiento con la cercanía o lejanía de la Tierra respecto al sol en su órbita solar. Desde tiempos de Kepler se sabe que la Tierra y otros planetas de nuestro sistema solar no siguen una órbita circular perfecta, sino marcadamente excéntrica. El tiempo que demanda a la Tierra volver a repetir una trayectoria dada es de alrededor de 100.000 años. Otros descubrimientos

posteriores demostraron la existencia de una "oblicuidad" indicativa de que el eje de la Tierra, al orbitar, presenta una inclinación que varía entre 21.5º y 24.5º respecto al Norte geográfico, que la acerca o la aleja del sol. Pasar de una inclinación a otra lleva alrededor de 41.000 años. Y también se demostró la existencia de "efecto trompo", balanceo del eje de la Tierra en su rotación, que hace que el eje retorne a la misma posición cada 26.000 años aproximadamente. Fue un serbio llamado Milutin Milankovitch quien en 1920 teorizó que la cantidad de calor solar que recibía la tierra era el resultado de una influencia combinada de la excentricidad (ciclo de 100.000 años), la oblicuidad (ciclo de 41.000 años) y el balanceo del eje del planeta durante la rotación (ciclo de 26.000 años). Vincular esas variaciones de la órbita de la Tierra con los ciclos de glaciación que mostraban los datos provistos por los núcleos de hielo fue un hecho casi automático, disparando lo que hoy se conoce como "teoría orbital del cambio climático" (Turney, 2007). Estas condiciones de alejamiento y acercamiento solar explicarían el pasaje de una fase de glaciación a una de calentamiento en un ciclo que se repite indefinidamente. Si aceptáramos esta teoría, unos 20.000 años atrás habríamos alcanzado nuestro punto orbital más lejano al sol y eso habría coincidido con la última gran glaciación que ocurre cada 100.000 años. Por lo tanto, en el recorrido de estos últimos 200 siglos habríamos iniciado nuevamente el camino de acercamiento al sol, con un pico de gran calentamiento que debería ocurrir aproximadamente dentro de unos 80.000 años. O sea, aunque el planeta atraviesa un período relativamente cálido, estaríamos todavía inmersos en medio de una era glacial (los polos norte y sur están helados). Pero iríamos en camino a salir de ella. También en la oblicuidad del planeta y el balanceo de su eje (ciclos de 41.000 años y 26.000 años) nos mostrarían un relativo acercamiento al sol.

Pero en medio de estas especulaciones cosmológicas, los datos muestran también mucha variabilidad o "ruido estadístico"

cuya explicación no encaja dentro de la teoría orbital. Otros factores, imperfectamente conocidos, han disparado varias hipótesis y teorías biofísicas en las cuales intervienen tanto factores vivientes como no vivientes. Por ejemplo, los desplazamientos de masas continentales habrían bloqueado o abierto el curso a las corrientes atmosféricas y oceánicas, afectando radicalmente el paleo-clima terreno. Esto habría ocurrido con el surgimiento de las cordilleras del Himalaya y los Andes, y con la formación del istmo de Panamá, el cual habría bloqueado la circulación de las corrientes oceánicas cálidas entre el Atlántico y el Pacífico. Por otro lado, ciertos períodos de intensa actividad volcánica también explicarían algunas fases de calentamiento de la tierra debido a una enorme emisión y acumulación de gases de efecto invernadero. A estas hipótesis y teorías físicas se suman otras teorías biológicas que vinculan los cambios climáticos a la actividad de los sistemas vivientes en la Tierra. Las más populares indican que el calentamiento actual debe ser atribuido a emisiones causadas por el hombre.

Más allá de este cruce de teorías y de hipótesis, el problema ofrece también otras aristas que merecen atención. Según Tim Flannery (Flannery, 2006) durante los últimos 2,5 millones de años, período que coincide con la aparición de nuestro primo *Homo erectus* en África, la Tierra ha experimentado como mínimo 17 episodios glaciales de alta intensidad y muchos otros de intensidad menor, seguidos siempre de un calentamiento súbito. Cada cambio de fase representa una "no linealidad", episodio que puede provocar una bifurcación abrupta de la vida en el planeta. Durante un cambio no lineal, la relación de intensidad entre causas y efectos no es proporcional; la incidencia de un pequeño factor causal puede disparar efectos desproporcionados e impredecibles en las especies y los procesos biológicos. El reducido ciclo vital de los humanos (que dura menos de 100 años) nos hace pensar que nuestro sistema climático tiene un

comportamiento regular y relativamente predecible. Pero si proyectáramos el análisis a una escala geológica de muchos miles de años, comprobaríamos que la no linealidad climática ha sido la regla y no la excepción. Esta dinámica ha ocurrido regularmente en la historia del planeta sin que sea posible atribuirlo en el pasado a una intervención humana. Una mayoría de los científicos del clima no dudan en atribuir al hombre el inédito calentamiento global de estos tiempos, pero esta sería la excepción y no la regla.

Aún hoy, con las poderosas herramientas analíticas que poseemos, no resulta sencillo discernir cuánto del calentamiento actual puede atribuirse a causas humanas, y cuánto a causas naturales. ¿Qué argumento justifica la opinión dominante de la ciencia? El argumento es sólido: mientras los núcleos de hielo registran concentraciones de $CO_2$ que oscilaron alrededor de las 280 ppm (partes por millón) durante los últimos 800.000 años, en la actualidad se han alcanzado valores medios cercanos a las 400 ppm, con picos que han superado ese valor. Y esto es generalmente atribuido a la quema de combustibles fósiles y a las emisiones paralelas de gases de efecto invernadero. Aparece también un argumento adicional: los períodos interglaciares cálidos del pasado duraron unos 8000 años, y el actual ya tiene 10.000 años. Algunos científicos no encuentran razones para suponer que esta bonanza climática pueda durar mucho más. Por supuesto, como mencionamos antes, hay interpretaciones científicas que no coinciden con esta visión que achaca al hombre el actual calentamiento global.

En medio de estas hipótesis, teorías y evidencias empíricas, hay fuego cruzado entre facciones opuestas que se enfrentan. De un lado, están los activistas del clima que encienden todas las luces de alarma ante una catástrofe que creen inminente; del otro, están quienes sostienen que la teoría del calentamiento global es débil y vulnerable a la crítica.

# Sobre activistas y escépticos

"Gore se volvió vegano..!" fue lo que difundieron algunos medios internacionales influyentes en el 2013. La noticia indicaba que un importante personaje de la política mundial y del activismo climático dejaba de comer productos animales o derivados de ellos. Él mismo lo ratificó: "Es absolutamente correcto afirmar que el uso creciente de carne en las dietas contribuye a explicar la crisis ambiental global, no solo debido a las emisiones de gases de efecto invernadero del ganado, sino también debido al exceso de agua que se consume para producir". Al Gore, cuadragésimo quinto Vicepresidente de los Estados Unidos, y ganador en el 2007 junto al IPCC del Premio Nobel de la Paz, es quizás quien mejor resume con su visión el rol de la militancia climática. Considerado en su país un "demócrata verde", se presentó como un defensor comprometido con la ecología, rol que materializó a través de una fundación que llamó Alianza para la Protección del Clima. Aunque el Senado se le opuso a fines de 1990, Gore presionó fuertemente para que los Estados Unidos fuera signatario del Protocolo de Kioto. El argumento de los senadores de la oposición fue que adherir a ese Protocolo "provocaría un daño serio a la economía de los Estados Unidos". Su posición como activista ambientalrecibió críticas. Se le tildó de "millonario del carbono"y se le acusó de lucrar con su activismo. Se le denunció un comportamiento cínico por tener un consumo doméstico de energía muy superior al del ciudadano medio estadounidense. El uso permanente de jets privados y el sostenimiento de varias residencias de gran tamaño daban cuenta de un consumo muy alto de electricidad. Su película insignia, titulada *"Una verdad incómoda",* recibió severas críticas por supuestos errores conceptuales difundidos entre los escolares, y se vio involucrado en un juicio. Sin embargo, un juez británico dictaminó en el 2007 que la información comunicada por la película era correcta y que sus

cuatro hipótesis centrales (cuestionadas por sus detractores) estaban apoyadas en sólidas evidencias científicas. De esta manera, el juez avaló el valor de la película como herramienta didáctica. A partir de los problemas y conflictos que debió enfrentar, Gore moderó sus posturas de activista. Pese a reconocer su condición de vegano, dijo entender y justificar a aquellos que incorporaban carnes en su dieta cotidiana.

Más allá del protagonismo individual de Al Gore, el activismo ambientalista logró una expresión masiva en la COP21 de París, confirmando la importancia de la Web y del ciber-activismo como factores convocantes. Las redes sociales "viralizaron" las posturas de un ambientalismo climático corporizado en muchas ONGs y en académicos, científicos, estudiantes y otros actores sociales. A la Cumbre de París llegaron 3.6 millones de firmas que pedían frenar el calentamiento global, y la convocatoria disparó grandes movilizaciones en todo el mundo (785.000 personas salieron a la calle en un mismo día en más de 175 países). Una foto con fuerte significado simbólico recorrió el planeta: miles de pares de zapatos, incluidos los del Papa Francisco, reclamaban en silencio un tratado mundial para detener el cambio climático global.

No todos los científicos coinciden con la visión dominante del IPCC. Grupos de científicos escépticos cuestionan sus conclusiones bajo el argumento de que los informes del organismo solo utilizaron aquella parte del conocimiento científico disponible que confirma que el calentamiento del planeta está provocado inequívocamente por la voraz e insensata quema de combustibles fósiles. Critican supuestos errores metodológicos, la debilidad de sus modelos de simulación y dudan que el calentamiento actual de la atmósfera sea de origen antrópico (Fudge et al., 2016; Gervais, 2016). Escudriñando en el pasado, (Patzelt, 2014, reportado por Glatzle, 2014) algunos estudios revelan que durante el Holoceno (la era geológica actual) ocurrieron períodos de marcado

calentamiento global con niveles de anhídrido carbónico en la atmósfera mucho más bajos que los actuales. Ese argumento es utilizado para invalidar la existencia de una correlación unívoca y determinista entre la concentración de ese gas y el calentamiento atmosférico del planeta. Estas evidencias han dado un potente justificativo a varios sectores económicos para cuestionar la teoría que vincula el calentamiento global al uso de los combustibles fósiles, y a resistir los acuerdos que procuraban reducir drásticamente su consumo.

Una de las críticas más duras a la teoría dominante del calentamiento global se plasmó en un libro tan influyente como polémico que en español se tituló *El Ecologista Escéptico,* publicado en 1998 y traducido también avarios idiomas. Su autor, un joven académico danés (ex miembro de *Greenpeace*) llamado Bjorn Lomborg, sostuvo que no deben ser las organizaciones ecologistas, el *lobbysmo* ambientalista ni los medios de comunicación quienes dicten las prioridades ecológicas y ambientales de los gobiernos, sino la propia sociedad democrática debidamente informada. El autor organizó un grupo integrado por diez estudiantes de Estadística seleccionados en la Universidad de Aarhus y comenzó a analizar los datos disponibles. Sus conclusiones, que cuestionaban los fundamentos de la teoría dominante, fueron motivo de una fuerte polémica y un extenso debate de alcance global. Se pueden resumir en los siguientes aspectos: 1) el autor no niega la existencia del calentamiento global, pero relativiza el efecto de los combustible fósiles. Indica que las emisiones de anhídrido carbónico debidas a la quema de combustible fósiles han aumentado un 31% desde la época pre-industrial, pero aclara que la mitad de esas emisiones fueron absorbidas y neutralizadas por los océanos. Acepta, en cambio, que la otra mitad podría potencialmente contribuir al actual calentamiento atmosférico, pero no puede estimarse aún cuál ha sido su efecto neto total; 2) considera que el clima del planeta es demasiado

complejo para ser simulado a través de modelos incompletos de computación. En su opinión, esos modelos contienen solamente los parámetros que los grupos interesados quieren manejar, y sus resultados simplemente reflejan lo que sus constructores quieren demostrar. Cree asimismo que esos modelos se ocupan solo del efecto de calentamiento atmosférico, pero ignoran los efectos de enfriamiento producidos por el vapor de agua, los aerosoles o las nubes; 3) argumenta que tampoco se conocen los efectos directos e indirectos de la energía del sol, y su variabilidad, sobre la temperatura del planeta; 4) considera que los escenarios que sirven de base a las simulaciones climáticas utilizan valores de incremento del anhídrido carbónico que duplican a los reales y en consecuencia, inevitablemente, sobrestiman el calentamiento; 5) cree que un incremento moderado de temperaturas no es totalmente perjudicial para la salud ni para las cosechas. Si bien la tasa de mortalidad puede aumentar por sobrecarga térmica en verano, se vería compensada por un clima más benigno en invierno. De igual manera, si las mayores temperaturas redujeran los rendimientos de las cosechas en latitudes bajas (climas tropicales), aumentarían los mismos en las latitudes altas (climas moderados y fríos); 6) considera que el problema de las inundaciones y el ascenso del nivel de los mares es un problema que puede ser manejado y resuelto técnicamente. En síntesis, Lomborg concluye que el calentamiento global no es ni de lejos el mayor de los problemas que debe enfrentar la comunidad mundial, y que conviene más invertir en medidas adaptativas que en reducir el uso de combustibles fósiles, ya que es todavía una fuente relativamente barata y abundante de energía.

Por supuesto, también aparecen posiciones que sobrepasan a Lomborg. Son aquellas que atacan con vehemencia al activismo ecologista. Un caso emblemático es el de Michael Crichton, un exitoso escritor de best-sellers entre los cuales se destaca *Parque Jurásico.* En una de sus novelas, titulada *Estado de Miedo,* hace

una referencia directa hacia lo que él denomina eco-terrorismo. Advierte a sus lectores acerca del peligro de una ciencia politizada y de la desinformación que producen los medios adictos al ecologismo. Los anima a no dejarse influir por la información sesgada y sensacionalista. Opina Crichton que la teoría dominante acerca del calentamiento global está basada en demasiadas conjeturas improbables y en resultados de modelos informáticos que utilizan una base de registros climáticos insuficiente y falible. Debido a que su obra de ficción *Estado de Miedo* cuestiona, con abundante soporte bibliográfico, los fundamentos científicos del calentamiento antropogénico y la propia politización interesada de la ciencia, su trabajo fue recibido con marcada hostilidad por grupos ecologistas, científicos y sectores sociales que apoyan la teoría del hombre como causante del actual calentamiento planetario. Más aún, acusan a este autor de hacer una defensa rentada a favor de las grandes compañías petroleras.

Es claro que el calentamiento global y el cambio climático contribuyen a exacerbar la fractura entre ecologistas y productivistas. Nos ocuparemos de diseccionar estas problemáticas en los capítulos que siguen.

CAPÍTULO 4

# Luces y sombras sobre el ganado

En Noviembre del 2006, publicado por Naciones Unidas y FAO (Organización para la Alimentación y la Agricultura), apareció una obra que inquietó tanto al sector ganadero de países productores de carne, leche y lana, como a una parte del mundo académico y científico que estudiaba el problema, y a los propios medios de comunicación. La obra se tituló en inglés *Livestock´s Long Shadow,* o sea, *La Larga Sombra de la Ganadería* en español. Como indicaron los propios autores de la obra (Steinfeld y otros, 2006), el informe evalúa el impacto del sector ganadero sobre los problemas ambientales del planeta. Pone su foco tanto en el análisis de los problemas ambientales directos de la crianza de los animales, como en los problemas indirectos causados por la producción de los forrajes que los alimentan.

## Crónica de una letanía recurrente

El diagnóstico fue impiadoso con la ganadería en sus distintas variantes productivas. Una larga letanía puntualizaba los males

que la ganadería estaría provocando al planeta. Si bien los autores reconocían al sector ganadero como un jugador mayor en la creación de producto bruto doméstico y de empleo rural, y como una fuente insustituible de proteínas, también lo presentaban como uno de los dos o tres mayores causantes de los problemas ambientales que abruman al planeta, desde lo local hasta lo global. Se puntualizaba en la obra, sin ambivalencia, que la ganadería sería en buena medida responsable de la degradación de las tierras, del calentamiento global, del cambio climático, de la contaminación del aire, de la escasez de agua, de la contaminación del agua y de la pérdida de biodiversidad. La carga de acusaciones resultaba abrumadora.

Describía el informe que el sector ganadero experimentaba en esos años tiempos una notable relocalización geográfica que generaba una competencia creciente por la tierra, el agua y los recursos naturales. Los sistemas ganaderos más intensivos que incluían a la producción porcina, aviar y bovina, tendían a desplazarse desde las áreas rurales hacia las periurbanas y urbanas. Mientras tanto, la producción extensiva de rumiantes (bovinos, ovinos y caprinos) se localizaba en tierras marginales de bajo valor agrícola. En ambos casos, atribuían a la ganadería una creciente ocupación directa de tierras disponibles (26% del total) y una ocupación indirecta del 33% destinada a producir forrajes y alimentos para el ganado. De esta forma, la ganadería ocuparía, directa e indirectamente, el 70% de las tierras con capacidad productiva, y el 30% de las tierras totales del planeta. Según los autores, esta expansión generaba una creciente degradación de los suelos por sobrepastoreo de las tierras marginales, y una mayor contaminación del agua, del aire y del suelo en tierras urbanas y periurbanas.

Asimismo, indicaban que los sistemas de producción ganadera consumían ya un 8% del agua dulce disponible, y que la mayor parte de ese consumo provenía del agua de riego destinada

a producir forrajes, sobreexplotando las fuentes de agua. Consideraban al sector ganadero como el mayor responsable de la contaminación de los acuíferos, acumulación de algas en los cuerpos de agua, "zonas ictícolas muertas" en las áreas costeras, degradación de los arrecifes de coral, problemas de salud en los humanos y resistencia a los antibióticos. Atribuían las mayores fuentes de contaminación a las heces y orina del ganado, los antibióticos, las hormonas utilizadas en la producción, y los químicos derramados en las curtiembres. En tierras de pastoreo se achacaba al ganado de aumentar la compactación del suelo y de un mayor escurrimiento superficial de agua, una caída de la infiltración y un descenso del nivel freático. También se consideraba al ganado una amenaza para la biodiversidad del planeta debido a la pérdida de biomasa vegetal por deforestación y des-vegetación de los ecosistemas.

Quizás la acusación más severa fue aquella que vincula al ganado con el calentamiento global del planeta. Los autores de la obra hacían responsable al sector ganadero del 18% de las emisiones totales de gases de efecto invernadero, cifra que inclusive superaría a las emisiones propias de un sector tan gravitante como el transporte. Incluían en el cálculo al metano que se genera por fermentación entérica, al óxido nitroso que se libera con las heces y la orina, y al anhídrido carbónico que se emite por deforestación y des-vegetación de tierras naturales. Le sumaban asimismo las emisiones de anhídrido carbónico debidas al cultivo de especies forrajeras, que incluían el consumo de combustible fósiles utilizados en labranzas y cosechas, y la manufactura de los fertilizantes, plaguicidas y otros insumos agrícolas.

Un trabajo posterior de las mismas organizaciones (Gerber et al., 2013), titulado *Tackling climate change through live stock (Abordando el cambio climático a través del ganado),* intentó morigerar la dureza del diagnóstico anterior identificando visiones alternativas y caminos de mitigación de las emisiones dentro de la

propia industria ganadera. El enfoque de estos autores resultaba más amplio al incluir en las estimaciones a otros sectores vinculados a la producción ganadera, como la industria de los alimentos animales y el transporte de productos ganaderos. Los números de ese estudio mostraban una reducción significativa de las emisiones atribuidas a la ganadería (de 18% a 14.5%), pero responsabilizaban a los bovinos de carne y leche más de un 60% de las emisiones totales del sector ganadero. Casi un 40% de esas emisiones fue atribuido a la fermentación entérica (producción de metano), otro 45% a la producción y procesamiento de alimentos forrajeros. El 15% restante correspondía a emisiones generadas a partir del almacenaje y procesamientos de heces y desechos (10%), y al transporte de productos animales (5%). América Latina y el Caribe aparecían allí como las regiones que presentaban las mayores emisiones debidos a la producción de carne y leche.

El trabajo ponía énfasis en señalar caminos y enfoques técnicos destinados a mitigar el nivel de emisiones. Las alternativas sugeridas incluían, entre otras, (i) aumentar el secuestro de carbono por parte de las praderas destinadas a la producción bovina, (ii) cambiar los sistemas de alimentación, sustituyendo los forrajes fibrosos por alimentos concentrados y (iii) mejorar el procesamiento del estiércol favoreciendo el reciclado de los nutrientes en el suelo.

## Breve historia de una larga aventura compartida

Más allá de esos cuestionamientos y críticas ¿Qué rol ha tenido la ganadería en la historia de la humanidad?

Para procurar su alimento, los humanos primitivos que vivían de la caza, la pesca y la recolección se vieron forzados a marchar detrás de los grandes rebaños de bovinos, cérvidos y otros animales que pastaban y migraban de un lugar a otro a través de las extensas praderas prehistóricas. Unos 10.000 años atrás, durante el neolítico, esas comunidades trashumantes descubrieron que la incertidumbre alimentaria se reducía drásticamente si lograban capturar, domesticar y manejar aquellos rebaños salvajes. El método les permitía conseguir fácilmente carne y leche pero, colateralmente, los animales proveían además pieles, lanas, pelos, tracción, transporte y estiércol que los humanos aprovechaban con varios fines. Los servicios de la ganadería se habían multiplicado. Emulando el desplazamiento natural de los rebaños, los animales eran llevados de un sitio de pastoreo a otro para procurarse una provisión relativamente estable de forraje y agua. El nomadismo (también llamado *pastoralismo*) fue, para nuestros antepasados, un sistema de supervivencia que persistió a lo largo de los milenios y que, en el siglo 21, aún se practica en algunas praderas y estepas del Asia y del África.

El alto costo biológico y social que imponía el desplazamiento nómade despertó en aquellas comunidades la necesidad de asentarse en un sitio, es decir, de hacerse sedentarias y establecerse dentro de áreas relativamente acotadas. Es muy probable que la necesidad de producir forraje para los herbívoros domesticados (principalmente bovinos, ovinos y caprinos) haya dado origen, de manera simultánea, tanto a la ganadería no trashumante como a la agricultura. Muchos historiadores consideran que ambas actividades nacieron simultáneamente durante el período neolítico en el Cercano y Medio Oriente, en una región hoy denominada Media Luna Fértil. Ambas actividades aseguraban estabilidad y diversidad alimentaria a los humanos. Los cereales eran generalmente consumidos en forma directa por los humanos, y los desechos fibrosos de la cosecha eran aprovechados por los rumiantes. Este novedoso

sistema de producción, sinérgico, favoreció el crecimiento demográfico, el desarrollo cultural y tecnológico, y la expansión de estas poblaciones –de manera pacífica o forzada– a regiones aledañas que estaban habitadas por comunidades neolíticas menos desarrolladas, que eran desplazadas, absorbidas o exterminadas. Pero no fue La Media Luna Fértil el único sitio donde se desarrollaron estos hitos clave en la historia humana. El cerdo se domesticó en el Norte de China unos 8500 años atrás y, por la misma época, se domesticó el pavo salvaje en Mesoamérica. Hace unos 6000 años se domesticaron la llama y la vicuña en la región andina sudamericana. El área ganadera fue siempre mayor que el área de cultivo, y los rumiantes (bovinos, ovinos y caprinos) podían ser criados en regiones marginales en las cuales los cultivos no prosperaban. Ese patrón de ocupación territorial –cultivo en los mejores ambientes y ganadería en los marginales– se replicó en muchas regiones del planeta.

¿Cuál fue la ventaja evolutiva que presentaron los rumiantes respecto a otras especies explotadas por el hombre? ¿Cuándo se obtuvo esa ventaja? Un conjunto de cuatro estómagos (tres pre-estómagos y un rumen) le confiere a los rumiantes la capacidad de digerir pastos fibrosos que, de otra manera, se perderían para el hombre y otras especies no rumiantes ¿Cuál fue entonces el papel del rumen en las comunidades primitivas? El rumen es un enorme saco muscular que funciona sin presencia de oxígeno, y que constituye un gran laboratorio dentro el cual ocurre la digestión de los pastos fibrosos como la celulosa y la hemicelulosa. También digiere el almidón y nutrientes como las proteínas. A diferencia de otras especies, los rumiantes no poseían enzimas para realizar la digestión, por lo cual debieron "tercerizar" ese proceso metabólico y ponerlo a cargo de microorganismos como bacterias, protozoarios y hongos que provían el "servicio de digestión de la fibra". Esos mecanismos persisten hasta nuestros días en los rumiantes modernos. La digestión de las fibras es imperfecta e

ineficiente en animales de un solo estómago que poseen enzimas digestivas como el cerdo, el conejo o las aves, o como el mismo hombre. Por eso se dice que entre el rumen y los microorganismos que lo habitan hay una relación mutualista, es decir, que ambos "cooperan" y se benefician. Los microorganismos digieren la fibra y los almidones de los pastos y los convierten en ácidos grasos de bajo peso molecular (volátiles) que, cuando son absorbidos e ingresan al torrente circulatorio del animal, se oxidan y son la principal fuente de energía del rumiante. Por otro lado, la biomasa de microorganismos muertos que pasan al intestino delgado es la principal fuente de proteína de alto valor biológico para el rumiante. En términos energéticos el metabolismo del rumen es muy ineficiente porque hay grandes pérdidas de energía en forma de productos residuales tales como el anhídrido carbónico y el metano, que se eliminan sin generarle ninguna ventaja nutricional al rumiante. En realidad el metano cumple una función reguladora de la función digestiva, ya que ayuda a mantener la acidez de los estómagos en un nivel aceptable para los microorganismos. Pero, por otro lado, es causa de un fuerte cuestionamiento al rumiante: el metano, eliminado como un desecho gaseoso a la atmósfera, es un potente gas de efecto invernadero, 23 veces más potente que el atribuido al anhídrido carbónico.

Como vemos, la ineficiencia energética del rumiante es compensada por su notable capacidad de adaptación biológica a ambientes marginales donde otras especies domésticas no podrían sobrevivir ¿Cuándo apareció esa ventaja adaptativa? Los paleontólogos especulan que un proceso de calentamiento global ocurrido durante el Mioceno habría favorecido una gran expansión de las praderas de gramíneas a expensas de la pérdida de grandes superficies de bosques. El Mioceno se inició hace unos 23 millones de años y culminó hace unos 4 o 5 millones de años, época en que se estima ocurrió la aparición de los primeros homínidos sobre la Tierra. Esos ambientes de pradera dominados por pastos

fibrosos habrían favorecido ciertas adaptaciones anatómicas y fisiológicas en animales herbívoros que incluyeron cambios en la estructura y función del sistema digestivo. Esos cambios habrían sido la génesis de un mutualismo entre el animal y los microorganismos que se hospedaban en su sistema digestivo, ventaja que representó un importante salto evolutivo al permitir a los herbívoros adaptados dominar aquellos ecosistemas ricos en pastos que no podían digerir otras especies mono-gástricas de un solo estómago (Hoffman, 1986).

Podemos imaginar que a medida que el hombre perfeccionaba su cerebro, no debe haber demorado mucho en darse cuenta que la domesticación de esos animales tan particulares le ofrecía una ventaja adaptativa enorme en un medio ambiente que no proveía todos los nutrientes que necesitaba regularmente para su alimentación, principalmente las proteínas. Desde entonces el hombre y los rumiantes compartieron una larga y ventajosa aventura co-evolutiva y cooperativa que se prolonga hasta nuestros días. Hasta hoy, las especies rumiantes son las únicas que pueden acompañar al hombre en los ambientes más rigurosos y marginales del planeta.

## Grasa animal y salud humana

En varios países desarrollados del hemisferio norte se intensifican las campañas para reducir el consumo de productos animales, principalmente carnes procesadas y productos derivados de la leche. El argumento es conocido: se les acusa de ser una causa primaria de obesidad, enfermedades cardiovasculares y cánceres de distinto tipo. Una prestigiosa organización británica (*Chatham House*) lidera, entre otras del Hemisferio Norte, una campaña contra los rumiantes bajo el argumento de que sus productos afectan

la salud y contribuyen significativamente al calentamiento global del planeta (Wellesley, 2015). Esta visión negativa influye la opinión pública y la respuesta social.

¿Cuánto hay de certeza y de ficción en estas campañas? El foco de muchas investigaciones se puso en el efecto potencial de las grasas animales sobre la salud humana. La población del mundo se divide entre quienes viven asediados por el hambre, y aquellos que no sufren ese problema y se inquietan, en cambio, por la relación entre la dieta y la salud. Los estudios antropológicos demuestran que nuestros ancestros consumían dietas bajas en grasa, sin azúcares refinados, y ricas en fibras e hidratos de carbono complejos como los almidones. Buena parte de la dieta moderna en el mundo desarrollado presenta hoy un modelo inverso en su composición nutritiva, rica en grasas animales, azúcares y almidones, y bajo contenido de fibra (Willet, 2001) ¿Cómo incide este cambio en la salud humana? La controversia es inevitable, ya que no siempre es posible separar los efectos de una dieta desbalanceada de otros efectos relacionados con la herencia y hábitos poco saludables de vida, que predisponen a la enfermedad.

Los cánceres que ocasionan más mortalidad son los de mama, útero, próstata, colon, pulmones y estómago. Diferentes estudios epidemiológicos realizados en Europa y EE.UU. han indicado reiteradamente que la probabilidad de contraerlos es mayor en poblaciones que consumen altos niveles de grasas saturadas de origen animal (achuras, vísceras) y carnes procesadas (fiambres y embutidos).

Un informe reciente de la Agencia Internacional de Investigación sobre el Cáncer (IARC), un organismo dependiente de la Organización Mundial de la Salud (OMS), advierte que apenas 50 gramos diarios de carnes procesadas como fiambres y embutidos aumentan un 18% el riesgo de desarrollar un cáncer de colon. La relación entre los cárnicos procesados y ciertos tumores no es nueva, ya que algunas investigaciones de gran envergadura

realizadas en países europeos alertaban acerca del riesgo derivado de ingerir algunos ingredientes (como las nitrosaminas en las carnes procesadas) que se añaden con el propósito de impedir la contaminación bacteriana del producto.

Por otra parte, una cantidad significativa de estudios indican que las grasas animales aumentan el riesgo de desarrollar enfermedades cardiovasculares. Dietas ricas en grasas y bajas en carbohidratos complejos y fibras aumentan el riesgo de producir ateroesclerosis e infartos de miocardio en adultos, y se ha demostrado que las condiciones predisponentes se pueden generar a edades tan tempranas como las de la niñez y adolescencia.

Sin embargo, el riesgo se reduciría significativamente cuando el consumo de carnes magras es alto. Un ácido graso denominado CLA (ácido linoleico conjugado) cobró notoriedad debido a su efecto protector contra varios tumores. Contra lo que podrías esperarse, la principal fuente de CLA es la carne y la leche de los rumiantes (bovinos y ovinos). Actualmente se ha popularizado la noción de "grasa buena" y "grasa mala", aunque esa clasificación dio lugar a interminables polémicas en el campo de la medicina. En un intento por simplificar las recomendaciones, Eynard (2006) indica que el mayor riesgo de contraer enfermedades tumorales y cardiovasculares se da en dietas que tienen una alta proporción de grasas animales saturadas y colesterol (carne roja grasa). El menor riesgo aparece asociado al consumo de ácidos grados insaturados contenidos en lácteos enteros y carnes magras de rumiantes, aceites de pescado y frutos de mar. El debate sigue abierto.

## En defensa del villano

¿Es realmente el rumiante un villano ambiental? Respecto al impacto sobre el calentamiento global y el cambio climático, caben

algunas preguntas y reflexiones: ¿Cuántos bovinos hay en la actualidad sobre la Tierra? Según la (FAO), unos 1300 millones de cabezas se distribuirían hoy sobre las áreas continentales ¿Cuántos bovinos habrán existido sobre el planeta cuando los humanos comenzaron a domesticarlos, unos 10.000 años atrás? Sin duda, la respuesta es incierta y no puede ser validada. Si consideramos que en aquellos tiempos del neolítico fue mínima la superficie destinada a la agricultura, podemos suponer que gran parte de las planicies de la tierra estuvo ocupada por rumiantes, entre ellos los bovinos. Podemos entonces presumir, con razonable certeza, que el número total de cabezas puede haber sido mayor que el actual. Es decir, en aquellos tiempos lejanos los rumiantes que hoy conocemos ya "emitían gases de efecto invernadero", y lo venían haciendo desde cientos de miles de años atrás, cuando aún nuestros ancestros lejanos no habían asomado sobre la Tierra ¿Podemos entonces afirmar que las emisiones de los rumiantes que cría el hombre son de origen antropogénico? Si los rumiantes aparecieron sobre la Tierra mucho antes que el hombre, sus emisiones forman parte de la biósfera del planeta y no son producto de la acción humana. Son tan naturales como pueden ser las emisiones de un volcán en erupción, de un *permafrost* (tierra permanentemente heladas) que se derrite, o de un pantano ubicado en el medio de un campo ¿Es entonces razonable y legítimoque esas emisiones sean consideradas antropogénicas en los inventarios que cuantifican los gases de efecto invernadero emitidos por el sector rural en los distintos países del mundo? Esta cuestión demanda al menos un debate racional y sensato que todavía no se instaló en la comunidad científica internacional.

Pero hay otras razones que justifican la presencia del rumiante en las sociedades humanas. En la mayor parte de las tierras semiáridas y áridas del planeta (que suman casi un 50% de la superficie continental), en las cuales los cultivos anuales y las pasturas de calidad son inviables o inciertas, y donde dominan los

pastos fibrosos de baja calidad, las únicas especies domesticadas que pueden digerir estos pastos y convertirlos en proteínas de alto valor biológico (carne y leche) son los rumiantes. El rumiante es el único eslabón vital que provee seguridad alimentaria a los humanos en esas regiones (Orskov y Viglizzo, 1990). Remover esas especies significaría condenar a las poblaciones locales a una inevitable migración forzada o a laextinción. Con el rumiante en desgracia, se eliminaría el único medio para producir dos elementos vitales de la alimentación humana: la carne y la leche.

La calidad de las proteínas que aportan los rumiantes a las comunidades locales es el otro factor a tener en cuenta. El valor biológico de una proteína hace referencia a la eficiencia con que el cuerpo humano puede aprovechar la proteína ingerida. En general las proteínas de origen animal tienen un valor biológico mayor que las proteínas de origen vegetal debido a la composición semejante que las carnes y los componentes sólidos de la leche tienen respectoal tejido muscular de humanos y animales. En general, los mayores valores biológicos se encuentran en el suero de la leche (entre 100 y 120), en el huevo (100) y en las carnes de bovinos y pescados (80-85). Las proteínas de los cereales y legumbres, en cambio, tienen un valor biológico más bajo (entre 45 y 60). Considerando la función vital que tienen las proteínas de alta calidad en la alimentación humana, no es necesario ahondar acerca del valor de la carne y la leche de los rumiantes en las comunidades que habitan las regiones áridas y semiáridas del planeta. La línea argumental que plantea erradicar a los rumiantes del planeta con el fin de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, pierde significado frente a la realidad de la seguridad alimentaria y la supervivencia económica en las regiones áridas y semiáridas.

Ese argumento pierde algo de consistencia en los sistemas de ganadería intensiva localizados en áreas agrícolas con alto potencial productivo. En ese caso, los fundamentos para sostener

la presencia de rumiantes son principalmente económicos y financieros. La cercanía de alimentos concentrados provistos por la agricultura, y el acceso a mercados y puertos favorece la localización de sistemas ganaderos intensivos en regiones agrícolas. En general, estos sistemas suelen ser fuertemente cuestionados por organizaciones ambientalistas y ecologistas.

CAPÍTULO 5

# Mieses: armonías y discordias

La caza, la pesca y la recolección de semillas (cereales silvestres) y frutos permitieron a los humanos sobrevivir en asentamientos precarios durante el Mesolítico, unos 2000 años antes de que comenzara la domesticación de animales y plantas. Logrado esto, esas comunidades alcanzaron autosuficiencia y evitaron grandes desplazamientos para procurarse el alimento, lo cual redundó en un rápido crecimiento poblacional. Algunas estimaciones paleontológicas indican que, una vez ocurrido el asentamiento de las poblaciones nómades, la cantidad de humanos habría crecido de 3 a 8 millones entre los años 8000 y 6000 antes de Cristo. También en ese período habría ocurrido un acortamiento de la esperanza de vida debido a un aumento de las enfermedades.

Los historiadores consideran que la agricultura se inició en el "Creciente Fértil", también llamado "Media Luna Fértil", en territorios que hoy pertenecen a Egipto, Israel, Cisjordania, Franja de Gaza, Líbano, y partes de Jordán, Siria, Irak, Irán y Turquía. Se cree que allí nació esta Revolución del Neolítico. Sin embargo, hoy sabemos que otras revoluciones agrícolas similares ocurrieron también en esos tiempos en los altiplanos de Méjico con el cultivo del maíz, en algunas regiones de China y de la India con

el cultivo del arroz, en los Andes sudamericanos con el cultivo de la patata, y en el África sub-sahariana con el cultivo del sorgo. Las técnicas agrícolas y la productividad de los cultivos variaron muy poco hasta la edad media, imponiendo un límite a la expansión demográfica.

## Medioevo y modernidad

Durante la Edad Media, la agricultura sufrió cambios que produjeron una fuerte estratificación social en las comunidades rurales. Mientras la mayoría de los pobladores eran campesinos de distinta condición social, una minoría integrada por miembros de la nobleza y el credo detentaban gran parte de la propiedad de la tierra. Algunos campesinos vivían en condición de cuasi esclavitud (los siervos) ya que trabajaban para mantener, mediante el pago de imposiciones, a los propietarios de la tierra. Si bien se autoabastecían, una vez pagados los impuestos solamente podían vender algún remanente si les sobraba. Otros, ubicados en un estrato social más alto, eran "colonos" que arrendaban parcelas de tierra al señor feudal y gozaban de una relativa independencia económica. Y un tercer estrato estaba integrada por pequeños propietarios que explotaban su propia tierra y no tenían una excesiva dependencia económica de las clases altas. Dentro de ese esquema social, la agricultura prosperó desde fines del siglo 11 al amparo de un período climático cálido (*"el óptimo medieval"*) que impulsó notablemente las actividades agrícolas y ganaderas. La población creció y las aldeas se multiplicaron. Aparecieron algunas innovaciones técnicas que aumentaron la productividad de los suelos: el reemplazo del arado romano por el arado de ruedas, y el reemplazo del buey por el caballo. Ambos aceleraron las operaciones de labranza. Por otro

lado, se introdujo la noción de rotación de los cultivos: un año se sembraba trigo, durante el segundo algún cereal o leguminosa, y al tercer año se dejaba descansar el campo mediante una técnica que hoy se denomina barbecho. Igualmente, apareció la ganadería como actividad complementaria que utilizaba los residuos de la cosecha y aportaba estiércol para abonar los suelos y recomponer su fertilidad. Mientras tanto, en la Europa meridional (España y Sicilia) dominada por los musulmanes, los árabes introdujeron novedosos sistemas de riego y aprovechamiento de laderas tales como el cultivo en terrazas. Igualmente, introdujeron una gran variedad de cultivos novedosos integrados por especies hortícolas y frutícolas.

Pero en algún momento el crecimiento demográfico se desacopló de la producción agrícola y ganadera, y generó una renovada demanda de alimentos, lo cual impulsó el cultivo de nuevas tierras. El fuego, la tala y el arado avanzaron sobre los bosques y otros campos naturales entre los siglos 11 y 13. Comenzaron entonces a surgir algunos conflictos que tenían un sesgo ambiental: una parte de la población criticaba la tala indiscriminada de bosques, no tanto por el daño al paisaje, sino porque temía quedarse sin madera para construir o usar como fuente de energía. Aunque el avance sobre nuevas tierras contribuyó a incrementar la producción de alimentos, otro problema ambiental golpeó con fuerza inesperada: el sobre-cultivo, el cual condujo a un persistente agotamiento de la capacidad productiva de los suelos y a recurrentes crisis alimentarias durante el siglo 14 en la Europa del Norte. Sumado a un súbito empeoramiento de las condiciones climáticas (comienzo de la "pequeña edad de hielo"), ocurrieron sucesivos fracasos de las cosechas entre 1315 y 1322. Las consecuencias fueron catastróficas: el hambre hizo presa de las comunidades rurales y hubo una enorme mortandad de gente. Este episodio marcó el fin del próspero período de expansión económica y demográfica que se vivió durante el "óptimo medieval".

Inevitablemente, el hambre las enfermedades (conocidas genéricamente como "peste") se expandieron rápidamente y mataron a cientos de miles de personas (Fagan, 2009).

Ya en la Edad Moderna entre los siglos 15 y 19, la agricultura continuó como pilar básico de la economía. En Europa, dos tercios de la población trabajaban en ella. Con la intensificación del comercio, los alimentos y los subproductos de la ganadería (cueros y lana) hubo un creciente intercambio comercial entre los países. La propiedad de la tierra continuó siendo, como en el Medioevo, el factor que definió la estratificación social de los países, y en gran medida las estructuras feudales persistieron en el centro, norte y este de Europa. Sin embargo, en algunos lugares en los cuales había emergido una burguesía próspera con mente abierta y receptiva a los cambios (como en Inglaterra, Holanda y el norte de Italia), las tierras comunales salieron al mercado y fueron adquiridas por burgueses que se habían enriquecido a través del comercio. Una nueva clase social, de creciente poder económico y político, hacía su presentación en sociedad.

Los sistemas y métodos de producción no habían cambiado mucho desde la Edad Media. Y tampoco la variedad de cultivos, que seguía centralizada en el trigo, la cebada, la avena y el centeno. Se continuó arando mediante sistemas de tracción a sangre, incorporando a las mulas como animal de tiro. El arado de vertedera se difundió en el norte de Europa, y la hoz, la guadaña y la trilla se convirtieron en elementos comunes de trabajo. En tanto, la población siguió en aumento y la demanda de nuevas tierras obligó a avanzar sobre nuevas áreas boscosas, proceso que se agravó debido a la demanda creciente de madera para las construcciones urbanas y navieras. También se expandieron las tierras de pastoreo, las cuales proveyeron un beneficio extra a los agricultores como fuente de abono. Sin embargo, como los suelos declinaban en su capacidad productiva, muchos campesinos buscaron otras actividades para mantener sus ingresos o,

directamente, migraron hacia las ciudades y centros poblados en busca de alternativas laborales.

A finales del siglo 16 y comienzos del 17, en algunas regiones del norte de Europa (principalmente en Holanda) aumentó significativamente la productividad de la tierra debido a la incorporación de tecnologías no aplicadas hasta entonces: la reducción del período de barbecho, la rotación de cereales con pasturas y cultivos para forraje, y el abonado sistemático de las tierras. Los agrónomos ingleses se sintieron rápidamente atraídos por este modelo, lo copiaron y lo adaptaron a sus ambientes, disparando lo que hoy se conoce como la Revolución Agrícola del siglo 18 (De Maddalena, 1979).

Junto a la acelerada expansión territorial de la agricultura ocurrieron problemas ambientales y sociales no conocidos hasta entonces. A las guerras, las enfermedades y las sequías que acompañaron el enfriamiento del clima durante el siglo 17, se sumaron las imparables invasiones de langostas que devastaron los cultivos y los pastizales en un vasto territorio. Por primera vez se vio Europa sumida en una situación de inseguridad alimentaria de gran alcance geográfico. Las poblaciones reaccionaron a esa plaga cavando zanjas y enterrando a los ejemplares jóvenes en un intento por detener su avance, con suerte variable. Años después se descubrió que también eran eficaces los sebos elaborados con arsénico, y así, de manera embrionaria, se inició la era del control químico de las plagas. Con marchas y contramarchas la agricultura europea persistió sin grandes progresos pero, peso a todo, permitió sostener durante más de un siglo a una población que no paraba de crecer. A mediados del siglo 19 se desató en Irlanda una tragedia socio-ambiental de enorme envergadura: la denominada"Gran hambruna". La mayor parte de la población irlandesa estaba integrada por agricultores que se alimentaban casi exclusivamente de patatas y usaban esa hortaliza como bien de cambio. El monocultivo y la falta de diversidad genética de las variedades

utilizadas determinó que la cosecha de 1845 fuera destruida totalmente por un hongo (*Phytophthora infestans*) denominado roya, que se había propagado desde América del Norte a Europa. No había tecnologías para frenar la enfermedad. Los cultivos se perdieron a una escala sin precedentes y el hambre estalló en las comunidades rurales. Gran cantidad de agricultores que consumieron patatas podridas a falta de otros alimentos, enfermaron y murieron. Comunidades enteras fueron afectadas por el cólera y el tifus, y cientos de miles de personas emigraron hacia pueblos y ciudades en busca de ayuda. En los centros urbanos se desataron epidemias de fiebre tifoidea, cólera y disentería que causaron más muertes que la propia hambruna. Muchos pobladores que decidieron emigrar hacia América del Norte murieron hacinados y enfermos en los barcos que los transportaban. Se estima que alrededor de un millón de irlandeses murieron a causa del hambre y las enfermedades. Este drama ambiental transformó profundamente la vida y la propia historia social y económica de Irlanda, de Gran Bretaña y aún de los Estados Unidos.

## Entre dos revoluciones

La agricultura comenzó a experimentar cambios revolucionarios a comienzos del siglo 20. Ocurrieron dos hechos que marcarían el desarrollo posterior de la tecnología agrícola: se generalizó el uso de abonos químicos y se mecanizaron las operaciones de labranza y cosecha. Ambos fueron acompañados por progresos significativos en el conocimiento de los suelos y la introducción de prácticas agronómicas que mejoraron su explotación productiva (Solbrig y Solbrig, 1994).

El método de Haber-Bosch condujo a la síntesis química de nitrato de amonio, un efectivo fertilizante químico de las plantas

que permitió reemplazar los abonos orgánicos, un recurso que se tornaba escaso. Fue patentado por el químico alemán Fritz Haber poco después del año 1900 y comercializado con éxito por Carl Bosch a partir de 1910, mientras trabajaba para la compañía química alemana BASF. Ambos recibieron posteriormente el Premio Nobel de Química. La base del proceso es la reacción que permite combinar el nitrógeno y el hidrógeno existentes en el aire para formar amoníaco, que al oxidarse produce nitritos y nitratos, dos compuestos esenciales de los fertilizantes nitrogenados.

El otro hito clave fue la mecanización agrícola, iniciada con la aparición del tractor. Los historiadores de la tecnología consideran que el acto fundacional de la mecanización ocurre en 1892, cuando John Froelich adicionó un motor de gasolina de 20 HP al chasis de un vehículo de vapor y lo equipó con un dispositivo de transmisión. A pesar de ser muy rudimentario para los estándares actuales, el tractor autopropulsado de Froelich poseía los elementos básicos de un tractor agrícola moderno. Este invento permitió que las tareas de labranza se realizaran a una escala y a una velocidad inconcebible en aquellos tiempos. El prototipo evolucionó, se comercializó exitosamente y fue incorporado rápidamente por los granjeros más avanzados. El tractor es en la agricultura moderna una herramienta imprescindible para la tracción, el remolque, el empuje y la transmisión de fuerza a partir de su toma de potencia. Los aumentos de la producción de granos a escala global durante la primera mitad del siglo 20 estuvieron asociados a esta innovación mecánica revolucionaria. En Estados Unidos, a fines del siglo 19, un granjero medio producía lo suficiente para alimentar de tres a cinco personas. Con la aparición del tractor y otras tecnologías, el mismo granjero pudo producir alimentos para dar de comer a más de 100 personas.

Más allá de la innegable relevancia de ambas innovaciones, las dos grandes revoluciones de la agricultura moderna ocurrieron una vez concluida la Segunda Guerra Mundial. Hoy las conocemos como "Revoluciones Verdes".

La Primera Revolución Verde fue un proceso de incorporación tecnológica y modernización productiva que adquirió gran predicamento una vez culminada la Segunda Guerra Mundial, durante las décadas de 1960 y 1970. Hasta ese momento, la fuerte expansión demográfica generaba penosas hambrunas en el mundo menos desarrollado. Los aumentos de producción se lograban a través de la expansión geográfica de los cultivos sobre nuevas tierras, generalmente de bosques y pastizales, pero ese recurso no alcanzaba para compensar la creciente demanda de alimentos de una población que crecía a un ritmo muy alto. La productividad de cada unidad de tierra (representada por una hectárea o un acre), permanecía relativamente estancada o aumentaba muy lentamente. El gran salto productivo fue el resultado de una serie de investigaciones, desarrollos e iniciativas de transferencia de tecnología encabezadas por un agrónomo estadounidense de prestigio internacional, Normal Borlaug, quien recibiría años más tarde el Premio Nobel de la Paz en reconocimiento a su labor. En esa historia, fue crucial el papel de la Fundación Rockefeller para el establecimiento en México, en 1943, del Centro Internacional del Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), liderado precisamente por Borlaug. Fue el nodo más importante del mundo en la producción de nuevas variedades de maíz y trigo. El éxito de esta gigantesca iniciativa, centrado en un aumento espectacular de los rendimientos por hectárea de los principales cultivos (trigo, maíz y arroz), permitió salvar del hambre a más de mil millones de almas. La ecuación fue conceptualmente sencilla: incorporación de variedades de alto rendimiento, uso de fertilizantes, plaguicidas y manejo del agua en el suelo, todo ello acompañado por una mecanización de las operaciones, una modernización de la infraestructura de riego, y una aplicación de técnicas efectivas de gestión. Se requería una inversión significativa de capital. En apenas 20 años, casi la mitad de las tierras de los países en desarrollo que producían arroz, trigo y maíz estaban sembradas con las

nuevas variedades, y la producción bruta para esos cultivos había crecido anualmente a un ritmo de 3.1%, 5.1% y 3.8%, respectivamente, para cada uno de esos cereales (FAO, 2000). Sin embargo, como veremos en la sección siguiente, este Primera Revolución Verde recibió duras críticas por parte sectores de la sociedad que no compartían este modelo productivo.

La Segunda Revolución Verde, si bien se considera iniciada aunque no culminada, ha tenido poco desarrollo en varias regiones del planeta. Su base de sustentación es el conocimiento científico de avanzada en los campos de la física, la química y la biología. Algunos estudiosos de la tecnología consideran, sin embargo, que esta segunda revolución no es tal, y que se trata de una prolongación de la primera. Pero hay diferencias. La primera revolución supuso la aplicación de la genética clásica, denominada mendeliana, al mejoramiento de los cultivos y ganados. Es cambio, la segunda revolución se funda en la aplicación de conocimientos y técnicas que caen dentro del campo de la ingeniería genética, rama de la biología que adquirió enorme desarrollo a partir del momento en que los científicos James Watson y Francis Crick lograron dilucidar en 1952 la estructura del ADN, base molecular de la herencia. Es éste el descubrimiento clave que condujo años después a la creación de organismos genéticamente modificados (OGM), conocidos popularmente como "transgénicos". Son, esencialmente, organismos creados en un laboratorio mediante técnicas que permiten transferir, de un individuo a otro, uno o más genes que expresan características deseables para quien los manipula. De esta manera, se logra modificar su genoma original, o sea aquél que permite diferenciar un tomate de una manzana o de un perro. Hoy, los límites para la creación de nuevos organismos son teóricamente infinitos. Es posible imaginar combinaciones inéditas entre animales, plantas, bacterias y hongos. Esta transferencia de genes ha encontrado aplicaciones inesperadas en la agricultura. Uno de los ejemplos más

difundidos es el maíz transgénico *Bt*, un tipo de maíz al que se le han insertado genes de la bacteria *Bacillus thuringiensis,* responsable de producir las proteínas que protegen a la planta del ataque de insectos como el barrenador del tallo. Otro caso muy difundido es el de la tolerancia a herbicidas (TH), por ejemplo, la soja transgénica tolerante al herbicida Glifosato. Existe en los vegetales una enzima llamada EPSPS que permite la síntesis de algunos aminoácidos aromáticos esenciales para construir proteínas. Si se inactiva la enzima EPSPS, la planta deja de construir esas proteínas vitales y al cabo de un tiempo muere. Esa enzima sólo está presente en plantas y microorganismos inferiores, tales como bacterias y hongos, y ausente en animales y humanos. En la década de 1970 se descubrió que el herbicida Glifosato inhibía la actividad de la enzima, y que la aplicación de ese herbicida a las plantas las conducía a una muerte inevitable. Pero para sorpresa de los investigadores se descubrió que existían plantas tolerantes al Glifosato, y que esa tolerancia se explicaba por la existencia de un gen de una bacteria del suelo conocida como *Agrobacterium tumefaciens,* cuya enzima EPSPS no era afectada por el Glifosato. De ahí que su inserción en el genoma de algunas plantas (la soja, en nuestro ejemplo) generaba líneas resistentes al herbicida. Ese hallazgo tuvo enormes repercusiones productivas, económicas y tecnológicas. Como el Glifosato es un herbicida total que mata a todas las malezas pero no afecta a la soja transgénica, se había encontrado la bala de plata, o sea, el "herbicida perfecto" para neutralizar las malezas sin afectar el cultivo. Ese evento transgénico disparó un éxito inmediato y el cultivo de la soja se expandió exponencialmente gracias a esta innovación. Varios años más tarde empezaron a aparecer malezas resistentes o tolerantes al herbicida, lo cual impone de nuevo la búsqueda de soluciones alternativas.

Los cultivos transgénicos de la Segunda Revolución Verde vienen acompañados de otras innovaciones de transcendencia

práctica. Una de ellas es la denominada "labranza cero" o "siembra directa", que no tiene los impactos negativos de la labranza convencional sobre el suelo y minimiza el uso de combustibles fósiles. Permite reducir tanto la erosión del suelo como la emisión de gases de efecto invernadero. La otra innovación importante está conformada por un conjunto de técnicas y procedimientos que forman parte de la denominada "agricultura de precisión", que permite realizar una gestión pormenorizada de las parcelas productivas en base a la variabilidad de sus sitios. La variabilidad es medida a través de las diferencias que se detectan dentro de un cultivo y entre cultivos. Para ello se requiere un conjunto de tecnologías integradas por un sistema de posicionamiento global, un sistema de sensores conectados a satélites que permite elaborar imágenes de rendimiento de los cultivos, y un sistema de información geográfica que integra la información obtenida. Estos datos permiten mapear los suelos de cada potrero, optimizar densidades de siembra, y minimizar la aplicación de fertilizantes, plaguicidas y otros insumos. Estas dos tecnologías, junto al riego por goteo en tierras irrigadas, reducen significativamente los impactos negativos que las tecnologías de la Primera Revolución Verde impusieron sobre el ambiente.

## El juicio y la crítica

Las críticas a la primera y segunda revolución verde no se hicieron esperar una vez que se difundieron en países desarrollados y en desarrollo.

Uno de los argumentos más utilizados en contra de la primera revolución verde fue que si bien la mejora genética permitió aumentar notablemente los rendimientos de los cultivos por hectárea, éstos se tornaron más sensibles a las plagas y enfermedades

y a la escasez de nutrientes en el suelo. Por lo tanto, esa mejora tecnológica debía ir necesariamente acompañada de un mayor uso de fertilizantes y plaguicidas, lo cual generó una creciente dependencia de los productores respecto a esos insumos y, por ende, a las grandes corporaciones comerciales que los proveían. Se criticó asimismo con vehemencia el impacto negativo que el uso de esos insumos tenía sobre el ambiente. Como los insecticidas, los fungicidas y los herbicidas utilizan venenos químicos para combatir las plagas, se arguía que esa toxicidad se trasladaa los humanos, animales domésticos y otros organismos benéficos como los insectos polinizadores. Se insistía en que el mal manejo de los plaguicidas por parte de operarios no entrenados era causa de muerte por intoxicación de muchos trabajadores rurales en los países en desarrollo. También se reprobaba el uso extensivo de los fertilizantes químicos porque incorporaban grandes cantidades de nutrientes (como el nitrógeno y el fósforo) que alteraban, en el mediano y largo plazo, el ciclo natural de esos elementos en la naturaleza y contaminaban el entorno. Se denunciaba que menos del 20% del amoníaco incorporado como fertilizante nitrogenado era aprovechado por los cultivos; el resto se perdía en el ambiente y contaminaba el suelo, el aire y el agua. La acumulación del nitrógeno excedente en las aguas favorecía la eutroficación, es decir la proliferación de algas y otras especies vegetales indeseables, causando una pérdida medible del oxígeno que necesitaban otras especies acuáticas para sobrevivir. A la expansión de la agricultura moderna se le atribuía la destrucción del hábitat que sirve de refugio a muchas especies naturales de la flora y de la fauna, y la pérdida de biodiversidad. También se denunciaba que la primera revolución verde impuso un uso creciente de agua de riego en el medio rural, entrando en competencia con demandas vitales de agua en las poblaciones urbanas. Otro foco de la crítica era que, debido a las exigencias de capital, insumos y conocimiento, la tecnología moderna no era accesible a los productores pobres de los países en desarrollo.

Las tecnologías de la segunda revolución verde tampoco escapan a las críticas. Los ecologistas advierten enfáticamente acerca del riesgo de introducir masivamente organismos genéticamente modificados en el ambiente rural. La inserción de genes "foráneos" en los cultivos modernos abre la posibilidad de que uno o más genes puedan "fugar" de la planta modificada y terminar donde no deberían estar. O sea, transferirse involuntariamente a especies y variedades naturales o naturalizadas de la flora de una región, las cuales se podrían convertir en "súper-malezas" que resistan el ataque de los herbicidas comunes. Otro tanto podría ocurrir con la "propiedad insecticida" de algunos genes introducidos a los cultivos, los cuales serían inefectivos si aparecieran en escena "súper-insectos" insensibles a ellos. También advierten que el "principio insecticida" transferido genéticamente a algunos cultivos, como sería el caso del maíz transgénico *bt*, podría tener efectos tóxicos sobre los humanos que consumen sus granos u otras partes de la planta. Se enfatiza también que las plantas *bt* no sólo pueden matar a los organismos nocivos, sino también a los organismos beneficiosos (polinizadores y agentes de control biológico de plagas) para la agricultura.

Se critica también el concepto de propiedad intelectual de las variedades transgénicas y las patentes que obligan al productor a pagar regalías por su uso. Los grupos que más resisten estas innovaciones sostienen que nadie tiene derecho a apropiarse de genes que ya estaban presentes en la naturaleza. Quienes intentan ir más allá en el combate, sostienen que las semillas transgénicas son controladas por unas pocas corporaciones transnacionales que dominan el mercado de semillas. Advierten que muchos países agrícolas están entregando su soberanía alimentaria a unas pocas empresas de agro-negocios que condicionan su futuro.

También los bio-combustibles caen dentro del cono de la crítica. Las razones que justifican su producción son simples: La primera razón es que pueden sustituir a los combustibles fósiles

sin desventaja aparente. La segunda es que la síntesis de los mismos se basa en reutilizar el carbono atmosférico (presente en el aire), sin recurrir al carbono fósil contenido en el petróleo y sus derivados. La tercera es una consecuencia de la anterior, y es que su efecto sobre las emisiones de gases invernadero es neutro, porque el carbono que se emite es el que se había extraído previamente de la atmósfera, sin sumar nuevos flujos provenientes del carbono fósil.

Estos argumentos son causa de mucha controversia. Por ejemplo, el reconocido científico David Pimentel, de la Universidad de Cornell (EEUU), ha demostrado en sus estudios que el bioetanol de maíz, por ejemplo, utiliza 29% más energía fósil de la que produce como energía renovable (Pimentel et al., 2008). Y que el biodiesel generado a partir de la soja y del girasol requiere para su síntesis, respectivamente, 27% y 118% más energía fósil de la que pueden producir como bio-combustibles ¿Cómo realizó sus cálculos? Haciendo jugar la energía fósil utilizada para producir fertilizantes y plaguicidas, y para motorizar las actividades de labranza, cosecha, molienda, transporte, destilación y distribución del producto. Las organizaciones ecologistas enfatizan que el proceso que convierte los alimentos en carburantes es básicamente inmoral, porque mientras muchas poblaciones pobres sufren hambre, las sociedades ricas recurren a los alimentos para quemarlos como combustible. Y agregan que la oferta de alimentos decae, y su precio aumenta, cuando son utilizados para producir energía, con lo cual son los pobres que no pueden pagarlos los más afectados. Por otro lado, el Premio Nobel de Química 1988, el alemán Hartmut Michel, estima que los bio-combustibles no reducen emisiones sino que las incrementan, ya que en países como Brasil, Indonesia, Malasia y varias regiones de África, se deforestan anualmente grandes superficies para producir cultivos destinados a elaborar bio-carburantes.

En medio de estas discusiones, aparecieron estudios que demuestran que solamente el etanol proveniente de la caña de azúcar puede generar un balance energético favorable a los bio-combustibles, es decir, que el producto final libera más energía biológica que la consumida como energía fósil. Esta situación se da con el bio-etanol de producción brasileña. Pero aquí no termina la historia. Algunos autores alegan que el problema ambiental se agrava porque la producción de bio-etanol exige una extracción excesiva de agua y nutrientes –mucho mayor que la que extraen los granos– degradando aceleradamente los suelos, especialmente en ambientes tropicales de suelos pobres en materia orgánica y minerales, y con escasa oferta de agua. Otros autores coinciden en señalar que los bio-combustibles de segunda y tercera generación, o sea aquellos obtenidos por fermentación de residuos orgánicos (como el metano) existentes en los residuos orgánicos y basurales, tienen ventajas evidentes respecto a aquellos provenientes de los cultivos.

Otro foco fuerte de crítica es que el avance de los cultivos para producir alimentos, fibras y bio-combustibles se asocia, en tiempos recientes, a una expansión hostil sobre grandes espacios de tierras, muchas de ellas ocupadas históricamente por indígenas y campesinos pobres. Este fenómeno ha sido denominado en inglés *"land grabbing"* (o apropiación de tierras, en español), y el proceso es generalmente vehiculizado a través de importantes fondos de inversión aplicados en proyectos agrícolas (Stefani, 2011). Para este autor se genera así una relación inequitativa con los ocupantes originales de las tierras intervenidas, y se disparan procesos de corrupción entre autoridades gubernamentales que favorecen ese sistema de despojo. Las críticas más extremas sostienen que el aumento en la producción de alimentos *per se* no asegura una posterior distribución equitativa de los beneficios.

# Un juego de ataque y defensa

En la agricultura moderna aparecen numerosas sinergias y conflictos que se utilizan tanto para defenderla como para atacarla. En relación a décadas pasadas, los planteos agrícolas actuales se han simplificado de manera inequívoca al privilegiar pocos cultivos de alta productividad y alta homogeneidad genética. En general, ellos son más rentables y su manejo más simple. El precio de la simplificación es la pérdida de diversidad genética y de heterogeneidad en el paisaje. Los críticos de este formato de agricultura señalan que pocos cultivos muy homogéneos, con ciclos vegetativos que se concentran en una misma temporada, predisponen a varios tipos de riesgo: el climático (sequía, granizo), el económico (inestabilidad de los precios), el físico (degradación del suelo) y el biológico (ataque de plagas y enfermedades). Asimismo, se aduce que estos sistemas promueven la agricultura continua y el doble cultivo anual, induciendo una labranza frecuente, un mayor riesgo de erosión del suelo y una extracción selectiva de nutrientes.

Quienes defienden el esquema indican que tecnología moderna ayuda a contrarrestar varias de esas debilidades: por un lado, la siembra directa (SD) y otras formas de labranza mínima reducen el riesgo de erosión; por el otro, la fertilización mejora el balance químico de los suelos y los plaguicidas permiten atacar eficazmente las plagas y malezas. Frente a esta respuesta, emerge otra crítica: los fertilizantes y los plaguicidas pueden disparar episodios de contaminación ambiental y toxicidad sobre los humanos y los animales. Para contrarrestar ese riesgo, los defensores del sistema promueven el manejo integrado de plagas (MIP), que es una combinación de técnicas destinadas a reducir la aplicación de plaguicidas. Sus fundamentos conceptuales son la diversificación de actividades (que promueve una mayor heterogeneidad genética), el uso de cultivos más rústicos y resistentes a plagas

(generalmente de menor rendimiento), la rotación sistemática de los cultivos (que complejiza y diversifica el planteo productivo y el paisaje rural) y la labranza con herramientas convencionales (como método para quebrar el ciclo biológico de plagas y malezas). Naturalmente, compatibilizar ambos enfoques no es tarea sencilla: la SD no siempre se lleva bien con el MIP. Sus fundamentos tienen una génesis opuesta. La SD minimiza el uso de combustible fósil en labranzas y contribuye a reducir las emisiones de gases invernadero; el MIP los incrementa. La SD reduce el riesgo de erosión y mejora la acumulación de materia orgánica en el suelo. El MIP tiene un efecto opuesto porque recurre a más actividades de labranza. La SD directa combate las plagas mediante químicos que pueden perjudicar la salud; el MIP lo hace mediante procedimientos físicos y biológicos que quiebran el ciclo biológico de las plagas minimizando el riesgo de contaminación. Los críticos de la SD sostienen que la menor emisión de gases invernadero es relativa, ya que se contrarresta con un mayor uso de plaguicidas cuya manufactura impuso, en una etapa previa, una alta emisión debida a un consumo significativo de energía fósil. Asimismo señalan que hay evidencias de que la SD aumenta las emisiones de óxido nitroso, lo cual contrarresta la ventaja de usar menos combustibles fósiles. Como se puede apreciar, buscar opciones donde todos ganan (*win-win*) son utópicas en la producción agrícola.

Una de las críticas recurrentes que se le imputan a la agricultura moderna es que su modelo tecnológico ha privilegiado la producción de cultivares alto rendimiento que tornan a los productores muy dependientes de los insumos que solo proveen las grandes corporaciones que los producen y comercializan. Pero muchos sostienen que esta crítica es injusta, ya que la agricultura de alto rendimiento permitió de manera expeditiva combatir hambrunas masivas que, de otra manera, habrían persistido hasta hoy. Y que ha sido la ineficacia de los sistemas públicos de ciencia y tecnología la que explica que las corporaciones comerciales hayan

producido las innovaciones tecnológicas necesarias y dominado el mercado de las mismas. En este contexto, consideran natural que cualquier inversión privada que ha permitido la generación de tecnologías exitosas obtenga un beneficio acorde a su contribución. Paarlberg (2010) señala que, en última instancia, siempre es mejor que la sociedad tenga abiertas estas opciones antes que carecer de ellas.

Otra crítica frecuente es que el uso de plaguicidas en manos de trabajadores rurales no capacitados ha dado lugar a episodios recurrentes de intoxicación y muerte en países pobres. Quienes rechazan la crítica señalan que esas limitaciones y accidentes no son un problema achacable a la agricultura moderna, sino a la pobreza y a la falta de educación. Y que en la medida que esos problemas estructurales persistan, no es esperable que esos países puedan beneficiarse de todo el potencial que ofrecen las nuevas tecnologías agrícolas.

Frente al juicio que advierte acerca de los riesgos de contaminación del agua y del aire que imponen los fertilizantes y plaguicidas, los defensores de la agricultura moderna arguyen que no es posible producir alimentos para más de 7000 millones de habitantes sin usar insumos y tecnología avanzada. Agregan que los episodios de contaminación que se atribuyen a la agricultura también ocurren con cualquier proceso masivo, como la producción excesiva de basura y desechos en las urbes modernas, y las emisiones debidas al tránsito vehicular y al uso residencial de energía fósil. Suelen acompañar su defensa con una pregunta relevante: ¿Qué sistemas alternativos de producción proponen quienes estigmatizan la agricultura moderna? La defensa indica, asimismo, que pese al uso creciente de insumos, la agricultura moderna ha desarrollado métodos y técnicas para minimizar sus efectos negativos, como ocurre con la siembra directa, los plaguicidas de bajo impacto, los fertilizantes de liberación lenta o la denominada "agricultura de precisión".

Salvo los cambios que produce en el hábitat natural la expansión de la frontera agrícola, no se ha demostrado que los métodos de la agricultura moderna afecten decisivamente a la biodiversidad. Suele percibirse cierta exageración en las cifras disponibles. Pero resulta complejo dilucidar este asunto, entre otras razones porque no hay cifras definitivas y seguras acerca de la pérdida general de biodiversidad (solo hay registros de algunas especies) a escalas local, regional y global. Tampoco existen datos que demuestren cómo otros factores ajenos a la agricultura (como el clima, la urbanización o la industrialización) pueden afectarla.

Una crítica particularmente intensa se ha dado en los últimos años respecto al uso de los cultivos transgénicos. La amenaza de producir "súper-malezas" o "súper-insectos", o de liberar cultivos modificados que portan genes con efecto plaguicida, han sido causa de acalorados debates (Green Facts, 2004). Más allá del riesgo teórico que plantean los críticos, los países que han incorporado cultivos transgénicos no han registrado daños verificables sobre la salud o el ambiente. Está demostrado que los productores que incorporaron "genes insecticida" en sus cultivos utilizan menos plaguicidas, con lo cual reducen el riesgo de contaminación del ambiente, y eliminan al mismo tiempo los episodios de intoxicación y muerte en trabajadores rurales. Es así que se han aprobado en el mundo más de cien cultivos transgénicos con "genes insecticida" para consumo humano y animal en un lapso de 15 años. De acuerdo a datos que ofrece la Organización Mundial de la Salud (2015), las nuevas variedades han sido hasta ahora tan seguras como los cultivos convencionales. Quienes defienden el uso de materiales transgénicos sostienen, por ejemplo, que si bien no se conocen completamente los mecanismos involucrados ni los efectos a largo plazo del consumo de la proteína *Bt*, la misma se inactiva en el medio ácido del estómago humano y se activa, en cambio, en el estómago alcalino de los insectos que hay que combatir (Pardo-López et al., 2013).

Respecto a la crítica acerca del valor relativo de las patentes sobre transgénicos que detentan las corporaciones comerciales, muchos productores se refugian en ese argumento para no pagar regalías por la innovación en generaciones sucesivas de semillas. Quienes defienden la posición de las corporaciones señalan que esa resistencia a reconocer una patente puede impedir la introducción de tecnologías novedosas, o disuadir a las empresas a desarrollar nuevos eventos.

A la producción de bio-combustibles se le objetan varias cosas: que no es ético "quemar" alimentos para producir energía, que tienen un costo en energía fósil mayor al de la energía que aportan, que sus emisiones de carbono tienen un costo que se imputa a los países oferentes pero se descarga en los países demandantes, que inducen la conversión de tierras naturales en tierras agrícolas y el desplazamiento de poblaciones nativas (Demirbas, 2009). Quienes defienden la producción aducen que el balance energético de estos combustibles biológicos depende del método que se aplique para calcularlo; una cosa es calcular el proceso productivo "tranqueras adentro" y otra distinta es calcularlo a lo largo de toda la cadena agroindustrial. Pese a la necesidad de inversión que exige su producción, y la competencia con la producción de alimentos, algunos autores creen que pueden ser una opción viable en regiones de pequeña agricultura para reducir el costo y la dependencia de los combustibles fósiles. También se señala que muchas de las críticas quedarían superadas por los progresos tecnológicos. Existen avances significativos en genómica, biotecnología, procesos químicos e ingeniería que permitirían producir, en pocos años, un nuevo paradigma en el campo de las bio-refinerías. Por el lado de la genómica, se trabaja sobre la arquitectura de especies con alta producción de biomasa para lograr "plantas a medida", con lo cual se logra mejorar su capacidad de fotosíntesis y su respuesta al fotoperíodo. Asimismo, se procura

reducir el período de latencia, postergar la caída de las hojas y mejorar su relación biomasa aérea-biomasa subterránea.

Como se señalara anteriormente, un foco muy fuerte de la crítica se ha concentrado en el fenómeno conocido como "apropiación de tierras" *(land grabbing*), que representa una expansión hostil de grandes capitales invertidos en agricultura sobre tierras naturales y tierras ocupadas históricamente por indígenas y campesinos pobres. En muchos casos, la concesión a largo plazo de tierras a corporaciones internacionales inversoras ha sido asociada a casos inaceptables de corrupción gubernamental, y a una explotación inequitativa de los recursos humanos y naturales de países poco desarrollados (Stefani, 2011). No obstante, quienes defienden este modelo sostienen tales inversiones son un medio para modernizar la agricultura de esos países, acceder a nuevas tecnologías e infraestructura productiva, impulsar el empleo y el desarrollo local, producir auto-suficiencia alimentaria y generar excedentes agrícolas para la exportación.

CAPÍTULO 6

# Recursos en fuga

El suelo y el agua son, seguramente, los dos recursos naturales que, al interactuar, más atención han recibido de parte de las ciencias y la praxis agraria. Alrededor del 99% del suministro de alimentos en el mundo derivan de la producción de tierras agrícolas y ganaderas. Para la agronomía clásica, el suelo es el medio –con sus componentes sólido, líquido, gaseoso y biológico– en el que crecen las plantas. Durante décadas, en las universidades se nos enseñó que un suelo oxigenado, con buena estructura y densidad de materia orgánica, con buena capacidad para liberar agua y nutrientes a la planta, y con acidez moderada, es esencial para una tener una agricultura productiva y eficiente. Si esas condiciones no se dan, es poco probable que los cultivos prosperen, aunque el clima, las labores, las semillas, los fertilizantes y el riego acompañen. Por supuesto que estos principios han tenido y tienen validez universal, pero las visiones y los enfoques van cambiando y hoy debemos mirar también al suelo y al agua desde otras perspectivas novedosas.

# Suelo y erosión: la mirada histórica

La erosión del suelo ha sido uno de los fenómenos que más ha ocupado, y preocupado, a la ciencia agraria y a la agronomía práctica. Es un proceso de desagregación, transporte y deposición de materiales del suelo causado por agentes erosivos naturales o antrópicos (Ellison, 1947). Cualquier estudiante de agronomía puede fácilmente responder que la erosión del suelo es un problema de importancia mayor en la agricultura moderna.

Sin duda, la erosión afecta tanto la fertilidad como la estructura de los suelos, y ambos tienen un efecto acumulativo directo que compromete la producción agrícola y ganadera. Sin embargo, los estudios a campo que cuantifican la pérdida de sedimentos por erosión del suelo no abundan. Muchos estudios globales (que se pueden encontrar en la web) hacen estimaciones indirectas a partir de las ecuaciones universales que intentan predecir la erosión causada por el viento y el agua. Si bien esos cálculos no tienen generalmente la certeza que proveen los estudios de campo, son útiles porque permiten inferir efectos que no son instantáneos, sino acumulativos y dispersos en el tiempo. Es decir, los efectos de un proceso erosivo pueden hacerse visibles en los rendimientos agrícolas 10 o 20 años después de haberse iniciado.

A menudo el productor no percibe los efectos inmediatos de la erosión, y cuando los percibe, ya es tarde. El proceso comienza con una degradación gradual de la estructura, la materia orgánica y el stock mineral de los suelo. Esos efectos no se aprecian en el rendimiento de los cultivos, ya que a menudo son contrarrestados por la aplicación de enmiendas orgánicas, rotaciones y fertilización. A medida que la materia orgánica y la estructura decaen, el productor comienza a percibir algunas señales inequívocas del efecto erosivo, como la tendencia del suelo a compactarse luego de una labranza. Las "costras" de suelo compactado reducen la

infiltración del agua y afectan el desarrollo de las raíces. Es aquí donde se manifiesta el efecto menos deseado: la pérdida de rendimiento de los cultivos, aun cuando los niveles de fertilización hayan ido en aumento. La fase más crítica de la erosión ocurre cuando el suelo vuela a consecuencia del viento, o se producen cárcavas por la acción destructiva del agua. Las voladuras de suelo a gran escala por efecto del viento, de fuerte impacto visual, reciben en inglés la denominación de *dust bowl* (cuenca/cuenco de polvo en español). Cuando estos episodios se visibilizan, suele ser tarde para pararlos. La reversión del proceso y la construcción de una nueva capa de suelo arable puede demorar unos cuantos años, y en ocasiones, décadas. El problema no se restringe solamente a las áreas agrícolas, sino también a otros lugares lejanos donde sedimentan los materiales erosionados. En ocasiones causan problemas de sedimentación de las corrientes y cuerpos de agua (afectando la navegación y problemas de eutroficación, es decir, la proliferación de algas debida al exceso de nutrientes transportado con los sedimentos.

No es sencillo evaluar el impacto económico de la erosión, ya que existen muchas interacciones complejas, no cuantificables, que lo afectan, entre ellas el clima, la pérdida de nutrientes, la pérdida de materia orgánica y estructura del suelo, la compactación, la incapacidad de retener agua, etc. (USDA, 1981).

La recuperación de un suelo degradado no siempre es una tarea viable en sus aspectos técnicos y económicos. En general, las soluciones pasan por mejorar la cobertura vegetal de los suelos, recuperar niveles aceptables de materia orgánica, recurrir a fertilizantes cuando eso es posible, e introducir labranzas reducidas o labranza cero cuando los suelos vuelven a ser cultivados. No todos los suelos responden igual; generalmente ocurre una respuesta diferenciada que depende de las propiedades físicas y químicas del material residual y de la gravedad de la erosión previa.

# Replanteando roles

No podemos ignorar que los suelos están sometidos a presiones antrópicas directas e indirectas que van más allá de la erosión. Hoy percibimos impactos no previstos ni considerados décadas atrás. En respuesta a la gran expansión demográfica de los humanos, problemas tales como la seguridad alimentaria, la seguridad ecológica y ambiental, la seguridad hídrica, la seguridad energética y la seguridad climática se han colado e instalado en el centro del escenario. En ese contexto, el suelo deja de ser un simple proveedor de nutrientes y agua para las plantas, y pasa a ser una fuente de servicios ecosistémicos esenciales. Es así que excede el campo estrictamente agronómico, y además de alimentos, fibras, bioenergías y materias primas, hoy se mira al suelo como un proveedor de otros servicios tales como el secuestro de carbono, el control del clima, la regulación de los flujos de agua, la provisión de hábitat, el ciclado de nutrientes, etc. Este rol ampliado exige abordar un entramado complejo de interacciones entre el suelo, el agua y la biomasa (superficial y subterránea) de las plantas y microorganismos. Los cambios en el uso y cobertura de las tierras, o sea, el pasaje de bosques y pastizales a pasturas y cultivos, implican la remoción de grandes volúmenes de biomasa que cambian la estructura y la funcionalidad del ecosistema y del propio suelo, por encima y debajo de su superficie. Es así que los suelos no son considerados, como antes, un componente aislado del ecosistema (Smith et al., 2016), sino como un centro en si mismo donde convergen interacciones esenciales para la vida.

El carbono y nitrógeno adquieren hoy particular relevancia en los suelos, por ser éste una fuente de emisión de gases de efecto invernadero, como un sumidero que secuestra parte del anhídrido carbónico que se acumula en la atmósfera y calienta el planeta. Sabemos ahora que los suelos constituyen la principal reserva terrestre de carbono orgánico, la cual es tres veces mayor que la

cantidad de carbono total que hay en la atmósfera, y 240 veces mayor que las emisiones de carbono fósil que se emiten anualmente en el planeta. Paustian et al. (2016) nos hablan hoy de hacer un manejo "climáticamente inteligente" de los suelos. Las investigaciones emergentes y los desarrollos en la tecnología de la información como el uso de modelos de simulación y el análisis de grandes bases de datos (*big data analysis*) permiten considerar a los suelos como un componente clave en las futuras políticas de mitigación del cambio climático. Se considera que los suelos contribuyen aproximadamente con un 37% de las emisiones agrícolas de gases de efecto invernadero, principalmente bajo la forma de metano y óxido nitroso. En ese sentido, un suelo manejado de manera "climáticamente inteligente" es aquel que, sometido a prácticas agronómicas precisas, permite modular los ciclos del carbono y del nitrógeno de manera que entre ambos se genere una sinergia que favorezca al clima global. En términos más sencillos, implicaría controlar el balance de gases invernadero de manera que la captura (secuestro) exceda a las emisiones. La implementación supone generalizar prácticas conocidas como la incorporación de residuos vegetales, residuos vegetales carbonizados mediante el fuego (carbón vegetal), estiércol y otros desechos orgánicos como una vía para contrarrestar las emisiones debidas a la deforestación y des-vegetación, a la producción agrícola y ganadera, y a la propia descomposición de la materia orgánica. Por lo tanto, la clave está en incrementar la fijación de carbono, reducir sus pérdidas, o ambas a la vez. Varias tecnologías muy conocidas, como las labranzas conservacionistas, la incorporación de especies con un sistema robusto de raíces, o los cultivos de cobertura, mejoran el resultado de esa ecuación. La sinergia entre carbono y nitrógeno permite no solamente incrementar la fertilidad y la productividad de los suelos, sino también aumentar su diversidad biológica, reducir el escurrimiento de agua y la erosión, minimizar la contaminación, y actuar como un filtro moderador de los efectos del cambio climático.

Un concepto poco explorado en la ciencia agraria tradicional es que los suelos de bosques y pastizales naturales tienen gran parte de su biomasa acumulada en la zona de las raíces, es decir, debajo de la superficie. Es así que los ecosistemas nativos poco perturbados por el hombre poseen stocks de carbono subterráneo mucho mayores que los ecosistemas agrícolas, lo cual indica que los suelos tienen un potencial muy alto, y poco conocido, de secuestro de carbono. Conservar o regenerar esos stocks naturales es parte de un nuevo desafío científico, ya que los mismos son una potente alternativa para mitigar emisiones. La rehabilitación y restauración de las tierras marginales, muchas de ellas degradadas a través de los años, puede lograrse mediante la reintroducción de bosques y pasturas. Los suelos se convierten entonces en el centro focal de una cosmovisión novedosa de la agricultura que ha dado en llamarse "intensificación sustentable". Consiste, esencialmente, en mantener o aumentar los rendimientos agrícolas de las tierras más productivas, liberando otras tierras con la finalidad de reconstruir una reserva de carbono y una fuente de servicios ecosistémicos.

Así como los suelos pueden actuar como sumideros de carbono, no poseen una capacidad demostrada para capturar y secuestrar metano y óxido nitroso, que son dos potentes gases con efecto invernadero que se suman al anhídrido carbónico. En esos casos, la clave no está en intentar capturar y secuestrar esos gases, sino en reducir su emisión a través, por ejemplo, del agregado de aditivos que inhiban bioquímicamente su generación.

## Visible y errático, oculto e incierto

Así como los suelos son un componente relativamente invariante del ecosistema cuyas propiedades se modifican en plazos muy

largos de tiempo, el agua forma parte de un circuito hidrológico muy dinámico, que varía rápidamente en el espacio y el tiempo. Inevitablemente, es un componente bastante inasible, errático e incierto a la hora de ser evaluado por la ciencia.

La lluvia es la principal fuente de agua para la agricultura, pero también es una fuente indirecta que alimenta ríos, arroyos, cuerpos de agua y acuíferos subterráneos que pueden utilizarse más tarde para regar los cultivos. Las lluvias suelen ser erráticas y variables, especialmente en las regiones áridas y semiáridas del planeta, en las cuales el riego es la única fuente de agua que el hombre puede manejar para estabilizar el rendimiento de los cultivos. Sin embargo, no siempre el riego es posible teniendo en cuenta que las fuentes indirectas de agua no siempre están disponibles. Por otro lado, los excesos de lluvia también acarrean problemas a la agricultura, sobre todo cuando los sistemas de drenaje natural o artificial no logran eliminar los excedentes. En ese contexto, no solamente tienen valor los promedios estadísticos de lluvia, sino también su variabilidad anual e interanual. La variabilidad y los valores extremos adquieren una importancia clave tanto para planificar la agricultura de secano, como para diseñar la infraestructura de riego, con sus represas y canales de transporte y distribución del agua.

Cuando los ríos y otras fuentes de agua superficial han sido explotados, con frecuencia al límite de su capacidad, las reservas de agua subterránea comienzan a jugar un rol prominente como proveedoras de agua dulce para el consumo y la agricultura. Pero la sobreexplotación de ese recurso deprime su cantidad y calidad. Debido a que las fuentes de agua subterránea permanecen ocultas debajo de la superficie del suelo, la creencia popular tiende a suponer que se trata de un recurso inagotable, y que además funciona como un gran tanque de purificación con capacidad ilimitada para recibir y eliminar grandes cantidades de sustancias contaminantes. Anualmente

se derraman grandes volúmenes de sustancias tóxicas que infiltran dentro del suelo y contaminan los acuíferos. Sabemos muy poco acerca del origen y del trayecto que sigue el agua subterránea para llegar a un sitio determinado. Tampoco conocemos cuál es el tiempo que le demanda llegar a ese sitio. Lo que sí sabemos es que en el subsuelo conviven aguas de distintas edades geológicas, desde aguas fósiles hasta aguas modernas (Fan, 2016). Puede suponerse que las aguas fósiles han ingresado a los suelos muchos miles (e inclusive millones) de años atrás, y que probablemente han viajado desde lugares remotos antes de llegar al sitio donde se encuentran. En general, las aguas fósiles son de pobre calidad, ya que debido al contacto de cientos, miles y millones de años con las capas profundas del suelo, se ha producido una disolución parcial de las rocas y ha ocurrido una acumulación progresiva de sales. En contraste, el agua subterránea "joven" o "moderna" es de acumulación reciente y de mayor calidad, aunque puede haber sido afectada por acción del hombre o de eventos naturales.

Gleeson et al. (2016) abordaron un trabajo de envergadura y alcance global para estimar la edad de las aguas subterráneas. Recurrieron al análisis combinado de grandes bases de datos que contenían información geoquímica, geológica, hidrológica y geoespacial, y al uso de modelos de simulación para reconstruir procesos hidrológicos esenciales. La investigación se focalizó sobre los primeros 2 kilómetros de corteza continental, y es así que llegan a estimar que la cantidad total de agua subterránea (fósil + moderna) alcanzaría un promedio de 22.6 millones de $km^3$, con un rango de error que oscila entre 16 y 30 millones de $km^3$ debido a la incertidumbre que genera la porosidad estimada de los suelos. Para expresarlo gráficamente, si se inundaran los suelos continentales del planeta con ese volumen de agua subterránea, el nivel ascendería a una altura de 180 metros aproximadamente.

Para estos autores es importante diferenciar los volúmenes de agua moderna y de agua fósil, ya que la sustentabilidad de los acuíferos depende de la relación entre ambos. El sistema explotado es sustentable si la cantidad de agua extraída en un plazo determinado de años es igual o menor a la cantidad de agua recargada en el sistema. Es decir, para ser sustentable el proceso debería quedar restringido a la extracción de agua joven, que es la que se recarga naturalmente en poco tiempo dentro del acuífero. Cuando se agota la reserva de agua joven, se comienza a utilizar agua fósil, y a partir de ese momento el sistema comienza teóricamente a ser insustentable

¿Cómo determinaron estos investigadores el volumen de agua joven o moderna? Mediante un procedimiento ingenioso basado en medir la concentración en el agua de un isótopo radiactivo del hidrógeno llamado Tritio. El Tritio comenzó a mostrar concentraciones atmosféricas altas durante los últimos 50 años debido a la proliferación de pruebas nucleares térmicas. El Tritio se disolvió en el agua de lluvia, y con las precipitaciones se infiltró en el suelo. Este isótopo se convirtió entonces en un trazador fiable que indicaba edades de agua subterránea iguales o menores a 50 años. El agua joven cual quedó acumulada en las capas superficiales del suelo hasta unos pocos cientos de metros. El análisis de Gleeson et al. (2016) estuvo basado en 3700 mediciones de Tritio en el agua subterránea. Los cálculos culminaron indicando que la proporción de agua moderna no superaría el 6% del total estimado de agua subterránea en el planeta hasta una profundidad de 2 km. Esa cifra nos marca, con la incertidumbre del caso, un punto de referencia para realizar una extracción y uso sustentable del recurso. La referencia adquiere importancia en las áreas irrigadas, que tienden a expandirse en respuesta a una creciente demanda global de alimentos. Buena parte de la seguridad alimentaria descansará en el futuro sobre los recursos acuíferos subterráneos existentes.

# Gobernar la hidrología

Los recursos renovables de agua dulce derivan de precipitaciones (lluvia y nieve) que son extraordinariamente variables tanto en el espacio geográfico como en el tiempo. Lo propio ocurre con el almacenaje natural o artificial de este recurso. El hombre es la especie que mayor capacidad ha mostrado para canalizar, desviar y almacenar agua a través de sus obras de infraestructura. La construcción de grandes represas ha significado un control a gran escala de la hidrología regional, asegurando el suministro de agua a los municipios y las industrias y al riego de cultivos. Asimismo, esas obras son utilizadas para evitar inundaciones y generar energía hidroeléctrica. Sin embargo, tales progresos suelen ir acompañados de impactos ambientales no necesariamente evaluados con antelación, lo cual hoy se considera inaceptable en una sociedad organizada (Hering et al, 2015). Otro tanto puede ocurrir respecto a poblaciones o sitios ubicados aguas abajo que resultan afectados por decisiones económicas o sociales que se han tomado aguas arriba sin tener en cuenta la equidad de derechos respecto al uso de ese recurso compartido.

Sumada a la necesidad de un acceso equitativo al agua, aparece el problema de la contaminación del recurso. Es común que muchos países en desarrollo que carecen de capital para realizar obras de infraestructura, tengan problemas de contaminación y salud por el derrame descontrolado, sin depuración previa, de desechos humanos y animales, y de efluentes domésticos e industriales, a los cursos y cuerpos de agua cercanos (UNEP, 2012).

Aunque los problemas del agua se identifican y visualizan rápidamente a escala local, sus impactos acumulados adquieren significado regional y aún global. El agua, por ser un recurso extremadamente móvil, genera impactos que trascienden los límites y fronteras geográficas, provocando problemas que atraviesan distintas escalas espaciales. Una acción local, puede tener

un impacto regional o global y, a la inversa, una acción global o regional puede causar un impacto local. Es decir, una acción provocada en una determinada población o localidad, tiene consecuencias que afectan a poblaciones alejadas del sitio donde ocurrió el evento. La contaminación transfronteriza de los ríos es un clásico ejemplo reportado por la bibliografía.

También lo que ocurre a escala global –como el cambio climático, o los patrones de consumo de agua de los países y el propio comercio internacional– puede tener impactos locales impensados. Las demandas globales de agua virtual asociadas a la importación de productos agropecuarios, industriales o asociados a la minería, pueden ser causa de escasez y contaminación a escala local. Más aún, la seguridad alimentaria global puede conspirar contra la seguridad hídrica local. Los vínculos y conectividades entre lo global y lo local son invisibles al ojo humano, pero los impactos existen. Las regulaciones existentes que operan sobre el comercio mundial de commodities no sirven para regular el tráfico de agua virtual. El agua, junto con el aire, es uno de los recursos naturales más globalizados del planeta, y en ausencia de regulaciones, sus consecuencias negativas se transfieren rápidamente de escalas mayores a escalas menores, y viceversa. No es sorprendente que los conflictos derivados del uso del agua se incrementen en una proporción igual o mayor a la expansión demográfica y económica del planeta. Hoy, las externalidades negativas están lejos de ser eficientemente reguladas, y la gobernabilidad de los recursos hídricos a escala local y planetaria aparece como una cuenta pendiente en la futura agenda de los países y los organismos internacionales.

Aunque se han propuestos muchos regímenes legales para gobernar los recursos hídricos, las iniciativas suelen estar muy fragmentadas y son motivadas por necesidades transitorias de índole local (Vörösmarty et al., 2015). La razón es bastante simple: en la práctica, los problemas del agua se van resolviendo a

través de instituciones y autoridades de gobierno local. Pero una focalización excesiva en lo local conspira contra la elaboración de regulaciones y estándares globales. Lo cierto es que los intereses locales suelen chocar con los regionales, y a menudo las soluciones se generan sin tener en cuenta que se trata de un recurso que debe necesariamente ser compartido en un ámbito geográfico mucho más amplio. El foco en una sola escala puede, por un lado, resolver algunos problemas, y disparar por el otro una cascada de conflictos que atentan contra la gobernabilidad del recurso.

La gobernabilidad a gran escala geográfica está focalizada casi exclusivamente sobre los recursos hídricos superficiales, pero hay un gran vacío legal y jurídico respecto al uso y manejo del agua subterránea. Como el límite de las cuencas tanto superficiales como subterráneas rara vez coincide con el límite de las jurisdicciones administrativas, hay grandes desajustes en el manejo de los recursos hídricos compartidos. El resultado de este problema, en el cual se mezclan legislaciones y derechos diferentes (algunos, adquiridos), es el aprovechamiento inequitativo e insustentable del agua a escalas más grandes. Hay un gran camino por recorrer en este gigantesco capítulo de las aguas.

CAPÍTULO 7

# Sobre huellas y cadenas

Un problema generalizado en muchos productores rurales y asesores agronómicos es asumir que la producción agropecuaria comienza y culmina en el potrero o en la tranquera del establecimiento rural. En realidad, este eslabón es el primero dentro de una cadena que puede ser corta o larga de acuerdo a la trayectoria que sigue el proceso como un todo y que lleva al consumo final del producto. En la práctica, existen varios eslabones intermedios a través de los cuales se transporta, transforma y distribuye el producto hasta que, una vez consumido, llega en forma de residuo o desecho al basural de un municipio. Es ahí donde termina el ciclo de vida de un producto que se inició en el potrero o parcela de un campo.

## Marcas ocultas en el ambiente

En ese largo camino que va del potrero al basural ocurren muchas cosas. El producto primario (grano, carne, leche) es manipulado a través de eslabones que incluyen el transporte desde el

campo hasta el lugar de concentración, el acondicionamiento y almacenaje del *commodity,* su fraccionamiento y procesamiento industrial, el embalaje o *"packaging"* del producto ya procesado, el transporte a centros de distribución mayorista, la clasificación y distribución minorista, la colocación en góndolas de supermercados y almacenes, la compra y transporte doméstico, el consumo comercial o familiar, el acondicionamiento de los residuos y su posterior transporte a los sitios de deposición final. En la jerga industrial, a estos pasos se los simplifica diciendo que un producto se mueve "desde la cuna hasta la sepultura".

Y aquí es necesario introducir el concepto de "huella ecológica". La noción de Huella Ecológica (HE) surgió a comienzos de la década de 1960 a partir de estudios pioneros (Wackernagel et al., 2002) en países desarrollados que tomaron nota de una aceleración del crecimiento económico, y un aumento paralelo del consumo *per capita* y del uso de recursos naturales (Wackernagel et al., 2002). Las evidencias mostraban que el precio pagado a cuenta de ese consumo material era la degradación de los suelos, el agua, el aire, los bosques y el hábitat. Los resultados de esos trabajos mostraban que la sobrecarga ecológica producida por el desarrollo social y económico podía llevarnos a un empobrecimiento de los recursos del planeta y a un riesgo creciente de auto-destrucción.

El concepto de HE es simple: consiste en convertir los flujos de energía y materia que ingresan a, o salen de, un país o una región en su equivalencia de tierra y agua utilizada. En términos más simples, la HE es un instrumento de contabilidad ambiental destinado a valorar los requerimientos de consumo y los requerimientos de asimilación de desechos de una población o país en relación a la cantidad de tierra productiva disponible (Wackernagel y Rees, 1996).

De esta manera, aparecen países que tienen una pauta de consumo que excede su capacidad biológica para producir los bienes

que consume, mientras otros países tienen una capacidad biológica de producción que excede a lo que consumen. En general, los países desarrollados caen en la primera categoría y por ello se dice que tienen una elevada HE. No solamente utilizan todas sus tierras disponibles para producir, sino que deben recurrir a las tierras de terceros países (generalmente países en desarrollo) para adquirir los bienes demandados. Pese a que este enfoque permite ordenar a los países y regiones en función de sus impactos relativos sobre el planeta, los indicadores de HE suelen ser cuestionados por ecólogos y ambientalistas porque ofrecen valoraciones poco desagregadas y muy genéricas de daño ambiental, sin diferenciar impactos específicos que permitirían abordar soluciones en forma puntual. No obstante, inspirados en la noción de Huella Ecológica, hoy existen iniciativas que apuntan a diferenciar otras "huellas" de mayor especificidad temática, como las huellas del carbono, la energética, la hídrica, la mineral, etc.

La Huella de Carbono es un componente importante de la HE total. Las estimaciones globales indican que la HE total de la humanidad (y naturalmente, la propia HC) no han dejado de crecer durante los últimos 40-50 años. Más aún, existen autores que sostienen que el punto de equilibrio entre la HE y la capacidad biológica del planeta se habría quebrado a mediados de la década de 1980 (Brown y Kane, 1994). La Huella de Carbono ha tomado considerable importancia a comienzos del siglo 21, cuando la sociedad global se percata de que las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) provocadas por el hombre tienen un impacto directo sobre el calentamiento global que sufre el planeta (IPCC, 2007). Los sucesivos informes del IPCC vienen dando cuenta de la inequívoca influencia que durante los últimos 200 años, a escala global, ha tenido el hombre sobre el calentamiento atmosférico y el cambio climático que hoy sufre el planeta. No se observan todavía señales de una reversión de tendencias en la emisión de GEI, y es poco probable que, aun revirtiendo esas

tendencias, en las próximas décadas se detenga el proceso debido a la propia inercia que lo arrastra. Aún si se lograran invertir esas tendencias, los efectos sobre la temperatura recién se apreciarían hacia fines del siglo 21. Pero más allá de este panorama poco optimista, existe un consenso dominante en la comunidad de naciones de la necesidad de colocar las emisiones GEI bajo un estado de mayor gobernabilidad global, aspecto que se hizo evidente en la reunión de la COP21 en París a fines del 2015.

¿Por qué es necesario valorar huellas? La respuesta es relativamente simple: porque las tensiones ambientales que emergen en el planeta han colocado a los países frente al desafío de generar mecanismos para neutralizar los efectos negativos de la actividad humana y mejorar la gobernabilidad ambiental del planeta. Gobernabilidad implica transparencia, y la transparencia permite diagnosticar el problema y buscar soluciones. Asimismo, a través de la transparencia se busca neutralizar la aplicación de barreras para-arancelarias (¿o proteccionistas?) que dificultan la libre circulación de productos y servicios entre los países. Podemos inferir que la cuantificación y seguimiento de "huellas" en productos y procesos será un mecanismo futuro para premiar o penalizar las conductas ambientales internas de los países.

## Carbono, residuos y ciclo de vida

La Huella de Carbon (HC) es una medida (intangible al ojo humano) que procura cuantificar la cantidad de gases de efecto invernadero liberada a la atmósfera por los humanos. Comprende todas las actividades y procesos que integran el ciclo de vida de un producto o servicio, desde las materias primas utilizadas hasta el desecho final como residuo. De esta manera se busca informar al consumidor acerca de la contribución que los mismos hacen al

calentamiento global del planeta. La HC representa el 50% de la Huella Ecológica total de la humanidad y es, sin duda, el componente que crece más rápidamente y genera mayor preocupación por sus efectos sobre el cambio climático.

La HC varía notablemente en función del desarrollo relativo alcanzado por países y regiones del mundo. Respecto a la HC que generan las cadenas agroindustriales, Charles et al. (2010) han detectado diferencias significativas entre las economías desarrolladas y las economías en desarrollo. Como patrón general, mientras la emisión de carbono en las economías desarrolladas se concentra en el último eslabón de la cadena (abundantes desechos resultantes del consumo doméstico), en las economías en desarrollo se concentra en los eslabones de la producción primaria, el transporte y procesamiento de los alimentos. Esta asimetría define el perfil definidamente consumista de las sociedades desarrolladas, y el perfil de baja eficiencia (debido a pérdidas en la cosecha, transporte y procesamiento) de las sociedades menos desarrolladas.

Principalmente en los países desarrollados, el problema de las huellas ambientales se evalúa dentro de un marco general denominado Análisis del Ciclo de Vida (ACV) de un producto, de un proceso o de un servicio. El ACV apunta a diagnosticar y rediseñar desarrollos complejos bajo el supuesto que los recursos energéticos y las materias primas son finitos y que es necesario la sustitución de los mismos cuando éstos escasean o encarecen. El ACV va más allá de la HC porque se privilegia la reducción de varios residuos generados durante la producción y el consumo. En el sector agro-alimentario, el ACV supone un estudio detallado de las cadenas agroindustriales que estima, a través de varios indicadores (HC, consumo de energía fósil, acidificación atmosférica, eutrofización de aguas, etc.), los impactos de cada eslabón de la cadena evaluada sobre el ambiente. Hay modelos bastante precisos para evaluar los impactos del eslabón primario (producción en el campo) debido a que es relativamente fácil

acceder a la información y los datos requeridos. Sin embargo, la evaluación se torna más compleja en los eslabones más alejados de la producción primaria, como el transporte, el procesamiento del producto, la distribución y los desechos que se generan luego de haberse consumido el producto.

La noción de ACV no es nueva (Papendiek, 2010). Se originó casi simultáneamente en Estados Unidos y Europa durante la década de 1960. Formalmente, el primer ACV lo registró en 1969 la empresa Coca-Cola con el fin reducir el consumo de recursos y la cantidad de desechos generados. Durante la década de 1970 se realizaron numerosos ACV en EEUU bajo el contralor de la EPA (Environmental Protection Agency) y algunas consultoras privadas. Inicialmente, las evaluaciones se concentraron en la industria de los envases (de vidrio, plástico, acero y aluminio) para bebida, la química, los plásticos y la construcción. Pese a los avances metodológicos registrados en los países escandinavos, las aplicaciones del ACV a los sectores agrícola y agro-industrial se encuentran todavía en una fase embrionaria de desarrollo.

La organización internacional ISO (International Standardization Organization) se apoyó en este desarrollo para tratar de establecer una estructura unificada de trabajo en sus enfoques, procedimientos y nomenclaturas (Cascio et al., 1996). El proceso evolucionó debido a que se incorporaron nuevos pasos de evaluación con sus respectivos desarrollos metodológicos, índices, coeficientes y software. Actualmente, la estructura del ACV se inserta dentro de las normas ISO14040, ISO14041, ISO14042 e ISO14043 (Marsmann, 2000).

¿En qué punto estamos? Hoy se tiende a la estandarización de métodos que puedan ser aplicados en todo el mundo. La valoración del ciclo de vida para el carbono está regida todavía por criterios bastantes caóticos que dependen de los métodos aplicados. Los "contadores" de carbono permiten en cierto sentido manipular los números de manera que quien opera el sistema

goza de una ventaja. Buena parte de la valoración de huellas en empresas está a cargo de auditoras y certificadoras privadas que aplican procedimientos que, en muchos casos, admiten críticas. Pese a ello, existen esfuerzos destinados a poner en caja y conferir objetividad a valoraciones que parecen tener una carga de subjetividad potencialmente elevada. Los avances más significativos se han producido en la industria agro-forestal, en las cadenas de la soja y el girasol, y en los biocombustibles (principalmente biodiesel de soja), que tienen gravitación económica en el mercado mundial.

## Huella y penalización comercial

Luego de acordados varios convenios de índole ambiental, en el año 1997 se firmó el Protocolo de Kyoto, que entró en vigencia en 2005. A través de este instrumento los países signatarios acordaron una reducción voluntaria de las emisiones netas de Gases de Efecto Invernadero (GEI) durante el período 2008-2012 hasta alcanzar un nivel equivalente a las emisiones del año 1990. Esto dio origen al denominado "mercado de carbono", que estableció "unidades de emisión" para todos los países, de manera que los países que acrediten el beneficio de un secuestro verificable de carbono, pueden vender a los países emisores parte de sus excedentes de carbono secuestrado. La creación del mercado de carbono crea la necesidad de rastrear la HC de distintos productos y procesos productivos en empresas agropecuarias e industriales. Los resultados y progresos alcanzados a través por el protocolo de Kyoto y algunas ratificaciones posteriores, han sido pobres.

Es probable que en un futuro no lejano se incluyan a la agricultura y la ganadería como sectores de la economía que deban reducir su HC, ya que sus emisiones de metano y óxido nitroso

representan entre el 25% y el 30% de las emisiones globales. Esto no favorece a los países en desarrollo que exportan productos agropecuarios, ya que en general el sector rural genera en esos países más de la mitad de las emisiones nacionales. El no cumplimiento de compromisos pactados los expone a presiones internacionales crecientes y a eventuales sanciones comerciales. Un peligro concreto que emana de estas sanciones es que ellas sean utilizadas por terceros países para justificar políticas de proteccionismo comercial.

La imposición de barreras comerciales recae, inevitablemente, sobre las empresas exportadoras, lo cual exige aceptar mecanismos de auditoría ambiental para asegurar una permanencia en el mercado internacional. El "etiquetado verde" (ambiental o ecológico) es un camino que el sector privado deberá explorar para demostrar transparencia ambiental en varios de sus productos de alto valor comercial. La valoración de la HC puede ser un primer disparador de "etiquetados verdes", abriendo la puerta más tarde a la evaluación de otros indicadores de performance ambiental que integran el ACV. La inversión en un sistema de "etiquetas verdes" no garantiza la apertura de nuevos mercados, pero al menos puede evitar que caigan mercados hoy existentes. Las "etiquetas verdes", que son adoptadas voluntariamente por algunas empresas con el propósito de diferenciar sus productos, pueden tener un simple fin informativo (comunicar a los consumidores características productivas deseables) o un fin acreditativo (certificaciones ecológicas y ambientales), lo cual demanda un arbitraje independiente a cargo de auditorías externas.

El Reino Unido, Francia, Alemania y Bélgica están desarrollando iniciativas en esta dirección, y seguramente el sistema denominado *PAS 2050,* elaborado por el Reino Unido, es una de las más avanzadas. También se trabaja en la unificación de enfoques, criterios y metodologías para toda la UE. Sus fundamentos son saludables porque ayudan a generar credibilidad social y abrir

o sostener mercados valiosos. Sin embargo, el sistema está expuesto a tergiversaciones y controversias acerca de los criterios y metodologías para medir residuos indeseables en cada eslabón de la cadena agro-industrial. Las economías agro-exportadoras alejadas de los centros de consumo de los países desarrollados del hemisferio norte (como ocurre con países del Cono Sur de Sudamérica o Australia y Nueva Zelanda) pueden quedar expuestas a la arbitrariedad de un mecanismo de valoración de emisiones que genera el transporte transoceánico. Conocido como *"food miles"*, ese mecanismo computa las millas recorridas para llegar a puertos de ultramar como una emisión que debe adicionarse al producto cuando éste ya abandonó su puerto de origen. La imputación de ese costo extra en C desbarata cualquier estrategia de los países productores para reducir drásticamente sus emisiones internas y, en la práctica, puede convertirse en una riesgosa barrera de protección comercial por parte de los países importadores. Hay supermercados en Reino Unido que han requerido la etiqueta de *"food miles"* en limones, manzanas, peras y carnes provenientes de países sudamericanos. Eso supone la obligación de identificar en cada producto exportado los kilómetros recorridos por el transporte interno en el país de origen, más los que surgen del transporte internacional hasta llegar a la góndola del supermercado. Los países perjudicados por este mecanismo contraponen otro de carácter ético denominado *"fair miles"*, que esencialmente es una invitación al juego limpio ante la hipocresía que genera un proteccionismo ambiental disimulado. Cargar las emisiones del transporte transoceánico perjudicaría notablemente, por ejemplo, a las exportaciones de carne hacia el hemisferio norte desde el hemisferio sur, ya que podría generar una HC desfavorable si se la compara con la producción de carne local producida dentro de los propios países importadores.

El amplio abanico de herramientas y normas voluntarias (por ejemplo: eco-etiquetado en la Unión Europea) tendrán

una notable incidencia en el mercado global. Impulsada por una creciente sensibilidad ambiental de las sociedades desarrolladas, ya no cabe duda que la legislación internacional aumentará las exigencias de contralor ambiental sobre las empresas exportadoras. Pero la presión también provendrá de la competencia ejercida por las empresas ambientalmente pro-activas, o sea aquellas que tratarán de aprovechar las oportunidades comerciales emergentes y obtener ventajas de posicionamiento en el mercado.

## Contadores de emisión

Comenzando por la HC, es imperativo reconocer que el mundo avanza hacia la implementación de sistemas contables similares a los sistemas de contabilización comercial y financiera. Sabemos que en todos los países, aunque en proporciones distintas, una parte de la economía opera "en blanco", es decir que se mueve dentro de un circuito formal y fiscalizado. Pero otra parte lo hace en un circuito informal que escapa a la fiscalización de los estados; es decir, opera "en negro". La clásica omisión del pago de impuestos es un claro ejemplo de informalidad en los negocios. Los sistemas fiscales de los países organizados penalizan la "economía en negro" debido a la arbitrariedad que ello genera y al costo económico y social que impone. Con el mismo criterio, en un mundo que mira hacia la gobernabilidad ambiental del planeta, los costos ambientales serán objeto de escrutinio creciente.

Las tendencias que se registran en varias economía desarrolladas (principalmente de Europa occidental) indican que el "blanqueo" de la HC marcará la diferencia entre una economía formal de carbono y otra que no lo es. El etiquetado de la HC en cadenas agro-industriales apunta a dar transparencia a los

procesos productivos, y esa misma etiqueta podrá ser utilizada como un factor de diferenciación entre un *commodity* genérico y un producto de alta especificidad. Es menester aceptar que los mercados sofisticados, de alto poder adquisitivo, se orientan a promover la compra de productos que son diferenciados por su impacto en el ambiente (Jan, 2009).

Naturalmente, la trazabilidad del carbono impone un costo económico que las empresas que adoptan el sistema deben asumir. En ocasiones, esta trazabilidad se convierte en una ventaja competitiva para ganar nuevos mercados. Pero en otros casos, se asume como un costo inevitable que se acepta con el solo propósito de conservar mercados preexistentes. Hay que reconocer, sin embargo, que detrás de este tipo de demanda subyace cierta falsedad de enfoque, ya que el etiquetado de la HC que presenta un producto no siempre puede ser correctamente interpretado por el consumidor debido a una razón sencilla: que carece de patrones de comparación que fundamenten su decisión. En tales casos, la preferencia es el resultado de una creciente "sensibilidad ecológica" de los consumidores o una reacción emotiva a las estrategias de publicidad de los productos y procesos comercializados.

A favor del etiquetado puede decirse que el análisis de la HC o de otras huellas en una cadena agroindustrial provee información esencial para identificar sitios y oportunidades de reducción de emisiones, y proponer una estrategia de reducción o manejo a nivel organizacional. El aspecto clave es identificar los puntos críticos de la cadena donde las emisiones son muy altas o inestables. Una detección verificable de puntos críticos va a depender de la calidad y detalle de los datos utilizados. Por ejemplo, si se realizara un análisis grosero de la cadena del queso en cualquier país, podría rápidamente identificarse a la producción primaria como el eslabón más sensible de la cadena. En otros productos agroindustriales los puntos críticos pueden localizarse, por ejemplo, en los eslabones de procesamiento, empaquetado o residuo

hogareño. En síntesis, la localización y sensibilidad de los puntos críticos de una cadena agroindustrial varían significativamente de un producto a otro.

La manera en que se comunican los resultados de las cadenas evaluadas tiene importancia para varios fines: informar a la prensa, comunicar a usuarios y grupos de interés, certificar las emisiones en los envases, puntos de venta o sitios web. Pero es la certificación creíble y verificable la que confiere transparencia al proceso productivo. La certeza respecto a los datos comunicados es esencial y no hay otra manera de hacerlo sino a través de terceras partes integradas por auditores externos de probidad demostrada. Un auditor externo reconocido por su rigor y credibilidad garantiza que la información comunicada en una etiqueta sea consistente con procedimientos y estándares aprobados por la sociedad a través de sus organismos de control.

El sistema tiene, naturalmente, algunas complejidades que no son de resolución sencilla. Idealmente, el productor de un bien o servicio certificado debe elegir a proveedores insumos que también certifiquen el material vendido para demostrar que el proceso ha sido debidamente auditado a través de toda la cadena agroindustrial. Los esfuerzos de certificación pueden quedar neutralizados si adquieren insumos a proveedores que no pueden demostrar la inocuidad ambiental de sus procesos. De allí la importancia de que el producto certificado sea comunicado tanto hacia arriba (proveedores), como hacia abajo (clientes). La cadena se corta en el eslabón no certificado.

CAPÍTULO 8

# Bajo el sino de la química

En la era de los químicos sintetizados por el hombre, los fertilizantes y los plaguicidas son los de mayor importancia relativa debido a la cantidad y la extensión con que son utilizados anualmente. Los plaguicidas son, después de los fertilizantes, los productos químicos más utilizados en el planeta. Son efectivos para proteger los cultivos de las malezas y los ataques de insectos y enfermedades, y para combatir plagas indeseables como los roedores y parásitos. Un uso inapropiado de los mismos puede dañar al ambiente y afectar la salud de los trabajadores. El uso de fertilizantes sintéticos (a base de nitrógeno, fósforo y potasio) es esencial para la agricultura moderna. Resulta impensable satisfacer las demandas crecientes de alimento de una población mundial que no para de crecer sin la intervención de los fertilizantes sintéticos. Su uso alcanzó un pico en los países desarrollados durante la década de 1980 con el fin de sostener los rendimientos frente a evidencias concretas de una productividad agrícola decreciente. Luego su uso comenzó a declinar levemente. Pero la carga de desechos orgánicos y minerales aumentó a niveles dramáticos. Ocurrieron episodios de contaminación a gran escala de cuerpos y cursos de agua, y se generaron extensas "zonas

muertas", hipóxicas (con oxígeno insuficiente), sobre las costas marinas, afectando significativamente la flora y la fauna marina.

## La química frente a las plagas

Las cifras son elusivas, pero a escala global se estima que se utilizan entre 1.0 y 2.4 millones de toneladas de plaguicidas por año. Casi un 20% de la producción bruta es utilizado en Estados Unidos. No obstante, las tasas de aplicación de plaguicidas por hectárea son mayores en las tierras cultivadas de China, o en cultivos de alto valor económico que sufren alta presión de las plagas, como ocurre con el café en Colombia o los tulipanes en Holanda. Las menores tasas de uso se registran en África. Pero, en general, la utilización de plaguicidas tiende a crecer de manera persistente en Europa Oriental, Asia y Latinoamérica. Aproximadamente, del total de plaguicidas usados, 40% son herbicidas, 33% insecticidas, 10% fungicidas (Lamberth et al., 2013; Stockstad, 2013).

Los ensayos de largo plazo (con más de 100 años) en parcelas experimentales de la estación experimental de Rothamsted (Reino Unido), han mostrado un significativo aumento de los rendimientos a partir del control de malezas y enfermedades mediante herbicidas y fungicidas sintéticos. A través de los años, el uso de los plaguicidas se ha tornado más seguro para la salud, y ello se ha logrado a través de una reducción de las dosis recomendadas y de un cambio hacia productos menos peligrosos. Los episodios más frecuentes de contaminación y muerte de operarios y trabajadores rurales ocurren en los países en desarrollo, y las evidencias muestran que las poblaciones de insectos útiles (por ejemplo, las abejas) han declinado significativamente en los lugares donde se producen las mayores tasas de uso de insecticidas. A pesar de que sus aplicaciones aún persisten en países

en desarrollo, la comercialización de órgano-fosforados de alta toxicidad como el parathión ha sido prohibida en la mayoría de los países desarrollados. Por otro lado, la aparición de cultivares transgénicos (Bt) ha reducido significativamente el uso de insecticidas en el cultivo de maíz (Stockstad, 2013).

Durante los últimos 50-60 años ocurrieron dos hechos relevantes respecto al uso de plaguicidas: primero, se produjo una notable caída en las tasas de aplicación; y segundo, se redujo de manera drástica el impacto ambiental de los nuevos productos de síntesis. Mientras en la década de 1960 era común encontrar tasas de aplicación de 1 kg de producto activo por hectárea, hoy resulta común aplicar tasas de apenas de 10 g/ha, o sea, apenas un 1% de lo utilizado medio siglo atrás. La menor tasa de uso se combina con productos que presentan un perfil toxicológico más bajo. Estos cambios son el resultado de regulaciones ambientales más rigurosas y una demanda más selectiva por parte de una sociedad y de aplicadores con mayor sensibilidad ambiental. Más allá de estos cambios, la aparición de resistencia en malezas, insectos y enfermedades es, en la actualidad, un problema que genera preocupación creciente en la industria de los plaguicidas (Lamberth et al., 2013).

Los beneficios de los plaguicidas son contrarrestados por la ocurrencia de episodios de contaminación ambiental. Más allá de las mejoras tecnológicas que han reducido el potencial toxicológico, existe el riesgo cierto de que algunos de sus residuos persistan en el agua o el aire. En el estado actual de conocimientos, es difícil anticipar en qué medida un plaguicida se degrada en condiciones de campo, ni qué rutas de degradación puede seguir. En principio, el registro de nuevos plaguicidas es solo posible si se demuestra que los mismos no persisten en el ambiente mucho más allá de su tiempo de uso (desde unos días a pocas semanas). Sin embargo, los residuos de muchos plaguicidas pueden ser encontrados en el ambiente natural en niveles que oscilan, por

ejemplo, desde nanogramos a unos pocos miligramos por litro de agua. En muestreos realizados en varios países desarrollados se han detectado de 10 a 20 residuos de plaguicidas en niveles mayores a 0.1 mg/l, que es la tolerancia que muchos países imponen como límite máximo para el agua de bebida humana. En general, aún en el mejor de los casos, es posible encontrar entre 10-20% de residuos estables en el agua resultantes de la degradación de los plaguicidas (Fenner et al., 2013).

El efecto de los plaguicidas sobre la vida silvestre ha sido fuente de numerosas controversias. La ecotoxicología encuentra sus raíces embrionarias en episodios agudos de mortandad de especies en las últimas décadas del siglo 19, pero el efecto de los plaguicidas químicos sobre sobre el hábitat surgió con fuerza a partir del libro de la limnóloga Rachel Carson (1960) titulado *Silent Spring* (traducido como *Primavera Silenciosa,* o *Manantial Silencioso*). Pronto aparecieron evidencias que mostraban residuos de DDT y de sus metabolitos en tejidos de la carcasa de pájaros y peces. En la actualidad, pese a la difusión global de los plaguicidas, pocos países han implementado programas integrales de protección de la vida silvestre frente al riesgo de envenenamiento. Como los datos existentes están muy diseminados o no están disponibles en bases abiertas, no es posible tener cuantificaciones precisas del efecto de los plaguicidas sobre la flora y la fauna. En consecuencia, es hoy difícil discriminar con precisión qué cantidad de ejemplares de la vida silvestre muere o desaparece por acción de los plaguicidas o por otras causas (Köhler & Triebskorn, 2013).

## Plaguicidas: variado menú

El mercado ofrece un menú muy variado de plaguicidas con diferente formulación, denominación química y nombre comercial.

Tal diversidad genera una inevitable confusión entre el público general y aún entre los especialistas. Para el hombre común resulta complicado establecer la eco-toxicidad de esos productos, y aún los especialistas que aplican los productos suelen guiarse por principios simplistas (por ejemplo, la toxicidad medida a través del DL50) sin tomar en cuenta otros aspectos menos conocidos pero igualmente importantes, como el momento y método de aplicación, la movilidad, los residuos y las vías de degradación del plaguicida, la interacción con otros plaguicidas, la persistencia en el agua y en el suelo, o la volatilidad del producto. Los mayores riesgos para los humanos y animales están siempre asociados al tiempo de exposición al tóxico.

La medida más difundida del riesgo eco-toxicológico es la Dosis Letal Media (DL50), que fue diseñada por el farmacéutico británico J. W. Trevan en 1927. Es la dosis mínima de una sustancia que resulta mortal para la mitad (50%) de los animales experimentales en los cuales se prueba, generalmente una rata o un conejo. Se expresa en miligramos (mg) de sustancia tóxica por kilogramo (kg) de peso del animal. De esta manera, cuanto menor es el valor del DL50, mayor es su toxicidad; es decir, que el efecto letal ocurre con dosis más reducidas del producto. Esos valores se extrapolan luego a los seres humanos. Dos deficiencias que se achacan a esta medida son, primero, que solamente valora la toxicidad aguda sin considerar los posibles efectos crónicos del plaguicida; y segundo, que se refiere únicamente al producto activo sin tener en cuenta la formulación del producto comercializado o aplicado. La Organización Mundial de la Salud (WHO, 2010) ha propuesto una clasificación utilitaria actualizada (al año 2009) de la toxicidad de los plaguicidas en función del DL50. Divide los plaguicidas en función de su toxicidad oral (por ingestión directa) o toxicidad dérmica (por contacto con la piel y las mucosas), y así surgen cinco grupos diferenciados. El denominado Grupo I reúne los productos *extremadamente peligrosos,* que

requieren dosis de menores a 5 mg/kg para producir mortandad por ingestión directa, y menores de 50 mg/kg para producirla por contacto dérmico. En el Grupo II caen los productos *muy peligrosos* que requieren, para producir mortandad, dosis de 5-50 mg/kg y de 50-500 mg/kg, por vía oral o dérmica respectivamente. Los plaguicidas *moderadamente peligrosos* caen en el Grupo III, con dosis letales medias de 50-2000 mg/kg y de 200-2000 mg/kg para envenenamiento oral y dérmico respectivamente. Dosis letales de más de 2000 mg/kg (tanto oral como dérmica) son requeridas para formar partedel Grupo IV, que resulta *levemente peligroso.* En el Grupo V, que es el grupo que reúne a los plaguicidas caracterizados como de *muy baja peligrosidad,* se agrupan los plaguicidas con DL50 mayores a 5000 mg/kg (tanto oral como dérmica).

Pero el DL50 es una parte del problema. Vale aclarar que el comportamiento de los plaguicidas es modulado también por otros varios factores como sus propiedades físico-químicas, por el suelo y el agua, y por factores climáticos como la lluvia, la temperatura y la humedad relativa. Dentro de las propiedades físico-químicas, la volatilidad del plaguicida (determinado por la presión de vapor del producto) es relevante por ser un factor que cuantifica su capacidad para derivar y persistir en el aire. La capacidad del plaguicida para vaporizarse adquiere importancia en los insecticidas domésticos que se usan para combatir insectos voladores. Los que tienen mayor potencial de volatilización pueden ingresar con mayor facilidad por vía bucal o nasal en los humanos. Otro factor que determina el comportamiento de un plaguicida es su Vida Media (DT50), que mide la cantidad de tiempo requerida para que la concentración del producto en el suelo decline en un 50%. A mayor tiempo de persistencia del producto, mayor es la posibilidad de provocar efectos adversos (Montoya et al., 2011). Esta medida puede estar asociada al coeficiente de adsorción del producto en el suelo, es decir, a la probabilidad que tiene el principio tóxico de ser retenido e inmovilizado en las partículas de suelo.

Cuanto menor es la adsorción del producto, más rápidamente tiende a liberarse hacia el ambiente, y viceversa (Weber, 1994).

## Glifosato: una saga sin fin

Al leer una nota periodística, encontré una transcripción de los siguientes conceptos vertidos por un investigador del área médica: *"En un barrio periférico de Córdoba (importante ciudad de la Argentina), rodeado por campos de soja que se fumigaron con Glifosato, empezamos a tener muchos problemas de salud en esa población, al punto que al cabo de cinco o seis años tuvimos el triple de casos de cáncer y muchos niños que nacían con malformaciones".* También puntualizó *"…El principal productor del agroquímico es la multinacional Monsanto, una corporación de enorme peso con antecedentes de fabricar otros productos químicos muy tóxicos, entre ellos el agente naranja que se usó en la Guerra de Vietnam, y con un poder de lobby tan grande en su país de origen, Estados Unidos, que el Congreso dictó una ley que prohíbe hacerle juicio…".* Estas dos ideas, que se pueden leer con frecuencia en periódicos y revistas de divulgación de la Argentina, connotan varias cosas. Primero, nos advierten acerca del riesgo que este herbicida puede imponer en la salud humana. Segundo, atribuye al herbicida Glifosato el aumento de los casos de cáncer y malformaciones embrionarias en humanos. Tercera, señala que existe una relación causal directa entre la dupla soja-Glifosato y ciertas patologías. Cuarto, responsabiliza a una compañía multinacional norteamericana, y al país que la "protege" (naturalmente, los Estados Unidos), por la ocurrencia de estas patologías. ¿Qué es esto? Una simple y caótica mescolanza de ciencia subjetiva, supuestos dudosos, información inverificable y sesgo ideológico. Lejos de esclarecer, estos reportes confunden y desinforman a la opinión pública. Otros antecedentes similares se replican en Argentina dentro de una llamativa cruzada

que pone en duda la confiabilidad del modelo agrícola argentino ¿Qué dice la ciencia responsable al respecto?

La historia comenzó de manera poco azarosa a partir de un sorprendente dossier supuestamente científico, conocido como *Informe Carrasco,* publicado por un médico especialista en embriología de la Universidad de Buenos Aires. En ese trabajo se reportaron, "… resultados de estudios que evaluaron el efecto del Glifosato puro, y de herbicidas que lo contienen, en embriones..." de anfibios experimentales. Utilizando una metodología no replicable en condiciones reales, que consistió en la inyección y la inmersión de embriones en Glifosato puro o en herbicidas que lo contienen, se llegó a conclusiones tan preocupantes como temerarias. El informe encendió las alarmas al informar acerca de la ocurrencia en los embriones, entre otros efectos, de "una disminución del largo del cuerpo", "defectos en la formación del eje embrionario", "alteración de la zona cefálica", "alteraciones bronquiales y auditivas", "alteraciones neuronales". Se infirió que esos mismos efectos pueden ocurrir en cualquier vertebrado, entre ellos los seres humanos.

Cuando el informe es evaluado en profundidad, cualquier científico entrenado puede percibir que el experimento tuvo imperfecciones invalidantes en su enfoque y en su diseño, entre ellas, las de "bañar" e "inyectar en Glifosato puro", o soluciones del mismo, a los embriones experimentales. Esta situación no es reproducible en la vida real..! En condiciones prácticas, el herbicida es utilizado en dosis mucho más bajas y nunca se "baña o se inyecta" a las personas con dosis similares a las utilizadas por Carrasco. Quizás, si se sometiera a esos mismos embriones a soluciones concentradas de medicamentos comunes, como la aspirina o algún desinflamante de venta libre, ocurrirían también daños inevitables. A partir de ese reporte carente del rigor que exige la ciencia seria, se generó un revuelo desmesurado en la opinión pública que persiste hasta hoy.

En respuesta a ese informe, en el ámbito gubernamental se creó en el año 2009 un consejo integrado por científicos reconocidos de varias disciplinas con la finalidad de revisar los antecedentes internacionales y nacionales acerca de los efectos del Glifosato sobre la salud humana y emitir las conclusiones correspondientes. Pese a reconocer que no abundan los estudios que midan los efectos de largo plazo, las conclusiones indican que el producto tiene características eco-toxicológicas de baja toxicidad, baja persistencia (menos de seis meses) en el ambiente, y escasa potencialidad de acumulación en los organismos vivos. Si bien se han encontrado vestigios de glifosato en granos de soja almacenados en silos, no los hallaron en las harinas ni en los aceites de soja. Se indica, asimismo, que es poco probable la contaminación de aguas superficiales y subterráneas, y tiene muy baja toxicidad para los organismos acuáticos. Un análisis especial se hizo sobre el metabolito de degradación del Glifosato (denominado AMPA) y la sustancia tenso-activa (POEA) que acompaña al herbicida en sus formulaciones comerciales. Los tres productos tienen un efecto ligeramente tóxico sobre los mamíferos no humanos si ocurre un ingreso directo al organismo, pero el efecto es irrelevante cuando el producto se aplica en ambientes rurales abiertos a las dosis recomendadas. Un capítulo particular han merecido los trabajadores rurales u operarios expuestos al formulado de Glifosato. Los estudios epidemiológicos mostraron una mayor frecuencia de irritaciones en piel y mucosa, aunque los efectos pueden estar confundidos por la manipulación simultánea de otros plaguicidas. Si bien se ha señalado un aumento en la incidencia de aparición de defectos de nacimiento y de anormalidades de desarrollo en hijos de aplicadores de Glifosato, resulta difícil atribuir este efecto al herbicida, debido a la presencia de otros agentes de contaminación ambiental y a factores genéticos. Los estudios epidemiológicos revisados por los especialistas no demuestran

correlación entre exposición al glifosato e incidencia de cáncer, enfermedad de Parkinson, efectos adversos sobre la reproducción, o déficit de atención o hiperactividad en niños. En síntesis, manejado correctamente y aplicado en las dosis recomendadas, no ha sido posible asignar al producto un riesgo demostrable sobre la salud humana.

En esa misma línea existen otras revisiones de antecedentes. Por ejemplo, un reporte de Williams et al. (2000) concluyó que, bajo las condiciones indicadas de uso, el herbicida no impone un riesgo sobre la salud humana. En una revisión posterior, Duke y Powles (2008) concluyen que pese a ser el Glifosato un herbicida de amplio espectro, resulta muy seguro tanto desde lo ambiental como lo toxicológico. Un organismo rector, la *Organización Mundial de la Salud* (WHO, 2010), en su clasificación utilitaria ubica al Glifosato dentro del Grupo IV de plaguicidas, o sea, aquellos que solo resultan levemente peligrosos para la salud. Aunque recomienda regulaciones estrictas para prevenir la exposición de los consumidores al herbicida, una revisión reciente (EFSA, 2015) realizada por la *European Food Safety Authority,* es decir, la *Autoridad Europea sobre Seguridad Alimentaria* permitió concluir que es poco probable que el Glifosato contribuya a desarrollar cáncer en los humanos. Sin embargo, otra revisión independiente (Cuhra et al., 2016) desarrolla una visión muy crítica acerca de este herbicida. Los autores concluyen que si bien hay muchos estudios que demuestran que no produce efectos significativos sobre la salud humana, creen (con razón o sin ella) que ha habido fraude y mala conducta en los estudios de laboratorio que han probado su inocuidad. Mediante el simple argumento de la sospecha intentan invalidar los estudios previos. Aunque no logran demostrar la peligrosidad del herbicida, enfatizan la necesidad de contar con medidas regulatorias severas y en establecer límites más estrictos de tolerancia respecto a los residuos de Glifosato y sus metabolitos en el agua y los alimentos.

# Nutrientes: turbulencias en el viaje

Los nutrientes –entre ellos los macronutrientes como el nitrógeno, el fósforo y el potasio, y una variedad de micronutrientes como el hierro, manganeso o zinc– son elementos esenciales para el crecimiento de las plantas. No es posible producir alimentos demandados a un ritmo creciente sin el apoyo de los nutrientes. Las raíces de las plantas los remueven y absorben desde el suelo (junto con el agua) en grandes cantidades, lo cual implica tener que reponerlos a tasas equivalentes si se quiere apuntalar la producción futura de granos, forrajes o biomasa.

Los sistemas que no reponen los stocks extraídos, situación habitual en varios países que producen en condiciones de bajos insumos, ven con el tiempo decaer la productividad de sus suelos. Es común registrar balances negativos de nitrógeno y fósforo en suelos explotados bajo agricultura continua. Debido a la acelerada expansión de los cultivos anuales a partir de la década de 1990, en la región pampeana argentina, por ejemplo, el fósforo se convirtió en un nutriente crítico debido a una extracción acumulada de varias décadas (Viglizzo et al., 2011). Pero, tal como lo han reportado Cruzate & Casas (2003) y García & Díaz-Zorita (2015), a las deficiencias de nitrógeno y fósforo hay que sumarle las correspondientes a azufre, boro y zinc, minerales que no eran motivo de preocupación años atrás.

Estos balances negativos significan en la práctica, un costo oculto que generalmente no es incorporado en los análisis de gestión económica de las empresas rurales, ni en las estimaciones del producto bruto del país. En otros términos, varios años de sobre-extracción sin reposición consumen buena parte del capital mineral de los suelos. Son, en cambio, muy poco habituales los episodios de contaminación agrícola por uso excesivo de fertilizantes, a excepción de los cordones hortícolas de las grandes urbes que se han convertido una fuente potencial de contaminación por nutrientes.

Los problemas más serios para el ambiente caen en el otro extremo de la intensificación agrícola debido a que el sobreuso de nutrientes (por encima de lo que necesitan y capturan las plantas) ha incrementado significativamente los riesgos de contaminación del suelo, el agua y el aire. Algunas investigaciones influyentes (Oita et al., 2016; Galloway & Leach, 2016) nos advierten que el riesgo de contaminación nitrogenada –conocida como "huella humana del nitrógeno"– se ha multiplicado por seis desde la década de 1930. Las emisiones de nitrógeno reactivo (aquel que se incorpora fácilmente en los procesos biológicos a gran escala geográfica) estaría dañando la salud de los humanos y de los ecosistemas. Los residuos de nutrientes de la agricultura han contaminado hasta niveles críticos los ríos, arroyos, lagos, freáticas y costas, afectando severamente la flora, la fauna, las cadenas alimentarias naturales y otras funciones ecológicas esenciales. Pese aque el uso de fertilizantes se ha estabilizado en los países desarrollados desde la década de 1990, la cantidad neta de nutrientes de origen agropecuario que anualmente ingresan a los sistemas de agua dulce aumenta a tasas preocupantes. Sorprende que existan pocos sistemas que monitoreen los contaminantes minerales que se vierten al agua, aunque sus costos de limpieza y purificación se incrementan año tras año. Las presiones públicas y sociales han ido en aumento, exigiendo a los productores la adopción de mejores prácticas agrícolas.

## Disparen sobre el feedlot..!

El uso de fertilizantes sintéticos para producir granos y forrajes que más tarde utiliza el ganado estabulado es causa de preocupación en las sociedades sensibilizadas. Encuentra en en estos sistemas de producción una amenaza para la salud de los humanos y del

ambiente. El feedlot, quizás por la escala visible de sus operaciones, suele ser el eje de una crítica creciente.

Claro que no se trata solo del *feedlot*…! También otros sistemas de producción intensiva de carne (como la porcina y aviar), de leche (bovina, ovina y caprina) y de huevos están bajo la lupa por su potencial de contaminación del aire, del suelo y de las fuentes y cursos de agua dulce. Se le suma otra crítica: la creciente demanda de forrajes y granos para alimentar a los animales dispara una competencia por la tierra disponible para producir granos y biomasa para biocombustibles, actividades que se consideran más eficientes en el uso de los recursos y menos nocivas al ambiente.

Sin embargo, más allá de estos argumentos entendibles, la creciente demanda global de distintos productos animales exige operar con sistemas intensivos de producción animal que garanticen alta productividad por unidad de tiempo. El fundamento de estos sistemas es una alta concentración de animales en poca superficie, y una alimentación intensiva que permite altas tasas de ganancia diaria de peso o de producto por animal. Es inevitable que produzcan grandes volúmenes de residuos sólidos, líquidos y gaseosos que no son bienvenidos en una sociedad organizada. Muchos estudios han demostrado que la acumulación de nutrientes contaminantes aumenta año tras año si no se manejan apropiadamente, y que es habitual exceder los límites de tolerancias que imponen las regulaciones ambientales. En general, la contaminación de las aguas ocurre a través de sustancias nitrogenadas como el amonio y los nitratos, pero también a través del fósforo y materiales orgánicos. El problema se puede agravar por los patógenos que proliferan en un medio líquido. Los reportes indican que la acumulación de sales solubles, cobre, arsénico y zinc pueden también causar contaminación del suelo; y que la calidad del aire puede ser desmejorada a través del polvo, los olores y la presencia de patógenos aéreos. El impacto puede transferirse,

a través de ríos y arroyos, a cientos de kilómetros del sitio donde la contaminación ocurre: por ejemplo, el nitrógeno que escurre hacia los cauces de los ríos Mississippi y Missouri en Estados Unidos genera severos episodios de hipoxia y extensas "zonas muertas" en el Golfo de Méjico. Lo cierto es que, en cualquier caso, las presiones locales de la sociedad han aumentado con los años, y serán probablemente mayores en los años venideros.

Más allá de estos problemas, durante siglos se ha reconocido al estiércol animal como un recurso económico valioso para la agricultura. Es una fuente excelente de nutrientes para los cultivos, un formador de la materia orgánica y un factor estructurador de los suelos. Tiene la ventaja respecto a los fertilizantes sintéticos de liberar más lentamente los nutrientes, reduciendo tanto la infiltración como el escurrimiento superficial de los mismos, y su volatilización hacia la atmósfera. La relación entre el carbono, el nitrógeno, el fósforo y otros macro y micronutrientes mantiene proporciones que resultan óptimas para el crecimiento de las plantas. Es inmediato que la incorporación de estos nutrientes en el suelo a través del estiércol animal evitaría que grandes cantidades de nutrientes contaminen el ambiente local, o migren y contaminen ambientes distantes.

Existen varios métodos y técnicas aplicables en el predio rural para reducir la carga de contaminantes orgánicos de los sistemas ganaderos intensivos, pero el problema no siempre tiene una solución sencilla debido a la complejidad de los procesos de manipulación y tratamiento del estiércol, y a los costos asociados (Bos et al., 2005). Más allá de la escala predial, existen estrategias de escala territorial que pueden usarse para reducir la polución de las aguas de drenaje que se liberan en el predio. A través de sistemas de humedales y lagunas es posible "limpiar" los cuerpos y corrientes de agua a través de vegetales que capturan los nutrientes circulantes, a través de la eliminación de sustancias nitrogenadas que se volatilizan hacia la atmósfera luego de una

fermentación anaeróbica, y a través de una sedimentación natural de los nutrientes hacia el fondo de las lagunas y humedales. Esto implica diseñar estrategias efectivas de ordenamiento territorial a una escala zonal o regional.

No son estrictamente comparables los problemas de contaminación que genera la ganadería intensiva en distintos países. Por ejemplo, los estados de Texas, Kansas y Nebraska son los que concentran mayor cantidad de *feedlots* en Estados Unidos. Aproximadamente, el 26%, 44% y 40% respectivamente de las cabezas engordadas en esos tres estados pasan por algún *feedlot* (EPA, 2013). Esas cifras son muy superiores a las que presentan, por ejemplo, las tres provincias argentinas que concentran la mayor cantidad de *feedlots,* a saber Buenos Aires, Córdoba y Santa Fe. Los porcentajes de cabezas engordadas en esas tres provincias son, respectivamente, 2%, 5% y 3% (SENASA, 2009). Es ésta una cantidad ínfima en relación a las altas cifras que reportan los tres estados norteamericanos. En ellos, el potencial de producción de estiércol –y por lo tanto, de contaminación– es, al menos, 7 veces superior al potencial que presentan las tres provincias argentinas (Viglizzo, estimaciones personales).

El problema de la contaminación que generan estos sistemas se reduce cuando los establecimientos de producción intensiva están dispersos y distantes unos de otros, o cuando se instalan en regiones secas (áridas o semiáridas) en las cuales el lavado de nutrientes por las lluvias es relativamente bajo. Naturalmente, el costo de acceso a los insumos (granos para alimentación) se incrementan en esas regiones que, por deficiencia de lluvias, deben traer los alimentos desde regiones con mayor aptitud agrícola.

CAPÍTULO 9

# Prestaciones de natura

Un viejo profesor de Ecología enseñaba que los biomas y los ecosistemas son como los quioscos de la naturaleza: ofrecen servicios que el hombre. Los biomas son unidades biológicas que ofrecen a los humanos y a las otras especies que habitan el planeta, una cantidad de prestaciones que son esenciales para la vida. Un bosque, un humedal, un pastizal o un cultivo son biomas. Un ecosistema puede estar conformado por un solo bioma o estar integrado por parches que forman parte de distintos biomas. Por ejemplo, una sabana es un ecosistema que combina un pastizal y un bosque abierto. Un humedal es otro ecosistema que integra un cuerpo de agua (un bioma) con vegetación boscosa, arbustiva o pastos en su contorno que forman parte de otros biomas. Cada ecosistema tiene características estructurales y funcionales específicas y distintas que surgen de combinar los biomas que lo conforman. Las prestaciones que ofrece un ecosistema (también llamados servicios ecosistémicos) son una resultante de los biomas que lo conforman.

# El capital y los intereses

La noción de bien y servicio ecosistémico ha dejado de ser un patrimonio exclusivo de los círculos académicos y se ha difundido dentro de los medios la comunicación y la opinión pública informada. Así como una sociedad organizada ofrece bienes y servicios visibles tales como la educación, la seguridad o la salud, por los cuales paga, el ciudadano común comienza a reconocer que la naturaleza ofrece también bienes y servicios esenciales, aunque no necesariamente visibles ni remunerables. Pero hay una diferencia. Mientras aquellos son sostenidos a través de los impuestos que el ciudadano paga, éstos son gratuitos. Y como son de todos en general y de nadie en particular, suelen ser descuidados o maltratados.

Para clarificar estos conceptos, es necesario marcar una diferencia entre lo que es un bien, y lo que es un servicio. Mientras un bien ecosistémico representa un stock o acumulación de "capital natural", el servicio es un flujo o tasa que se genera a partir de aquel stock. Sería algo equivalente a un capital en moneda que, puesto en un banco, genera un interés o una renta a una determinada tasa anual. En este caso, un bosque en buena condición funcional sería el equivalente biológico a un capital que está en el banco y genera intereses. Los intereses que ese banco biológico paga son los servicios ecosistémicos. Si se gasta o destruye el capital (en este caso, el bosque), la renta decae o desaparece. Por ejemplo, el secuestro de carbono atmosférico es un servicio ecosistémico que ofrece el bosque. Otros servicios que también provee son la recarga de los acuíferos que sirven al hombre, la protección del suelo contra la erosión, o la regulación del clima local. Cuando deforestamos un bosque, eliminamos de un solo golpe una cantidad importante de servicios ecosistémicos. Y cuando nos damos cuenta de lo que perdimos, suele ser tarde. En el caso de los humedales, los servicios ecosistémicos que aportan están

vinculados no solo al stock de vegetación existente, sino también al stock de agua acumulada. Existen muchos tipos de humedales (planicies inundables, cuerpos de agua, pantanos, marismas, ciénagas, mallines, etc), y ellos ofrecen una cantidad importante de servicios como la regulación de los flujos de agua, la prevención de inundaciones, la purificación del agua contaminada, o la descarga de sedimentos arrastrados por la corriente. El drenaje de un humedal para convertirlo en un campo de cultivo o área residencial suele acarrear problemas (como las inundaciones, o la contaminación de los cursos de agua) que se hacen visibles cuando ya es tarde.

Otro ejemplo también nos puede servir. La infiltración del agua en los suelos es una función ecológica que produce dos servicios ecosistémicos: la recarga de los acuíferos subterráneos (que nos proveen agua), y la purificación o "limpieza" del agua que se infiltra. Al atravesar distintas capas de suelo, el agua pasa a través de un sistema secuencial de "filtros" que le permiten llegar limpia a la freática y al acuífero que la almacenan. Durante siglos el hombre se valió de los acuíferos subterráneos para obtener este recurso esencial para la vida. Si la expansión de una ciudad cubre un área de recarga con edificios y pavimentos, las funciones de infiltración, recarga y purificación quedarán afectadas. El efecto sería equivalente a la eliminación de una planta urbana de potabilización. En el caso de la infiltración, la comunidad raramente se percata del daño porque no es tangible, no lo ve; en el segundo sí lo percibe porque la potabilización tiene un costo económico que recae sobre su bolsillo. Es ahí cuando la comunidad se da cuenta de que se ha destruido un bien de capital (la planta potabilizadora natural) y se ha quedado sin un servicio esencial (el agua potable) que, ahora, tiene un costo monetario que debe asumir. Por lo tanto, aunque la purificación natural del agua no tenga precio, tiene un valor intrínseco que la sociedad debe apreciar. Esto no siempre ocurre.

Los servicios del ecosistema se agrupan en cuatros categorías: de provisión, de regulación, culturales y de soporte (a la provisión de otros servicios). Los servicios de provisión –alimentos, fibras, agua, materias prima (madera), combustibles biológicos (leña)– son aquellos que generalmente son tangibles y poseen un valor de compra o venta. Los servicios de regulación –control de erosión, recarga y purificación de agua, regulación del clima o control de inundaciones– tienen, en cambio, un valor que no tangible. Carecen, por lo tanto, de un precio de compra y de venta, con lo cual su valor se percibe cuando el servicio desaparece. Los servicios de soporte –mantenimiento del hábitat, conservación de la diversidad genética, formación de los suelos–, que tampoco tienen un valor de mercado, son también susceptibles de destrucción. En cambio, los servicios culturales –tales como el patrimonio histórico de una región y sus costumbres, lenguas, comidas, relaciones sociales– comienzan a ser valorados crecientemente en las sociedades organizadas, y valorizados en términos económico-comerciales a través de actividades como el agroturismo, el eco-turismo, los servicios de recreación, etcétera.

La noción de servicio ecosistémico es una treta ingeniosa que los economistas ecológicos idearon para convencer a la sociedad que las prestaciones que ofrece la naturaleza tienen un valor, aun cuando no tengan un precio. Utilizando una variedad de métodos de valoración monetaria, Costanza el al. (1997) publicaron un trabajo clásico de revisión de datos, muy popular e influyente en su momento, que intentó estimar el valor económico anual que tendrían distintos biomas en función de los servicios ecosistémicos que proveen. Los resultados mostraron que distintos biomas tienen diferente valor, y que éste está vinculado a la cantidad y tipo de servicios que prestan. Como los valores reportados al comparar biomas son muy variables y contrastantes, esto ha sido motivo de debate dentro y fuera de los ámbitos académicos y científicos. Los economistas ortodoxos descreen de los

métodos de valoración que aplican los economistas ecológicos. De cualquier manera, el debate ha servido para instalar el tema en ámbitos donde se toman decisiones políticas.

## Ruralidad y servicios de los ecosistemas

¿Qué tiene que ver el sector rural con la provisión de servicios ecosistémicos intangibles? La agricultura y la ganadería ¿destruyen servicios ecosistémicos esenciales? ¿Pueden convivir los servicios de la producción (alimentos, fibras, materias primas) con otras prestaciones de los ecosistemas que carecen de precio en el mercado? Estas preguntas generan respuestas tan variadas como especulativas. El debate se realimenta y recalienta con el tiempo.

Hay un eje que excede los límites de cualquier discusión: las tendencias demográficas globales obligarán en el 2050 a duplicar la producción de alimentos. Nadie discute que los alimentos, las fibras y las materias primas son servicios esenciales de provisión que ofrecen los ecosistemas agropecuarios (Godfray el al., 2010). El quid de la cuestión es que la expansión de estos servicios de producción no debería hacerse a expensas de reducir o eliminar otros servicios esenciales. También es necesario reconocer que la producción agropecuaria requiere preservar servicios ecosistémicos de sostén como la protección de los suelos, el reciclado de nutrientes, la estabilización del clima o la polinización de las plantas (ME, 2005). En línea con este razonamiento, algunos economistas ecológicos denominan "dis-servicios" a todos aquellos servicios negativos que genera la producción agropecuaria y forestal, tales como la destrucción del hábitat y de la biodiversidad, la expansión de malezas y plagas, la contaminación por sobreuso de fertilizantes, el envenenamiento por plaguicidas o la mayor

producción de gases de efectos invernadero (Zhang et al., 2007). Entre servicios beneficiosos y dis-servicios perjudiciales parece pendular el sector rural.

Algunos autores creen que más conveniente que hablar de "dis-servicios" sería hablar de sinergias y conflictos (*tradeoffs* en inglés) entre distintos servicios ecosistémicos (Power, 2010). Una relación sinérgica ocurre cuando el aumento en la provisión de un servicio coincide con un aumento simultáneo en la provisión de otros servicios. Una relación de conflicto, en cambio, se genera cuando la exacerbación de un servicio dado (por ejemplo, la mayor producción de granos) ocurre en desmedro de otro servicio (por ejemplo, la pérdida de suelo). En este último caso interesa también considerar la reversibilidad del conflicto, que puede no ser equivalente para todos los servicios en juego. Un caso típico de conflicto en los agro-ecosistemas ocurre con la incorporación de la siembra directa como método de cultivo en agricultura. Por un lado, la siembra directa favorece los servicios de protección del suelo contra la erosión y la incorporación de carbono al suelo. Por el otro, requiere una mayor utilización de plaguicidas que contaminan el ambiente, y puede aumentar la emisión de óxido nitroso, que es un potente gas de efecto invernadero (Kessel et al., 2013). Las opciones *gana-gana* (se gana en todo) son más bien raras en la naturaleza.

Cada vez tiene más aceptación la idea de que la producción agropecuaria moderna no debe necesariamente ser una destructora serial de servicios ecosistémicos como se suponía en décadas pasadas, sino que inclusive puede proveer varios servicios extra además de los ya conocidos de producción de alimentos, fibras, energía y materias primas. En los últimos años se ha popularizado la noción de ruralidad multifuncional, según la cual es posible armonizar la producción agropecuaria tradicional con la oferta de varios servicios ecosistémicos de regulación y culturales (escenarios paisajísticos, preservación de dialectos y costumbres locales)

que reciben una valorización creciente en los países desarrollados. Esta visión abre la posibilidad de que la sociedad pueda estimular económicamente a los productores rurales que tienen la capacidad de ofrecer esos servicios que no son estrictamente productivos (Robertson et al., 2014).

La realidad de los tiempos indica que la producción y los servicios ecosistémicos necesitarán convivir sin caer en la trampa de la exclusión mutua. Es necesario indagar bajo qué condiciones ocurren relaciones sinérgicas y cómo se pueden potenciar. Por ejemplo, los servicios de regulación que el sector agropecuario puede ofrecer a la sociedad son la provisión del hábitat para la biodiversidad, la polinización, el control de plagas, la purificación del agua, la regulación de los flujos de agua (para evitar inundaciones), el ciclado de nutrientes y el secuestro de carbono. Estas son seguramente las sinergias más prometedoras que se pueden reforzar.

## Hábitat y diversidad biológica en los agro-ecosistemas

El *hábitat y la biodiversidad* son dos aspectos crecientemente valorados en las sociedades modernas. Sin duda, el sector rural debe tenerlos en cuenta. Después de la segunda guerra mundial, y a partir de las décadas de 1950 y 60, la agricultura mundial tendió a privilegiar los sistemas de monocultivo, muy especializados, de alta rentabilidad y fácil manejo. Pero esta tendencia acarreó problemas de estructura y fertilidad en los suelos, y favoreció la expansión de plagas y malezas, con lo cual se favoreció el uso creciente de plaguicidas (Karlen et al., 1994). El mayor uso de plaguicidas provocó pérdidas de especies y de diversidad genética, con consecuencias negativas sobre las comunidades insectos,

vertebrados y microorganismos útiles del suelo. Estos cambios a la larga afectan varias funciones esenciales del ecosistema tales como el flujo de carbono y otros minerales, la polinización o el ciclado de nutrientes. Actualmente, esta visión está cambiando y se tiende a impulsar sistemas de policultivos en rotación que ayudan a mantener no solamente la biodiversidad local y la funcionalidad del suelo, sino también a reducir el impacto de plagas, malezas y enfermedades que afectan los rendimientos (Bennett et al., 2012). Más aún, los experimentos agrícolas de largo plazo que tienen lugar en distintos países han demostrado que las rotaciones complejas pueden proveer altos rendimientos aún con menor uso de insumos, y favorecer al mismo tiempo la acumulación de stocks de materia orgánica y nitrógeno, y romper el ciclo biológico de algunas plagas (Drinkwater et al., 1998). En síntesis, la rotación armónica de varios cultivos parece favorecer tanto la conservación del hábitat y la diversidad, como la salud funcional del agro-ecosistema.

La *polinización* es otro servicio ecosistémico esencial relacionado con la biodiversidad que sostiene la productividad de los cultivos anuales, los frutales, la horticultura y la floricultura. Si los insectos o las aves polinizadoras son afectados por los plaguicidas o por la destrucción de su hábitat, esa función esencial corre el riesgo de colapsar. Se estima que los agentes polinizadores son responsables del 35% de la producción global de granos, y que entre el 60 y el 90% de todas las plantas son dependientes de ellos (Klein et al., 2007). Sin duda, las abejas son los polinizadores más conocidos, pero también los cultivos más importantes del mundo son polinizados por especies de pájaros, murciélagos, mariposas, moscas y escarabajos. La agricultura que integra distintas especies de cultivo en rotación con pastizales, pasturas y bosques parece proveer, como ya señalamos, el hábitat que los agentes de polinización necesitan para sobrevivir.

El *control de plagas* es otro servicio ecosistémico vinculado a la diversidad biológica que genera algunas discrepancias. De larga

data existe el argumento de que el control químico de plagas, pese a la creciente expansión de su uso, no es efectivo para controlar las plagas de insectos, ya que año tras año es necesario utilizar más plaguicidas para proteger los cultivos (Oerke, 2005). La teoría ecológica sostiene que el "control biológico de las plagas" es un servicio potencialmente importante que existe en la naturaleza y que es posible fortalecer en los agro-ecosistemas (Pimentel et al., 1992). Los fundamentos de esta visión se basan en la relación predador-presa, uno de los puntales teóricos de la ecología como ciencia. En términos prácticos, los autores que promueven esta vía de control indican que es necesario ofrecer un hábitat adecuado a aquellas especies de insectos que pueden atacar y destruir a otros insectos que son nocivos para la agricultura evitando caer en el uso generalizado de insecticidas químicos (Landis, et al., 2000). Señalan, quizás sin demasiado sustento empírico, que para ello es necesario mantener parches de vegetación nativa alrededor de los potreros agrícolas para proveer refugio a los insectos útiles y permitir su reproducción y regeneración. Asimismo, sugieren introducir plantas cuyas flores y néctar puedan servir para sostener la población de predadores que posibilitan hacer un control biológico efectivo de las plagas (Tillman et al., 2012). Más allá de la lógica teórica que sustenta este argumento, se necesitan mayores argumentos y evidencias científicas para validar técnicamente este concepto teórico.

## Las rutas del agua

Dado que el agro-ecosistema es un demandante natural de agua (superficial y subterránea), inevitablemente requiere de agua en cantidad y calidad, de la regulación de los flujos hídricos que pueden provocar erosión de suelos, arrastre de sedimentos

y sustancias contaminantes, y anegamiento de tierras. Parte del agua que ingresa al ecosistema a través de la lluvia, el riego u otros mecanismos hidrológicos, retorna a la atmósfera a través de la evaporación directa desde el suelo, o de la transpiración que experimentan las plantas. Esta vía de retorno bajo la forma de agua evaporada genera dos servicios ecosistémicos clave: realimenta las precipitaciones locales y regula la temperatura del entorno. Otra parte del agua ingresada escurre en forma superficial o sub-superficial, con lo cual mantiene la funcionalidad de los cursos y cuerpos de agua. Una tercera parte infiltra en el suelo, lo cual produce la recarga de los acuíferos y la purificación del agua. La plantación de árboles y arbustos, por ejemplo, suele incrementar la evapotranspiración, reduciendo los flujos de agua destinados al escurrimiento e infiltración. Estos efectos son muy variables y contrastantes en zonas húmedas, semiáridas o áridas (Viglizzo et al., 2016). Al modificar la vegetación del ecosistema, los humanos ejercen un cierto control sobre la partición de los flujos de agua, especialmente en las escalas más pequeñas del paisaje. En áreas donde las napas freáticas arrastran sales hacia la superficie del suelo y la zona de raíces, algunas especies forrajeras como la alfalfa y forestales como los eucaliptos sirven al hombre para hacer descender el nivel freático al aumentar la función transpiración. Al alejar la napa salinizada de la superficie se reduce el riesgo de salinización del suelo (Heuperman et al, 2002).

La *purificación del agua* es otro de los servicios que el medio rural puede ofrecer. Se le atribuye al mal manejo de los cultivos varios problemas que afectan la calidad del agua, como el arrastre de sedimentos o contaminantes provenientes de la fertilización del suelo, o de los residuos de heces y orina de los animales. A través de la tecnología y de la aplicación de estrategias de ordenamiento territorial, es posible reducir la incidencia de estos procesos. Por ejemplo, la incorporación de labranzas conservacionistas como la siembra directa puede reducir drásticamente la pérdida

de sedimentos del suelo y el arrastre de nutrientes contaminantes. Igualmente, la introducción de cultivos de cobertura tiene también un efecto positivo, porque reduce la pérdida de suelo y favorece la infiltración y "limpieza" del agua (Syswerda et al., 2012).

A escala de paisaje es posible generar estrategias útiles de ordenamiento en el uso de la tierra. Se ha demostrado que las comunidades vegetales que forman parte de las riberas de ríos, arroyos y humedales tienen una gran capacidad para capturar los nitratos y el fósforo que transportan las corrientes de agua, extrayendo estas sustancias de la masa de agua circulante (Lowrance, 1998). Igualmente, los humedales tienen la aptitud natural de eliminar, mediante transformaciones microbianas, el nitrógeno excedente. Mediante un proceso de reducción química de los nitratos, los humedales pueden remover el nitrógeno bajo la forma de gases nitrogenados que se volatilizan hacia la atmósfera. Esta vía de "limpieza" del agua tiene el inconveniente que aumenta la emisión de óxido nitroso, que es un potente gas de efecto invernadero (Verhoeven et al., 2006). También los humedales pueden actuar como cuencas de sedimentación que permiten precipitar en su lecho el exceso de sedimentos circulantes en el agua. Tanto la restauración de humedales preexistentes como la construcción artificial de nuevos humedales son estrategias efectivas para favorecer la purificación de las aguas que arrastran elementos contaminantes.

## Sobre sinergias y conflictos

Como el *ciclado de nutrientes* es en parte regulado por el hombre, manejado con inteligencia se puede convertir en una prestación útil de los ecosistemas. Es un hecho bien conocido que los fertilizantes sintéticos que incorpora el hombre refuerzan la transferencia y el propio reciclado de los nutrientes dentro de los agro-ecosistemas.

No obstante, también pueden actuar negativamente al reforzar ciertas vías de pérdida que favorecen la contaminación del agua y del aire. Los fertilizantes nitrogenados, por ejemplo, suelen ser una vía importante de pérdida de este mineral (contaminando fuentes de agua) y un promotor significativo de las emisiones de gases de efecto invernadero a través de su volatilización como óxido nitroso. A ello debe sumarse que la síntesis de fertilizantes nitrogenados demanda un alto consumo de energía fósil, con lo cual contribuye a aumentar las emisiones invernadero por una doble vía, el óxido nitroso y el anhídrido carbónico (Robertson et al., 2000). Una manera de salir de este círculo vicioso es promover la acumulación y retención de nutrientes en la materia orgánica de los suelos. Los experimentos centenarios realizados en la estación experimental de Rothamsted (Reino Unido), y otros estudios de largo plazo realizados en otras regiones del mundo, han demostrado que existe una asociación positiva entre la materia orgánica y la disponibilidad de nutrientes (Rasmussen et al., 1998). La materia orgánica del suelo se incrementa a través de sistemas como la siembra directa, la diversificación de especies y variedades, y el uso de cultivos de cobertura (Syswerda et al., 2011). De acuerdo a Kassam et al. (2009), este tipo de sistemas agropecuarios están sustentados en tres principios que favorecen un reciclado eficiente de los nutrientes: (1) mínima perturbación del suelo con labranzas, (2) cobertura vegetal permanente del suelo y (3) rotación de los cultivos.

El servicio de *secuestro de carbono* puede mantener tanto una relación de sinergia como una relación de conflicto con la producción agropecuaria. La clave está en maximizar las sinergias y desactivar los conflictos dentro del agro-ecosistema. Por ejemplo, es bien conocido que la siembra directa incrementa la acumulación de materia orgánica en los suelos, al mismo tiempo que minimiza el uso de combustibles fósiles y las emisiones de gases de efecto invernadero. Es ésta una típica relación de sinergia. Sin embargo, la incorporación de esta práctica agronómica

por parte de los productores agropecuarios requiere un mayor consumo de herbicidas, ya que el control de malezas a través de las labores mecánicas debe ser desestimulado para no alterar los beneficios de la siembra directa sobre los suelos. Y en este punto es donde emerge una relación de conflicto. La manufactura industrial impone consumos elevados de energía fósil, con lo cual aumenta las emisiones y neutraliza parte de los beneficios de la siembra directa. Como señalamos anteriormente, las emisiones de óxido nitroso también pueden aumentar con la siembra directa. Las prácticas de rotación de cultivos bajo siembra directa es una herramienta que puede manejar el productor para quebrar el ciclo biológico, romper la sucesión generacional de las malezas y minimizar el uso de herbicidas. Una práctica de esta naturaleza, conocida desde la antigüedad, desnivela la balanza a favor de las sinergias y en contra de los conflictos que surgen en el agro-ecosistema (Levin et al., 2011).

PARTE III

# En busca del equilibrio posible

CAPÍTULO 10

# Avances en clave tecnológica

En la producción agropecuaria existen tanto tecnologías integradas como tecnologías autónomas que pueden ser incorporadas al planteo productivo. En general, las llamadas tecnologías integradas conforman un paquete articulado de prácticas o tecnologías de procesos, estructurales y de condición permanente, que forman parte de la organización del sistema productivo o establecimiento rural. Dentro de este grupo aparecen, por ejemplo, el manejo integrado de plagas y malezas o la rotación programada de cultivos. En cambio, las tecnologías no integradas o autónomas son de aplicación coyuntural de acuerdo a las necesidades o problemas que van surgiendo. Por ejemplo, la aplicación de un insecticida o un herbicida sintético son eventos coyunturales que pueden, de acuerdo a las necesidades, ocurrir o no dentro de un año agrícola. Pero no son de aplicación sistemática todos los años.

Más allá de estas tecnologías –que llamaremos convencionales– hay en ciernes un futuro tecnológico que va a impactar fuertemente en la seguridad alimentaria y la salud ambiental de los agro-ecosistemas.

# Integrando el manejo

La integración de tecnologías de proceso (o de manejo) en paquetes estructurales permanentes, que forman parte del diseño del sistema productivo, suele ser común en los proyectos de desarrollo rural. La integración responde a una visión sistémica o holística de la producción agropecuaria, y predomina en zonas con aptitud productiva moderada a baja, como ocurre en muchas regiones subhúmedas, semiáridas y áridas del planeta. Por ejemplo, los planteos mixtos diversificados que integran distintos cultivos y pasturas en rotación responden a esta visión (Viglizzo y Roberto, 1989). La clave es el mantenimiento del agro-ecosistema en buena condición funcional, preservando la estructura y fertilidad de los suelos y la diversificación de actividades dentro de un esquema de bajos insumos. La diversificación confiere estabilidad al sistema. Esta concepción se ha revalorizado recientemente en los planteos de agricultura multifuncional, o sea, en aquellos sistemas de producción que pueden proveer a un mismo tiempo tanto *commodities* como servicios ecosistémicos (Cassman et al., 2005).

La integración de actividades y procesos ha dado lugar a distintos sistemas tecnológicos como el Manejo Integrado (MI) de diversas cosas: de Recursos Naturales, de Plagas y Malezas, de Recursos Hídricos, de Suelos y Nutrientes, de Cultivos y Ganados. Los manejos integrados apuntan a resolver problemas generalmente complejos que afectan el manejo de los recursos del agro-ecosistema, de manera de garantizar un flujo estable de productos y servicios a la sociedad y la propia comunidad rural. Tres ejemplos ilustrativos aplicables a distinta escala geográfica son de utilidad para interpretar la lógica de los manejos integrados: el MI de Suelos y Nutrientes a una escala de parcela o potrero, el MI de Plagas y Malezas a escala predial, y el MI de los Recursos Hídricos a escala de cuenca o paisaje.

El MI de Suelos y Nutrientes se basa en reconocer que la pérdida de materia orgánica, de nutrientes y de estructura en los suelos es un problema mayor que afecta la sustentabilidad y productividad de las parcelas o potreros en producción. La clave radica en la materia orgánica de los suelos: la materia orgánica mejora la estructura de los suelos y regula la liberación de sus nutrientes. Una mejor estructura edáfica favorece el intercambio de gases, la capacidad de retención del agua y el ambiente físico para las raíces. Por lo tanto, el manejo integrado de esos elementos debe estar focalizado en la generación y regeneración de la materia orgánica en el suelo. Las estrategias para incrementar la materia orgánica incluyen la integración de cultivos y pasturas en sistemas mixtos de producción, los cultivos de cobertura destinados a reducir la erosión y transferir agua de una época de abundancia a otra de escasez, la adopción de prácticas conservacionistas como la siembra directa, las enmiendas con materia orgánica proveniente de las heces animales, la fertilización, la introducción de leguminosas con capacidad para realizar una fijación biológica del nitrógeno y el manejo del agua (Lal, 2004).

Más que combatir las plagas buscando su exterminio químico, el MI de Plagas y Malezas promueve el manejo controlado de las mismas preservando la salud funcional del ecosistema. Estos esquemas, cuando son bien manejados, suelen reducir prácticamente a cero la aplicación de plaguicidas sintéticos (Lewis et al., 1997). Como están basados en la aplicación de principios biológicos esenciales, suelen ser intensivos en el uso de conocimientos agronómicos y ecológicos. El enfoque integra tecnologías y prácticas tan variadas como la incorporación de variedades con resistencia genética, la diversificación de actividades productivas, el control biológico de plagas, la preservación de parches de vegetación natural para proveer de hábitat a los agentes de control biológico, la rotación de cultivos como instrumento para quebrar

el ciclo biológico de las plagas, labranzas para destruir malezas y, cuando estas barreras han sido superadas, la aplicación coyuntural de un plaguicida químico.

El MI de los Recursos Hídricos configura una estrategia aplicable a una escala mayor a la del predio, generalmente la del paisaje o la cuenca. Procura resolver situaciones de conflicto asociadas al uso y manejo del agua, que es un recurso crítico compartido por más de un usuario especialmente en áreas de regadío. Se basa en la aplicación de enfoques participativos y en el manejo conjunto y protección de las fuentes de agua (Van Hofwegen y Jaspers, 1999). El enfoque reconoce la necesidad de integrar el agua a una escala de cuenca promoviendo un uso planificado y acordado entre los distintos usuarios, que conforman una unidad decisional conocida como comité de cuenca. Por ejemplo, varias cuencas agrícolas de Australia han sufrido una salinización de sus tierras debido a la deforestación de bosques naturales que produjo un ascenso no esperado de napas freáticas con alta densidad salina. Esos episodios impusieron un enfoque de MI de los recursos hídricos basado en una mejor comprensión de las funciones hidrológicas de las cuencas afectadas. La introducción de planteos agrícolas y forestales, y la adopción de prácticas de manejo, previamente acordadas entre los usuarios de las tierras, están destinados a reducir el impacto de la degradación salina y restaurar las funcionalidad hidrológica natural de los ecosistema (Andrews, 2005).

## Insumos, o autonomía tecnológica

Las tecnologías de insumos responden a un criterio de tecnologías independientes, autónomas, que en general no forman parte del diseño estable de un sistema tecnológico integrado.

Las tecnologías de insumos son aplicadas intensivamente en los planteos agrícolas de pocos cultivos o monocultivos, de alta rentabilidad, que incorporan variedades de alto rendimiento y aplican prácticas agronómicas simples y sencillas. Su intensidad de uso puede variar de un año a otro. A diferencia de las tecnologías integradas que no se compran en el mercado sino que se administran en el campo y requieren habilidades y conocimientos especializados, las tecnologías de insumos (como los fertilizantes o los plaguicidas) se adquieren mayoritariamente en los mercados proveedores. Se aplican en momentos o coyunturas específicas y no requieren un conocimiento especializado ni un manejo sofisticado. Más que a un criterio de administración de procesos complejos y supervisión permanente, las tecnologías de insumos vienen ya con un activo de conocimiento incorporado. Son de manipulación sencilla y su uso puede asimilarse al de una píldora recetada que se toma siguiendo un "protocolo farmacológico" sencillo. Las tecnologías de proceso son el resultado del conocimiento personal y la habilidad del productor para manejar mecanismos biológicos complejos dentro de su sistema de producción; las tecnologías de insumo son generalmente el producto comerciable de grandes empresas o corporaciones que las difunden en el mercado.

Los fertilizantes, los insecticidas, los herbicidas y los fungicidas son los insumos típicos, los más conocidos, y generalmente son un producto sintético de la manufactura industrial. También deben incluirse dentro de la categoría de insumos a los genes con atributos específicos que se comercializan en el mercado de semillas y que han sido previamente seleccionados o incorporados a la simiente mediante técnicas convencionales de mejoramiento o manipulaciones genómicas. También las máquinas, las herramientas e implementos de laboreo y los equipos de riego forman parte de las tecnologías de insumos.

# Tañidos del futuro

El futuro de la tecnología en el sector rural es una caja de sorpresas. Se están produciendo avances impensados en varios campos, pero en cuatro de ellos son particularmente prometedores: el mejoramiento genético no convencional, la tecnología de la información y las comunicaciones (TIC), los sensores remotos, y las nano-tecnologías. Parte de estas tecnologías con alto potencial de desarrollo en el futuro pueden ya encontrarse, en estado embrionario, en las formas más avanzadas de la agricultura moderna. Varias de ellas apuntan al corazón de un problema clave: la armonización de la producción agropecuaria con la salud del ambiente y los ecosistemas.

Son bien conocidos los beneficios que el mejoramiento genético tradicional ha traído a la producción agropecuaria durante los últimos 60 a 70 años. En los hechos, la productividad de los cultivos se multiplicó varias veces a partir de la genética de la primera Revolución Verde. Sin embargo, la necesidad de satisfacer una productividad creciente, estable y armónica con el entorno, ha llevado a la ciencia a explorar nuevas opciones dentro del complejo universo de la combinación de genes. Hoy escuchamos hablar con demasiada frecuencia de las biotecnologías, y muchos las asociamos con el futuro de la ciencia agropecuaria. En realidad, la biotecnología incluye tanto técnicas tradicionales de manipulación biológica a campo que el hombre ha utilizado durante milenios, como técnicas muy modernas de manipulación genómica. En el campo de manipulación genómica puede ser mencionada la selección asistida por marcadores (SAM), que permite "identificar, cortar y pegar genes a la carta" en condiciones de laboratorio (*in vitro*). En esta categoría caen algunas técnicas de la ingeniería genética que han permitido crear organismos transgénicos también conocidos como organismos genéticamente modificados (OGM). Más allá de algunas barreras biológicas que no han logrado todavía ser

superadas, los progresos alcanzados en la técnicas para recombinar ADN e introducir genes que no forman parte de la dotación natural de una especie dada, prometen acortar notablemente el camino hacia la obtención de nuevos organismos con atributos deseables y su rápida introducción en los circuitos comerciales y productivos (Wenzel, 2006). Esto explica la popularidad (a favor o en contra) que tienen los cultivos transgénicos.

La denominada *Genómica* abre hoy horizontes inesperados. El análisis genómico completo, asociado al empleo de marcadores moleculares, acelera notablemente la identificación de organismos con combinaciones deseables de genes, ya que permite identificarlos rápidamente en medio de muchos cientos de progenies experimentales. La incorporación de nuevos marcadores genómicos plantea perspectivas impensadas para tomar atajos en la mejora genética. No obstante, esta herramienta impone algunos recaudos: las nuevas variedades transgénicas pueden eventualmente convertirse en malezas invasoras muy adaptables a distintos ambientes, o transferir sus genes (introgresión) a plantas nativas con el riesgo e incertidumbre potencial que eso impone sobre la diversidad biológica local (Campbell et al., 2006). También la genómica ha incursionado en la producción ganadera. Sin embargo, por ahora está limitada a la creación de animales transgénicos (principalmente aves y bovinos) para producir fármacos o proteínas terapéuticas (por ejemplo, vacunas, hormonas de crecimiento, insulina) en huevos y leche (Gluck, 2000).

Los avances en el uso de sensores remotos (SR), sistemas de información geográfica (GIS), sistemas de posicionamiento global (GPS), tecnologías de la información y comunicación (TIC) y nanotecnologías permiten inferir un rápido progreso al ser aplicadas a la agricultura de precisión, agricultura por ambientes o agricultura sitio-específica. Por ahora, la agricultura de precisión está confinada a productores o empresas de siembra que operan a gran escala comercial, y ha prosperado en países donde la

disponibilidad de tierra es alta y donde existe escasez de mano de obra. Las tecnologías que apuntalan estos sistemas exigen de quienes los operan conocimientos y habilidades específicas, sobre todo en el manejo de computadoras, técnicas de procesamiento de imágenes, tecnología láser, y otros elementos de tecnología avanzada que van conectados a la maquinaria agrícola. Es poco probable que en el corto plazo la agricultura de precisión sea adoptada masivamente por los pequeños productores.

Los *Sensores Remotos* juegan hoy –y lo harán aún más en el futuro– un papel central en el manejo de los recursos naturales y en la elaboración de estadísticas productivas, ya que permiten la identificación de cultivos, pasturas y pastizales, la estimación de áreas sembradas y cosechadas, la predicción de rendimientos y la detección de daños por ataques de plagas, por inundaciones o por sequía (Patil et al., 2002). Su uso se apoya en el acceso a imágenes aéreas o satelitales de espectro múltiple, y sus aplicaciones en el campo de la agricultura de precisión son esenciales. Sus costos a menudo imponen una limitación de uso en las regiones agrícolas menos desarrolladas. En combinación con los GIS y el uso de modelos hidrológicos, las imágenes provistas por SR son clave para manejar la dinámica hídrica de las cuencas, especialmente en áreas de regadío. También los SR encuentran aplicaciones crecientes en el campo de la agro-meteorología y en el manejo de los recursos naturales.

Las *Tecnologías de la Información y las comunicaciones* tendrán una notable expansión en los próximos años, y permitirán la estructuración de ciber-comunidades muy desarrolladas. Debido a la evolución de las computadoras portables y los teléfonos celulares, los productores y asesores agronómicos accederán a una cantidad creciente y diversificada de servicios, entre los que se incluyen datos de mercado, datos meteorológicos, pronósticos climáticos, asesoramiento agronómico, herramientas de decisión, y educación y entrenamiento a distancia. Sin duda, no todas las

tipologías de productores podrán beneficiarse igualmente del uso de las TIC, ya que existe una "brecha digital importante que separa a los productores más y menos desarrollados, la cual puede ampliarse en el futuro.

La *nanotecnología* es la ingeniería de sistemas que funcionan a escala muy pequeña, molecular o atómica. Con un desarrollo en expansión, promete hacer grandes contribuciones a la agricultura en su relación con la gestión del ambiente y los recursos naturales. Se vaticina que tendrán un rol protagónico en el manejo de la fertilidad de los suelos, la productividad de los cultivos y ganados, el manejo de plagas, el manejo de los desechos y contaminantes agrícolas, y la propia bioseguridad humana (Gurib-Fakim et al., 2009). Los nano-sensores biológicos, conectados a computadoras que capturan y registran un flujo permanente de datos, permitirán casi en tiempo real una evaluación expeditiva de los suelos, las plantas, los nutrientes, los contaminantes y el agua a escala de parcela o potrero. Permitirán dosificar las dosis a aplicar de fertilizantes y plaguicidas, o el agua a irrigar, de manera óptima de acuerdo a las necesidades de los cultivos. La integración de biotecnologías, TICs y nanotecnologías promete revolucionar la agricultura de las próximas décadas. Existe, no obstante, cierta preocupación acerca del destino final de los nano-materiales utilizados por los productores, ya que pueden acumularse en el agua a densidades variables formando coloides difíciles de manejar (Colvin, 2003). Como ocurre con las biotecnologías, el acceso a las nanotecnologías no será parejo: los países más ricos se beneficiarán antes de los progresos que ocurran en este campo de la alta tecnología.

CAPÍTULO 11

# Dogma, utopía y realidad

## Agriculturas alternativas

Es inevitable que emerjan posiciones enfrentadas en un planeta apremiado por la explosión demográfica y el fantasma de la inseguridad alimentaria y ambiental.

Durante los últimos años, los métodos modernos de producción agrícola, ganadera, y forestal han estado sometidos a un exigente escrutinio científico y social. Sin desconocer su papel insustituible, al sector rural se le achaca producir impactos negativos (verificados o no) sobre el ambiente y los recursos naturales, y sobre la propia configuración económica y social de los países. Algunos medios de comunicación, como nunca antes, han sido vehículo de críticas que resaltan los riesgos y las amenazas que la producción agropecuaria impone al hombre y al planeta. Al amparo de esta tendencia se han desatado corrientes de opinión en las cuales se cruzan el idealismo genuino y la buena intención, el dogma y la ideología interesada, y la propia utopía de creer que es posible alimentar a la humanidad sin provocar ningún costo ecológico y ambiental.

Un conocido y prestigioso profesor chileno de la Universidad de Berkeley (California), el Dr. Miguel Altieri, ha corporizado una corriente de crítica severa e inflexible a aquellos sistemas modernos de producción calificados como "agricultura industrial". Sostiene que las tecnologías agrícolas actuales, de alta productividad biológica y económica, conducen a una indeseable especialización productiva, al monocultivo y a un distanciamiento de los principios básicos de conservación que dan fundamento a la ciencia ecológica. En su visión, la mecanización, las nuevas técnicas de mejoramiento genético, el desarrollo de agroquímicos para fertilizar los cultivos y controlar malezas, insectos y enfermedades, y el uso de antibióticos y estimulantes para el crecimiento animal, acarrean una cantidad de problemas que afectan a la ecología, al ambiente y a los recursos naturales que sostienen los sistemas de vida en la Tierra. Para esta corriente de pensamiento, la agricultura industrial tiene consecuencias costosas: el monocultivo y la alta dependencia de insumos externos destruyen la diversidad biológica y los mecanismos naturales de auto-regulación natural, generando agro-ecosistemas muy vulnerables al riesgo ecológico y ambiental. Considera que los pequeños productores de los países pobres pagan un precio muy alto por la inequidad que generan las nuevas tecnologías, ya que no pueden acceder a ellas. Entre sus críticas denuncian otros desarreglos: la agricultura industrial, inspirada en la Revolución Verde e impulsada por políticas capitalistas neoliberales, privilegian el negocio de las grandes compañías proveedoras de insumos y maquinaria. Creen que de esta manera solo favorecen las economías de escala y el desarrollo de predios más grandes, que se expanden territorialmente a expensas de las tierras que ceden los pequeños productores, empujados inexorablemente a la pobreza y marginalidad. Señalan que estas formas de producción son el resultado inexorable de un paradigma científico reduccionista, de inspiración neo-liberal, focalizado en el uso de

variedades de alto rendimiento e insumos químicos y mecánicos, los cuales están asociados a un uso intensivo de combustibles fósiles (Altieri, 1999; Altieri y Nicholls, 2001).

Alineadas a esa corriente, y como reacción a la agricultura industrial, han proliferado propuestas de producción de alimentos que caen en el ámbito de las llamadas "agriculturas alternativas" (Vandermeer, 1995). La agricultura orgánica, agricultura ecológica o agroecología, agricultura biológica, agricultura biodinámica, agricultura permanente o permacultura, agricultura autosuficiente, agricultura indígena, agricultura familiar, agricultura campesina, agricultura sustentable de bajos insumos y otros formatos forman parte de un conglomerado multiforme de difícil caracterización. Desde un punto de vista técnico, sus cultores promueven la producción de alimentos saludables mediante sistemas y métodos "limpios" basados en el conocimiento ecológico, el cuidado de la salud de los ecosistemas y del ambiente, y el respeto a los ciclos biofísicos de la naturaleza. Rechazan de plano los insumos provenientes de la industria química (fertilizantes y plaguicidas sintéticos) y los organismos genéticamente modificados. Impulsan el uso de especies y variedades locales de cultivo, y buscan preservar la diversidad biológica y el equilibrio entre las especies nativas de plantas y animales. Las plagas de insectos, enfermedades y malezas son combatidas a través de métodos tradicionales que pueden incluir el "control a sangre" (intervención manual sobre la plaga), el control mecánico (mediante labranzas) y el control biológico (mediante organismos que atacan a las plagas).

Como aditamento, se incorporan ideas que van más allá de lo estrictamente tecnológico, como la soberanía alimentaria, la lucha del campesino pobre contra los intereses de los terratenientes, el combate a las multinacionales, el derecho a la tierra o la preservación del conocimiento indígena. Son éstas, entre otras, algunas de las consignas que rigen estos movimientos vinculados a la ruralidad.

# La Agroecología como bandera

La agroecología (o agricultura ecológica) se presenta en sociedad como uno de los paradigmas con fundamento técnico dentro de las agriculturas alternativas. Puede considerarse una disciplina o corriente de pensamiento que, en oposición a la agricultura industrial, propone aplicar principios de la ecología al diseño de los sistemas de producción con el fin de gestionar opciones sustentables y amigables con los ecosistemas y el ambiente. Promueve una mirada holística o sistémica sobre el ecosistema, procurando integrar de manera armónica sus estructuras y funciones.

Vale aclarar que el concepto de agroecología no es nuevo, ya que pueden encontrarse antecedentes tempranos en la década de 1930 (Bensing, 1930). Pero la noción fue cambiando con el tiempo. Originalmente hacía referencia a aspectos vinculados a la producción y protección de los cultivos contra las plagas y enfermedades. Hoy es una disciplina que integra la producción agropecuaria con aspectos ambientales, sociales, económicos y éticos (Wezel et al. 2009). Inclusive, en países distintos tiene diferentes significados, lo cual inevitablemente crea confusión. En Francia es considerada como un movimiento destinado a promover ciertas prácticas agronómicas vinculadas a la conservación de los recursos naturales. En Alemania es considerada una disciplina científica con sus propios enfoques y métodos investigativos. En Estados Unidos y Brasil es definida como una disciplina científica y como un movimiento filosófico, político y social.

Técnicamente, sus principios no son cuestionables: idealmente, la agroecología debe i) contribuir a crear un medio ambiente equilibrado, ii) proporcionar rendimientos sustentables en el tiempo, iii) preservar la fertilidad y estabilidad estructural de los suelos; iv) facilitar el control natural de las plagas y malezas, iv) impulsar una configuración diversificada del predio mediante la combinación espacial y temporal de cultivos, pastizales,

bosques y animales, y v) potenciar funciones complementarias y sinérgicas dentro de los ecosistemas. No obstante, su puesta en práctica no es sencilla.

¿Cuál son los fundamentos filosóficos de este paradigma? Altieri y Nicholls (2001) y Altieri (2002) lo describen de la siguiente manera: Existen dos olas de problemas ambientales. La primera hace foco en las "enfermedades ecológicas" que genera la excesiva especialización de los sistemas modernos de producción. La segunda declara un estado de emergencia ecológica frente al avance de las nuevas tecnologías, o sea la "bala mágica" que promete resolver los problemas de la seguridad alimentaria y ambiental.

Para estos autores, la causa mayor de las enfermedades ecológicas es el monocultivo y el uso de insumos "capital-intensivos", como los plaguicidas y fertilizantes sintéticos, que afectan tanto a los ecosistemas como a las propias comunidades rurales. Sus efectos se materializan en la erosión y el agotamiento de los nutrientes del suelo por sobre-cultivo, la salinización y alcalinización de las tierras (especialmente en zonas áridas y semiáridas) y la contaminación de las fuentes y corrientes de agua superficial y subterránea. A estos problemas se sumarían la pérdida de biodiversidad nativa, de recursos genéticos locales, la eliminación de enemigos naturales de las plagas, la reaparición de plagas y malezas que se creían controladas, la resistencia genética a los plaguicidas y la destrucción de los mecanismos naturales de regulación de los ecosistemas. Consideran que la necesidad de usar cantidades crecientes de plaguicidas es un síntoma de la crisis ambiental que genera la agricultura moderna. El problema se agravaría, especialmente en los países en desarrollo, debido a la dependencia creciente de los plaguicidas, y al riesgo que ellos imponen sobre la salud de los productores, su familia y las propias comunidades rurales. Otra línea argumental es dedicada al uso de fertilizantes. Debido a la respuesta decreciente de los cultivos al uso creciente de fertilizantes sintéticos, los costos de producción se incrementan

sin aumentar paralelamente el rendimiento de los cultivos. Como este fenómeno simplemente refleja una caída en la eficiencia de captura de los nutrientes por parte de los cultivos, los excedentes no aprovechados contaminan las fuentes superficiales y subterráneas de agua. Las aguas contaminadas por nitratos serían disparadores de enfermedades como la meta-hemoglobinemia y algunos tipos de cáncer en el sistema digestivo de los humanos. Igualmente, serían causa de hipoxia y "zonas muertas" en ríos y sistemas costeros marinos, y una fuente de emisión de gases de efecto invernadero. Los autores arguyen que existen fuertes intereses comerciales detrás del uso de estos agroquímicos sintéticos, cuya utilización se incrementa en todo el planeta impulsada por las grandes corporaciones transnacionales.

La segunda ola de enfermedades ecológicas tendría su disparador, de acuerdo a Altieri y Nicholls (2001), en las tecnologías biológicas de generación reciente. Aunque reconocen que ciertos eventos biotecnológicos son potencialmente prometedores para mejorar la productividad de una manera amigable con el ambiente, consideran que al estar estas innovaciones bajo el control de grandes empresas proveedoras de insumos, es esperable que los resultados sean opuestos a los buscados. Descreen de la transgénica como herramienta de innovación porque detrás de ellas están las mismas corporaciones que sentaron las bases de la agricultura industrial, causando una devaluación de la investigación pública. Para ellos, la intención de esas megaempresas es desarrollar un gran mercado internacional de pocos cultivos demandantes de insumos, que producirían una rápida homogeneización genética de los paisajes rurales. Aumentarían así la vulnerabilidad a las plagas, y la consecuente demanda de más plaguicidas para combatirlas. Como efectos colaterales indeseables, ocurriría una desaparición de las antiguas variedades de cultivo, una transferencia de genes desde los cultivos modificados a las plantas silvestres emparentadas, la aparición de casos

de resistencia de insectos y malezas a los insecticidas y herbicidas, la generación de nuevas cepas virales, y el exterminio de organismos útiles dentro del ecosistema intervenido. Advierten que estas consecuencias son particularmente riesgosas en países donde los controles son laxos o inexistentes.

Estos autores creen que es perentorio organizar coaliciones entre entidades de productores, organizaciones no gubernamentales y grupos de consumidores para imponer presiones sobre los gobiernos y las corporaciones multinacionales que son causantes primarios de las "enfermedades ecológicas". Con ese fin impulsan regulaciones más severas y promueven en el sector público investigaciones científicas alternativas a las de la agricultura industrial.

## ¿Cautivos de un dogma?

No es sencillo polemizar con quienes promueven las agriculturas alternativas. Algo parecido ocurre en la medicina convencional cuando debe polemizar con los cultores de las medicinas alternativas. Ambas se apoyan en teorías "aceptadas" que no siempre han pasado por el filtro del escrutinio científico riguroso. No toda la teoría ecológica ha tenido validación científica. Pese a ello, aparecen principios precautorios que emanan de teorías no verificadas. Es entendible que, frente a la duda, la gestión pública aplique principios precautorios basados en la teoría dominante, aunque no implica que esa teoría sea cierta ¿Quién puede cuestionar que es necesario preservar la biodiversidad? ¿O asegurar la provisión de servicios eco-sistémicos? No obstante, es la investigación rigurosa quien debe convertir la incertidumbre en certeza científica.

Cuando los cultores de la agroecología hablan de "preservar los mecanismos endógenos de auto-regulación de los ecosistemas", ¿A qué mecanismos se refieren? ¿Está fehacientemente probada

su existencia? Y si lo está ¿Cómo se demuestran sus efectos en la práctica? ¿Qué significa crear un "ecosistema equilibrado"? ¿Cómo pueden manipularse esos "equilibrios"? ¿Cómo se potencian las "funciones complementarias y sinérgicas" del ecosistema? ¿Cómo se mide esa potenciación y se demuestra su efectividad? Sin duda, estos principios teóricos que seducen a una parte de la academia requieren comprobación empírica. La investigación agro-ecológica está fundamentalmente apoyada en el estudio de casos, pero no en el diseño y la réplica de experimentos que prueben la validez de una teoría. Quienes sostienen la validez de teorías no validadas suelen quedar cautivos del dogma ecológico y corren el riesgo de convertir en religión un campo que, en teoría, pertenece a la ciencia. El dogma se torna más extremo cuando es permeado por ideologías que desnaturalizan la cuestión ¿Qué tienen que ver la "ciencia agroecológica" con la crítica al capitalismo y al neo-liberalismo? ¿Con la pobreza rural y el acceso inequitativo a la tierra? ¿Con los movimientos indigenistas o la lucha contra las multinacionales? Mientras esta mezcolanza de intereses persista, es poco probable que la agroecología se afiance como una rama prometedora de la ciencia biológica.

Desde la praxis, seguramente es la agricultura cubana el experimento más consistente para probar las fortalezas y debilidades de la agricultura agroecológica. El agro cubano practicó durante varias décadas, y hasta fines de los años 1980, una producción convencional, de altos insumos y alta producción. Se sostenía a través del subsidio económico y tecnológico de la ex Unión Soviética. Una vez caído el subsidio en 1989, el flujo de insumos cayó abruptamente, y frente al bloqueo de las potencias occidentales, el gobierno cubano se vio forzado a revisar completamente su programa de producción alimentos. Se optó por el camino de una agricultura de bajos insumos, de base orgánica y mínimo uso de combustibles fósiles. Pero el tránsito hacia el nuevo sistema no fue sencillo, ya que algunos problemas se resolvieron y otros

nuevos aparecieron (Vandermeer, 1995). El fertilizante nitrogenado sintético fue reemplazado por leguminosas fijadoras de nitrógeno y por abonos orgánicos elaborados a partir de los desechos rurales y urbanos. Las micorrizas fueron utilizadas para liberar el stock de fósforo de los suelos. Parte de los tractores fueron reemplazados por animales de tiro, y la mano de obra rural pasó a ser un insumo del sistema. El control de las malezas se intentó a través de la competencia entre plantas (mediante rotaciones e inter-siembras), y los insectos y enfermedades se combatieron utilizando principios del manejo integrado de plagas. Los cubanos fueron exitosos en el control de las plagas, pero los restantes componentes del sistema, antes o después, comenzaron a fallar. Los sistemas de pastoreo rotativo no funcionaron como indicaba la teoría, y los animales de tiro exigían cultivar con especies forrajeras una cantidad considerable de tierra, lo cual ocurría a expensas del área destinada a producir alimento humano. El exceso de tiempo destinado a la mano de obra conspiraba contra la educación, el descanso y la salud de la familia rural.

En los congresos, simposios y reuniones de agroecología se suelen presentar estudios de casos considerados exitosos en distintos lugares del planeta (Tittonell, 2015). Cuando se revisan las publicaciones, es común que se presenten casos que acreditan éxitos, pero raramente fracasos. Argumentando que no son sistemas comparables, no siempre se reportan experimentos rigurosos que comparen los sistemas agroecológicos con los convencionales. La presentación excluyente de casos exitosos es señal de que el dogma interfiere a la ciencia.

Más allá de sus fortalezas y debilidades, hay que reconocer que el enfoque agroecológico nos conduce a mirar los problemas de la producción agropecuaria desde una perspectiva más amplia e integradora. Es un ejercicio sistémico útil y didáctico. En lugar de mirar el cultivo o la parcela cultivada como un componente aislado del sistemas de producción, la agroecología nos enseña a abarcar toda

la complejidad del ecosistema y del paisaje, con sus componentes múltiples, sus procesos y sus interacciones en el tiempo y el espacio. Esto es relevante en la formación académica de los jóvenes.

## Entre el idealismo y la utopía

Sin duda, el idealismo que generalmente guía a los defensores a ultranza de la agroecología es un hecho destacable. Muchos de ellos están sinceramente convencidos de que esta forma alternativa de hacer agricultura es la solución para corregir de un plumazo los problemas de seguridad alimentaria y los problemas ecológicos que abruman al planeta. Pero la realidad indica que es ése un camino utópico si se quiere abordar los grandes números de la seguridad alimentaria global. No es posible alimentar a una población mundial que no para de crecer con esquemas productivos que están mucho más cerca de una agricultura medioeval de bajos insumos del siglo 12, que de una agricultura industrial de altos insumos y alta productividad. Los rendimientos del medioevo no son comparables con los actuales, ya que aquellos oscilaban entre un 3 y un 10 % del rendimiento de los cultivos modernos de las mismas especies. Hay un elemento incontrastable a tener en cuenta: Algunas estimaciones indican que unos 550-600 millones de almas habrían habitado la Tierra en aquellos tiempos lejanos, y esos rendimientos probablemente alcanzaban para sostener la población humana del siglo 12. Pero hoy sabemos que con ellos no podríamos cubrir las demandas de una población 15 veces mayor. El desafío es completamente distinto.

Si se toman como ejemplo las estadísticas nacionales del maíz en Argentina entre 1900 y 2012, comprobamos que entre 1900 y 1940, dentro de un esquema extensivo y de bajos insumos,

el rendimiento de este cereal creció en promedio a una tasa de 9.9 kg/ha/año, mucho menos que la tasa de crecimiento demográfico del planeta. Entre 1940 y 1980 se inició una transición hacia un uso más intensivo de tecnología, aunque todavía lejano a los estándares de la agricultura moderna. En ese período los rendimientos alcanzaron una tasa de 30.8 kg/ha/año, tres veces mayor que la del período anterior. Entre 1980 y 2012, luego de incorporar masivamente tecnologías de alto rendimiento (genética, fertilizantes, plaguicidas, maquinaria), los rendimientos subieron abruptamente a 108.7 kg/ha/año. O sea, fue 11 veces más alta que la tasa correspondiente al período 1900-1940. Un país agroexportador no podría sustentar un papel relevante en la seguridad alimentaria global si mantuviera rendimientos propios de siglos pasados. Estamos hablando de una brecha semejante a la que existía en Europa entre el medioevo y la actualidad. La conclusión es inmediata: Es impensable que la agroecología pueda satisfacer la demanda de alimentos del 2050. Quizás puedan lograrse rendimientos más altos en pequeñas parcelas que utilizan compost y mano de obra sin restricciones, pero no es posible extrapolar la experiencia de una parcela a una producción de gran escala. Más allá de sus externalidades negativas, es inevitable reconocer que son las tecnologías de la Revolución Verde las que pueden aventar el fantasma de la inseguridad alimentaria (Pingali., 2012).

¿Es totalmente descartable la agroecología como sistema para producir alimentos? Ciertamente, no. Cumple, paradójicamente, un rol local en los extremos del ingreso económico. Podemos decir que los sistemas agroecológicos son un recurso de supervivencia para los pobres y un hobby para los ricos. Y es allí donde los extremos se tocan. En el medio, hay un espacio gigantesco ocupado por la agricultura y la ganadería moderna, que es la que puede proveer grandes volúmenes para satisfacer las demandas globales de alimentos.

La agroecología es un recurso viable en condiciones de pobreza o subsistencia rural porque permite una agricultura de bajos insumos y bajo costo a agricultores que no tienen acceso a la tecnología de la agricultura industrial. Para ellas, el uso de semillas tradicionales adaptadas a su región, el reciclado de nutrientes a través de los abonos animales y vegetales, el control manual de las malezas y aún de los insectos, la diversidad de plantas y animales domésticos y la rotación de cultivos son herramientas para enfrentar una realidad signada por la escasez de recursos y las contingencias ambientales. Practican procedimientos agroecológicos sin saber necesariamente que lo hacen, pues no se les puede pedir que conozcan los fundamentos teóricos de la ecología para producir sus alimentos. La mayoría simplemente recurre al conocimiento tradicional, producto de décadas y tal vez de siglos, de prueba y error.

En el otro extremo, encontramos muchos residentes urbanos de países ricos como Alemania, Francia, Holanda, Suiza o el Reino Unido, que se esmeran por aplicar procedimientos agroecológicos como parte de un "idealismo verde" que profesan y cultivan como hobby. Son cultivadores de jardín, convencidos de lo que hacen y de su aporte a la salud ambiental del planeta. Suelen conocer las teorías de la ciencia ecológica, y cultivan unos pocos metros cuadrados sin tener clara conciencia que esa superficie es una parcela y no ecosistema complejo e integrado. Sin duda es una actividad estimulante, y seguramente estos agricultores de ocasión gozan al consumir alimentos producidos con sus propias manos. Como sus propios cultivos no cubren sus necesidades, recurren mayoritariamente a los mercados que ofrecen productos de la agricultura convencional. Por supuesto que también existen en estos países productores de mayor escala que adscriben a los protocolos de una agricultura orgánica certificada.

CAPÍTULO 12

# Luces en el Antropoceno

Comencemos por reconocer una verdad irrefutable: a medida que la población mundial creció, el hombre reemplazó los ecosistemas naturales por agro-ecosistemas diseñados para proveer alimentos y otros productos en cantidad suficiente y estable. Tratar de eludir esa trampa en la cual la demografía y la producción de alimentos se acoplan estrechamente es tan utópico como irrealista. Las agriculturas alternativas, que gozan de un inexplicable prestigio en algunos círculos académicos y científicos, no ofrecen una opción creíble. La producción de alimentos en sistemas de alto rendimiento es cada vez más dependiente de las nuevas tecnologías, las cuales se presentan hoy como una vía de mano única. Sin embargo, no todo es rendimiento, productividad y eficiencia en esta imparable carrera de la tecnología. La ecología y el ambiente se han colado en la escena y ya no hay manera posible de mirar para otro lado como si nada pasara. Pero podemos prever que la tecnología jugará también un papel decisivo en la gestión ecológica y ambiental del ambiente rural.

# Los grandes números de la seguridad alimentaria

La efectividad de la agricultura tecnificada para enfrentar los desafíos de la seguridad alimentaria global queda demostrada en unas pocas cifras.

Algunas estadísticas globales de la FAO entre 1986 y 2010 (FAOSTAT, 2012) demuestran que la cantidad total de alimento producido per cápita ha aumentado de manera persistente en ese período, lo cual indica que ocurrió un incremento del consumo medio anual de calorías por persona. También podemos inferir que a la par aumentó la cantidad anual de alimento desperdiciado. Pero hay otro aspecto a considerar: la seguridad alimentaria global ha sido apuntalada por un persistente aumento del comercio internacional, que creció de un 15% en los años 1980 a un 23% en la primera década del siglo 21. Varios países norafricanos y del medio oriente carecen de autosuficiencia alimentaria, y es el comercio internacional el que les permite subsanar esta deficiencia (Dodorico et al., 2014). Si se tomara en cuenta una dieta de 2700 kcal/día, la producción global de alimento alcanzaría para sostener una población de 9400 millones de habitantes, cifra superior a la que se proyecta para el año 2050. Si el consumo medio global bajara a 2400 kcal/día, la producción de alimento alcanzaría a cubrir la demanda energética de 12.000 millones de personas. Sin embargo, pese a los grandes excedentes actuales, se considera que más del 10% de la población mundial recibe una dieta calórica sub-óptima (FAOSTAT, 2012). Por otro lado, la alimentación no puede quedar restringida a sus aportes de energía. Las deficiencias de proteínas y minerales, por ejemplo, son un problema a resolver, particularmente en las sociedades de subsistencia en las cuales los niños están expuestos a un retraso en el desarrollo de su cerebro debido a una malnutrición permanente.

Respecto a la capacidad de producción bruta, hay diferencias notables entre las regiones productoras de alimento. Mientras Europa se ha mantenida estancada, Sudamérica, África, Asia y Norteamérica aumentaron respectivamente 121%, 81%, 58% y 57% su oferta de alimentos. Es el resultado de un incremento combinado de los rendimientos por hectárea y de la expansión del área cultivada. El estancamiento europeo tiene su explicación en el hecho de haber casi alcanzado el potencial biológico de rendimiento en sus principales cultivos. Las restantes regiones del planeta distan todavía de haber encontrado su techo (Mueller et al., 2012). Por otro lado, los Estados Unidos, Canadá, Argentina, Brasil, Indonesia, Malasia, Francia y Australia son los mayores productores y exportadores de alimentos que cubren la deficiencia de otros países. Junto al tráfico de energía y proteínas, ocurre un tráfico de "agua virtual", lo cual permite a algunos países con escasez de agua no destinarla a producir alimentos, sino a otros fines (consumo urbano, industrial, etc) que tienen prioridad. De esta manera, la importación de alimentos connota una importación de agua virtual, y el comercio internacional no solamente aporta a la seguridad alimentaria, sino también a la seguridad hídrica global (Hoekstra y Chapagain, 2007).

Sin embargo, no todo lo que brilla es oro. En el planeta persisten todavía mega-tragedias que no son capturadas por los grandes números de la seguridad alimentaria global. El drama de los migrantes que pugnan por alcanzar otras tierras esconde realidades que van más allá de la seguridad alimentaria: el cambio climático, la degradación de las tierras y el deterioro ambiental completan el cuadro. Existe un nexo directo entre la escasez de recursos y el flujo de migrantes que buscan mejor destino. La notable prosperidad económica y los avances tecnológicos de ciertas regiones contrastan con la infamante escasez de otras regiones (Litovsky, 2014).

Mientras estos episodios manchan nuestra conciencia, varios indicadores provistos por la Intelligence Unit de la prestigiosa

publicación británica The Economist (EIU, 2015) indican que en los últimos años han mejorado los índices de seguridad alimentaria en países antes sufrían escasez crónica de alimentos. Eso enciende una luz de optimismo, aunque esta publicación reconoce que la seguridad alimentaria (definida en términos de disponibilidad, abastecimiento, diversidad y valor nutritivo) sigue siendo una asignatura pendiente porque persisten notables diferencias de inversión e infraestructura entre los países desarrollados y los países en desarrollo. Esa brecha no es fácil de cerrar, ya que las regiones menos favorecidas suelen carecer de infraestructura básica de almacenaje, rutas y facilidades portuarias para manipular sus alimentos. Los autores de la publicación reconocen que la única manera de mejorar globalmente la seguridad alimentaria es reducirla brecha de tecnología e infraestructura entre los países occidentales desarrollados y los países menos desarrollados, como aquellos ubicados al sur del África sahariana.

## El despilfarro evitable

Qué difícil es hablar de seguridad alimentaria si una parte significativa de los alimentos producidos se pierden o despilfarran. Son pérdidas (hoy evitables) aquellas que ocurren en distintas etapas del proceso productivo. El despilfarro, en cambio, es la otra cara de la moneda. Es aquella porción de los alimentos que, una vez producida, se desecha voluntariamente sin ser consumida.

Según la FAO (http://www.fao.org/food-loss-and-food-waste/en/), casi un tercio de todos alimentos que se producen son inutilizados o desechados antes de ser efectivamente consumidos por las personas, lo cual representa un despilfarro inútil de trabajo, tiempo, agua, energía, tierra e insumos invertidos en la producción de los mismos. Los alimentos se pierden y desperdician a través de

toda la cadena agro-alimentaria, desde la fase de la producción primaria hasta la del consumo doméstico. Los mayores problemas de pérdida ocurren durante la cosecha en el campo, el almacenamiento, el empacado, el transporte, y el mercadeo. El cereal que se pierde por la cola de una cosechadora, por ejemplo, es una pérdida. El material desechado o descartado por el comercio minorista o por los propios consumidores es considerado un desperdicio.

Se cree que aproximadamente se pierde el 30% de los cereales que se producen, 20% de los lácteos, 35% de los pescados y frutos de mar, 45% de hortalizas y frutas, 20% de las carnes, 20% de las legumbres y 45% de los tubérculos y raíces (FAO, http://www.fao.org/save-food/en/). Hay notables diferencias entre los países.En el caso de los cereales, por ejemplo, las pérdidas son mayores en los países desarrollados que en los países en desarrollo. En los primeros, las pérdidas se concentran en el eslabón final correspondiente al consumo doméstico. En los segundos, durante la producción a campo y las etapas de post-cosecha. Debido a problemas de infraestructura, las pérdidas registradas en los lácteos son mayores en los países en desarrollo debido a deficiencias en la distribución del producto, a menudo por falta de refrigeración (FAO, http://www.fao.org/save-food/resources/keyfindings/infographics/roots/en/).

En realidad, el problema de las pérdidas y desperdicios no es nuevo. Cuando la FAO se estableció en 1945, este problema figuraba dentro de sus mandatos a resolver. Durante la Conferencia Mundial de la Alimentación en 1974, se especulaba que su resolución enmendaría problemas crónicos de inseguridad alimentaria en el mundo. En aquellos años se creía que las pérdidas de post-cosecha representaban el 15% de la producción total. Hoy se considera que esa cifra es aproximadamente el doble. Algunos autores que han analizado el problema aceptan que las estimaciones son en realidad bastante inciertas y varían de una geografía

a otra y a través del tiempo (Lundqvistet al., 2008; Parfitt et al., 2010). Algunos estudios (GOS, 2011) descreen de que existan tecnologías capaces de aumentar la producción de alimentos más allá del año 2050, pero consideran muy posible reducir a la mitad las pérdidas y desperdicios de alimento operando sobre los distintos eslabones de la cadena agro-alimentaria. En los últimos años se tiende a prestar mayor atención a este problema. Los "bancos de alimento" representan una iniciativa global de la cual participan tanto organizaciones gubernamentales como no gubernamentales y la propia sociedad civil.

Es éste un problema elusivo, difícil de abordar. Pero más allá de sus dificultades, es necesario reconocer que existe un amplio potencial de mejora. Las pérdidas y desperdicios evitables parecen ser una marca registrada de las comunidades que aumentan sus ingresos económicos e incorporan pautas de consumo más dispendiosas. En el trasfondo de esta transición se perfila un problema cultural sobre el cual será inevitable trabajar en los años venideros (Witzel, 2016).

Un interesante reporte de Sammartino (2016) ofrece detalles poco conocidos de las investigaciones desarrolladas en el Centro de Investigación de Alimentos de la Universidad de Wageningen (Holanda) orientadas a abordar una rama novedosa del agro-negocio denominada agro-logística. El principio que motiva esta iniciativa es bastante elemental: de nada sirve aumentar la productividad a campo y reducir los costos de producción si la logística de post-cosecha, almacenamiento, procesamiento industrial, distribución y consumo doméstico va sumando pérdidas y desperdicios a lo largo de la cadena agro-alimentaria. El enfoque tiene un carácter sistémico, ya que involucra a diferentes actores tales como los gobiernos, las universidades, las empresas y las organizaciones no gubernamentales. El propósito es evitar que los productos lleguen a los mercados en situación de vulnerabilidad, evitando pérdidas de volumen y calidad, sobreoferta estacional

y depreciación. Con el fin de lograr un diagnóstico de intervención riguroso, la agro-logística arranca con un mapeo detallado y sistemático de los lugares donde se detectan las pérdidas más sensibles. Las investigaciones incluyen sistemas novedosos de enfriado, empaque y trazabilidad de los alimentos, como también de predicción de la vida útil de cada producto. La inteligencia de la logística apunta a colocar los productos frescos y perecederos en los mercados más cercanos con el objeto de minimizarlas pérdidas de almacenamiento y transporte a través de sistemas de transporte multimodal y de contenedores refrigerados. La robótica y otros dispositivos de alta tecnología juegan un papel clave dentro de la tecnología logística. Seguramente en pocos años tendremos resultados positivos en este campo, y se ampliará el margen operativo a favor de la seguridad alimentaria global.

## Optimismo tecnológico en el Antropoceno

El término Antropoceno es de cuño reciente, y es utilizado por muchos científicos en reemplazo del término Holoceno. El Holoceno, usado desde 1867, es la era geológica actual dentro del período denominado Cuaternario. El términoAntropoceno fue propuesto por Paul Crutzen, Premio Nobel de Química 1995, para caracterizar una nueva era geológica modulada decisivamente por la acción del hombre y no por las fuerzas bio-físicas de la naturaleza, como ocurrió con las eras anteriores. Pretende representar el alto impacto que han tenido las actividades humanas sobre los ecosistemas de la tierra. No hay acuerdo acerca de la fecha de nacimiento del Antropoceno, pero algunos la remontan a los inicios de la denominada Revolución Industrial de finales del

siglo 18. Otros la hacen retroceder mucho más, hasta comienzos de la revolución agrícola (9000 años antes de Cristo..!). Y no faltan quienes la hacen coincidir con el descubrimiento de América, en 1492. Sin embargo, esta denominación es todavía informal; solamente se podrá oficializar una vez aprobada por la Comisión Internacional de Estratigrafía, hecho que aún no ha ocurrido.

Sin duda el hombre ha tenido un efecto modelador muy potente sobre la Tierra, el cual se acentuó marcadamente a medida que los humanos fueron colonizando el planeta. El Antropoceno puede ser caracterizado de muchas maneras, pero sin duda hay dos factores que lo definen: la transformación de los ecosistemas naturales, y el desarrollo tecnológico. El avance sobre los ecosistemas naturales ha tenido varias consecuencias ambientales que han sido descriptas en los capítulos anteriores. La tecnología ha modificado radicalmente la sociedad humana. Los sistemas de producción, industrialización y distribución de los alimentos no han escapado a esa influencia. Ambos factores están vinculados, ya que la demanda creciente de alimentos presiona sobre los métodos y tecnologías de producción, y éstos impactan fuertemente sobre los ecosistemas y el ambiente.

El advenimiento de la era digital promete impulsar exponencialmente la generación de nuevas tecnologías para mejorar la relación entre la producción agropecuaria y el ambiente. Hoy, la digitalización permite convertir todo tipo de información y de medios –textos, sonidos, fotos, datos– en ceros y unos que representan el idioma que leen y entienden las computadoras, los celulares, las tabletas digitales, los GPS y los sistemas de información geográfica. Los avances en la digitalización tienen dos consecuencia profundas: permiten adquirir nuevo conocimiento (literalmente, hacer ciencia), y acelerar la tasa de innovación a través del análisis de grandes bases de datos (*big-data analysis*). Muchos de estos servicios digitales, disponibles *on-line* en forma gratuita, ya son accesibles a quienes los pueden manejar e

interpretar. Hoy es posible hablar de "tecnologías re-combinatorias", que consiste en combinar distintos productos de la era digital para producir nuevas tecnologías, a menudo con resultados tan exitosos como inesperados (Brynsjolfsson y McAfee, 2016). Muchos de estos nuevos desarrollos prometen incorporarse a la "agricultura de precisión". Si bien el Antropoceno deparada amenazas ambientales que preocupan, también genera milagros tecnológicos inesperados.

La irrupción de estas expresiones de la alta tecnología aplicadas al agro y al ambiente, todavía confinadas a algunos países que las incorporan a tasas crecientes, también pueden llegar en un futuro no lejano a las agriculturas menos desarrolladas. Para ello será necesario superar las limitaciones que imponen la pobreza y el subdesarrollo, dentro de las cuales la "brecha digital" es, sin duda, una restricción de gran envergadura.

## Intensificación Sustentable ¿Moda o realidad?

La demanda simultánea de mayor seguridad alimentaria y cuidado de los recursos naturales, los ecosistemas y el ambiente exige un replanteo radical de los sistemas de producción.

La seguridad alimentaria global no nos da margen para reducir el rendimiento de las tierras agrícolas, sino al contrario, exige aumentarlo. La clave es lograrlo con un mínimo impacto sobre el entorno. Este razonamiento sencillo ha llevado a científicos, académicos, agentes de desarrollo y decisores políticos hacia un concepto que hoy se denomina "intensificación sustentable". La idea básica es intensificar la producción alimentos en algunas tierras, y liberar otras que integrarían programas de conservación del

ambiente y los recursos naturales. Las tierras liberadas quedarían sometidas a una sucesión ecológica secundaria (distinta de la original) que, con mínima intervención humana, reconstruirían ecosistemas noveles o inéditos. Se intenta de esta manera maximizar la producción por un lado, y por otro, permitir que las tierras menos aptas sean destinadas a la provisión de servicios ecosistémicos esenciales, como la regulación del clima, la protección del suelo, el control de los flujos hídricos, el secuestro de carbono o el reciclado de nutrientes (Stevenson et al., 2013). La intensificación sustentable no solo implica mantener o aumentar la productividad por unidad de tierra, sino también por unidad de insumo. Es decir, el objetivo es producir lo mismo (y si es posible, más) en una superficie más pequeña, pero con el aditamento de utilizar menos fertilizantes, plaguicidas, agua, energía fósil, etc. Esto implica maximizar la eficiencia de uso de estos insumos, en línea con los principios que la agricultura de precisión propone. Precisamente, practicar una agricultura por ambientes, o sitio-específica, dentro de un potrero o parcela, supone dosificar los insumos en función del potencial productivo y de las características biológicas y físicas de esos ambientes. Con menos insumos aplicados en el sitio y en el momento más adecuado, se puede producir más, reducir el impacto ambiental y bajar el costo económico.

Pero la intensificación sustentable también es blanco de críticas (Garnett et al., 2013). Para algunos es como un caballo de Troya engañoso, una visión productivista camuflada con el ropaje de la sustentabilidad. Se achaca que su sesgo productivista va en desmedro de los ecosistemas y la calidad del ambiente. En ciertos medios académicos se cree que la denominación misma connota una contradicción tecnocrática, ya que ningún proceso que intensifique la producción puede ser sustentable. Para estos autores es necesario reflexionar más acerca del componente "sustentable" de la intensificación, y de las propias dimensiones sociales y éticas de este esquema de producción.

Otros estudios (Godfray y Garnett, 2014) sostienen que el problema de la seguridad alimentaria no puede quedar restringido únicamente al potencial productivo de la agricultura. Es necesario acoplarlo al problema de las pérdidas y desperdicios de alimentos que se generan, y a la cantidad de tierra que se utiliza para producir forraje para el ganado. En la medida que ambos factores no sean controlados, estos autores creen que la producción agropecuaria seguirá avanzando sobre nuevas tierras y aumentará el daño sobre los ecosistemas y el ambiente. Consideran que las políticas alimentarias deben ser colocadas en un contexto más amplio que el de la intensificación sustentable. Es decir, deben ir más allá de una agenda estrictamente productivista, e incorporar aspectos tales como las regulaciones necesarias para reducir la pérdida y el despilfarro de alimentos. Plantean asimismo un interrogante crítico acerca de la implementación práctica de la intensificación sustentable. Expresan una desconfianza *a priori* porque dudan del verdadero compromiso ecológico y ambiental de quienes deciden poner en marcha estos sistemas de producción. Creen que en realidad están más interesados en aumentar la productividad y mejorar sus ingresos que en preservar los activos y flujos ambientales. En síntesis, tienen una visión pesimista acerca del potencial de estos sistemas basados en la aplicación de tecnologías de generación reciente.

Sin embargo, más allá de los interrogantes y dudas, algunos modelos de intensificación sustentable han sido implementados exitosamente y están en funcionamiento desde hace varios años atrás. Existen evidencias cuantificadas de que no son una simple moda, sino una idea útil y factible de ser llevada a la práctica. La clave parece estar en la adopción de tecnologías de avanzada que optimicen la gestión del ambiente productivo. Un informe de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE, 2008) titulado "Comportamiento ambiental de la agricultura en los países de la OCDE desde 1990" permite acceder a

datos concretos acerca de la factibilidad práctica de implementar una agricultura intensiva y sustentable. Se analizó allí el comportamiento ambiental de 30 países industrializados que pusieron en práctica una producción agropecuaria intensiva incorporando insumos de alta tecnología. Pese al alto nivel de intensificación, se verificó en la mayoría de los países una significativa reducción de los impactos ambientales negativos en todas las categorías evaluadas. Entre otras, aumentó en un 8% la producción por hectárea, pero se redujo en 7% la superficie de tierra cultivada, la cual fue liberada para programas de conservación ambiental. Cayó significativamente la tasa de erosión hídrica y eólica de los suelos, declinó en 3% la tasa de emisión de gases de efecto invernadero, se redujo en 17% el uso de fertilizantes nitrogenados y 7% el uso de plaguicidas, se redujo en más de 10% el agua utilizada para riego. En cambio aumentaron levemente los indicadores de consumo de energía y emisiones de amonio. Los indicadores de diversidad mejoraron en base a la diversificación y la rotación de cultivos. Estos datos concretos indican que es posible intensificar los procesos productivos reduciendo al mismo tiempo los impactos ambientales negativos. En tanto no se puedan demostrar casos concretos que devalúen este enfoque en el largo plazo, hay margen para abrigar un saludable optimismo tecnológico.

# Epílogo

## Ser o no ser…

El planeta como un todo, y cada uno de los países que producen y proveen alimentos, enfrentan el acuciante desafío de armonizar dos agendas de creciente importancia estratégica: la productiva y la ambiental. Ambas son ineludibles, pero no podemos desconocer que, como placas tectónicas que se superponen, presentan líneas de fricción y fractura que nos amenazan y afligen.

Hay una batalla que se libra entre dos visiones opuestas: de un lado, están quienes creen que los sistemas intensivos de alto rendimiento son un peligro para el ambiente planetario; del otro, quienes creen que el ecologismo y el ambientalismo son enemigos de cualquier forma de producción intensiva y del negocio agropecuario. De alguna manera, ambos se refugian en sus propios dogmas al creer que los humanos estamos embarcados en un juego de suma cero: lo que gana la agricultura lo pierde el ambiente, o viceversa. El renombrado economista e intelectual estadounidense Milton Friedman (1912-2006), profesor de la Universidad de Chicago, sostenía que la mayoría de las falacias económicas derivan de suponer que hay un pastel fijo, y

que una parte de los comensales solo puede comer a expensas de la otra. El combate entre el ecologismo y el productivismo encarna esa falacia.

El productivismo a ultranza sostiene que la gran revolución de la agricultura industrial está justificada en sí misma por el aumento imparable de la población mundial, y por la necesidad de alimentarla. El argumento es muy conocido: mediante la incorporación de insumos tales como las variedades de alto rendimiento, los fertilizantes, los plaguicidas y el riego, sumados a la maquinaria necesaria para mecanizar las operaciones, salvó de las hambrunas y de la muerte a más de mil millones de almas. El aumento espectacular de los rendimientos alcanzados en tres cultivos clave como el trigo, el maíz y el arroz son la base de su defensa. Nadie puede hoy negar la eficacia práctica de tales logros, demostrada con creces en muchas regiones del planeta asediadas por la penuria alimentaria crónica. Sin embargo, los cultores del productivismo no siempre están dispuestos a reconocer problemas colaterales que puntualizan sus críticos. La mejora genética impuso la necesidad de utilizar cantidades crecientes de insumos, ya que los cultivos se volvieron más exigentes en materia de nutrientes y agua, y más sensibles a las plagas y enfermedades. La respuesta decreciente de los cultivos al uso de fertilizantes condujo a una aplicación cada vez mayor de insumos, lo cual redundó en una contaminación visible de las aguas y los suelos en muchos países del mundo. Igualmente, la sensibilidad de los cultivos a las plagas determinó un uso creciente de insecticidas, herbicidas y fungicidas, con el consecuente impacto eco-toxicológico sobre el agua, el suelo y la biodiversidad. Al éxito productivo y económico de este modelo se le atribuyen también otros dos aspectos negativos: por un lado, la dependencia de los productores a las tecnologías de la agricultura industrial, y a quienes las comercializan, fue inevitable. Por el otro, la expansión de la frontera agrícola a expensas de las tierras naturales

en países en desarrollo como Argentina, Brasil, Paraguay, India, Pakistán, Indonesia, etc. fue innegable.

Del otro lado del dogma, aparecen los cultores de un ecologismo extremo que niegan de plano los beneficios de la revolución agrícola. Como reacción, el ecologismo se alineó detrás de formatos de agricultura alternativa o agricultura ecológica, que responden a un modelo de perfil pre-tecnológico y pre-industrial, de bajos insumos y bajo impacto ambiental, adaptable a los ambientes donde predomina la pobreza rural. Por necesidad o por convicción podemos encontrar ejemplos extensivos de agricultura ecológica en algunos países de Latino América como Cuba, Ecuador, Bolivia, Nicaragua, El Salvador, Guatemala, algunas regiones andinas, y algunas naciones del África Sub-sahariana y del sudeste de Asia. Como ya señalamos, a la base científica de la agricultura ecológica le fueron acoplados componentes exógenos que distorsionaron su fin primario. La ideología intentó colonizarla y le incorporó aditamentos doctrinarios provenientes de la filosofía, la política, la sociología, la economía y la ética. Conceptualmente, el progresismo intelectual encontró en ella un medio para canalizar un combate ideológico contra el capitalismo, el neoliberalismo, las transnacionales, la penetración tecnológica, la distribución de la tierra, la destrucción (real o imaginaria) de los ecosistemas y la degradación del ambiente. Se convirtió en una mezcla extraña de ciencia y dogma que fue acunada por una parte de la feligresía académica y científica, y promovida tanto en países en desarrollo como desarrollados. Sus cultores la ven como una opción para combatir la pobreza rural en los países en desarrollo, o para salvar al planeta en los países desarrollados. La agroecología se fue convirtiendo al paso de los años en una colección de doctrinas que combina parches deciencia y de ideología de ocasión. Más allá de sus ideales loables, el modelo agroecológico no deja de ser una suerte de utopía que no encuentra un anclaje consistente en el mundo real.

Si la disyuntiva es proveer seguridad alimentaria y conservar el ambiente global, los dogmas enfrentados en un juego de suma cero poco aportan a la búsqueda de una solución. Es cierto que la agricultura industrial, tal como fue concebida en la década de 1960, tiene flancos débiles en lo social y ambiental. Pero las agriculturas alternativas distan de ofrecer una opción compensatoria. Si de confrontar estas visiones extremas se trata, valga una comparación con la medicina. Pese a su popularidad, la ciencia médica descree de las terapias alternativas (como la homeopatía, la acupuntura, la aromaterapia, el bio-magnetismo, etc.), las cuales presentan una base científica cuestionable. Los feligreses de las medicinas alternativas suelen confiar en ellas más allá de lo racional. Sin embargo, a la hora de enfrentar una realidad perentoria, la ciencia médica convencional es la que ofrece las soluciones consistentes y creíbles. En las ciencias agrarias ocurre algo parecido. Las agriculturas alternativas ofrecen una visión romántica que sus devotos "compran" sin titubear, sin tener en cuenta sus flaquezas científicas. Pero a la hora de enfrentar la realidad, es la agricultura convencional la que puede proveer soluciones a la seguridad alimentaria global.

Sorprende que el camino de la tecnología sea bloqueado por una resistencia dogmática que impide transferir innovaciones a los sectores rurales más pobres o rezagados. Una curiosa lectura de la realidad ocurre en académicos e intelectuales: mientras lamentan la pobreza rural en varios países en desarrollo, resisten la incorporación de modelos tecnológicos que, debidamente adaptados, podrían aliviar esa situación. Privilegian la ideología sobre el combate a la pobreza rural. Reconocen la necesidad de promover sistemas que mejoren la salud, la educación, la seguridad, la infraestructura y otros atributos del desarrollo, pero al mismo tiempo caen una y otra vez en el mantra de las agriculturas alternativas arraigadas en teorías ecológicas de libro de texto, atractivas desde lo conceptual pero de dudosa efectividad

práctica. Creen, tal vez honesta y románticamente, que la agricultura ecológica puede proveer las herramientas para resolver los problemas crónicos de pobreza, subalimentación y malnutrición. Omiten, de manera incomprensible, que la agricultura que ellos promueven es la que ya se aplica en regiones rezagadas del África, América Latina y Asia, justamente donde la pobreza rural es una característica dominante. Cautivos de su dogma, reniegan del uso de semillas mejoradas, deploran las variedades transgénicas y se alborotan frente al uso de plaguicidas y fertilizantes sintéticos, del riego y de la maquinaria agrícola moderna. Resisten las economías de escala y los mercados capitalistas. Se oponen, en esencia, a cualquier forma de modernización tecnológica (Paarlberg, 2010) ¿Es ingenuidad? ¿Es suspicacia? ¿O será que han optado por tropezar varias veces con la misma piedra? No siempre se obtiene una respuesta racional a esa pregunta. Las evidencias indican que es necesario un desbloqueo intelectual para liberar esas mentes del dogma que domina su conducta. Solo es necesario abrir los ojos.

Creer que la agricultura moderna es generadora de pobreza es una manifestación de miopía intelectual. Es la pobreza estructural, y no la agricultura moderna, la que les impide a los productores pobres mejorar su nivel de vida. Insistir con las agriculturas alternativas como una manera de combatir la pobreza, es condenar a las comunidades rurales a una seguridad alimentaria frágil, precaria e incierta. Son sistemas de agricultura pobre que realimentan más pobreza. Son las inversiones en tecnología las que pueden poner en valor económico y social las tierras que todavía son explotadas con niveles extremadamente bajos de productividad. Hay ejemplos muy exitosos de la adaptación de pequeños productores pobres a la agricultura moderna en varios países de Asia. En esas comunidades modernizadas los ingresos aumentaron, el empleo rural creció y las brechas de inequidad se redujeron.

Debemos mirar la realidad bajo las dos caras de Jano. Tratar de entender la visión del otro es el camino para acercar posiciones y buscar soluciones concretas. "Ser o no ser,…" … Así comienza Hamlet su soliloquio en el célebre drama teatral que Shakespeare tituló "Hamlet, el príncipe de Dinamarca". Devastado por la muerte de su padre, el príncipe Hamlet se interroga acerca de la lucha que libra dentro de sí mismo. Se pregunta si debe dejarse llevar por los caminos de la incertidumbre, o ponerse al frente de sus problemas y entrar en acción. Finalmente decide abandonar el desánimo que lo abruma, acepta la realidad y asume el desafío que le plantea la vida. Ser o no ser, aceptar la realidad y asumir el desafío, es el camino inevitable que también nosotros debemos transitar frente a la amenaza alimentaria y ambiental que amenaza el planeta. La provisión segura de alimentos para 9000 millones de habitantes en el 2050, y la necesidad de reducir la presión sobre los recursos limitados del planeta, no deja margen para la prueba y el error. La opción no es la agricultura industrial con su rostro más duro, o la agricultura alternativa con sus flaquezas y utopías. Si vamos a abordar este problema de dos caras con seriedad, las tecnologías de nueva generación nos abren una tercera vía que no podemos ignorar.

Mientras estábamos enredados en una discusión retórica, la ciencia fue gestando una nueva revolución tecnológica, de dimensión impredecible. Los campos de la genómica y las tecnologías digitales llegaron para reorientar los objetivos dela primera revolución verde. Con la intensificación sustentable como paradigma, y la agricultura de precisión como nave insignia, el futuro de la agricultura sigue una nueva hoja de ruta. Permite diseñar sistemas de alta producción que pueden usar los insumos con mayor eficiencia y menor impacto en superficies más pequeñas. Los excedentes de tierras que este sistema libera pueden ser destinados a la regeneración de ecosistemas secundarios y a la producción de servicios ecosistémicos esenciales. Metafóricamente,

se trata en esencia de construir "pocos edificios más altos" en espacios más reducidos, en lugar de dispersar muchos edificios bajos en grandes superficies de tierra. Como señalamos antes, un testimonio exitoso de intensificación sustentable lo ofrecen varios de los países de la OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico), quienes han logrado quebrar la tiranía de la suma cero y pasar, tecnología mediante, a un juego de suma positiva en el cual se demuestra que es posible aumentar la productividad, retraer el área agrícola y liberar tierras para la conservación. Varios países de la OCDE ya han adoptado estos principios de intensificación sustentable con resultados concretos. Entre ellos aparecen Francia, Alemania, Holanda, Dinamarca, el Reino Unido, Estados Unidos, Canadá, Japón, Israel, Australia, Chile o Méjico.

La segunda revolución verde no promete un aumento tan asombroso de los rendimientos como ocurrió con la primera. Pero promete convertirse en una poderosa herramienta de ordenamiento territorial, ya que amplía el mosaico de opciones de producción y conservación que las sociedades modernas reclaman a la ciencia y a los decisores políticos.

Solía decir Sir Winston Churchill que la democracia es el peor de los sistemas de gobierno, con excepción de todos los otros, que son peores. Parafraseando ese sarcasmo, podemos decir que la opción de la intensificación sustentable es mala, pero es la más prometedora de las alternativas posibles.

# Referencias

**Allen, R.C.** (2000). Economic Structure and Agricultural Productivity in Europe.

**Altieri, M.A.** (1995). Agrecology: The Science of Sustainable Agriculture. Westview Press, Boulder, Colorado, USA, 433 pp.

**Altieri, M.A.** (1999). Multifunctional dimensions of ecologically-based agriculture in Latin America. Department of Environmental Science, Policy and Management. University of California, Berkeley, USA. http://www.internet. agroecologyinaction.htm

**Altieri, M.A.** (2002). Agroecology: The science of natural resource management for poor farmers in marginal environments. Agriculture, Ecosystems & Environment 93: 1-24.

**Altieri, M.A., Nicholls, C.I.** (2001). Ecological impacts of modern agriculture in the United States and Latin America. En: The Impact of Global Change and Information on the Rural Environment (O.T. Solbrig, Di Castri, F. and Paarlberg, R., editors), SCOPE/DRCLAS Harvard University, Cambridge, MA., p. 123-137.

**Andrews, P.** (2005). Back from the brink. ABC Books, Australia.

**Aschemann-Witzel, J.** (2016). Waste not, want not, emit less. Science 352: 408-409.

**Bennett, A.J., Bending, G.D., Chandler, D., Hilton, S., Mills, P.** (2012). Meeting the demand for crop production: The challenge of yield decline in crops grown in short rotations. Biological Reviews 87: 52–71.

**Bensin, B.M.** (1930). Possibilities for international cooperation in agroecological investigations, Int. Rev. Agr. Mo. Bull. Agr. Sci. Pract. (Rome) 21, 277–284.

**Bos J., Pflimlin A., Aarts F., Vertes F.** (2005). Nutrient management at farm scale How to attain policy objectives in regions with intensive dairy farming? Plant Research International BV, Wageningen, Report 83.

**Brown, L., Kane, H.** (1994). Full House: Reassessing the Earth's Population Carrying Capacity. Worldwatch Environmental Alert Series, Worldwatch Institute Norton, New York.

**Brynjolfsson, E., McAfee, A.** (2016). La Segunda Era de las Máquinas: Trabajo, progreso y prosperidad en una época de brillantes tecnologías. Editado por Temas Grupo Editorial, Buenos Aires. 270 pp.

**Campbell, L.G., Snow, A.A., Ridley, C.E.** (2006). Weed evolution after crop gene introgression: greater survival and fecundity of hybrids in a new environment. Ecology Letters 9: 1198-1209.

**Campbell, M.B.S.** (2000). English Seigniorial Agriculture, 1250-1450. Cambridge University Press, Cambridge (UK).

**Campbell, M.B.S.** (2007). Three Centuries of English Crop Yields, 1211-1450. URL http://www.cropyields.ac.uk

**Carson, R.L.** (1962). Silent Spring. Riverside Press, Cambridge MA.

**Cascio, J., Woodside, G., Mitchell, P.** (1996). ISO 14000 Guide: The New International Environmental Management Standards. McGraw-Hill Inc., USA.

**Cassman, K.G., Wood, S., Choo, P.S., Cooper, H.D., Devendra, C., Dixon, J. et al.** (2005). Cultivated systems. En: Ecosystems and Human Well-being: Current State and Trends (R. Hassan et al., editors). The Millennium Ecosystem Assessment Ser. V. 1, Island Press (N. York), p 745-794.

**Charles, H., Godfray, J., Beddington, J.R., Crute, I.R. et al.** (2010). Food security: The challengeof feeding 9 billion people (Review). Science 327: 812-818.

**Colvin, V.L.** (2003). The potential environmental impact of engineered nanomaterials. Nature Biotechnology 21: 1166-1170.

**Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Shahid, Naeem, O'Neill, R.V., Paruelo, J., Raskin, R.G., Sutton, P. and van den Belt, M.** (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. Nature, 387: 253-260.

**Cruzate G, Casas RR** (2003) Balance de nutrientes. Fertilizar, Año 8, Número Especial sobre Sostenibilidad, pp. 7–13.

**Cuhra, M., Bohn, T., Cuhra, P.** (2016).Glyphosate: Too Much of a Good Thing? Review. Front. Environ. Sci., http://dx.doi.org/10.3389/fenvs.2016.00028

**De Maddalena, A.** (1979). La Europa Rural (1500-1750). En: Historia Económica de Europa en los Siglos XVI y XVII (C.M. Cipolla, editor). Editorial Redondo Alonso, Barcelona.

**Demirbas, A.** (2009). Political, economic and environmental impacts of biofuels: A review. Applied Energy 86: 108-117.

**Drinkwater, L.E., Wagoner, P., Sarrantonio, M.** (1998). Legume-based cropping systems have reduced carbon and nitrogen losses. Nature 396: 262-265.

**Dobson, A.** (1997). Pensamiento Político Verde: una nueva ideología para el siglo XXI. Paidós (Barcelona), 272 pp.

**D'Odorico, P., Carr, J.A., Laio, F., Ridolfi, L., Vandoni, S.** (2014). Feeding humanity through global food trade. AGU Publications, Earth Future, 2: 458–469, doi:10.1002/2014EF000250

**Duke, S.O. Powles, S.B.** (2008). Mini-review Glyphosate: a once-in-a-century herbicide. Pest Management Science 64: 319-325.

**EFSA** (2015). Glyphosate: EFSA Updates Toxicological Profile - Glyphosate is not a Cancerogen. European Food Safety Agency. Available online at: www.efsa.europa.eu/en/press/news/151112

**Ellison, W.D.** (1947). Soil Erosion. Soil Sci. Soc. Am. Proc., Madison, 12: 479-84.

**EPA** (2013). Literature Review of Contaminants in Livestock and Poultry Manure and Implications for Water Quality. U.S. Environmental Protection Agency (EPA 820-R-13-002 July 2013, 125 pp.

**Eynard, A.R.** (2006). Lípidos de la carne y de la leche de consumo humano y sus principales efectos en la salud humana. Revista Argentina de Producción Animal 26: 169-177.

**EIU** (2015). Global Food Security Index 2015: An annual measure of the state of global food security The Economist Intelligence Unit (EIU). The Economist, London, 50 pp.http://foodsecurityindex.eiu.com/

**Fagan, B.** (2009). El Gran Calentamiento: Como Influyó el Cambio Climático en el Apogeo y Caída de las Civilizaciones. Editorial Gedisa, Barcelona, 350 pp.

**Fan, Y.** (2016). How much and how old? News & Views. Nature Geoscience 9: 93-94.doi:10.1038/ngeo2609

**FAO** (2000). El Estado Mundial de la Agricultura y la Alimentación: Enseñanzas de los cincuenta últimos años. FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma, http://www.fao.org/docrep/017/x4400s/x4400s.pdf

**FAOSTAT** (2012). Statistical Yearbook 2012. World Food and Agriculture. Part 3: Feeding the World, FAO, Rome, Italy.

**FAO** (2015). Guía práctica: Una introducción a los conceptos básicos de la seguridad alimentaria. http://www.fao.org/docrep/014/al936s/al936s00.pdf.

**FAO, FIDA y PMA.** (2014). El estado de la inseguridad alimentaria en el mundo 2014. Fortalecimiento de un entorno favorable para la seguridad alimentaria y la nutrición. Roma, FAO. http://www.fao.org/3/a-i4030s.pdf

**Feeney, R., MacClay, P.** (2016). Food Security in Argentina: A Production or Distribution Problem? International Food and Agribusiness Management Review 19: 1-31.

**Fenner, K., Canonica, S., Wackett, L.P., Elsner, M.** (2013). Evaluating pesticide Degradation in the environment: Blind spots and emerging opportunities. Review. Review. Science 341: 752-758.

**Flannery, T.** (2006), The Weather Makers: The History & Future Impact of Climate Change, Atlantic Monthly Press, Boston (USA), 352 pp.

**Fudge, T.J., Markle, B.R., Cuffey, K., Buizert, C., Taylor, K., Steig, E.J., Waddington, E., Conway, H., Koutnik, M.** (2016). Variable relationship between accumulation and temperature in West Antarctica for the past 31,000 years, Geophysical Research Letters (doi: 10.1002/2016GL068356)

**Galloway, J.N., Leach, A.M.** (2016). Your feet's too big. Nature Geoscience 9: 97-98.

**García, F.O., Díaz-Zorita, M.** (2015). La fertilidad de los suelos y el uso de nutrientes en la producción agrícola extensiva de Argentina.

En: El Deterioro del Suelo y del Ambiente en la Argentina (R.R. Casas, G.F. Albarracín, editores). FECIC-INTA, 183-198.

**Garnett T, Appleby MC, Balmford A et al.** (2013). Sustainable intensification in agriculture: Premises and policies. Science 341: 33-34.

**Gerber, P.J., Steinfeld, H., Henderson, B., Mottet, A., Opio, C., Dijkman, J., Falcucci, A. & Tempio, G.** (2013). Tackling climate change through livestock - A global assessment of emissions and mitigation opportunities. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome, 115 pp.

**Gervais, F.** (2016). Anthropogenic CO2 warming challenged by 60-year cycle. Earth-Science Reviews 155: 129–135.

**Glatzle, A.** (2014). Severe Methodological Deficiencies Associated with Claims of Domestic Livestock Driving Climate Change. Journal of Environmental Science and Engineering B 2, 586-601.

**Gleeson, T., Befus, K.M., Jasechko, S., Luijendijk, E., Bayani Cárdenas, M.** (2016). The global volume and distribution of modern groundwater. Nature Geoscience 9: 161-167. doi:10.1038/ngeo2590

**Gluck, R.** (2000). Current trends in transgenic animal technology. Genetic Engineering News 20: 16.

**Godfray, H.C.J., Beddington, J.R., Crute, J.I., Haddad, L., Lawrence, D., Muir, J.F., Pretty, J., Robinson, S., Thomas, S., Toulmin, C.** (2010). Food security: the challenge of feeding 9 billion people. Science 327, 812-818.

**Godfray H.C.J., Garnett T.** (2014). Food security and sustainable intensification. Phil. Trans. R. Soc. B 369: 20120273. http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2012.0273

**GOS** (2011). Foresight: The Future of Food and Farming. Final Project Report. The Government Office for Science (GOS), London. http://www.bis.gov.uk/assets/foresight/docs/food-andfarming/11-546-future-of-food-and-farming-report.pdf

**Green Facts** (2004). Consenso Científico sobre los Cultivos Transgénicos y OMG. Basado en un dossier publicado por la FAO en El Estado Mundial de la Agricultura y la Alimentación 2003-2004. http://www.greenfacts.org/es/omg/index.htm

**Gurib-Fakim, A., Smith, L., Acikgoz, N., Avato, P., Bossio, D., Ebi, K., Gonçalves, A. Heinemann, J., Herrmann, T., Padgham, J., Pennarz, J., Scheidegger, U., Sebastian, L., Taboada, M., Viglizzo, E.F.** (2009). Options to enhance the impact of AKST on the development and sustainability goals (Chapter 6). In: Agriculture at the Crossroad: Global Summary for Decision Makers, IAASTD. Island Press, Washington, D.C., www.agassessment.org. www.islandpress.org/iaastd.

**Jan, O.** (2009). La metodología desarrollada en Francia. En: Seminario La huella de carbono de los bienes y servicios agroalimentarios: una contribución a la lucha contra el calentamiento global (CEPAL/ Naciones Unidas/Delegación Regional de Cooperación de la República de Francia), Santiago (Chile), 18 y 19 de junio del 2009.

**Hering, J.G., Sedlak, D.L., Tortajada, C., Biswas, A.K., Niwagaba,C., Breu, T.** (2015). Local perspectives on water. Science 349: 479-480.

**Heuperman, A.F., Kapoor, A.S., Denecke, H.W., Editors** (2002). Bio-drainage: Principles, Experiences and Applications. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome, 79 pp.

**Hoekstra, A., Chapagain, A.** (2007). Water footprints of nations: Water use by people as a function of their consumption pattern. Water Resources Management 21: 35-48.

**Hoffman, R.R.** (1986). Morpho-physiological evolutionary adaptation of the ruminant digestive system. In: Aspects of Digestive Physiology in Ruminants (A. Dopson & M. Dopson, editors). Cornell University Press, Ithaca (USA).

**Howegen van, P.J.M., Jaspers, F.G.W.** (1999). Analytical framework for integrated water resources management. IHE Monograph 2. Interamerican Development Bank, Balkema, Rotterdam (The Netherlands).

**Ingram, J.S.I.** (2011). A food systems approach to researching interactions between food security and global environmental change. Food Security 3, 417-431.

**IPCC** (2007). Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Core Writing Team, Pachauri, R.K. and Reisinger, A. (Eds.) IPCC, Geneva, Switzerland.

**Karlen, D.L., Varvel, G.E., Bullock, D.G., Cruse, R.M.** (1994). Crop rotations for the 21st Century. Advances in Agronomy 53: 1-45.

**Kassam, A.H., Friedrich, T., Shaxson, T.F., Pretty, J.N.** (2009). The spread of Conservation Agriculture: Justification, sustainability and uptake. International Journal of Agriculture Sustainability 7: 292-320.

**Kessel, C., Venterea, R., Six, J., Advento-Borge, M.A., Linquist, B., Van Groenigen, K.J.** (2013). Climate, duration, and N placement determine $N_2O$ emissions in reduced tillage systems: A meta-analysis. Global Change Biology 19: 33-44.

**Klein, A.M., Vaissière, B., Cane, J.H., Steffan-Dewenter, I., Cunningham, S.A., Kremen, C. et al.** (2007). Importance of crop pollinators in changing landscapes for world crops. Proc. Royal Soc. Lond. B, Biol. Sci., 274, 303–313.

**Köhler, H-R.Triebskorn, R.** (2013). Wildlife Ecotoxicology of Pesticides: Can We Track Effects to the Population Level and Beyond? Review. Science 341: 759-765.

**Lamberth, C., Jeanmart, S., Luksch, T., Plant, A.** (2013). Current Challenges and Trends in the Discovery of Agrochemicals. Review. Science 341: 742-746.

**Lal, R.** (2004). Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. Science 304: 1623-1627.

**Landis, D.A., Wratten, S.D., Gurr, G.M.** (2000). Habitat management to conserve natural enemies of arthropod pests in agriculture. Annual Review of Entomology 45: 175-201.

**Levine, U.Y., Teal, T.K., Robertson, G.P., Schmidt, T.M.** (2011). Agriculture's impact on microbial diversity and associated fluxes of carbon dioxide and methane. ISME Journal 5: 1683-1691.

**Lewis, W.J., Lewis, J.O., van Lanteren, J.C., Phatak, S.C., Tumlinson, J.H.** (1997). A total system approach to sustainable management. PNAS 94: 12243-12248.

**Malthus, Th.** (1798). An Essay on the Principle of Population as it Affects the Future Improvement of Mankind. London Printed for J. Johnson,

in St. Paul's Church-Yard 1798 © 1998, Electronic Scholarly Publishing Project, 125 pp. http://www.esp.org.

**Marsmann, M.** (2000). The ISO 14040 Family. International Journal of Life Cycle Assessment 5: 317-318.

**ME** (2005). Ecosystems and Human Well-Being: Our Human Planet. Millennium Ecosystem Assessment (ME), Island Press, Washington DC.

**Montoya, J.C., Zelaya, M.J., Porfiri, C.** (2011). Residues of Atrazine, Glyphosate, AMPA and Imazapyr in groundwater of a semiarid agricultural area of Argentine. 3º Workshop Latinoamericano sobre residuos de pesticidas, alimentos y medio ambiente. Montevideo, Uruguay. p. 170

**Mueller, N. D., Gerber, J.S., Johnston, M., Ray, D.K., Ramankutty, N., Foley, J.A.** (2012). Closing yield gaps through nutrient and water management. Nature 490: 254-257.

**Oerke, E.C.** (2005). Crop losses to pests. J. Agricultural Science 144: 31-43.

**Oita, A., Malik, A., Kanemoto, K., Geschke, A., Nishijima, S., Lenzen, M.** (2016). Substantial nitrogen pollution embedded in international trade. Nature Geoscience 9: 111-115.

**OECD** (2008). Environmental Performance of Agriculture in OECD countries since 1990. Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). Paris, France, 549 pp. http://www.oecd.org/tad/env/indicators

**Organización Mundial de la Salud** (2015). Veinte Preguntas sobre los Alimentos Genéticamente Modificados. Documento extraído en noviembre de 2015: http://web.archive.org/web/20140630054253/http://www.who.int/foodsafety/publications/biotech/en/20questions_es.pdf.

**Orskov, E.R. y Viglizzo, E.F.** (1994). The role of animals in spreading farmers' risk: A new paradigm for animal science. Outlook on Agriculture 23: 81-89.

**Paarlberg, R.** (2010). Attention Whole Foods Shoppers. Foreing Policy, The Global Magazine of New Ideas. N° May-June 2010. http://foreignpolicy.com/.

**Papendieck, S.** (2010). La Huella de Carbono como Nuevo Estándar

Ambiental en el Comercio Internacional de Agroalimentos: Informe Final. ATN/ME-9565-RG BIDFOMIN, 82 pp.

**Pardo-López L., Soberón M. & Bravo A.** (2013). Bacillus thuringiensis insecticidal three-domain Cry toxins: mode of action, insect resistance and consequences for crop protection, FEMS Microbiology Reviews, 37 (1) 3-22.

**Patil, V., Maru, A., Shashidhara, G.B., Shanwad, U.K.** (2002). Remote sensing, GIS and precision farming in India: Opportunities and challenges. En: Proceedings AFITA Conference (M. Fangquan, editor), Beijing.

**Patzelt, G.** (2014). Die nacheiszeitliche Klimaentwicklung in den Alpen im Vergleich zur Temperaturentwicklung der Gegenwart. Schriftenreihe des Europäischen Institutes für Klima und Energie, Band 3, S 3-19.

**Petit, J.R., Jouzel, J., Raynaud, D., Barkov, N.I., Barnola, J.M., Basile, I. et al.** (1999).Climate and atmospheric history ofthe past 420,000 years from the Vostok ice core, Antarctica. Nature 399: 429-436.

**Paustian, K., Lehmann, J.L., Ogle, S., Reay, D., Robertson, G.P., Smith, P.** (2016). Climate-smart soils. Nature 532: 49-57.

**Pimentel, D., Acquay, H., Biltonen, M., et al.,** (1992). Environmental and economic costs of pesticide use. BioScience 42: 750-760.

**Pimentel, D., Marklein, A., Toth, M.A., Karpoff, M., Paul, G.S., McCormack, R., Kyriazis, J., Krueger, T.** (2008). Biofuel Impacts on World Food Supply: Use of Fossil Fuel, Land and Water Resources. Review. Energies 1: 41-78; DOI: 10.3390/en1010041

**Pingali, P.L.** (2012). Green Revolution: Impacts, limits, and the path ahead. PNAS 109: 12302-12308.

**PNUMA** (2015). El medio ambiente y la seguridad alimentaria y nutricional. Nota 7 sobre la agenda de desarrollo post 2015. PNUMA (Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente). http://www.unep.org/post2015.

**Power, A.G.** (2010). Ecosystem services and agriculture: tradeoffs and synergies. Review. Phil. Trans. R. Soc. B 365: 2959-2971.

**Prigogine, Y.** (1996). El Fin de las Certidumbres. Ed. Andrés Bello, Santiago, Chile, 222 p.

**Litovsky, A.** (2014). The Earth Security Index 2014: A dashboard for the

transition to a resource secure future. Earth Security Initiative, London (UK) 40 pp. www.earthsecurity.org

**Lomborg, B.** (2001). The Skeptical Environmentalist: Measuring the Real State of the World. Cambridge University Press, 506 pp.

**Lowrance R.** (1998). Riparian forest ecosystems as filters for nonpoint-source pollution. In: Pace ML, Groffman PM, editors. Successes, Limitations, and Frontiers in Ecosystem Science. Springer; 1998. p. 113-141.

**Lundqvist, J., de Fraiture, C., Molden, D.** (2008). Saving water: from field to fork. Curbing losses and wastage in the food chain. Stockholm Int. Water Inst. http://www.siwi.org/documents/Resources/Policy_Briefs/PB_From_Filed_to_Fork_2008.pdf

**Parfitt, J., Barthel, M., Macnaughton, S.** (2010). Food waste within food supply chains: quantification and potential for change to 2050. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences 365: 3065-3081.

**Rasmussen, P.E., Goulding, K.W.T., Brown, J.R., Grace, P.R., Janzen, H.H., Körschens, M.** (1998). Long-term agroecosystem experiments: Assessing agricultural sustainability and global change. Science 282: 893-896.

**Robertson; G.P., Gross, K.L., Hamilton, S.K., Landis, D.A., Schmidt, T.M., Snapp, S.S., Swinton, S.M.** (2014). Farming for Ecosystem Services: An Ecological Approach to Production Agriculture. BioScience 64: 404-415.

**Robertson, G.P., Paul, E.A., Harwood, R.R.** (2000). Greenhouse gases in intensive agriculture: Contributions of individual gases to the radiative forcing of the atmosphere. Science 289: 1922-1925.

**Sammartino, F.** (2016). Agrologística Holandesa: Ofrecen alimentos a menor costo y con menos pérdidas. La Nación Campo (Edición del 17 septiembre del 2016). http://www.lanacion.com.ar/1938339-agrologistica-holandesa-ofrecen-alimentos-a-menor-costo-y-con-menos-perdidas

**SENASA** (2009); Establecimientos de Engorde a Corral. Actualización Marzo 2009. Gestión de Información, Dirección Nacional de Sanidad Animal, Abril 2009.

**Smith, P., House, J.I., Bustamante, M.,Sobocká, J., Harper, R. Pan G., West, P.C., Clark, J.M. et al.** (2016). Global change pressures on soils form land use and management. Global Change Biology 22: 1008-1028.

**Steinfeld, H., Gerber, P., Wasshaar, T., Castel, V., Rosales, M., de Haan, C.** (2006). Livestock's Long Shadow: Environmental Issues and Options. FAO Publishing Management Service, Information Division. Rome, 377 pp.

**Stevenson, J.R., Villoria, N., Byerlee, D., Kelley, T., Maredia, M.** (2013). Green Revolution research saved an estimated 18 to 27 million hectares from being brought into agricultural production. Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS-US) 110: 8363-8368.

**Solbrig, O.T., Solbrig, D.J.** (1994). So Shall You Reap: Farming and Crops in Human Affairs. Island Press, Washington D.C., 284 pp.

**Stefani, L.** (2011). Land Grabbing: Come il Mercato delle Terre Crea il Nuovo Colonialismo. Traducida al español como Los Nuevos Amos de la Tierra (2015), editado por Taurus, Buenos Aires, 308 pp.

**Stockstad, E.** (2013). Smarter pest control. Science 341: 730-731.

**Syswerda SP, Basso B, Hamilton SK, Tausig JB, Robertson GP.** (2012). Long-term nitrate loss along an agricultural intensity gradient in the Upper Midwest USA. Agriculture, Ecosystems and Environment 149: 10–19.

**Syswerda, S.P., Corbin, A.T., Mokma, D.L., Kravchenko, A.N., Robertson, G.P.** (2011). Agricultural management and soil carbon storage in surface vs. deep layers. Soil Science Society of America Journal 75: 92–101.

**Tilman, D., Balzer, C., Hill, J., Befort, B.L.** (2011). Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. Proceedings of the National Academy of Sciences108: 20260–20264.

**Tillman, P.G., Smith, H.A., Holland, J. M.** (2012). Cover crops and related methods for enhancing agricultural biodiversity and conservation biocontrol: Successful case studies. In: Biodiversity and Insect Pests: Key Issues for Sustainable Management (Gurr, G.M., Wratten, S.D., Snyder, W.E., Read, D.M.Y., Eds.). John Wiley & Sons, New York. pp. 309-327.

**Titonell, P. A.** (2015). Food security and ecosystem services in a changing world: it is time for agroecology. Agroecology for Food Security and Nutrition Proceedings of the FAO International Symposium. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 406 pp.

**Turney, Ch.** (2007). Huesos, Piedras y Estrellas: La Datación Científica del Pasado. Editorial Crítica, Barcelona, 200 pp.

**USDA** (1981). Soil erosion effects on soil productivity: a research perspective (United States Department of Agriculture). J. Soil and Water Conservation 36: 82-90.

**UNEP** (2012). Environment for the Future We Want. United Nations Environment Program, Malta, 2012. www.unep.org/geo/geo5.asp.

**Vandermeer, J.** (1995). The ecological basis of alternative agriculture. Annual Review of Ecology and Systematics 26: 201-224.

**Verhoeven J.T.A., Arheimer, B., Yin, Ch., Hefting, M.M.** (2006). Regional and global concerns over wetlands and water quality. TRENDS in Ecology and Evolution 21: 96-103.

**Viglizzo, E.F., Frank, F.C., Carreño, L.V., Jobbágy, E.G., Pereyra, H., Clatt, J., Pincén, D., Ricard, F.M.** (2011). Ecological and environmental footprint of 50 years of agricultural expansion in Argentina. Global Change Biology 17: 959-973.

**Viglizzo, E.F., Roberto, Z.E.** (1989). Diversification, productivity and stability of agro-ecosystems in the semiarid pampas of Argentina. Agricultural Systems 31: 279-290.

**Viglizzo, E.F., Jobbágy, E.G., Ricard M.F., Paruelo, J.M.** (2016). Partition of some key regulating services in terrestrial ecosystems: Meta-analysis and review. Science of the Total Environment 562: 47-60.

**Vörösmarty, C.J., Hoekstra, A.Y., Bunn, S.E., Conway, D., Gupta, J.** (2015). What scales for water governance? Science 349: 478-479.

**Wackernagel, M., Rees, W.E.** (1996). Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth. New Society, Gabrioala Island, BC.

**Wackernagel, M., Schulz, N.B., Deumling, D., Linares, A.C., Jenkins, M., Kapor, V., Monfreda, C., Loh, J., Myers, N., Norgaards, R., Randers, J.** (2002). Tracking the ecological overshoot of the human

economy. Proceedings of the National Academy of Sciences USA, 99: 9266-9271.

**Weber, J.B.** (1994). Properties and behavior of pesticides in soil. In: Honeycutt, R.C. and Schabacker, D.J. eds. Mechanisms of Pesticides Movement into Ground Water. CRC Pess, Inc. 2000 Corporate Blvd., N. W. Boca Raton, Fl, USA, pp. 15-41.

**Wellesley, L.** (2015). It's Time to Put Meat on the Climate Negotiating Table. Chatham House (London), https://www.chathamhouse.org/expert/laura-wellesley.

**Wenzel, G.** (2006). Molecular plant breeding: Achievements in green biotechnology and future perspectives. Appl. Microbiol. Biotechnology 70: 642-650.

**Wezel, A., Bellon, S., Doré, T., Francis, C., Vallod, D., David, C.** (2009). Agroecology as a science, a movement and a practice. A review. Agron Sustain Dev 29:503-515.

**WHO** (2010). The WHO Recommended Classification of Pesticides by Hazard and Guidelines to Classification 2009. World Health Organization (WHO). WHO Press, Geneva Switzerland, 78 pp.

**Willett, W.C.** (2001). The soft science of dietary fat. Science 291: 2536-2545.

**Williams, G.M., Kroes, R., Munro, I.C.** (2000). Safety Evaluation and Risk Assessment of the Herbicide Roundup1 and Its Active Ingredient, Glyphosate, for Humans. Regulatory Toxicology and Pharmacology 31: 117-165.

**Zhang W., Ricketts T. H., Kremen C., Carney K., Swinton S. M.** (2007) Ecosystem services and dis-services to agriculture. Ecological Economics 64, 253-260.

*Agradezco a mi familia*
*el apoyo que hizo posible este obra.*

# Ernesto F. Viglizzo

El autor es ingeniero agrónomo y obtuvo su doctorado en la Universidad Católica de Louvain (Bélgica). Tiene una extensa trayectoria científica y técnica en instituciones emblemáticas de Argentina, como el CONICET y el INTA, en las cuales ha investigado la relación entre la producción agropecuaria, la ecología y el ambiente. Ha dictado cursos de grado y postgrado en universidades de su país y del exterior. Actualmente es profesor visitante en la Maestría en Agro-negocios de la Universidad Austral. Es miembro correspondiente de la Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria de Argentina. Como autor y revisor ha contribuido a la elaboración de informes globales y regionales en reconocidos programas internacionales, entre otros, IPCC, Millennium Ecosystem Asessment, GEO, IPBES, IAASTD y TEEB. Es autor y editor de numerosas publicaciones científicas y libros de su especialidad.

GPS es una red de instituciones privadas de Argentina. Brasil, Paraguay y Uruguay –ABPU– iniciada en 2013 que se propone contribuir a la integración de los países del Mercosur y su proyección internacional.

Articular: Entre las instituciones para lograr el posicionamiento en temas relacionados con la Agroindustria con una visión estratégica del mundo y la región.

Generar contenidos: Proveer información y análisis en temas de interés de GPS para el diálogo público-privado en cada uno de los países participantes y entre sí.

Difundir: La información y las ideas a través de la promoción, organización y participación en foros nacionales, regionales e internacionales para contribuir con el posicionamiento de los cuatro países de la región.

GPS

**www.grupogpps.org / hgpps@hotmail.com**