

# *Los desafíos de la Agricultura*

Fernando H. Andrade

Edición



# ***Los desafíos de la Agricultura***

*Fernando H. Andrade*

# *Los desafíos de la agricultura*

**Fernando H. Andrade**

**INTA Balcarce- Facultad de Ciencias Agrarias UNMP - CONICET.**



EEA Balcarce, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria



Facultad de Ciencias Agrarias, Univ Nacional de Mar del Plata

CONICET



Consejo Nacional Investigaciones Científicas y Técnicas



**IPNI**  
INTERNATIONAL  
PLANT NUTRITION  
INSTITUTE

International Plant Nutrition Institute  
Programa Latinoamerica Cono Sur  
<http://lacs.ipni.net>

Abril 2016

Andrade, Fernando H.  
Los desafíos de la agricultura / Fernando H. Andrade. - 1a ed . - Acassuso :  
International Plant Nutrition Institute, 2016.  
136 p. ; 23 x 16 cm.  
ISBN 978-987-46277-0-4  
1. Agricultura. I. Título.  
CDD 630



Fernando H. Andrade es Investigador de INTA, Investigador principal de CONICET, Profesor Titular de Ecofisiología de Cultivos de la FCA UNMP y Profesional Consulto del INTA.

Se graduó de Ing. Agr. en el año 1980 en la Facultad de Agronomía de la UBA, y posteriormente, realizó sus estudios de Magíster Scientiae y PhD en Iowa State University (EEUU).

Su área de interés es el estudio de las bases ecofisiológicas determinantes del crecimiento y rendimiento de los cultivos. Desde 1985 se ha dedicado a la docencia y a la investigación. Ha sido director de estudiantes de postgrado (Magister y Doctorado), muchos de los cuales son hoy reconocidos referentes en sus especialidades. Ha publicado alrededor de 100 trabajos científicos, la mayoría de ellos en revistas de prestigio internacional, y ha escrito 3 libros. Tiene también una nutrida actividad de extensión y transferencia de conocimientos al medio productivo a través de publicaciones de difusión, conferencias, jornadas de campo, talleres, etc.

Durante su carrera ha sido distinguido con premios y reconocimientos entre los cuales se destacan los premios Weber (1984), Lobo de mar (2000), Konex (2003), Alfonsina (2007), Clarín Rural (2008), Antonio Pires de la Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria (2010) y Miembro correspondiente de la Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria (2012.) Fue además jurado de los premios Konex, Ciencia y la Tecnología, edición 2013 y designado profesional Consulto del INTA desde Noviembre de 2014. Fue Coordinador Nacional del Area Estratégica Ecofisiología Vegetal del INTA (2005-2012) y Coordinador Nacional de la Red de Ecofisiología Vegetal de la misma institución (2012-2014). Ejerciendo estas funciones contribuyó a la conformación de grupos de investigación en Ecofisiología Vegetal en distintas regiones del país.



**Prólogo del autor**

Este libro es una ampliación de uno anterior denominado “La tecnología y la producción agrícola, el pasado y los actuales desafíos”. Toma del mismo los temas relacionados con las innovaciones del pasado y los escenarios futuros y agrega una descripción de los impactos ambientales de la agricultura, estimaciones detalladas de las futuras demandas de productos agrícolas, y un análisis de las estrategias a las que podemos recurrir para satisfacerlas. Se incluyen además discusiones acerca de los desafíos que enfrentamos en cuanto a romper la asociación entre producir y degradar, y erradicar la pobreza. Entre las estrategias a implementar se consideran principalmente las tecnologías de procesos y de conocimientos que tienden a mayor producción, mayor eficiencia de uso de recursos e insumos disponibles y menor impacto ambiental. Se indaga también acerca de la capacidad de innovación y de colaboración de nuestra especie y sobre las posibilidades de dirigir estas potencialidades a solucionar los grandes problemas de la humanidad.

Una mirada sobre el pasado puede ayudarnos a comprender nuestro potencial creativo y a motivarnos para enfrentar los problemas que se nos presentan. Por otro lado, una mirada prospectiva nos ayuda a dimensionar la tarea a encarar y a identificar las vías para encontrar soluciones. Nuestras capacidades innatas de innovación y cooperación deberán jugar un rol fundamental en alcanzar los objetivos de satisfacer la demanda futura de alimentos, cuidar el ambiente y erradicar la pobreza.

Este escrito está dirigido i) a los alumnos de escuelas y facultades de Agronomía con el deseo de reanimar su entusiasmo por aprender y contribuir a la generación de conocimientos, pilares para una agricultura sustentable; ii) a los productores agropecuarios por su rol en la producción de alimentos y por su responsabilidad en el cuidado del ambiente; y iii) al público en general, con el propósito de concientizarlo acerca de la necesidad de alcanzar una producción sustentable y de poner la tecnología al servicio del bienestar de la población.

Finalmente, deseo dedicar este trabajo a mi esposa y mis hijos que me brindan su amor; a mis padres Marta y Hugo que formularon las primeras preguntas; a mis maestros y profesores que motivaron inquietudes; y a mis alumnos, recurrente fuente de entusiasmo.

**FHA**  
**Abril de 2016**

## Indice

1. Introducción
2. El pasado
  - ◆ El principio
  - ◆ El hombre moderno, las migraciones
  - ◆ El origen de la agricultura
  - ◆ La Edad Media
  - ◆ El Renacimiento
  - ◆ La Revolución Agrícola
  - ◆ La Revolución Verde
3. Impacto ambiental de la agricultura
  - ◆ Cambio climático
  - ◆ Pérdida de biodiversidad
  - ◆ Uso del agua
  - ◆ Contaminación química
  - ◆ Degradación de los suelos
  - ◆ Producción de residuos
4. Las futuras demandas de productos agrícolas
  - ◆ Crecimiento poblacional
  - ◆ Calidad de la dieta
  - ◆ Biocombustibles, biomateriales
  - ◆ Estimaciones sobre las futuras demandas de productos agrícolas
  - ◆ Moderar demandas y reducir pérdidas y desperdicios
5. Estrategias para incrementar la producción
  - ◆ Superficie cultivada
  - ◆ Intensificación en el uso de la tierra.
    - Rendimiento por unidad de superficie
    - Cultivos por año
    - Producciones ecológicas
  - ◆ Síntesis sobre estrategias para incrementar la producción
6. Los desafíos
  - ◆ Satisfacer las futuras demandas de productos agrícolas
  - ◆ Reducir el impacto ambiental
  - ◆ La pobreza, el principal problema
  - ◆ Innovar y colaborar
  - ◆ Escenarios posibles
7. Conclusiones
8. Referencias

# 1. Introducción

El mundo está hoy acuciado por problemas demográficos, de provisión de alimentos, agua y energía, de degradación ambiental y cambio climático, de pobreza y marginalidad. Las predicciones sobre el futuro son inciertas por lo limitado de nuestro conocimiento. No obstante, una mirada sobre nuestro pasado puede ayudarnos para plantear escenarios futuros y motivarnos para solucionar los problemas que enfrentamos.

Los principales objetivos de este trabajo son i) enfatizar logros de nuestra especie en materia de creatividad e innovación, especialmente aquellos relacionados con la producción agrícola y ii) estimar la futura demanda de productos agrícolas y las posibilidades de satisfacerla de manera sustentable recurriendo a dichas capacidades.

La creatividad es la facultad de crear o inventar algo nuevo o de relacionar conceptos conocidos de manera novedosa apartándose de conceptos y estructuras de pensamiento habituales. Por otro lado, la innovación se entiende como la generación de ideas e invenciones y su utilización posterior a través de una aplicación de utilidad para la sociedad. Ambas cualidades, inherentes a nuestra especie jugaron un rol fundamental en la evolución de la humanidad y son insoslayables en el análisis de los desafíos que hoy enfrentamos.

En este escrito se presenta y discute información sobre los albores del género *homo*, la dispersión de nuestra especie por el mundo, el origen de la agricultura, la instalación del método científico y las innovaciones en tecnología agrícola del pasado. Entre estas se destacan la Revolución Neolítica, las primeras investigaciones sobre el funcionamiento de las plantas, la Revolución Agrícola y la Revolución Verde.

Se hace hincapié sobre la relación entre el ser humano y el ambiente, listando los efectos de las actividades humanas y, especialmente, de la producción agrícola sobre la degradación de los suelos, las emisiones de gases de efecto invernadero, la pérdida de biodiversidad, el uso del agua, la contaminación química, etc. Históricamente, los aumentos de producción estuvieron asociados con degradación del ambiente. El presente trabajo se focaliza en generar conciencia acerca de la necesidad de romper esta asociación, o sea, de satisfacer las futuras demandas de productos agrícolas reduciendo a la vez el impacto ambiental.

Se presenta también una estimación de la futura demanda de productos agrícolas impulsada principalmente por el crecimiento poblacional y el cambio de la dieta, examinando además el posible impacto de la morigeración de las dietas y de la reducción de las pérdidas y desperdicios de alimentos.

Entre las estrategias para satisfacer dichas demandas se consideran el aumento de la superficie cultivada, los incrementos de rendimiento por



unidad de superficie utilizando tecnologías de insumos y, principalmente en función del foco de este trabajo, las tecnologías de procesos y de conocimientos que tienden a una mayor producción, a una mayor eficiencia de uso de recursos e insumos disponibles y a un menor impacto ambiental. Para conceptualizar y cuantificar los posibles aportes de estas estrategias intensivas en conocimientos y procesos se describen y se presentan ejemplos sobre el mejoramiento genético y la biotecnología, el manejo de cultivos con base ecofisiológica, el aumento del número de cultivos por año, el manejo integrado de organismos perjudiciales y la intensificación con base ecológica.

Se reflexiona además acerca de la pobreza como causa de la inseguridad alimentaria y sobre la asociación entre producir y degradar. Seguidamente se indaga sobre la capacidad de innovación y de colaboración de nuestra especie y sobre las posibilidades de dirigir estas potencialidades a solucionar los grandes problemas de alimentación, ambiente y pobreza que hoy enfrenta la humanidad. Finalmente, se plantean escenarios futuros basados en las leyes del mercado, la visión maltusiana o la necesidad de cambios profundos de valores que promuevan equidad y salud ambiental.

## 2. El pasado

### El principio

El género *Homo* existe desde hace alrededor de 2,5 millones de años. La evolución del género a lo largo del paleolítico inferior se simplifica mediante una línea de tiempo en la cual el *Homo habilis* sucede a los *Australopithecus* y luego el *Homo sapiens* evoluciona del *Homo erectus* (Figura 1). Por simplicidad, se toma a esta especie como la referente de otras especies o subespecies genéticamente interconectadas. No obstante, la taxonomía y las relaciones filogenéticas del género *Homo* permanecen aún oscuras y son materia de continua discusión (Wood, 1992).

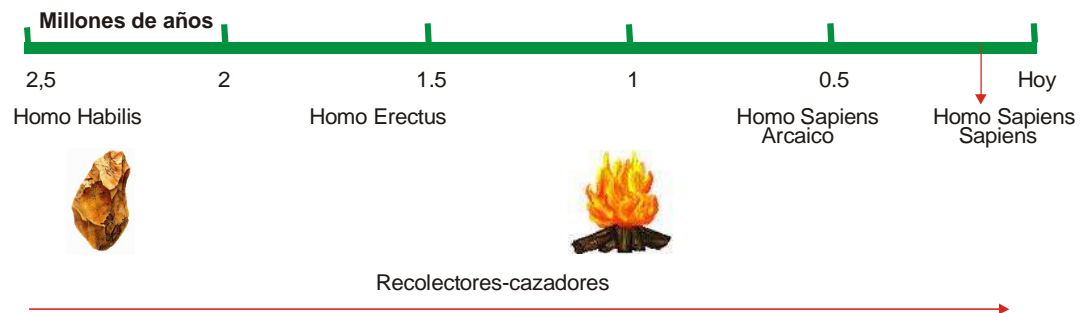


Figura 1: Línea de tiempo desde hace 2,5 millones de años indicando la evolución del género *Homo* y los dos principales hitos tecnológicos.

El gran volumen cerebral, junto con el bipedalismo y la estructura social fueron importantes rasgos diferenciales de nuestro género. El volumen del cerebro fue incrementándose a lo largo de la evolución desde algo más de 400 cm<sup>3</sup> en los *Australopithecus* hasta alrededor de 1400 cm<sup>3</sup> en el *Homo sapiens* (Gore, 1997; Striedter, 2004) (Figura 2). Esta característica, asociada con habilidad cognitiva, creatividad e innovación, nos habría proveído versatilidad y capacidad de adaptación a ambientes hostiles y fluctuantes (Potts, 1998) como el del Valle de Rift en Africa oriental donde evolucionamos. Durante los últimos millones de años, el clima de esta región ha sido inestable y ha sufrido drásticos cambios alternando períodos húmedos y secos. Los individuos que poseían aquellas características ventajosas tenían mayor capacidad de adaptarse a los complejos cambios ambientales y habrían sido favorecidos por el proceso de selección natural (Darwin, 1859).

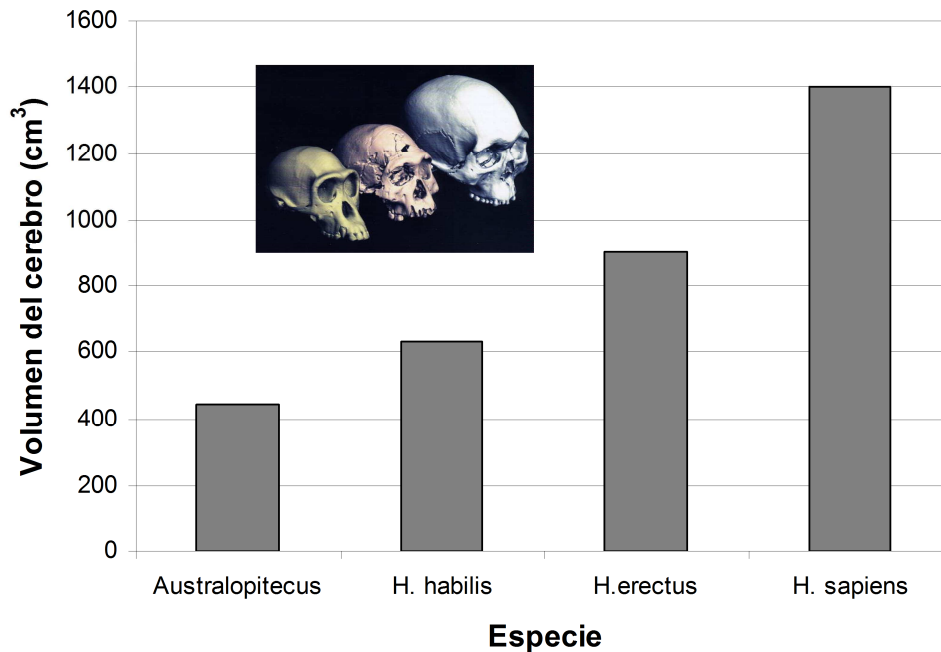


Figura 2: Evolución del volumen del cerebro desde el *Australopithecus* al *Homo sapiens*. Elaborado en base a datos de Gore (1997) y Striedter (2004).

Paralelamente al incremento en el volumen cerebral, se fue desarrollando el lenguaje primitivo, o sea, la capacidad de formar conceptos y enunciarlos como forma de comunicación entre individuos. La transmisión de conocimientos entre personas y de una generación a otra a través del lenguaje permitió sumar experiencias transmitidas a las vividas, por lo que constituyó una enorme ventaja de adaptación. Recientemente, Enard et al. (2002) identificaron un gen posiblemente involucrado en el desarrollo de esta capacidad exclusiva de los seres humanos.

El *Homo hábilis*, que vivió en el continente africano durante la primera parte del paleolítico inferior, se caracterizó por su habilidad para elaborar herramientas primitivas rústicas (Ambrose, 2001) que demuestran su capacidad para el pensamiento abstracto. El *Homo erectus*, que debe su nombre a la posición erguida del cuerpo al trasladarse, aprendió a dominar y utilizar el fuego hace alrededor de 1 millón de años (Goudsblom, 1986), habilidades que le permitieron colonizar ambientes más fríos, cocinar sus alimentos y protegerse de los predadores. Esta especie, hoy extinta, se dispersó desde África por distintas regiones del mundo, tal como lo indican

los restos fósiles encontrados en Java y en Pekín. El *Homo sapiens* arcaico evolucionó en África hace casi 800000 años. Dentro de esta denominación se incluyen varias especies relacionadas del género *Homo*. La conformación ósea y las proporciones de brazos, piernas y tronco son muy parecidas a las del *Homo erectus*, a diferencia del volumen de la cavidad craneana. A juzgar por las evidencias arqueológicas, poseían mayor habilidad que sus antecesores para elaborar herramientas y para controlar el fuego.

Durante el largo período del paleolítico inferior, la población del género *Homo*, hostigada por predadores e inclemencias climáticas entre otras adversidades, se mantuvo en niveles muy bajos. Eran recolectores-cazadores que se comportaban como una especie más del ecosistema, en equilibrio con el ambiente (Gore, 1997). Estos hábitos alimenticios les proveían una dieta muy variada, sustancialmente diferente de la de los géneros predecesores, que eran fundamentalmente herbívoros. La inclusión de la carne en la dieta, alimento con alta concentración energética y nutricional, y la reducción de la energía requerida por un aparato digestivo de menor volumen, posibilitaron la evolución del cerebro, órgano de altos requerimientos.

Esta etapa que duró más de dos millones de años fue la más extensa y la más estable; fue la etapa de los escasos pero trascendentes cambios, la de la evolución lenta y continua del volumen del cerebro, que nos aportó habilidad cognitiva, creatividad y, por lo tanto, capacidad de adaptación.

## **El hombre moderno, las migraciones**

Hacia fines del paleolítico inferior, hace unos 150000 años, surge en África el hombre moderno, el *Homo sapiens sapiens* (Klein y Edgar, 2002; Jobling y Tyler-Smith, 2003). A juzgar por el volumen de su cerebro, especialmente del lóbulo frontal, el ser humano contaba en esos tiempos con un potencial intelectual equivalente al de la actualidad. Los futuros descubrimientos, hallazgos e invenciones, latentes en el cerebro de aquellos primeros humanos modernos, esperaban su momento en una ineludible secuencia.

Hace alrededor de 75000 años, la población era muy baja y probablemente haya estado muy cerca de la extinción como consecuencia de la erupción del volcán Toba en Sumatra (Indonesia). La tremenda erupción, 3000 veces más potente que la del Santa Elena, afectó a todo el planeta. Una nube de cenizas volcánicas que persistió varios años provocó una era de hielo. Muchas especies vegetales y animales se habrían extinguido y sólo unos pocos miles de humanos modernos habrían sobrevivido gracias a su habilidad cognitiva y su capacidad de adaptación (Ambrose, 1998).

Hasta hace unos 50000 años el comportamiento humano evolucionó lentamente. No obstante, a partir de dicha fecha se produce una notable aceleración en el desarrollo de la cultura humana evidenciada por una mayor diversidad y sofisticación de utensilios, herramientas de piedra y de otros materiales, el surgimiento del arte y el desarrollo del lenguaje moderno con rica sintaxis. Estos progresos son indicadores de mayores capacidades de pensamiento simbólico, de creatividad y de innovación, y constituyen lo que Klein y Edgar (2002) denominaron el gran salto hacia adelante de la humanidad (Figura 3). Dichas cualidades se aceleraron y potenciaron mutuamente y junto con el lenguaje moderno, que mejoró la comunicación y la transmisión de experiencias entre individuos, contribuyeron a la capacidad de adaptación de la especie.

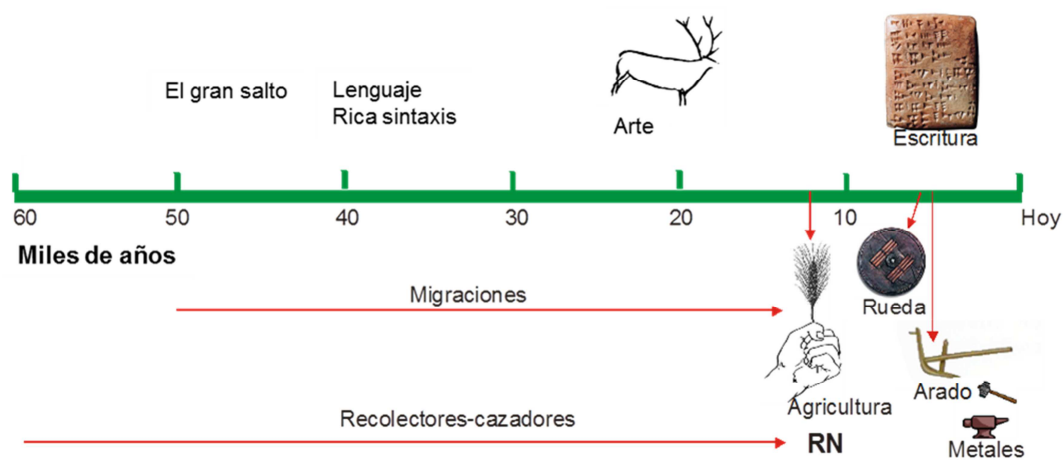


Figura 3: Línea de tiempo desde hace 60000 años indicando los principales momentos del desarrollo de los humanos modernos relacionados con el lenguaje, el arte, las migraciones humanas, el advenimiento de la agricultura, las escrituras, y otras innovaciones. RN: Revolución neolítica.

Unos 50000 años atrás, cuando la población humana era aún reducida, pequeños grupos de personas abandonaron África buscando nuevos horizontes. Este escaso número de individuos habría dado origen a todas las razas de Eurasia, Oceanía y América (Figura 4). En una porción de su cromosoma Y los hombres llevaban una mutación (alteración en la secuencia del ADN) denominada M168 que transmitieron a toda su descendencia masculina (Wells, 2002). Descendientes de uno de esos

grupos llegaron rápidamente a Australia por la ruta costera. Sucesores de otro grupo, instalados en el centro de Asia fueron el origen de migraciones hacia Europa y otras regiones de Asia. Portaban nuevas mutaciones denominadas M89 y M9, que fueron heredadas de un ancestro común y transmitidas junto con la M168 a todos los hombres de su descendencia. Los *Homo sapiens* que arribaron a Europa hace alrededor de 30000 años, portando la mutación adicional M173, contribuyeron probablemente a la extinción de los neandertales, aunque algunas evidencias recientes indican que habrían ocurrido cruzamientos entre estas especies (Green et al., 2010). Hace unos 15000 años, un reducido número de humanos que poseían las mutaciones M89 y M9 cruzó el Estrecho de Bering entre Asia y América, produciéndose luego una mutación adicional en el cromosoma Y, la M3, que hoy está presente en los descendientes varones de los indígenas americanos (Wells, 2002, 2007).

La acumulación de estas mutaciones inocuas se pudo determinar obteniendo muestras de ADN de pobladores de linaje ancestral de distintos lugares del planeta y secuenciando luego el segmento del cromosoma Y que se mantuvo sin recombinar generación tras generación. Los mensajes (mutaciones) de esta porción del código genético posibilitaron ordenar temporalmente las distintas migraciones en un árbol genealógico de la humanidad y reconstruir el camino que hemos recorrido al dispersarnos por el mundo. Los trabajos realizados con el ADN mitocondrial, que se transmite directamente de generación en generación por linaje materno, produjeron resultados asombrosamente parecidos acerca del origen común de las razas humanas.

Este fascinante relato se basa en evidencias científicas firmes y reproducibles (Cavalli-Sforza y Feldman, 2003; Shreeve, 2006 a y b). Infrecuentes errores de copiado que se transmitieron de padre a hijo a lo largo de miles de generaciones permitieron rastrear hacia la profundidad del pasado nuestro origen como especie humana. Durante dichas generaciones portábamos en nuestra misma esencia, en el ADN, el relato de nuestros orígenes escrito en jeroglíficos químicos. En nuestros genes portábamos también la capacidad intelectual necesaria para descifrarlos.

Dicha capacidad intelectual nos permitió enfrentar y solucionar los problemas que surgían en las nuevas regiones exploradas. Por otro lado, nuevas tecnologías, por ejemplo para cazar, seguramente contribuyeron a la exitosa diseminación de nuestra especie por todo el planeta.

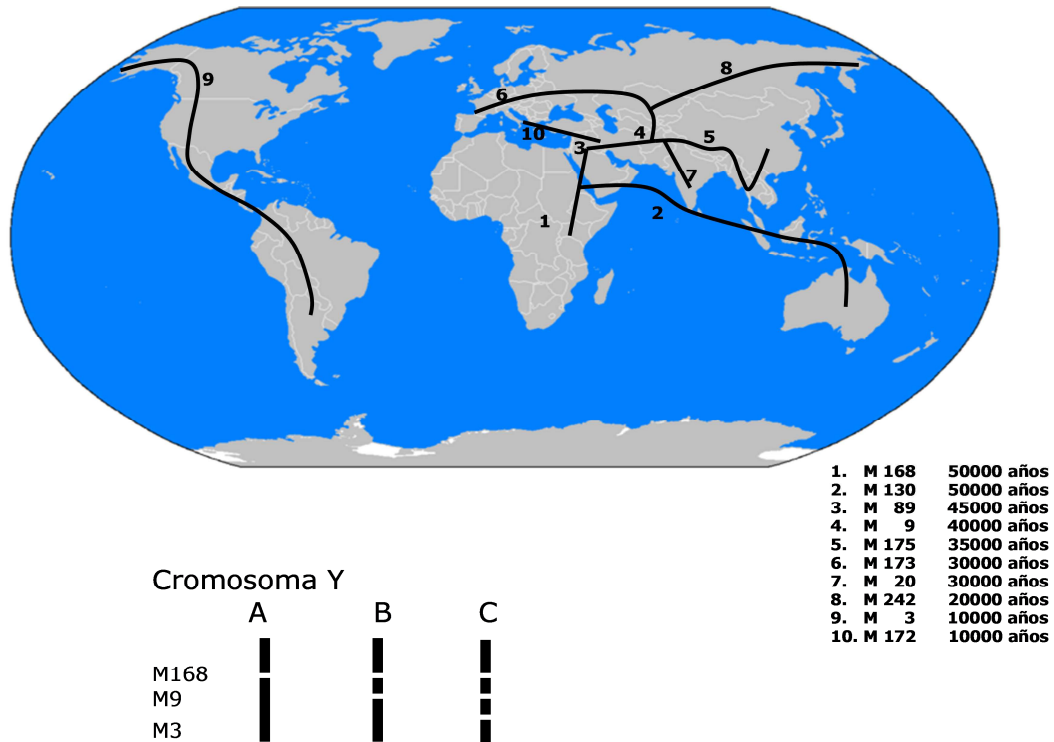


Figura 4: Mapa espacial y temporal de las migraciones humanas en función de mutaciones en el cromosoma Y. Elaborado en base a datos de Wells (2002). Otras investigaciones con base molecular, si bien difieren en detalles sobre los años y trazados geográficos, indican patrones de migraciones muy semejantes.

Estas evidencias científicas basadas en la biología molecular aportan sólidos argumentos a favor de la teoría de las migraciones (Stringer y Andrews, 2005) y acorralan a la alternativa teoría multiregional que afirma que el ser humano moderno surgió simultáneamente en distintos lugares del planeta a partir de las especies predecesoras (Wolpoff y Caspari, 1996).

Sobre la base de la información presentada, se puede afirmar que los habitantes originarios de las distintas regiones de la tierra constituimos un grupo estrechamente emparentado.

La población humana creció lentamente al compás de la dispersión por el mundo, alcanzando cerca de 10 millones de habitantes al fin de la era paleolítica hace unos 12000 años. Los humanos modernos del paleolítico medio y superior también dependían de la caza, la pesca y la recolección de productos vegetales, por lo que su alimentación era muy variada y los

impactos sobre el ambiente eran mínimos. Estában en completa armonía con la naturaleza.

Esta fue la etapa de los viajes, de la expansión de las fronteras, la etapa del desarrollo del lenguaje moderno, la de los comienzos del arte. Las mentes curiosas y creativas nos impulsaron a aventurarnos hacia tierras desconocidas y a recorrer un largo e intrincado camino que nos conduciría inexorablemente al desarrollo del potencial intelectual y de la innovación tecnológica.

## **El origen de la agricultura**

Al final de la última glaciación, alrededor de 15000 años atrás, el clima se tornó más benigno por un aumento en la temperatura. La región del creciente fértil, ubicada en el SO de Asia, contaba con inviernos húmedos y veranos secos. Estas condiciones climáticas favorecían el crecimiento de pastos invierno-primaverales entre los que se encontraban el trigo, la cebada y el centeno, que fructificaban y maduraban hacia fines de la primavera. Los humanos comenzaron a aprovechar esta abundante producción, recolectando y almacenando los granos y, posteriormente, cultivando dichas especies vegetales (Flannery, 1973; Gupta, 2004). Alguien, seguramente una mujer observando los residuos de los asentamientos, descubrió que las semillas que recolectaban podían generar las plantas que las originaban. En base a este descubrimiento, hace unos 10000 a 12000 años se comenzaron a sembrar, a cuidar e incluso a irrigar los primeros cultivos. Simmons (2007) presenta distintas teorías acerca de cómo los humanos comenzaron a producir sus alimentos. Los hallazgos de Kenyon en Jericó constituyen los vestigios más antiguos de la agricultura. Estos cambios, conjuntamente con la domesticación de los animales, se repitieron en otros lugares del mundo y se conocen como la Revolución Neolítica (Gordon Childe, 1978) (Figura 3). Fue un paso gigante de la humanidad ya que permitió hábitos más sedentarios y, por lo tanto, la aparición de las primeras civilizaciones. La agricultura y los hábitos sedentarios resultaron en una menor variedad de la alimentación, mayor exposición de la población a fluctuaciones climáticas que afectaban a los cultivos, mayor incidencia de enfermedades por aglomeración en ciudades, estratificación social y conflictos de mayor escala.

La difusión de la agricultura por el mundo se produce desde hace unos 10000 años favorecida por las migraciones humanas. Una migración portando el marcador M172 difundió los cultivos de trigo, cebada, centeno desde el Medio Oriente a Europa y Egipto. El desplazamiento fue más



cultural y tecnológico que genético ya que sólo el 20% de los europeos desciende de esta corriente inmigratoria (Wells, 2002). Hacia la misma época, se propagaron los cultivos de mijo y arroz en el este de Asia en concordancia con el desplazamiento de los humanos que portaban el marcador M122 (Wells, 2002). Finalmente, se difunden los cultivos de papa, quinoa y maíz en América a través de las migraciones de los aborígenes americanos.

La capacidad innovadora del ser humano continuaba expresándose (Figura 3). La rueda, invento revolucionario de hace unos 6000 años, facilitó el traslado y el transporte de cargas y fue un componente vital de diversas máquinas e invenciones (Anthony, 2007). El arado, que se inventó hace unos 5000 años, fue un gran paso en la agricultura ya que facilitó el control de malezas y la preparación de la cama de siembra y permitió la expansión del área cultivada. Desde esos tiempos aprendimos también a fundir y forjar los metales para la fabricación de herramientas, vasijas, armas y adornos de mayor dureza y resistencia (Margueron, 2002).

Simultáneamente con estas extraordinarias invenciones surgieron las primeras escrituras en el valle del Nilo, en la mesopotamia asiática y en China (Powell, 2009), que aportaron una significativa memoria adicional a la humanidad, potenciando la transmisión de información y experiencias. Esta “segunda memoria” del ser humano posibilitó la comunicación con futuras generaciones dando origen a la historia.

Durante el periodo neolítico desarrollamos gradualmente nuestras culturas y logramos poseer un mayor control de los elementos. Nos maravillábamos con los astros y llegamos a confiar plenamente en los relatos míticos y en verdades reveladas. Posteriormente, en la época de los antiguos griegos, surgió la filosofía que, basada en la capacidad racional inherente al ser humano, comenzó a cuestionar los mitos ancestrales (Gaarder, 1994).

Esta fue la etapa de la agricultura, de la invención de la rueda, de las primeras escrituras, de las primeras civilizaciones. La creatividad y la innovación fueron nutridas por la agricultura, movilizadas por la rueda, difundidas por el lenguaje y las escrituras, y cultivadas por el ocio de las civilizaciones. En círculos virtuosos, estas cualidades eran potenciadas y retroalimentadas por los productos de nuestra capacidad intelectual.

El advenimiento de la agricultura aumentó la disponibilidad de alimentos, produciendo una incipiente ola de crecimiento poblacional que se consolidó con el comienzo de las civilizaciones, las manufacturas, la metalurgia, y los gobiernos centralizados (Rasmuson y Zetterstrom, 1992). La población aumentó desde cerca de 10 millones en el año 10000 AC a alrededor de 200 millones en el año 0 (Dorn, 1962; Caldwell y Schindlmayr, 2002) (Figura 5). En los tiempos de Cristo, un tercio de los habitantes del mundo correspondían al imperio romano y otro tercio al imperio chino. Algunas civilizaciones antiguas fueron afectadas por la sobreexplotación de los

bosques que constituían una importante fuente de recursos, desplazando el eje del progreso hacia nuevas regiones (Sakaiya, 1994).

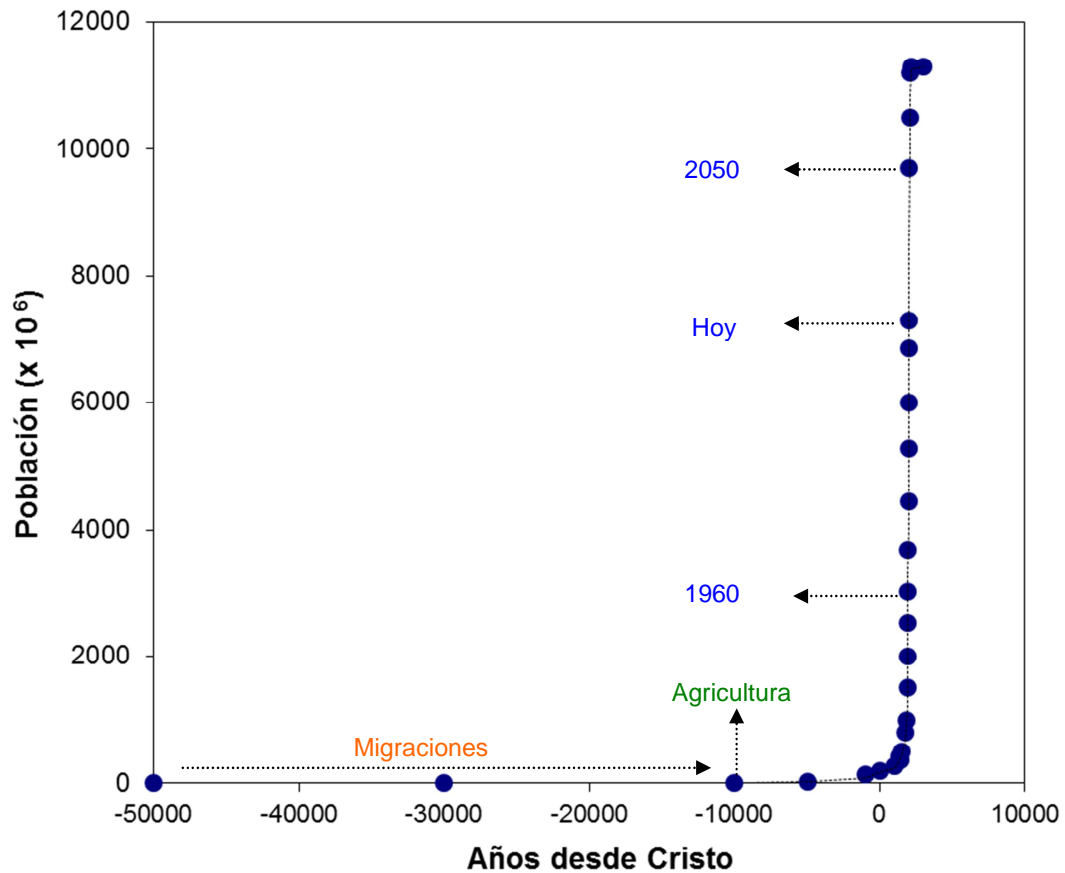


Figura 5: Evolución de la población humana desde 50000 años AC hasta nuestros días y proyección futura según estimaciones de UN (2015; variante media). Según las estimaciones de las UN la población mundial estará cerca de la estabilización en el año 2100 (UN, 2015).

## La Edad Media

Durante la edad media, las posiciones dogmáticas y las verdades reveladas volvieron a prevalecer. La sociedad se caracterizó por su austeridad, en contraposición a la abundancia de las civilizaciones

antiguas, y por restricciones a la independencia de interpretar, a la creatividad y a la innovación (Sakaiya, 1994; Gaarder, 1994).

La Agricultura en este periodo se caracterizaba por los bajos rendimientos producto de la utilización de poca tecnología, por lo que el impacto ambiental de la actividad productiva era bajo (Sweeney, 1995). Los cereales rendían en promedio 0.5 t/ha, las tierras se barbechaban uno de cada 3 años, no se utilizaban fertilizantes y los cultivos estaban expuestos a severas mermas por enfermedades, plagas animales y malezas.

Durante el primer milenio de la era cristiana el crecimiento poblacional fue muy lento debido, principalmente, a guerras, hambrunas y enfermedades derivadas de aglomeraciones de gente en condiciones sanitarias muy precarias (Rasmuson y Zetterstrom, 1992). La tasa de natalidad era muy alta (40-50 por mil), pero la población crecía poco pues la mortalidad también era alta. Entre los años 1000 y 1300 DC se produjo un crecimiento poblacional lento pero sostenido del 0.2% anual, favorecido por la reducción de conflictos armados y la introducción de nuevas especies cultivadas, entre las que se destacó la lenteja, rica en proteínas. Luego, desde mediados del siglo XIV la población fue diezmada por la peste negra, la más trágica pandemia experimentada por la humanidad. Como consecuencia de este desastre, la población mundial se redujo de 450 millones a menos de 375 millones a fines del siglo XIV y algunos poblados quedaron desiertos (USCB, 2010).

A pesar de esta terrible tragedia y del letargo transitorio de la creatividad humana, el mundo occidental estaba a las puertas de un movimiento cultural que tendría formidables consecuencias en el desarrollo del arte, la ciencia y la tecnología.

## **El Renacimiento**

Durante el siglo XV comenzó a producirse en Occidente un prodigioso movimiento de desarrollo en el arte y en la ciencia conocido como el Renacimiento (Kenny, 2006; Moscardi, 2003). Como alternativa para la especulación filosófica y el poder del razonamiento surgió o se consolidó el método científico como principal fuente de generación de conocimiento. Dicho método se basa en poner a prueba recurrentemente los resultados que se recaban a través de experimentos o de observaciones empíricas directas o indirectas, buscando consenso de la naturaleza y de toda la comunidad científica, intentando formular leyes y teorías cada vez más precisas y universales. La generación del conocimiento y de las consecuentes invenciones e innovaciones se aceleraba (Figura 6).

La invención de la imprenta por los chinos primero y posteriormente por Gutenberg a mediados del siglo XV (Figura 6) posibilitó la difusión del creciente caudal de conocimientos que, por estar más expuestos y accesibles, potenciaban a la vez la realización de nuevos estudios y descubrimientos. El poder del saber ya no era exclusivo de unos pocos privilegiados.

La población mundial se incrementó de menos de 400 millones a principios del siglo XV a alrededor de 500 millones a principios del siglo XVI y a 800 millones en 1750 (Figura 5) (Dorn, 1962; USCB, 2010). La expansión resultante de la demanda de alimentos era acompañada por aumentos proporcionales en la producción agrícola.

Simultáneamente con el desarrollo de la teoría heliocéntrica, la ley de gravedad y las leyes del movimiento de los planetas, se condujeron experimentos en el área de la biología vegetal que nos dieron los primeros indicios acerca de los factores determinantes del funcionamiento de las plantas, especialmente en relación con la fotosíntesis (Govindjee y Krogmann, 2004) (Figura 6).

En el año 1640, Van Helmont realizó un experimento que consistió en trasplantar un árbol joven a un recipiente con suelo y cultivarlo por 5 años. Pesó el suelo y la planta separadamente al principio y final del ensayo, determinó el aumento de biomasa del árbol y midió el agua agregada a través de los años. Concluyó que el suelo no contribuía al crecimiento de los vegetales pues el peso del mismo apenas había variado a lo largo del experimento. Dedujo entonces que el peso que el árbol había acumulado durante esos años provenía del agua agregada. Si bien esta deducción era incorrecta, representaba un primer avance al destronar la idea preexistente de que el material constituyente de las plantas provenía principalmente del suelo. Fue el primer experimento sobre fisiología vegetal. Más de 100 años después, en 1772, Priestley realizó una serie de experimentos utilizando ratones, velas y plantas y descubrió que estas últimas refrescaban el aire y posibilitaban que los ratones siguieran viviendo y las velas continuaran ardiendo en campanas de vidrio cerradas. Priestley halló así evidencias de que las plantas producen un gas que luego Lavoisier denominó Oxígeno. Pocos años después, Ingenhousz descubrió que para que esto ocurriera las plantas debían estar iluminadas remarcando así el rol de la luz en la fotosíntesis. Posteriormente, Senebier demostró en 1782 que las plantas captan  $\text{CO}_2$  y Saussure descubrió en 1804 que el agua también aporta a la materia orgánica de los vegetales. Estos trabajos indicaron que las plantas se nutren de dióxido de carbono, agua y luz y sentaron las bases para la descripción detallada del complejo proceso de la fotosíntesis que convierte la energía solar en materia orgánica (Blankenship, 2008) y que constituye el comienzo de la cadena trófica en los ecosistemas.

Con el renacimiento se reafirmó el valor del conocimiento para el desarrollo de la humanidad y se generaron las bases para las revoluciones en

producción agrícola de épocas venideras. El ocio creativo de las civilizaciones estaba dando sus frutos.

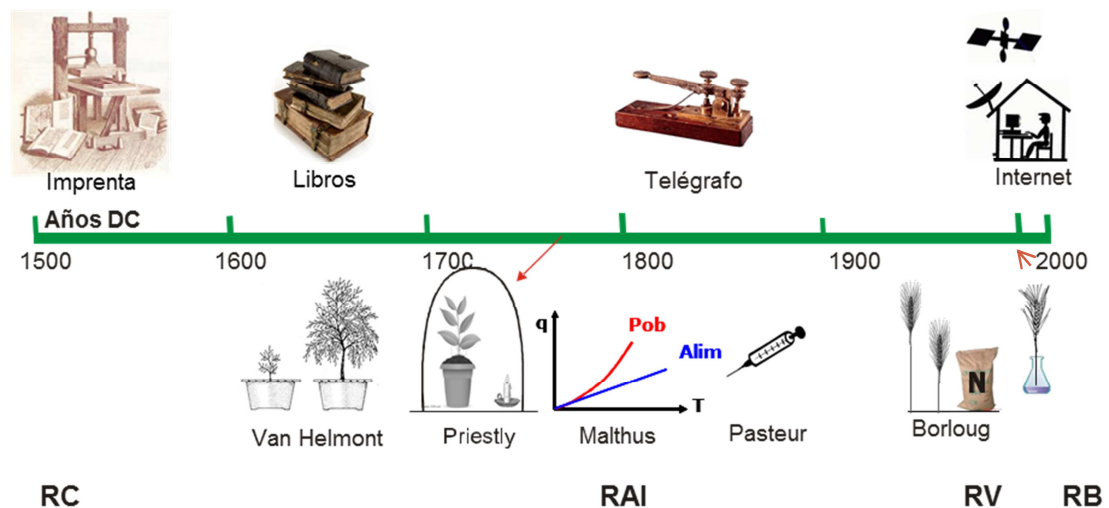


Figura 6: Línea de tiempo desde el Renacimiento (1500 DC) hasta nuestros días indicando hitos científico-tecnológicos ligados a la agricultura y a las comunicaciones. RC: Renacimiento; RAI: Revolución agrícola e industrial; RV: Revolución verde; RB: Revolución biotecnológica.

## La Revolución Agrícola

La revolución industrial que se originó en Inglaterra desde mediados del siglo XVIII consistió en el paso de una economía agraria y artesana a otra industrial y mecanizada con la utilización de nuevas formas de energía como el carbón, de la máquina a vapor y de nuevos materiales como el acero (Ashton, 1948; Moscardi, 2003). Conjuntamente con dicho proceso, el crecimiento poblacional se aceleró marcadamente con ritmo exponencial (Rasmuson y Zetterstrom, 1992).

A fines del siglo XVIII, cuando la población del mundo rondaba los 900 millones y la de Europa los 200 millones (Caldwell y Schindlmayr, 2002), Malthus (1798) predijo hambrunas generalizadas al observar que el crecimiento poblacional superaba al incremento en producción de alimentos (Figura 6). Sin embargo, la Revolución Agrícola que se estaba

produciendo en Europa en los siglos XVIII y XIX, caracterizada por un rápido y masivo aumento de la producción y por un amplio mejoramiento de la tecnología utilizada para cultivar la tierra (Bellis, 2010) aumentó considerablemente la oferta de alimentos postergando las predicciones negativas. Este proceso se basó, fundamentalmente, en la implementación de rotaciones, mejores herramientas, nuevos cultivos, abonos y la expansión de la superficie arable. Malthus no había tenido en cuenta, en su real dimensión, el aporte de la innovación tecnológica en la oferta de alimentos.

Durante el siglo XIX se avanzó en los conocimientos sobre nutrición mineral de las plantas y genética vegetal y se progresó sensiblemente en materia de comunicaciones a distancia. Liebig (1841) demostró que las plantas se nutren de soluciones minerales del suelo y desarrolló las bases para la utilización de fertilizantes en los cultivos. En esa época se elaboraron la Teoría de la Evolución (Darwin, 1859) y las Leyes de Mendel (1865) las cuales constituyen las bases de la genética. En 1832, Morse inventó el telégrafo que posibilitó comunicaciones a distancia vía tendidos de cables y luego, a fines del siglo XIX, Marconi inventó la telegrafía inalámbrica. Estas innovaciones fueron el comienzo de una serie de progresos en telecomunicaciones que mejoraron la transmisión de información y acortaron las distancias.

La importante ampliación de los conocimientos científicos y de las tecnologías derivadas de los mismos posibilitó aumentar la producción, lo que significó una intensificación del uso de los recursos naturales. No obstante, fue una etapa de producción agrícola extensiva de bajos insumos, por lo que el impacto ambiental fue bajo, principalmente asociado con deforestaciones y exposición de los suelos a la erosión.

## **La Revolución Verde**

En la segunda mitad del siglo XIX, Pasteur concluyó que las enfermedades infecciosas tienen su origen en gérmenes que pueden propagarse entre personas. Gracias a este descubrimiento fue posible adoptar medidas capaces de eliminar los microorganismos causantes de numerosas enfermedades e infecciones y salvar muchas vidas por medio de vacunas (Dubos, 1985). Estas innovaciones produjeron una prodigiosa reducción de la mortalidad, especialmente de la infantil que, junto con el mantenimiento de altas tasas de natalidad, resultaron en un marcado incremento en la tasa de crecimiento poblacional, que a mediados del siglo XX llegó al 2,1% anual. La población del mundo había crecido de 1000 millones a principios del siglo XIX a 3000 millones en 1960 (Figura 5) (UN, 2008). Nuevamente,

se pronosticó un futuro de hambrunas generalizadas tal como lo hiciera Malthus a fines del siglo XVIII. En línea con dichas predicciones, Ehrlich (1975) concluyó que alimentar a la población estimada para fines del siglo XX era, en la práctica, imposible. Los pronósticos negativos no se cumplieron debido a que después de la mitad del siglo XX comenzó a disminuir la tasa de crecimiento de la población y se produjo un espectacular aumento de rendimiento en los principales cultivos. La tasa de crecimiento poblacional comenzó a disminuir desde fines de la década del 60 hasta llegar actualmente a valores cercanos a 1,18% anual (Figura 7). En concordancia con estas proyecciones, la tasa de fecundidad mundial se redujo de más de 5 a 2,5 hijos por mujer en las últimas 6 décadas (Figura 8).

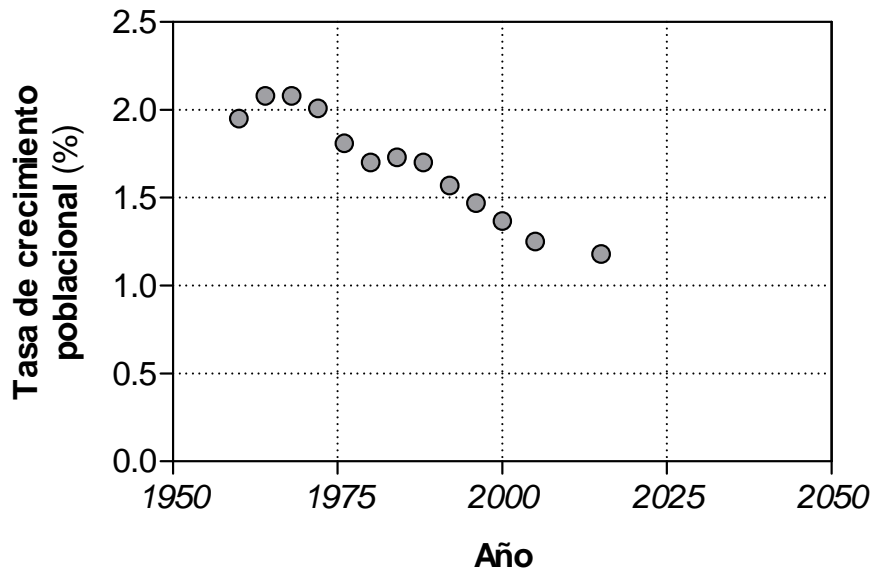


Figura 7: Evolución de la tasa mundial de crecimiento poblacional desde 1960 hasta nuestros días (UN, 2008; 2015).

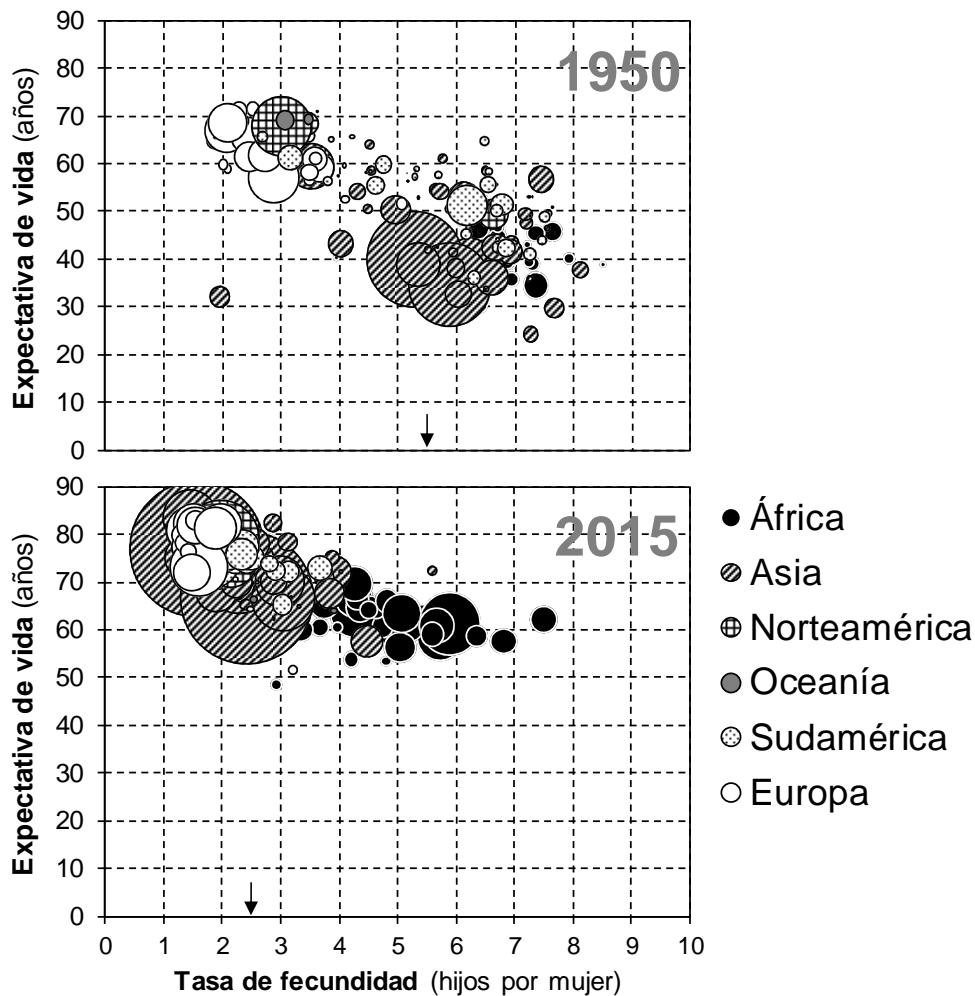


Figura 8: Evolución de la tasa de fecundidad y de la expectativa de vida en los distintos países del mundo desde 1950 a 2015. Cada círculo corresponde a un país. Su área es proporcional a la población<sup>0,75</sup> del país y el relleno indica el continente al que pertenece. El círculo más grande corresponde a China y el segundo a India. Los países europeos, EUA, Canadá y Australia ya presentaban en 1950 altas expectativas de vida y bajas tasas de fecundidad. Durante los últimos 60 años, la mayor parte de los países de Asia, África del norte, América latina, y Oceanía redujeron la tasa de fecundidad y aumentaron la expectativa de vida. La mayor parte de los países de África subsahara está retrasada en cuanto a la evolución de estas variables de desarrollo. Las flechas indican la tasa de fecundidad promedio del mundo. Datos extraídos de Gapminder.org/world.



La superficie total cultivada en el mundo se mantuvo relativamente estable a partir de 1960. Sin embargo, la producción de los cultivos se incrementó de manera consistente durante las últimas 5 décadas debido, principalmente, a un aumento en los rendimientos por unidad de superficie como consecuencia del proceso denominado “Revolución Verde” (Borlaug, 2007).

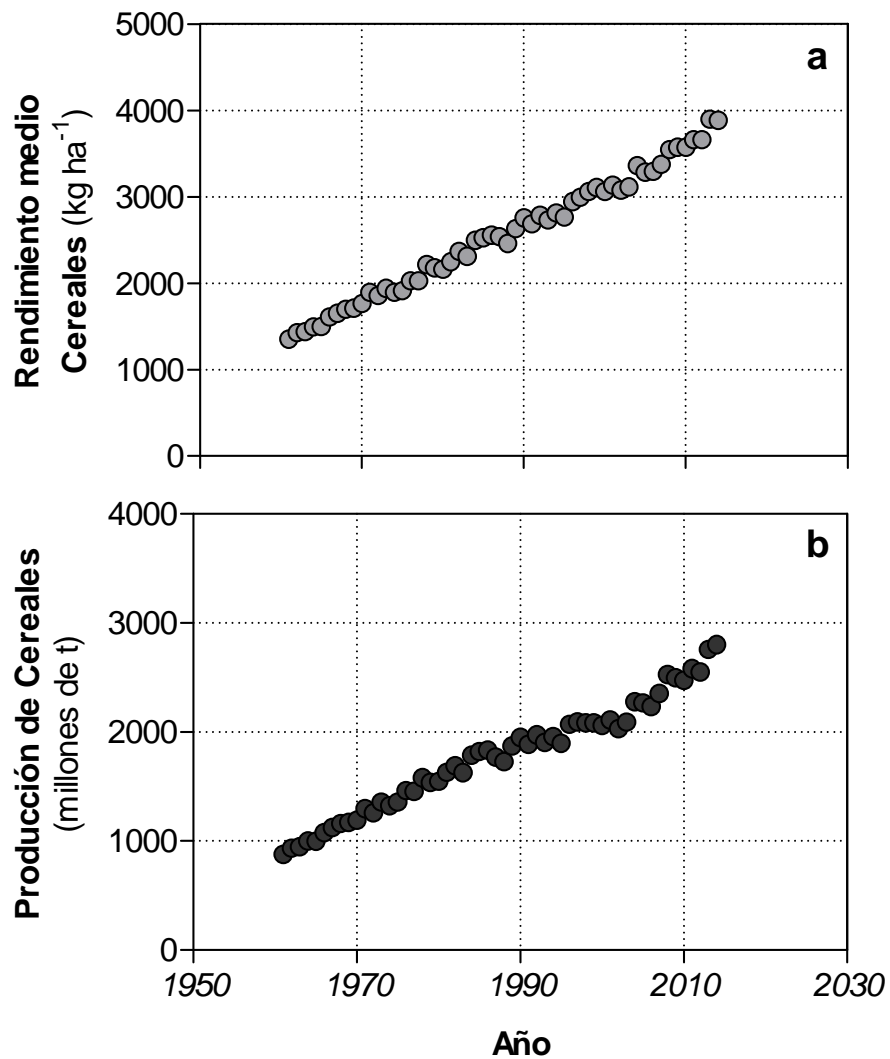


Figura 9: Evolución de los rendimientos promedios (A) y de la producción mundial (B) de cereales de 1960 hasta 2013 (FAO, 2014).

El proceso de la Revolución Verde consistió en la conjunción de innovaciones con una fuerte sinergia: a) disponibilidad de fertilizante nitrogenado relativamente barato; b) cultivares con mayor potencial de rendimiento, y con genes de tolerancia a enfermedades, de estatura reducida que permitieron disminuir el vuelco asociado con altas dosis de fertilizantes, y de insensibilidad fotoperiódica que les proveían amplia adaptación a distintas latitudes; c) nuevos herbicidas que hicieron posible la difusión de estos cultivares, inherentemente pobres competidores con las malezas; etc. (Evans, 1997; Borlaug, 2007). Norman Borlaug, padre de la revolución verde, recibió el Premio Nobel de la Paz en 1970 por su impulso y contribución a este proceso.

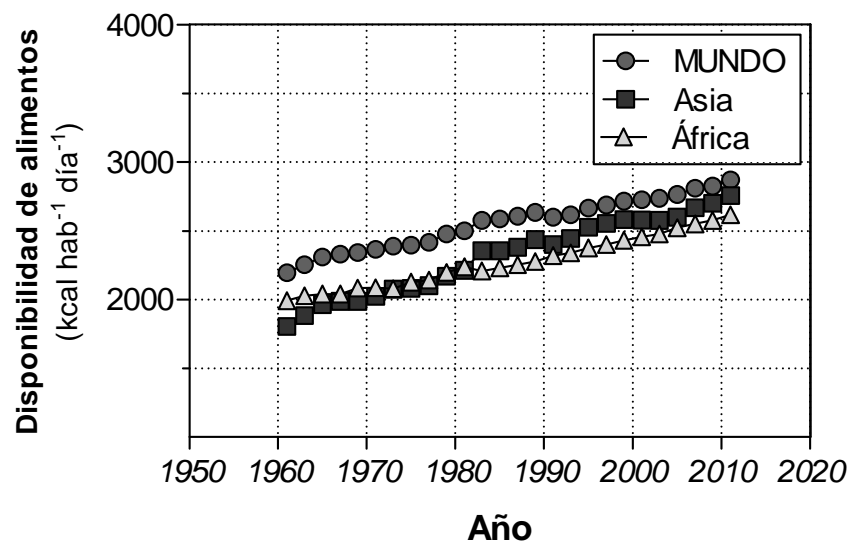


Figura. 10: Evolución de la disponibilidad de alimentos para consumo humano directo para el mundo, Africa y Asia. Datos expresados en kilocalorías disponibles por habitante y por día. Suma alimentos de origen vegetal y animal para consumo humano. No es lo efectivamente consumido ya que no descuenta desperdicios.

La producción y los rendimientos promedio globales de los cereales aumentaron, estos últimos a razón de  $44 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  durante las últimas 5 décadas (FAO, 2011) (Figura 9). De 1960 al 2010, la población mundial creció 2,3 veces pero la producción de alimentos aproximadamente se triplicó (FAO, 2011). Esto generó un incremento promedio en la producción agrícola per cápita de más de 30% en 50 años (FAO, 2011) (Figuras 10 y 11). No obstante, existen disparidades en el mundo en relación con esta

variable ya que en África subsahara, por ejemplo, el índice de la producción agrícola per cápita cayó cerca de 10% en las últimas 5 décadas (FAO 2011).

En concordancia, la producción de los tres principales cultivos de la humanidad (trigo, maíz y arroz) creció más de tres veces en los últimos 52 años debido principalmente a un aumento en los rendimientos por unidad de superficie (Figura 12).

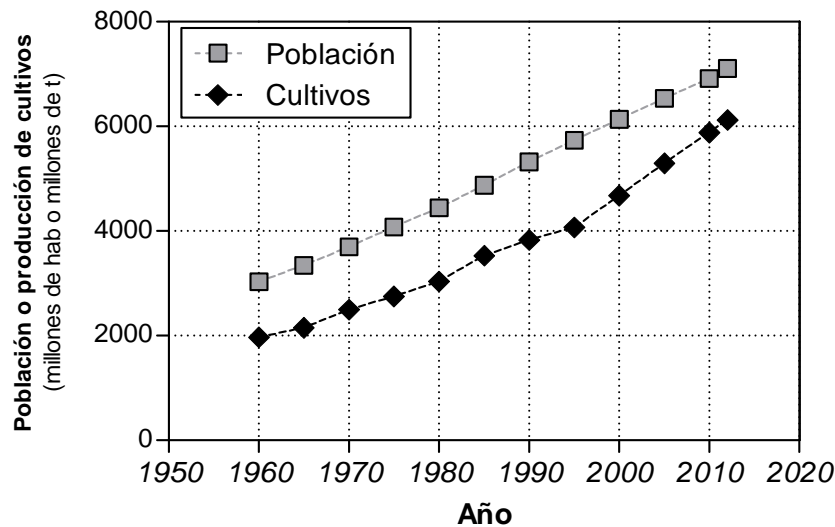


Figura. 11: Evolución de la población y de la producción de cultivos en el mundo. Esta última incluye cereales, oleaginosas, raíces, tubérculos, hortalizas, frutas y legumbres. Elaborado en base a FAO y UN 2012.

La revolución verde constituye un claro ejemplo de innovación tecnológica al servicio de la producción de alimentos que postergó las predicciones malthusianas. No obstante, el laboreo excesivo de los suelos y la importante intensificación de la producción agrícola basada en agroquímicos originaron problemas de degradación ambiental y de contaminación (Bourne, 2009, Gurian Sherman, 2009). De 1960 al 2010, el uso de fertilizantes nitrogenados aumentó 7 veces, el de fertilizantes fosforados 3 veces, la superficie irrigada se triplicó y el uso de plaguicidas se incrementó muchas veces (Foley et al., 2005; Tittonell, 2013; FAO, 2014). Por otro lado, como consecuencia del laboreo excesivo y descuidado, el 23% de los suelos agrícolas del mundo están degradados (Bringezu et al., 2010).

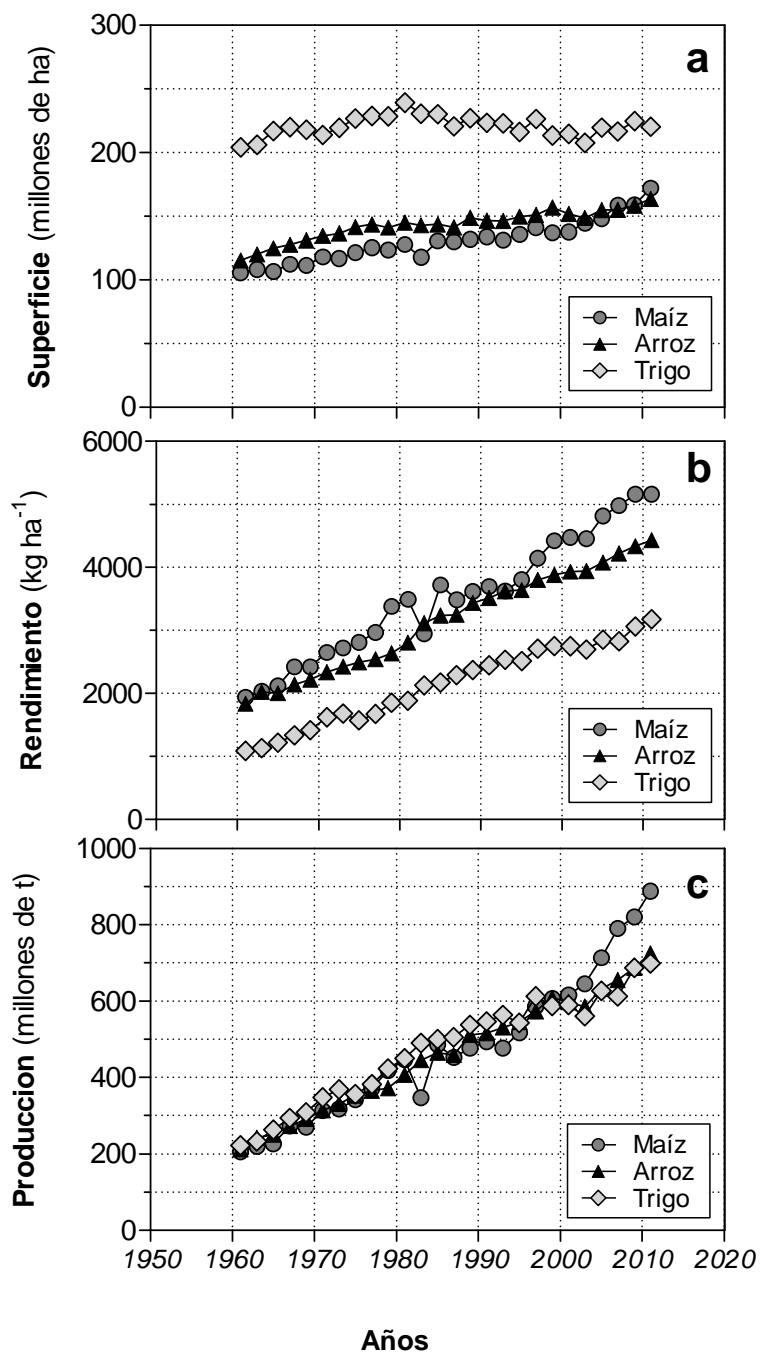


Figura 12: Evolución de la superficie (A), los rendimientos (B) y la producción mundial (C) de maíz, arroz y trigo en función de los años desde 1960 hasta 2012.

La revolución verde fue además muy dependiente del petróleo. Según Titttonell (2013), se requieren 1500 litros de equivalente petróleo por año para alimentar a una persona del mundo desarrollado. La mayor parte de esta energía se utiliza en procesamiento, transporte y distribución de alimentos, maquinaria de campo, síntesis de fertilizantes nitrogenados, riego y secado de granos. Estos valores tan elevados de utilización de insumos externos que significan una alta huella de carbono y producen contaminación, marcan claramente la necesidad de encontrar otras maneras de alimentar a la población.

Algunos autores estiman que sin las tecnologías de insumos de la Revolución Verde la producción actual por unidad de superficie se reduciría a la mitad, por lo que hubiera sido necesario expandir la superficie a expensas de áreas frágiles, lo que hubiera ocasionado un impacto ambiental más serio que lo que hoy estamos experimentando (Uphof, 2002a; Bringezu et al., 2010). No obstante, las actividades humanas y la agricultura en particular producen un impacto ambiental creciente que hoy constituye una seria amenaza para la humanidad, por lo que es necesario evaluarlo, prevenirlo y revertirlo.

### 3. Impacto ambiental de la agricultura

Los eventos de creatividad e innovación relacionados con la supervivencia y el nivel de vida de nuestra especie son cuantiosos (Capítulo 2). Las actividades humanas resultantes de dichas innovaciones crecieron de manera exponencial, lo que sumado a lo limitado de los recursos planetarios causaron extralimitaciones con importantes impactos ambientales. Los efectos negativos de la actividad humana sobre el ambiente son producto de la población, el nivel de consumo por habitante y las tecnologías utilizadas para sostener los consumos globales (Meadows et al., 2012).

La agricultura fue y es una de las principales actividades humanas. Como tal ha ejercido una gran presión sobre el medio ambiente comprometiendo los recursos y la futura producción de alimentos en cantidad y calidad.

El notable incremento de la producción evidenciado a lo largo de la historia se produjo principalmente a través de la expansión de la superficie cultivada hasta mediados del siglo XX y del aumento en la intensidad de uso de insumos externos a partir de mediados del siglo pasado. Esto resultó en procesos de degradación del suelo, de pérdida de hábitats y de contaminación por la elevada utilización de insumos, entre los que se destacan los fertilizantes, los plaguicidas y la energía fósil.

Muchas de las prácticas comunes hasta hoy en la agricultura buscan incrementar la producción y la rentabilidad a corto plazo simplificando el manejo, desconociendo los procesos inherentes a cada sistema de producción e ignorando los posibles efectos negativos sobre el ambiente y los servicios ecosistémicos (Domínguez et al., 2005; Hatfield y Sauer, 2011; INTA, 2011; Jaime et al., 2013; Leonardi et al., 2015).

El uso de los recursos naturales creció marcadamente en las últimas décadas y hemos sobrepasado la capacidad bioproductiva del planeta. El mundo enfrenta una amenaza sin precedentes, en cuanto al cambio climático antropogénico, la contaminación química, el agotamiento de los recursos naturales, y la pérdida de biodiversidad.

Rockstrom et al. (2009) identificaron umbrales planetarios que no debieran ser transgredidos si queremos prevenir serios daños para el ambiente. Fijaron umbrales para la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera, la pérdida de biodiversidad, la cantidad de nitrógeno removido de la atmósfera (N<sub>2</sub>) para uso humano, la cantidad de fósforo (P) que fluye a los océanos, la concentración de ozono en la estratosfera, la acidificación de los océanos, el uso de agua dulce, el uso de la tierra por los cultivos, la contaminación química, y la carga de aerosoles en la atmósfera. Los límites para las primeras tres variables ya han sido sobrepasados.

La Tabla 1 presenta, para 7 de estas variables, los umbrales, la situación actual y la original cuando comenzó la agricultura hace 10000 años. Las

variables seleccionadas son aquellas en las que la agricultura tiene un rol preponderante. La producción de alimentos es responsable de buena parte del impacto ambiental que las actividades antropogénicas tienen sobre los ecosistemas por sus contribuciones a la emisión de gases de efecto invernadero, la pérdida de biodiversidad y la contaminación, por el uso del agua de ríos, lagos y acuíferos para riego, por el requerimiento de tierras, por la remoción de nitrógeno del aire y por los aportes al flujo de fósforo y de otros nutrientes a aguas superficiales y a los océanos.

Tabla 1: Valores actuales, originales hace 10000 años y umbrales de riesgo de riesgo ambiental para distintas variables indicadoras de procesos de impacto ambiental. Se muestran procesos en los que la agricultura tiene un efecto preponderante. Adaptado de Rockstrom et al. (2009a) y completado con datos de Tilman et al. (2002) y Shlikomanov (2000).

Proceso	Variables	Umbral	Valor actual	Valor original	Impacto de la agricultura
Cambio Climático	Conc CO <sub>2</sub> en la Atmósfera (ppm Vol)	350	400	<280	Medio
Pérdida de Biodiversidad	Tasa de extinción de especies (Nº x millón x año)	10	>100	<1	Alto
Ciclo del nitrógeno	N <sub>2</sub> removido del aire para uso humano (10 <sup>6</sup> t/año)	35	121	0	Alto
Ciclo del fósforo	Flujo de P a los océanos (10 <sup>6</sup> t/año)	11	9	1	Alto
Uso de agua (agua azul)	Consumo por humanos (km <sup>3</sup> /año)	4000	2600	0	Alto
Aumento tierra cultivada	Tierra libre de hielo bajo cultivos (%)	15	11.7	0	Alto
Contaminación química	Producción de pesticidas (10 <sup>6</sup> t/año)		3	0	Medio

Valor original corresponde a valores previos a los comienzos de la agricultura. Los valores de consumo de agua de Rockstrom se dividieron por 0.55 para estimar extracciones. El consumo de agua es un porcentaje de las extracciones.

## Cambio climático

El cambio climático, que sería ocasionado por emisiones antropogénicas crecientes de gases de efecto invernadero (Petit et al., 1999; IPCC 2007; Magrin, 2007), es un grave problema para la humanidad ya que incluye aumentos de la temperatura, cambios en las precipitaciones, mayor frecuencia de eventos climáticos extremos y el derretimiento de los hielos con la consecuente elevación del nivel del mar. La concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera, indicador de dicho proceso, superó el umbral de seguridad (Tabla 1) y la temperatura media global se ha incrementado en varias décimas de grados centígrados desde la década del 70 hasta el 2012. Los principales gases que causan el efecto invernadero son el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el metano (CH<sub>4</sub>) y el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O). Estos gases tienen una actividad relativa de efecto invernadero por molécula de aproximadamente 1, 30 y 300, respectivamente (VandenBygaart, 2016). Las emisiones de gases de efecto invernadero aumentaron de 27 a 49 Gigatonnes (Gt) de equivalentes CO<sub>2</sub> entre 1970 y 2010. De las 49 Gt producidas en el año 2010, el 76% correspondió al CO<sub>2</sub>, el 16% al CH<sub>4</sub> y el 6% al N<sub>2</sub>O.

El cambio climático puede afectar la futura disponibilidad de alimentos, exacerbando la inseguridad alimentaria en áreas actualmente vulnerables por hambre y desnutrición. Las predicciones sobre sus efectos varían en función del método utilizado, del cultivo y la localidad. Dada la gravedad de este proceso, se requieren acciones de mitigación para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y de adaptación para que los sistemas de producción de alimentos sean más resilientes (Wheeler y von Braun, 2013; EU, 2015).

La agricultura junto con el cambio de uso de la tierra aportan alrededor del 30% de las emisiones globales anuales de gases de efecto invernadero medidos como equivalentes CO<sub>2</sub> (IPCC, 2007; Foley et al., 2011; Olivier et al., 2012; IPCC, 2014). Las fuentes de emisión de gases de efecto invernadero por la agricultura incluyen la fermentación de los rumiantes, las arroceras, el uso de fertilizantes y abonos, el estiércol sobre las pasturas, la quema de rastrojos, la deforestación, el uso directo e indirecto de energía, etc. Entre ellas se destacan por su magnitud y efecto las emisiones de CH<sub>4</sub> por los rumiantes, de CO<sub>2</sub> por deforestación y de N<sub>2</sub>O por la aplicación de fertilizantes (IPCC, 2007; FAO, 2014; MMADSN, 2015). En la reciente Conferencia sobre Cambio Climático realizada en París (UNCCC, 2015) se acordó como meta limitar el calentamiento global a menos de 2 grados Celsius (°C) comparado con los niveles preindustriales para reducir así los riesgos y el impacto del cambio climático. El acuerdo requiere alcanzar cero de emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero hacia el año 2100 en un contexto de equidad, desarrollo sustentable, erradicación de la pobreza y seguridad alimentaria. Para



alcanzar estos objetivos, las naciones deben fijar trayectorias de reducciones de emisiones que requieren impulsar tecnologías de producción y utilización de energías alternativas renovables y acrecentar los sumideros de carbono.

## **Pérdida de biodiversidad**

La pérdida de biodiversidad ha alcanzado valores alarmantes, superando ampliamente el umbral de seguridad presentado en la Tabla 1. Esta se debe principalmente al deterioro y transformación de los hábitats naturales en explotaciones agropecuarias, asentamientos humanos, vías de comunicación, etc. La biodiversidad cumple importantes funciones en relación con la resiliencia de los ecosistemas frente a cambios ambientales (Isbell et al. 2015) y en la regulación interna de los agroecosistemas (Altieri, 1999). La agricultura, por avanzar sobre áreas de bosques y otros hábitats, tiene una alta responsabilidad en los incrementos en la tasa de extinción de especies. Ya se ha deforestado un 45% de bosques templados y un 27% de bosques tropicales (Foley et al., 2011) y actualmente se deforestan hasta unas 10 millones de hectáreas por año. Los futuros requerimientos de alimentos y otros productos agrícolas tienen que ser cubiertos reduciendo significativamente el costo en biodiversidad (Phalan et al., 2011; Poggio, 2015).

## **Uso del agua**

La extracción anual global de agua de ríos, lagos y acuíferos (agua azul) por los humanos rondaba los 4000 km<sup>3</sup> en el año 2000 y crecerá a 5200 km<sup>3</sup> en el año 2025 (Shiklomanov, 2000). El valor de extracción del año 2000 representa cerca del 10% de la fuente total anual del recurso y el 55% del umbral de seguridad presentado en la Tabla 1. El 60% de la extracción anual corresponde a Asia, el 34% a Europa y América y sólo el 6% a África.

Ochenta países y unas 1200 millones de personas sufren en la actualidad problemas de escasez de agua tanto en lo referido a la cantidad como a la calidad del recurso. Estos problemas afectan mayormente a los más pobres. El consumo de agua no adecuada origina enfermedades que producen millones de muertes por año en todo el mundo. Se estima que esta situación se agravará. La cantidad de habitantes con problemas de escasez de agua crecería a 2700 millones en el 2025 (WWDR, 2003;

Molden, 2007) y alcanzaría entre el 59% y el 66% de la población mundial en el 2050 (Rockstrom et al., 2009b; Wallace y Gregory, 2002).

Las fuentes de agua azul se contaminan por residuos industriales y municipales y por los excesos del agua de riego. Muchos países descargan al ambiente aguas residuales contaminadas sin tratamiento previo. Los volúmenes anuales de agua de desperdicio en el año 1995 expresados en km<sup>3</sup> fueron aproximadamente 270 en Europa, 450 en América del Norte, 850 en Asia, y 60 en África (Shiklomanov, 2000).

El riego de los cultivos significa alrededor del 70% de la extracción global de agua azul (Shiklomanov, 2000; Molden 2007). En el futuro este porcentaje decrecerá por los aumentos relativos de otros usos, principalmente el doméstico y el industrial (Shiklomanov, 2000). Por otro lado, el consumo de agua total por los cultivos representa el 92% del valor anual global de la huella hídrica, o sea del volumen total de agua dulce utilizado por las distintas actividades humanas (Hoekstra y Mekonnen, 2012). Además, el agua es el principal factor limitante para los rendimientos de los cultivos a nivel global.

En base a la información presentada, resalta la necesidad de concentrar esfuerzos para optimizar el uso del recurso hídrico. Para reducir los riesgos de sequías agrícolas e incrementar la disponibilidad de agua para otros usos relevantes se requiere mejorar la eficiencia de captura y uso del agua disponible por los cultivos y aplicar riegos más eficientemente. Por otro lado, la industria y las ciudades necesitan encontrar maneras más eficientes de utilizar y reutilizar el agua (Hsiao et al., 2007; Chartres y Varma, 2010).

## **Contaminación química**

La contaminación química se produce por residuos radiactivos, contaminantes orgánicos persistentes, plásticos, metales pesados, halógenos, otros productos inorgánicos, etc. (Schwarzenbach et al., 2010). En la actualidad hay más de 140000 productos químicos registrados. El mayor impacto sobre la salud humana y de los ecosistemas corresponde a la industria pesada, seguida por la agricultura, otras industrias y la minería. La agricultura contamina el ambiente a través del uso de plaguicidas y de la alteración de los ciclos de los nutrientes.

## **Plaguicidas**

Del total de productos químicos registrados, unos 20000 corresponden a plaguicidas. Estos incluyen algo más de 1000 principios activos, con un

volumen global anual de producción de más de 2 millones de t (UNEP, 2013; Tilman et al., 2002). De dicho volumen de producción, algo más de la mitad corresponde a herbicidas, cerca de un tercio a insecticidas y el resto principalmente a fungicidas.

Los plaguicidas son sustancias químicas líquidas o sólidas que producen efectos tóxicos agudos y crónicos sobre ciertos organismos vivos y que se utilizan principalmente para combatir las plagas (malezas, insectos y enfermedades) que afectan a los cultivos (Bedmar, 2011). A nivel global, estos productos reducen cerca del 50% las pérdidas potenciales en los cultivos causadas por las adversidades bióticas en su conjunto (Oerke, 2006; Bedmar 2011). Los mayores controles corresponden a las malezas, luego a los insectos y por último a las enfermedades (Oerke 2006).

Los plaguicidas están presentes en el aire, en el suelo, en el agua superficial y subterránea y en los alimentos, y son la principal fuente de contaminación no puntual del medio ambiente (Larsen et al., 2013; Aparicio et al., 2015; Colombo y Sarandón 2015). Debido a esta amplia presencia en matrices ambientales, afectan la salud humana y animal, a los insectos benéficos, y a las comunidades microbianas del ambiente (Wolansky, 2011; Tittonell, 2013; Aparicio et al., 2015). Tittonell (2013) afirma que los plaguicidas generan globalmente 3 millones de casos de envenenamientos de personas por año que resultan en 220000 muertes y que el nivel de incidencia de envenenamiento agudo varía de 18 a 180 casos cada 100000 trabajadores rurales permanentes por año. Además, debido al nivel de toxicidad y al volumen de plaguicidas utilizados se observa en muchos lugares un riesgo creciente de mortandad aguda de las aves, organismos indicadores de la salud ambiental (Zaccagnini, 2006; Violini, 2009; INTA 2011). Más detalles sobre las características de los plaguicidas se presentan en el Capítulo 5.

La actividad agropecuaria argentina demandó en la campaña 2011-2012, 335 millones de litros o Kg de formulados de agroquímicos, siendo el glifosato el compuesto más utilizado, seguido por los piretroides y los fungicidas. Relevamientos recientes en arroyos, ríos, aire y suelos de distintos lugares de Argentina, en los que se evaluaron glifosato y su principal producto de degradación (AMPA), piretroides totales, fungicidas, endosulfán, clorpirifós y otros agroquímicos, indican alta frecuencia de presencia y concentraciones en agua que suelen superar los umbrales establecidos por algunos países (Aparicio et al., 2013; Aparicio et al., 2015; Colombo y Sarandón, 2015). La Unión Europea establece un límite máximo de  $0.1 \mu\text{g l}^{-1}$  por molécula y de  $0.5 \mu\text{g l}^{-1}$  para la suma de moléculas detectadas en agua para consumo humano, mientras que la Environmental Protection Agency (EUA) fijó una concentración máxima de atrazina en el agua para consumo de  $3 \mu\text{g l}^{-1}$  (Aparicio et al., 2015).

Los datos presentados marcan la necesidad de profundizar estos estudios, ampliando el número de relevamientos y de plaguicidas evaluados. Los

cultivos intensivos son de especial interés y sensibilidad para la sociedad por su cercanía a los centros poblados y por las elevadas cantidades de agroquímicos que se aplican.

## Alteración del ciclo de los nutrientes

La producción y consumo de alimentos asociados con el inadecuado uso de fertilizantes han alterado el flujo de los elementos en la naturaleza (ciclos biogeoquímicos) y causado contaminación (Sutton et al, 2013).

Globalmente se aplican cerca de 200 millones de t de fertilizantes nitrogenados, fosforados y potásicos (medidas como N,  $P_2O_5$  y  $K_2O$ ) siendo China, India, EUA y Brasil, en orden decreciente, los principales consumidores (60%). En China, India y algunas regiones de EUA y Europa se aplican fertilizantes en exceso produciendo contaminación, mientras que en otros países (Argentina, por ejemplo) los balances de nutrientes son negativos, lo que contribuye a la degradación de los suelos por pérdida de fertilidad (Townsend y Howarth 2010; Sutton et al., 2013). La adición consistente a los suelos de nitrógeno (N) y de fósforo (P) a través de la fertilización presenta eficiencias de uso muy bajas (Sutton et al., 2013) causando contaminación e ineficiencias energéticas. Globalmente, sólo el 47% del N reactivo aplicado actualmente como fertilizante es convertido a productos cosechables (Lassaleta et al., 2014).

La agricultura alteró considerablemente el flujo de  $N_2$  atmosférico a N reactivo y el flujo de P a los océanos. La elaboración de fertilizantes nitrogenados para la agricultura y la fijación biológica por los cultivos leguminosos son las principales vías de producción de compuestos nitrogenados reactivos a partir de la remoción de  $N_2$  atmosférico (Galloway et al., 2003; Rockstrom et al., 2009a). Los umbrales de seguridad de este proceso han sido superados ampliamente (Tabla 1). Entre las alteraciones que origina (Sutton et al., 2013) resaltan i) la acumulación de nitratos en las napas (Hallberg, 1987; Aparicio et al., 2008) con sus efectos en la salud, ii) las emisiones de amonio y principalmente óxido nitroso ( $N_2O$ ) a la atmósfera (Mosier et al., 1998), gas con fuerte efecto invernadero y iii) los flujos de N a los ríos, lagos y mares. Además, la elaboración de fertilizantes nitrogenados es muy costosa en cuanto a utilización de energía fósil y emisiones de gases de efecto invernadero (Gellings y Parmenter, 2004).

La agricultura y el posterior consumo son el principal determinante del flujo de fósforo a los océanos (Rockstrom et al., 2009a) a través de la extracción del nutriente del suelo y de los fertilizantes por parte de los cultivos y de la producción de desechos por los humanos y animales. El P también se pierde desde los suelos a las aguas por erosión, escurrimiento superficial y, en menor medida, lixiviación (Sims et al., 1998; Sharpley et al., 2013).

Los flujos de N, P y otros nutrientes a los ríos, lagos, embalses y mares producen eutrofización, proceso que altera la estructura y funcionalidad de los ecosistemas con la consecuente pérdida de biodiversidad.

## **Degradación de los suelos**

La actividad agrícola es además responsable del aumento de la tierra cultivada y de la degradación física de los suelos. Hoy se cultivan alrededor de 1500 millones de ha (Capítulo 5) lo que representa un 11,7% de la tierra libre de hielo del planeta y el 78% del umbral de seguridad establecido por Rockstrom et al. (2009) (Tabla 1). La degradación de los suelos se produjo principalmente por las labranzas, por cultivar suelos con pendientes, por dejar los suelos desprotegidos sin cobertura durante los barbechos, por el reemplazo de bosques por cultivos, por el sobrepastoreo, por los monocultivos, por malas prácticas de riego que producen salinización y sodificación, por la quema de rastrojos, etc. Se estima que las pérdidas anuales de tierras agrícolas por erosión suman de 2 a 5 millones de ha y que el 23% de los suelos agrícolas del mundo están degradados (Bringezu et al., 2010).

En el capítulo 5 se amplía este tema y se describen las estrategias para frenar y revertir los procesos de pérdidas y deterioro de las tierras productivas.

## **Producción de residuos**

Finalmente, la acumulación de residuos de todo tipo refleja una sociedad de consumo y de excesos con poca capacidad de reciclaje. La cadena agroalimentaria y agroindustrial humana introduce un grado adicional de complejidad en la problemática medioambiental. La producción, el procesamiento, el transporte, el almacenaje, la distribución, y el marketing generan desechos de distinta calidad y cantidad que causan contaminación por lo que deben ser reutilizados, reciclados, aprovechados como subproductos, o bioconvertidos para reducir el impacto ambiental (Viglizzo, 2001).

## **Resumen**

En resumen, la agricultura afecta seriamente al ambiente. Sus principales efectos negativos son: la erosión y degradación del suelo por deforestación

y laboreo excesivo, la contaminación de las aguas, la tierra y el aire con biocidas que afectan a los humanos, animales vertebrados e insectos benéficos, la pérdida de biodiversidad, la emisión de gases de efecto invernadero, la acumulación de nitratos en las napas, el flujo de P y otros nutrientes a las aguas, las pérdidas de tierra agrícola por salinización, el agotamiento de las fuentes de agua y, en suma, la pérdida de servicios ecosistémicos (JICA-INTA, 2004; Viglizzo et al., 2011; Foley et al., 2011).

En las regiones más pobres, la mala distribución de los recursos, la marginalidad y la necesidad de alimentos fuerzan a los agricultores a cultivar tierras de alta pendiente, poco profundas o semiáridas sin los recursos adecuados, por lo que los suelos son degradados y erosionados. Por el contrario, en áreas donde el nivel tecnológico de la producción es alto, los principales problemas surgen del mal uso del riego que produce degradación de tierras por salinización y del uso indiscriminado de biocidas y fertilizantes que produce contaminación ambiental y atenta contra la inocuidad de los alimentos.

Hasta ahora la oferta de la agricultura ha superado a los incrementos de la demanda en términos generales, lo que se evidencia en la caída en los precios de los granos durante el siglo XX. Esto ha sido producto de nuestra prodigiosa capacidad creativa e innovadora. Sin embargo, hemos desatendido un aspecto sumamente relevante. Claramente, la agricultura y las actividades humanas en general ocasionan una extralimitación en el uso de los recursos naturales y de la capacidad bioproductiva del planeta. Una extralimitación en el uso de los recursos de nuestro planeta surge de la convergencia de un rápido crecimiento de la población y de sus actividades económicas, de un límite en la disponibilidad de dichos recursos y de un desfase en la percepción del problema que causa retrasos en la aplicación de las medidas adecuadas (Meadows et al., 2012).

La degradación del planeta afecta y afectará a todos los seres humanos independientemente del lugar que habitan y de la responsabilidad que cada uno tenga en generar los daños mencionados. Por esto, frenar y revertir los impactos ambientales de nuestras actividades debe ser de interés de todos los habitantes del mundo.

Hoy nuevas voces de alarma surgen (Bourne, 2009; Gurian Sherman, 2009; Encíclica Laudato SI, 2015) por estar la futura producción de alimentos amenazada por la degradación ambiental y el cambio climático. ¿Podrá de ahora en más la agricultura satisfacer la creciente demanda de alimentos y otros productos agrícolas sostenidamente?

Para responder esta pregunta y precisar la magnitud de la tarea a encarar, un primer paso necesario es estimar la futura demanda de productos agrícolas, identificando y cuantificando las distintas variables que la componen.

## **4. Las futuras demandas de productos agrícolas**

Las demandas de productos agrícolas continuarán creciendo en las próximas décadas debido al aumento de la población, los cambios en la calidad de la dieta de muchos habitantes y los requerimientos de biocombustibles y biomateriales.

A continuación se analizan los efectos de estos factores sobre las futuras demandas.

### **Crecimiento poblacional**

La población mundial continúa creciendo pero con tasas porcentuales decrecientes (UN, 2015) (Figura 7). Estos cambios resultan de la reducción de la fecundidad (Figura 8) asociada con una mejora del nivel de vida, la educación de la mujer y el acceso a la contracepción. Las recientes estimaciones de las Naciones Unidas (UN, 2015; variante media) indican que la población actual de 7300 millones crecerá a 9700 millones en el año 2050 (Figura 13) y a algo más de 11000 millones a fin de siglo. La edad mediana mundial, o sea aquella en la cual la mitad de los habitantes son mayores y la otra mitad más jóvenes, es 29.6 años. Un cuarto de la población tiene menos de 15 años, el 62 % entre 15-59, y el 12 % más de 59.

La mayor parte del incremento que se producirá entre hoy y el año 2050 tendrá lugar en los países en vías de desarrollo. India, Nigeria, Pakistan, República Democrática del Congo, Etiopia, y Tanzania son los países que más aumentarán su población en términos absolutos en dicho periodo. En contraposición, la población de los países desarrollados apenas se incrementará de 1250 a 1280 millones durante este siglo y se reduciría si no hubiera migraciones desde los países menos desarrollados (UN, 2015). Se proyectan reducciones en la tasa de fecundidad global que bajaría de 2.53 hijos por mujer en 2005-2010 a 2.24 hijos por mujer en 2050. A fines de este siglo, se alcanzaría un valor cercano al de reemplazo (cerca de 2 hijos por mujer) (UN 2015) lo que indica la estabilización de la población mundial. Contrariamente a lo observado para la tasa de fecundidad, la longevidad de las personas está aumentando (Figura 8), incluso en muchos países de Asia y Africa. La expectativa de vida crecerá a nivel global de 70 años en 2010-2015 a 77 años en 2050 y a 83 años en 2100 (UN, 2015).

El número de personas con más de 60 años de edad se incrementará marcadamente durante el transcurso de este siglo (841 a 3000 millones). Su contribución al total crecerá de 9 a 27% en los países menos desarrollados y de 23 a 34% en los desarrollados. Esto genera el desafío adicional de sostener poblaciones en edad no laboral. Además, el número de personas en edad laboral se reducirá en los países desarrollados y crecerá en los menos desarrollados. Se refuerza así en estos últimos países la necesidad de creación de empleos como parte de la estrategia de desarrollo.

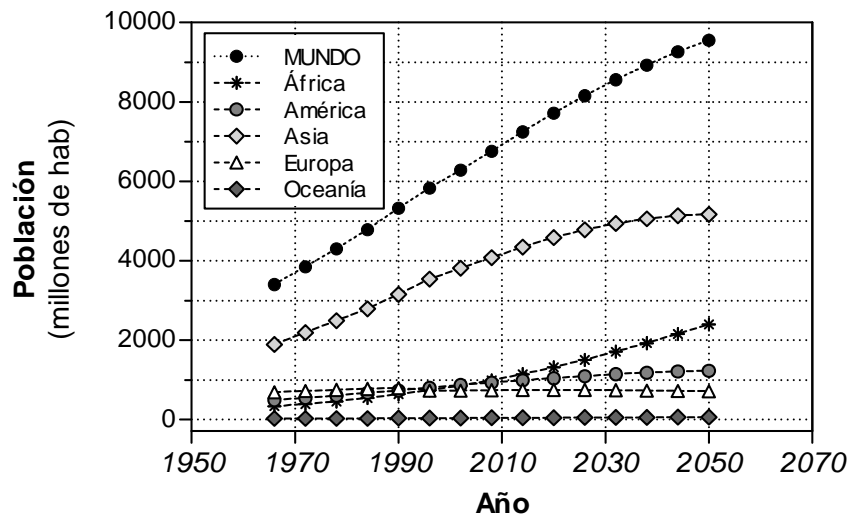


Figura 13: Evolución de la población humana desde 1965 hasta 2050 en el mundo, y discriminada para África, Asia, América, Europa y Oceanía (UN 2012; variante media).

La tasa de crecimiento global, que hoy es de 1.18% anual, continúa bajando (Figura 7). No obstante, esta sigue siendo alta en los 49 países menos desarrollados (2.4% anual), para los que se espera una marcada reducción en las próximas décadas (UN, 2015) debido a caídas en la tasa de fecundidad.

Las proyecciones de población indicadas (UN, 2015) arrojan valores algo superiores a los estimados previamente por la misma institución, especialmente a partir de 2075. Esto se debe a que i) las estimaciones de reducciones futuras de tasa de fecundidad son menores en las recientes proyecciones (especialmente en varios países de Africa subsahariana); ii) pequeños incrementos en trayectorias proyectadas de fecundidad de



países muy poblados de Asia producen diferencias importantes a largo plazo; y iii) la expectativa de vida aumentó en muchos países. En conclusión, si bien la tasa de crecimiento poblacional se está reduciendo marcadamente, se espera un incremento poblacional del 38% entre los años 2010 y 2050.

## **Calidad de la dieta**

La humanidad se alimenta de unas 250 especies vegetales aunque el número total de especies comestibles es 50000. Obtenemos el 90% de la energía que ingerimos de sólo 15 especies y 2/3 de la misma de apenas 4 (maíz, trigo, arroz y soja; Caparrós, 2014).

Los países con altos ingresos consumen dietas más calóricas y más ricas en productos de origen animal. Los países desarrollados utilizan el 73% de los cereales producidos para alimentar animales mientras que los países en vías de desarrollo sólo el 37%. Por esto, la disponibilidad de alimentos de origen animal, expresada en energía disponible por habitante y por día, varía marcadamente entre regiones del mundo (Figura 14).

Una dieta diaria rica en productos animales que incluye 11.5 Megajoules (Mj) de energía y 92 gramos de proteína requiere algo más del triple de equivalentes grano (EG) que una dieta vegetariana que aporta 10 Mj de energía y 75 gramos de proteína (4,21 vs 1,34 kg de EG por hab por día; Bakker 1985). Estos valores de EG son expresados en materia seca y representan la cantidad de grano necesaria para producir los alimentos que se consumen diariamente que derivan o pueden derivar de dichos granos (ie. pan, pasta, harina, carne, leche, huevos, etc.) más el grano que se podría producir en la superficie destinada al cultivo de los otros alimentos de la dieta diaria no relacionados con la producción de granos, como frutas y hortalizas.

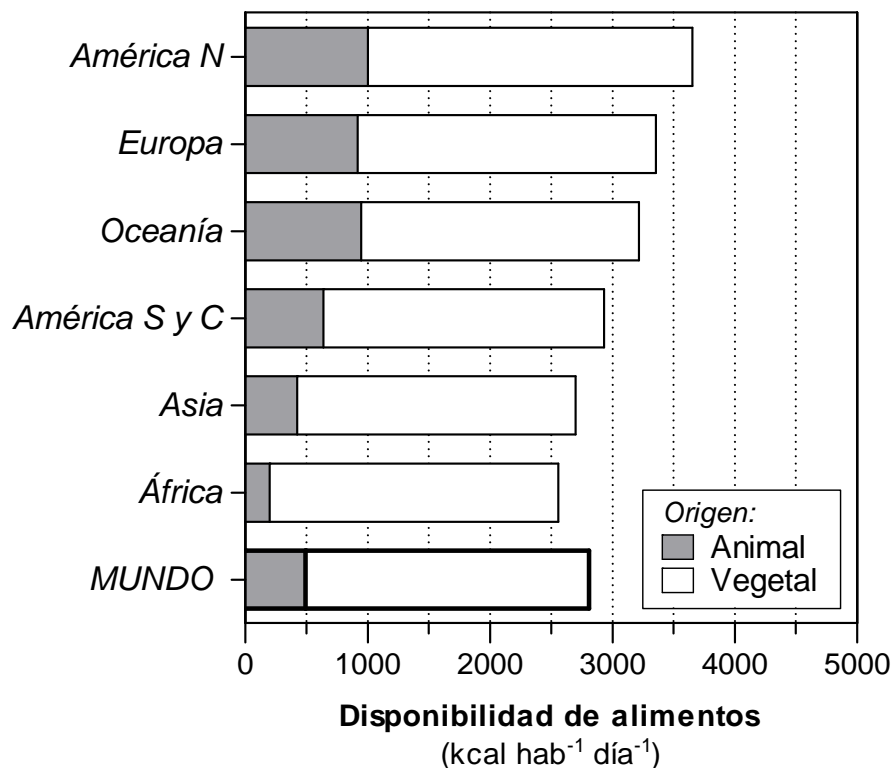


Figura 14: Disponibilidad actual de alimentos de origen vegetal (sector blanco de la barra) y animal (sector gris de la barra) para consumo humano directo en el mundo y en distintas regiones. Valores expresados en Kcal por habitante por día (FAO, 2014). No son kilocalorías efectivamente consumidas sino aquellas disponibles para consumo humano calculadas como producción anual, más importaciones, menos exportaciones, más reducción de reservas (stocks). Los alimentos vegetales utilizados para alimentación animal no se incluyen en las Kcal vegetales disponibles para consumo humano directo, sino que se transforman y luego computan como Kcal de origen animal.

El poder adquisitivo, aproximado mediante el producto bruto per cápita, ha crecido en prácticamente todos los países del mundo durante las últimas décadas (Figura 15). Los países desarrollados mostraron los mayores incrementos en valor absoluto mientras que ciertas regiones del mundo en vías de desarrollo presentaron los mayores aumentos en valores relativos. Se estiman incrementos anuales del 2.5% en el producto bruto per cápita global entre 2005 y 2050. Los valores porcentuales son mayores en muchos países en vías de desarrollo que en los desarrollados; no obstante,

las estimaciones indican que el grupo de naciones más pobres no incrementarán los ingresos por habitante en el periodo considerado (Figura 16; World Bank, 2009; LCAM, 2009; Tilman et al., 2011).

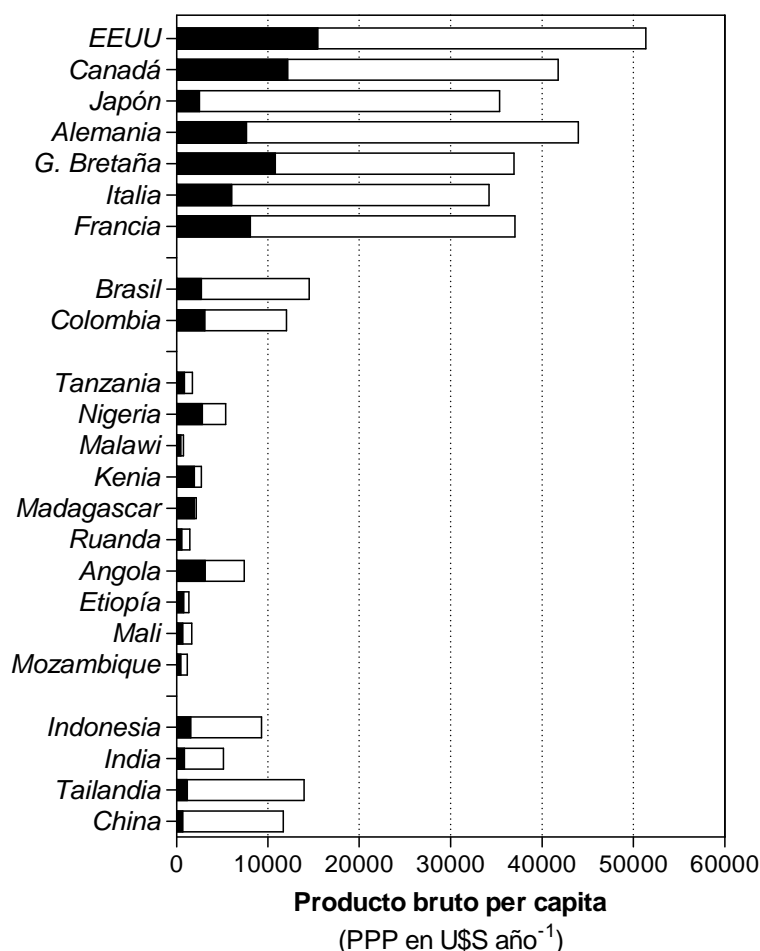


Figura 15: Producto bruto per cápita y por año en distintos países del mundo en 1950 y 2013. La barra negra representa el producto bruto per cápita en 1950. La suma de las barras negra y blanca representa el producto bruto per cápita en el año 2013. Los países europeos, EUA, Canadá, y otros países desarrollados muestran los valores más altos y los mayores incrementos en valores absolutos en los últimos 60 años. Países del Sur y SE asiático incrementaron notablemente en términos relativos sus productos per cápita en el mismo período. La mayor parte de los países de Africa subsahara, están muy retrasados en cuanto a la evolución de esta variable de desarrollo. El producto bruto per cápita y por año se convirtió a dólares utilizando la paridad de poder adquisitivo (PPP) y está expresado en dólares ajustados por inflación, año de referencia: 2000. Datos extraídos de Gapminder (2015).

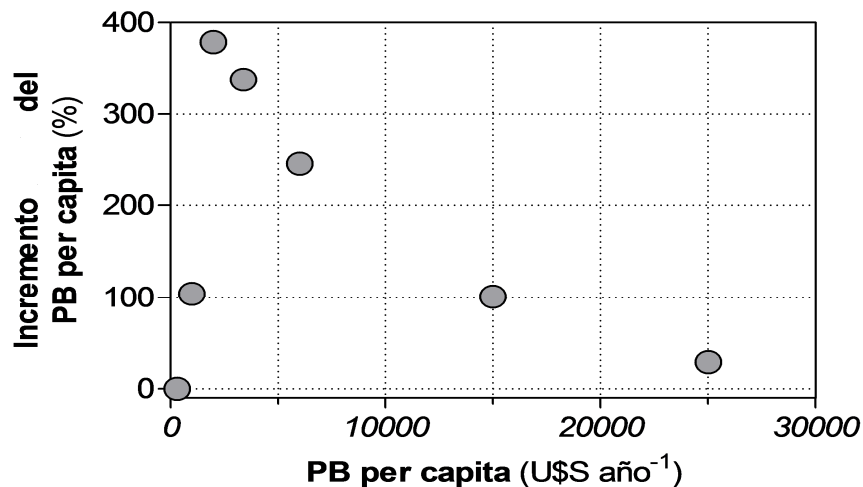


Figura 16: Estimaciones del incremento porcentual en el producto bruto per cápita y por año entre 2005 y 2050 en función del producto bruto per cápita del año 2005 expresado en U\$S año 1990. Los datos corresponden a 100 naciones clasificadas en 7 grupos económicos según los ingresos de sus habitantes. Estas naciones representan el 91% de la población mundial. Adaptado de Tilman et al. (2011).

En la medida que crece el poder adquisitivo aumenta la cantidad de calorías y de carne consumida. Las funciones que relacionan el consumo de carne y calorías con el poder adquisitivo son similares, salvo excepciones, para las distintas regiones del mundo (Figura 17) (Tilman et al., 2011). En relación con el resto del mundo, China presenta menores incrementos en consumo de calorías vacías (calorías no acompañadas por vitaminas y proteínas) e India inferiores aumentos en consumo de carne en respuesta a un mayor poder adquisitivo (Tilman y Clark, 2014).

Surge de la información presentada en la Figura 17 la estrecha relación global entre la demanda de calorías y proteínas vegetales y el producto bruto per cápita (Figura 18; Tilman, 2011). Dicha relación, única para los diferentes grupos económicos, resalta las diferencias de demanda entre las naciones pobres y ricas. En estas últimas, las altas demandas se deben a los altos consumos y a las bajas eficiencias de conversión de calorías y proteínas vegetales en productos animales.

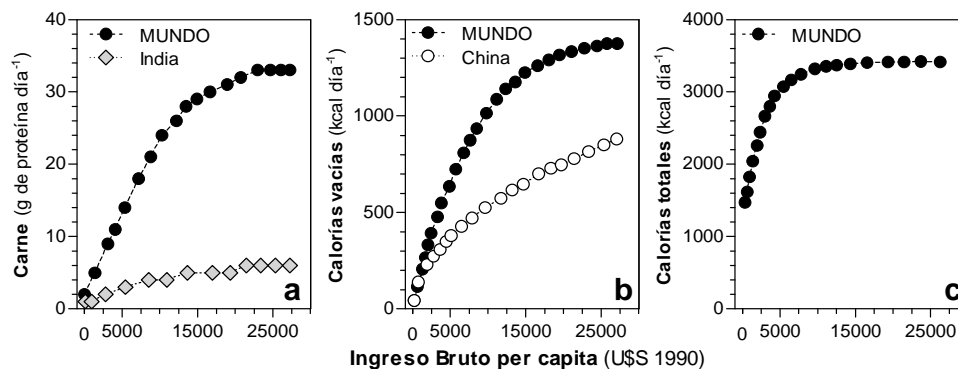


Figura 17: Tendencias de consumo de carne (a), calorías vacías (b) y calorías totales (c) en función del poder adquisitivo expresado como producto bruto por habitante y por año en U\$S del año 1990. Las curvas negras representan la relación común promedio para todos los países con distinto poder adquisitivo. Las excepciones son indicadas por rombos grises y cuadrados blancos y corresponden a India en A y a China en B. Adaptado de Tilman y Clark (2014).

Se concluye entonces que la calidad de la dieta alimenticia mejorará a nivel global en las próximas décadas, siendo los países del este y sur de Asia los más beneficiados.

En base a la información presentada en las anteriores figuras, el aumento en el poder adquisitivo de la población redundará en incrementos de hasta 42% en el consumo medio anual de carne por habitante (38 a 54 kg por año) y del 11% en la cantidad de calorías demandadas diariamente para consumo por individuo (2800 a 3100 Kcal por día) entre los años 2010 y 2050 (LCAM, 2009; FAO, 2011; Alexandratos y Bruinsma, 2012; Fischer et al., 2014).

Las estimaciones basadas en proyecciones del poder adquisitivo indican que los países más pobres no resolverían sus problemas de seguridad alimentaria hacia el 2050 (Figura 16). En este sentido, toma relevancia solucionar los problemas que estas naciones padecen para asegurar una dieta moderada y adecuada (relación Energía animal/Energía vegetal = 0.3 y 2.36 kg EG/hab/día) a todos los habitantes del mundo. Este aspecto debe ser contemplado en las estimaciones de la futura demanda de productos agrícolas.

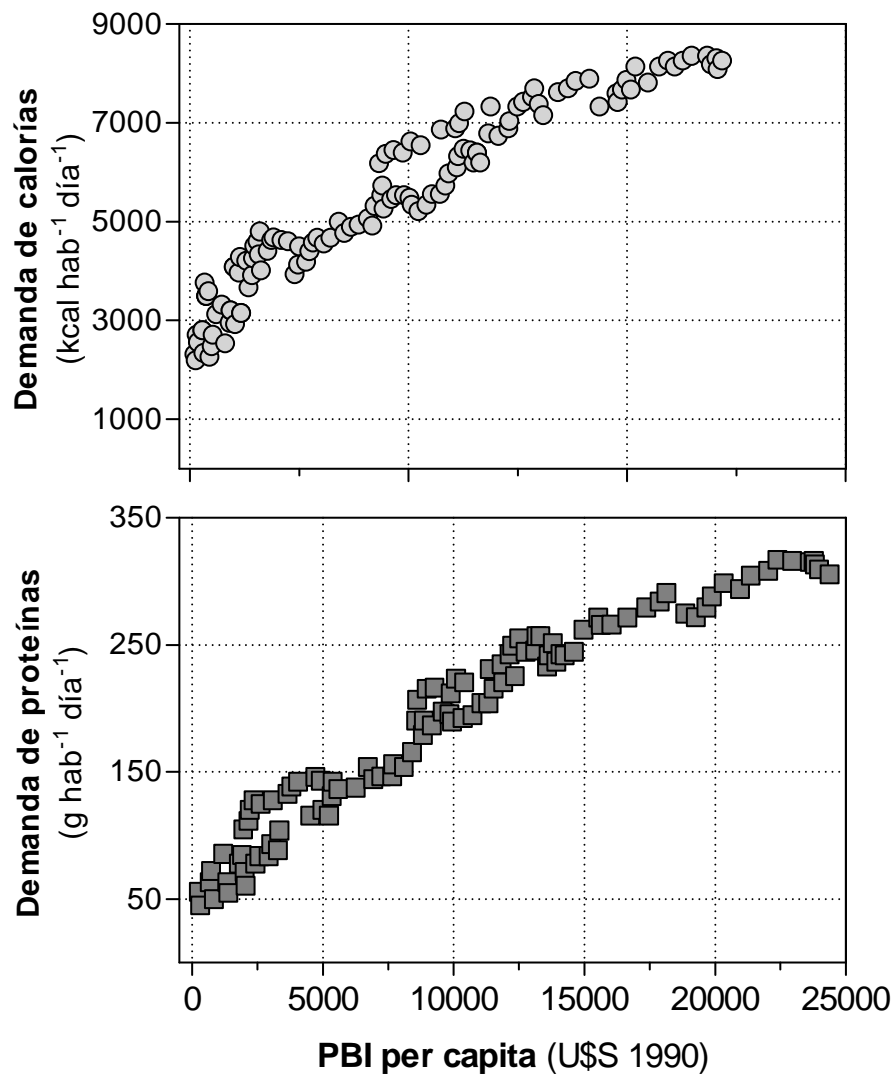


Figura 18: Demanda diaria de kilocalorías y proteínas de cultivos por habitante en función del poder adquisitivo expresado como producto bruto por habitante y por año (expresado en U\$S del año 1990). Adaptado de Tilman et al. (2011). Los datos corresponden a las 100 naciones que en la Figura 16 fueron clasificadas en 7 grupos económicos según los ingresos de sus habitantes y que representan el 91% de la población mundial. Incluye calorías y proteínas vegetales demandadas para consumo humano y animal y no se restan pérdidas ni desperdicios.

## Biocombustibles y biomateriales

La demanda mundial de energía crecería de 13 a 46 terawatts año durante el siglo XXI (Kruse et al., 2005). Actualmente, los combustibles fósiles (petróleo, carbón y gas) aportan más del 80% de la energía utilizada por la humanidad (WEO, 2009). Las crecientes demandas energéticas, las preocupaciones sobre las emisiones de dióxido de carbono que contribuyen al calentamiento global, y las limitadas disponibilidades de estas fuentes de energía determinan la necesidad y el deber de ampliar los aportes de energías alternativas (Dresselhaus y Thomas, 2001; WRI, 2007; IEA, 2012).

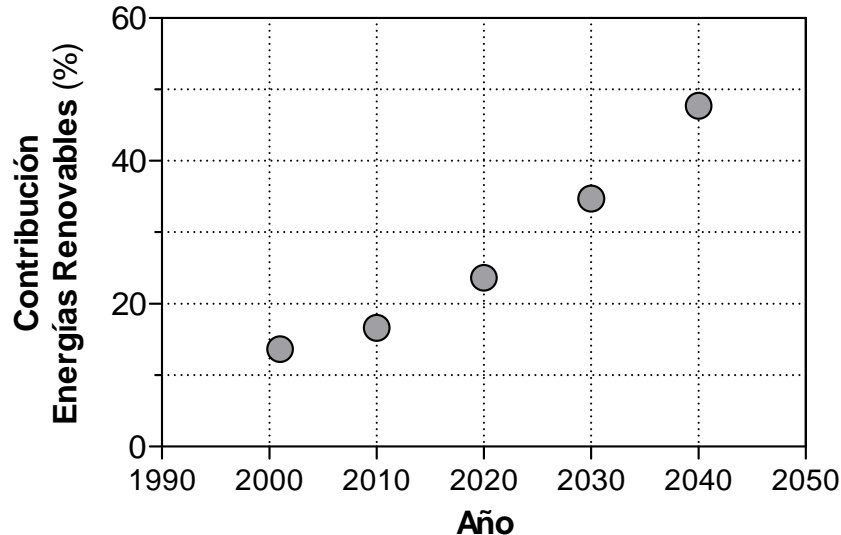


Figura 19: Evolución de la contribución de energías renovables al consumo total de energía de 2000 a 2040. Datos extraídos de Panwar et al. (2011).

Las fuentes de energía renovable en las cuales la tasa de utilización es similar a la de generación, son una opción factible y segura para todos los países (Lund, 2007). Sus aportes como fuente de energía crecen año a año. En el año 2012 representaron el 19 % del suministro total de energía primaria (REN 21, 2014) y se espera que este porcentaje suba a cerca del 50% en el año 2040 (Figura 19; Panwar et al., 2011).

Los biocombustibles, que provienen de productos y residuos de los seres vivos, constituyen una fuente promisorio de energía renovable. Entre ellos están la leña (o carbón vegetal), el biogás, y los biocombustibles líquidos. Estos últimos incluyen i) el etanol que se forma a partir de la fermentación de los azúcares de la caña de azúcar, de la remolacha azucarera o del almidón de maíz y ii) el biodiesel, fabricado a través de la transesterificación de los aceites del grano de oleaginosas como la colza, la soja o el girasol. Los biocombustibles líquidos sustituyen parcialmente a los combustibles derivados del petróleo que se utilizan para motores de combustión interna. Representaron cerca del 3% de la energía consumida en el transporte en el año 2011 y su uso está creciendo marcadamente. Dos tercios corresponden al etanol en base a grano de maíz y el resto principalmente a etanol de caña de azúcar y biodiesel de grano de colza y soja.

El uso de dichos biocombustibles líquidos, también denominados biocombustibles de primera generación, tiene las ventajas de aportar a la seguridad energética, reducir las emisiones de dióxido de carbono, generar oportunidades de desarrollo rural (empleo e inversiones), y dar tiempo para la transición energética del petróleo a otras energías renovables. Por otro lado, presenta amenazas relacionadas con el aumento de los precios de los granos y con el uso y degradación de los recursos naturales. Además, los requerimientos de tierra y la ineficiencia de los procesos involucrados constituyen limitantes para su uso a gran escala (Rubin, 2008; Naik et al., 2010).

En el ciclo 2007/08 se utilizaron 84 millones de toneladas de maíz para obtención de etanol y se espera que esta demanda se expanda a 182 millones de toneladas en el año 2020 (Edgerton, 2009; Alexandratos y Bruinsma, 2012). Paralelamente, se utilizan alrededor de 30 millones de toneladas de aceite vegetal para producir biodiesel (Fischer et al., 2014).

Con las regulaciones adecuadas, la demanda de granos para estos fines aumentaría sólo hasta alrededor del año 2020, ya que los biocombustibles en base a grano serían gradualmente desplazados por biocombustibles de segunda generación (Figura 20) que no compitan con la agricultura, que no causen deforestaciones en forma directa o indirecta, y que ofrezcan ventajas en reducir emisiones de gases de efecto invernadero. Estos se basan en productos vegetales no alimenticios de crecimiento rápido y con alto contenido energético como pastos, árboles, algas, residuos de agricultura y producción forestal, etc. (Tilman et al., 2009). Es deseable que la producción de pastos y árboles para estos fines se realice sobre suelos degradados y no aptos para cultivos alimentarios, empleando buenas prácticas agrícolas que no impliquen riesgo ambiental (UNEP, 2014). El reemplazo de biocombustibles de 1ra generación por otros que no compitan con la producción de granos incrementará la disponibilidad de alimentos para la población.



Hay también buenas expectativas acerca de biocombustibles más avanzados basados en cultivos bioenergéticos desarrollados por medio de la biotecnología y en tecnologías de proceso novedosas. Los biocombustibles avanzados requieren aún de importantes esfuerzos en investigación, desarrollo e inversión.

La International Energy Agency (IEA, 2012) proyecta que los biocombustibles aportarán el 27% del total de los requerimientos de combustibles del transporte en el año 2050, lo que reducirá el consumo de energía fósil y las emisiones de gases de efecto invernadero en 2.1 Gt de CO<sub>2</sub> por año. Nuevamente, dicha energía tiene que ser producida sustentablemente, o sea sin degradar recursos y sin competir con la agricultura.

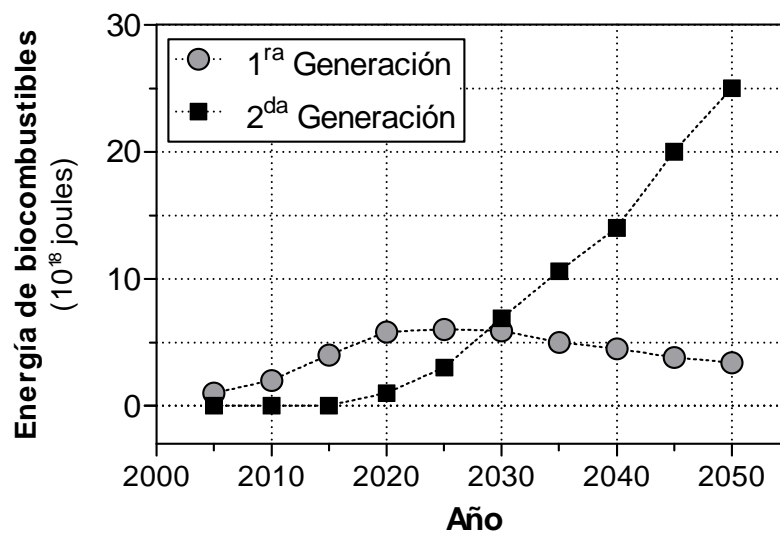


Figura 20: Evolución de la producción de biocombustibles de primera y segunda generación del 2005 al 2050. Fuente: IEA (2012).

Dentro de los biomateriales, los plásticos biodegradables adquieren creciente relevancia para reemplazar a los plásticos derivados del petróleo y aportar a la solución del grave problema de eliminación de los desechos que éstos últimos generan luego de su utilización. El principal plástico biodegradable es el ácido poliláctico, que tiene buenas propiedades en cuanto a biodegradabilidad, compostabilidad, fuerza mecánica,

transparencia, seguridad, etc. Es producido por fermentación bacteriana de almidón de grano o de otros productos vegetales con un rendimiento de 0.96 g de ácido láctico por gramo de almidón. Se proyecta un crecimiento de la producción de estos materiales (Datta et al., 1995; UNEP, 2014) para lo cual se deben contemplar los aspectos ambientales y de competencia con los alimentos que se indicaron para los biocombustibles.

## **Estimaciones sobre las futuras demandas de productos agrícolas**

Si en la actualidad (año 2010) se garantizara a todos los habitantes del mundo el consumo de una dieta moderada y adecuada (relación Energía animal/Energía vegetal = 0.3 y 2.36 kg EG/hab/día), manteniendo el nivel de consumo en aquellos países con dietas más ricas que la indicada (Europa, Norte América, Oceanía, etc), se necesitarían consumir 1150 millones de t de EG adicionales. Si trasladamos esta condición a la población esperada para el 2050 según la estimación del año 2012 (UN, 2012) se necesitarían consumir 3423 millones de t de EG adicionales sobre los valores reales consumidos en el año 2010. Esto representa alrededor de un 70% de aumento (Figura 21). Los mayores valores corresponden a Africa, con 287% de incremento por crecimiento poblacional y mejora de la dieta, y los menores a Europa, con 4% de reducción por disminución de la población.

El 70% de incremento global, que asegura una dieta moderada para todos los habitantes del mundo, mantiene las dietas ricas de los países más desarrollados, y limita el uso de alimentos para biocombustibles se compone de aumentos del 38% en la población y de alrededor de 23% en la calidad de la dieta.

Otras estimaciones arrojan resultados parecidos. Jaggard et al. (2010) concluyen que el consumo total de alimentos deberá aumentar 60% para sostener la población en el año 2050 y Tiftonell (2013) afirma que el total de calorías requeridas aumentará 70% considerando cambios en la dieta y en la población. Por otro lado, Bruinsma (2009) concluye que la producción agrícola debe aumentar 70% entre 2006 y 2050 para cubrir las necesidades de la población ampliando el promedio de calorías disponibles por día y por persona para consumo a 3130.

Análisis realizados por Tilman et al. (2011) en base al crecimiento poblacional, el aumento del poder adquisitivo, y la respuesta del consumo a dicho aumento para las naciones de los diferentes grupos económicos del mundo, pronostican incrementos del 100% en la demanda global de calorías de cultivos y de 110% en la de proteínas de cultivo entre los años 2005 y 2050. Este periodo es 5 años más extenso que el considerado en los cálculos resumidos en la Figura 21, por lo que el valor de 100% en 45

años corresponde a 80% en 40 años bajo el supuesto de aumentos lineales.

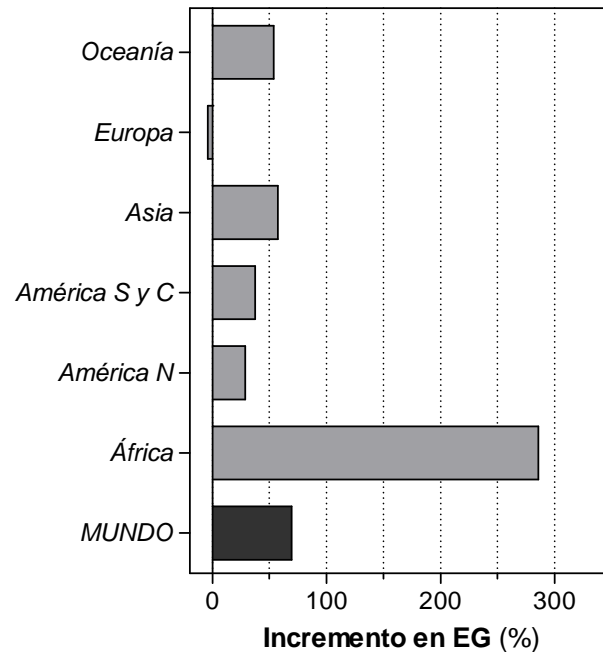


Figura 21: Incremento porcentual de los requerimientos de alimentos entre 2010 y 2050 para las distintas regiones del mundo expresada en Equivalentes Grano (EG). Para el cálculo se consideró el crecimiento poblacional (UN, 2012), manteniendo la dieta en regiones ricas y llevándola para el resto de las regiones a una relación entre calorías vegetales/animales de 0,3 y a 2,36 EG/hab/d.

Para los cereales en particular, y considerando población, dieta y biocombustibles, Tester y Langridge (2010) proyectan valores de demanda mundial de hasta 4000 millones de toneladas para el año 2050, lo que representa incrementos de 100 % sobre la producción del año 2000 y de 60% sobre la producción del año 2010. Los mayores aumentos de demanda serían para el maíz y los menores para el arroz. Alexandratos y Bruisma (2012) sostienen que el maíz presentará un incremento de demanda de 60% hacia el 2050, valor superior a los del arroz y del trigo. Por otro lado, los mismos autores calculan expansiones de la demanda del 80% para el cultivo de soja, del 89% para aceites vegetales y del 75% para el azúcar entre los años 2006 y 2050. Finalmente, la demanda de fibras se

incrementará en los próximos años, pero con una participación proporcional decreciente de las fibras naturales. La demanda de algodón, que hoy representa el 29% de la demanda total de fibra crecerá 27% entre 2006 y 2050 (Bruinsma, 2009), mientras que la de fibras sintéticas se duplicará entre 2010 y 2030 (Textile world, 2015).

En conclusión, se espera un crecimiento significativo en la demanda de productos agrícolas entre los años 2010 y 2050. Esta aumentaría alrededor de 70% en dicho período según un cálculo realizado sobre la base de i) garantizar a todos los habitantes en el 2050 una dieta moderada y adecuada, ii) mantener el nivel de consumo en aquellos países con dietas más ricas, y iii) limitar el uso de alimentos para biocombustibles.

Las demandas de productos agrícolas pueden variar en función del volumen de producción animal sobre tierras no cultivables y de la eficiencia de conversión de grano a productos animales, entre otras variables.

Las crecientes demandas deben ser satisfechas con incrementos proporcionales de la producción, pero atendiendo a la vez las necesidades de reducción del impacto ambiental asociado con la actividad agropecuaria.

Considerando conjuntamente la superficie con aptitud agrícola y las posibilidades de intensificación, el potencial de la tierra para producir alimentos, fibra y energía supera a la futura demanda estabilizada (Andrade 1998b; Nature, 2010; Godfray et al., 2010). Pero continuar con las tendencias actuales de producción y de degradación de los recursos comprometerá seriamente el ambiente y la futura disponibilidad de alimentos lo que conduciría a graves crisis en muchos lugares del mundo (Molden, 2007).

Nuestra capacidad creativa e innovadora deberá proveer las técnicas y acciones que garanticen adecuada alimentación y cuidado ambiental. Además de las relacionadas con la producción, otras acciones pueden aportar sustancialmente a la seguridad alimentaria futura. Entre estas se destacan la reducción de las pérdidas y desperdicios de alimentos, la moderación de la dieta especialmente por parte de habitantes con sobrepeso, la conformación de dietas más eficientes, y la reducción del uso de biocombustibles de 1ra generación y de biomateriales que compiten con los alimentos. La UNEP (2014) concluye que los mayores ahorros potenciales de tierra cultivada se pueden lograr reduciendo los excesos de consumo y las pérdidas y desperdicios de alimentos. En la próxima sección se analizarán los efectos de estas variables sobre la futura demanda de productos agrícolas.

## **Moderar demandas y reducir pérdidas y desperdicios**

La moderación de la dieta, la reducción de las pérdidas y desperdicios y la reducción de la tasa de fecundidad pueden modificar significativamente los volúmenes de alimentos requeridos hacia el 2050.

### **Moderar dietas**

Una manera de morigerar las futuras demandas es prescindir de dietas excesivas en energía y productos animales. Hay que evitar, por un lado, los excesos actuales de las dietas en países desarrollados y, por otro, que los países en los cuales el poder adquisitivo está aumentando tiendan a consumir dietas abundantes, no saludables.

Entre los adultos mayores de 20 años, más de 1400 millones presentan actualmente sobrepeso y de éstos, 500 millones son obesos (WHO, 2013). En total, hay 2100 millones de personas con sobrepeso-obesos en el mundo (Tilman y Clark, 2014) a causa de un desbalance entre calorías consumidas y utilizadas. Esta situación, que se da principalmente en los países con altos y medios ingresos, causa globalmente más muertes que el bajo peso corporal.

Tal como se indicó anteriormente, si se mantiene la dieta de los países más ricos en los valores del 2010 y se mejora durante las próximas décadas la de las demás regiones a una relación entre calorías animal/vegetal = 0.30 y 2.36 kg de EG por habitante por día (dieta adecuada moderada), la demanda de alimentos crecería un 70% entre 2010 y 2050 (Figura 22 d).

Pero si todo el mundo pasara a consumir una dieta típica del medio oeste de EUA, o sea muy rica en productos animales (relación entre calorías animales/vegetales = 0.73 y 4.21 kg de EG por habitante por día), la demanda de alimentos aumentaría 200% entre 2010 y 2050 (Figura 22 a).

Las estimaciones en base a los datos de Tilman et al. (2011) pronostican incrementos del 80% en la demanda de calorías vegetales entre los años 2010 y 2050 (Figura 22 c). No obstante, cálculos realizados con datos de los mismos autores indican que si todas las naciones en el 2050 consumieran dietas como el promedio actual de las más desarrolladas, la demanda de calorías crecería 130% respecto al año 2010 (Figura 22 b).

También es muy llamativo el hecho de que la demanda de alimentos global no aumentaría hacia el año 2050 si todo el mundo pasara a consumir una dieta básicamente vegetariana (relación entre calorías animales/vegetales = 0.074 y 1.34 kg de EG por habitante por día) y los excesos de las

regiones ricas pudieran ser adquiridos por las menos desarrolladas (Figura 22 g).

Los cultivos se utilizan en un 62% para consumo humano directo, en un 35% para alimentación animal y en un 3% para biocombustibles. Esto significa que actualmente se dedican 350 millones de hectáreas a cultivos para alimentación animal. No obstante, existe una gran disparidad entre regiones para estos valores. Norte América y Europa dedican sólo el 40% de sus tierras cultivadas a consumo humano directo, mientras que África y Asia más del 80%. Valores extremos corresponden al norte del medio oeste de EUA (< 25%) y sur de Asia (> 90%) (Foley et al., 2011).

Foley et al. (2011) concluyen que si las 16 principales especies que cultivamos (que equivalen al 87% de la producción total de cereales, oleaginosas, raíces y tubérculos, legumbres y granos gruesos) se dedicaran completamente a consumo humano directo, se ampliarían un 49% las calorías disponibles para este fin. Con estos cambios, en concordancia con lo indicado anteriormente, no sería necesario aumentar la producción ya que los valores de calorías producidas alcanzarían para alimentar a la población del año 2050 con una dieta básicamente vegetariana y con un 11% de aumento en calorías disponibles promedio por habitante (Figura 22 f). Según dichos autores, la cantidad de tierra agrícola dedicada a alimentar animales debe ser evaluada críticamente frente a los desafíos que enfrentamos en cuanto a alimentar a la humanidad cuidando a la vez del ambiente.

En conclusión, prescindir de dietas excesivas en energía y productos animales puede reducir significativamente las futuras demandas de alimentos.

La mencionada estrategia presenta otros beneficios relacionados con la salud humana. Los incrementos en ingresos y en urbanización conducen a cambios dietarios en los que dietas tradicionales son reemplazadas por otras más ricas en azúcar refinada, carne, aceites, etc. (Tilman y Clark, 2014). Según estos autores, la dieta global promedio del año 2050 tendría, relativo a la del año 2009, un 15% más de calorías totales y 11% más de proteínas totales, una composición 61% mayor de calorías vacías, 18 % menor en frutas y vegetales, 2.7% más baja en proteínas vegetales, 23% mayor en cerdos y aves, 31% mayor en carne de rumiantes (vacuno principalmente), 58% mayor en lácteos y huevos y 82% mayor en pescados y otros alimentos del mar. Estas dietas tienen implicancias en la salud humana ya que elevan la incidencia de diabetes tipo II, de enfermedades coronarias, y de otras enfermedades que reducen la expectativa de vida. Las dietas alternativas más sanas (mediterránea, pescetariana, vegetariana) reducen la tasa de incidencia de diabetes tipo II un 16%–41%, la de cáncer un 7%–13%, la tasa de mortalidad relativa por enfermedades cardíacas entre 20%–26% y la tasa de mortalidad general para todas las causas entre 0%–18% en comparación con la dieta

convencional onmívora consumida en países ricos y medianamente ricos y promovida por el incremento de los ingresos en países en vías de desarrollo (Tilman y Clark, 2014). Estos datos ilustran la magnitud de los beneficios en la salud asociados con el consumo de dietas más sanas y moderadas que incluyen mayor consumo de frutas y vegetales, nueces y legumbres y menor consumo de calorías vacías y carne.

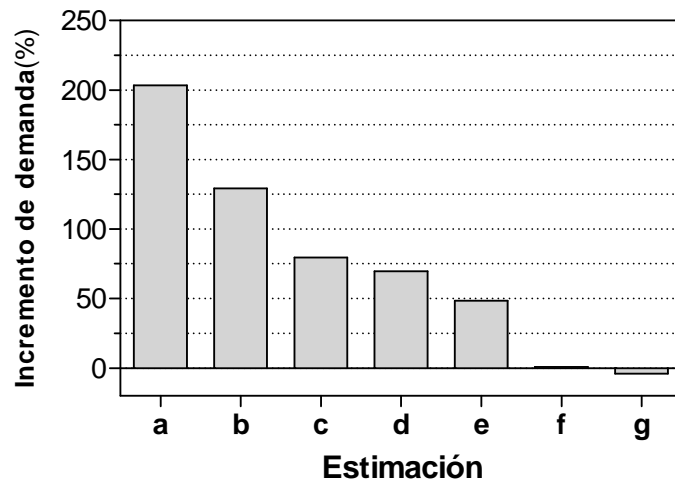


Figura 22: Incremento global de la demanda de alimentos al año 2050 expresado como % respecto a la demanda del año 2010. Estimaciones realizadas por el autor en base a datos propios, de Tilman et al. (2011) y de Foley et al. (2011).

Los incrementos se calcularon considerando para el año 2050 (UN, 2012):

a: Una dieta con relación calorías animales/vegetales = 0.73 y 4.21 EG per cápita y por día (dieta rica en productos animales, típica del medio oeste de EUA).

b: Demandas de dietas como el promedio actual de las naciones más desarrolladas. Cálculos realizados según Tilman et al. (2011), suponiendo incrementos lineales del 2005 al 2050.

c: La mejora del poder adquisitivo y las funciones que relacionan calorías vegetales demandadas con el poder adquisitivo. Cálculos realizados según Tilman et al. (2011), suponiendo incrementos lineales del 2005 al 2050.

d: Mantener la dieta de los países más ricos en los valores del 2010 y mejorar la dieta de las demás regiones a una relación calorías animal/vegetal = 0.30 y 2.36 EG por habitante por día.

e: El escenario D más una reducción de pérdidas y desperdicios de alimentos del 30 al 20%, suponiendo que los ahorros de las regiones ricas están disponibles para satisfacer demandas de las regiones más críticas.

f: Un consumo humano directo del equivalente a la producción actual de los 16 principales cultivos. Cálculos en base a Foley et al. (2011). Esto alcanza para alimentar a la población del año 2050 con una dieta 11% superior en calorías disponibles promedio por habitantes.

g: Una dieta con relación calorías animales/vegetales = 0.074 y 1.34 EG por habitante por día (dieta básicamente vegetariana).

En línea con los objetivos planteados, podríamos además limitar el consumo de carne y otros productos animales (cerdo, ave, rumiantes, etc) producidos en base a grano y/o en tierras agrícolas, y sustituirlos por carne y productos lácteos de rumiantes producidos sobre tierras de pastizales no cultivables que alcanzan una superficie de 32 millones de km<sup>2</sup> (Tabla 2). En este aspecto, también hay que considerar el beneficio de los sistemas mixtos agrícola-ganaderos en relación con el mantenimiento de las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos (Capítulo 5).

## Reducir pérdidas y desperdicios

Otra manera de evitar futuros aumentos de producción es reducir las pérdidas y desperdicios de los alimentos. Aproximadamente un tercio de los alimentos que se producen globalmente para consumo humano se pierden o desperdician (Gustavsson et al., 2011). Estas mermas alcanzan el 45% para frutas y hortalizas, 30% para los cereales y 20% para leguminosas y oleaginosas.

En países industrializados, importantes mermas se producen a nivel del mercado y del consumidor final, mientras que en países de bajos ingresos, predominan las pérdidas en etapas tempranas y medias de la cadena alimenticia, principalmente en el almacenamiento y transporte (Gustavsson et al., 2011; Wrap, 2010). Las pérdidas a nivel del consumidor alcanzan 105 kg/hab/año en Europa y América del norte mientras que apenas suman 6-11 kg/hab/año en el S y SE de Asia y en Africa subsahara (Gustavsson et al. 2011). Otros trabajos indican pérdidas mayores (Lundqvist et al., 2008; Parfitt et al., 2010).

La Figura 23 muestra valores absolutos de pérdidas y desperdicios de alimentos para uso humano directo sumando las instancias de consumo y preconsumo en distintas regiones del mundo. Los valores son mayores en los países más desarrollados. No obstante, como la disponibilidad de alimentos por persona es también mayor en los países más desarrollados, los valores de pérdidas y desperdicios expresados en porcentaje de los alimentos disponibles son más parecidos entre regiones.

En países menos desarrollados se requiere principalmente solucionar problemas relacionados con la cosecha, el almacenamiento, el transporte, refrigeración y distribución de los productos, mientras que en los países industrializados, se debe apuntar principalmente a mejorar el comportamiento de los consumidores y solucionar problemas de coordinación entre diferentes actores de la cadena. También es necesario mejorar los cultivos para que sean más aptos para el almacenamiento y desarrollar productos a través de residuos de la industria (EU, 2015).



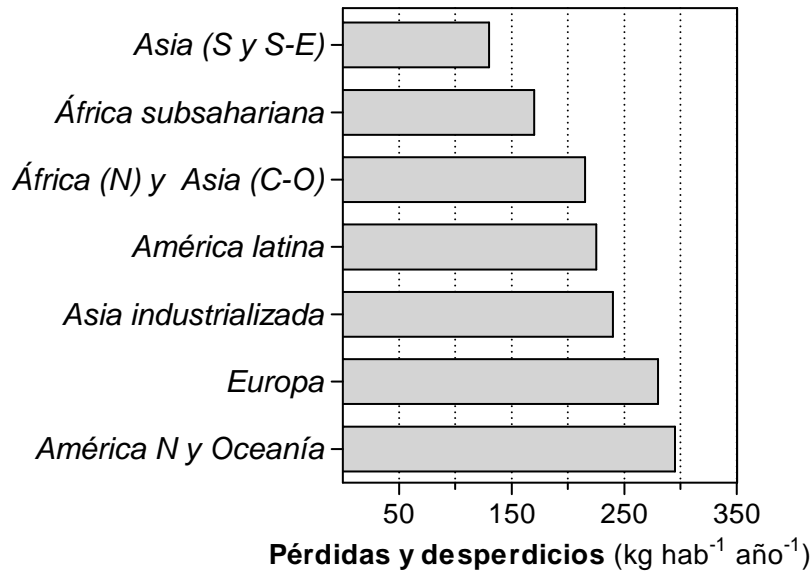


Figura 23: Pérdidas y desperdicios de alimentos para uso humano en las instancias de consumo y preconsumo en distintas regiones del mundo (Gustavsson et al., 2011).

La reducción de las pérdidas y desperdicios a nivel global del 30% actual al 20% resulta en un 14% más de alimentos consumidos. Con esta reducción de pérdidas, y sobre la base del escenario D que plantea un 70% de incremento de la demanda al año 2050, la producción mundial de alimentos debería aumentar sólo un 49% para satisfacerla (Figura 22 e). En línea con esta estimación, Kummu et al. (2012) afirman que la reducción de las pérdidas y los desperdicios a la mitad para el año 2025 permitiría alimentar a 1000 millones de personas adicionales.

En países industrializados, productores, comerciantes y consumidores desechan anualmente alrededor de 300 millones de toneladas de alimentos que aún son aptos para consumo. Este volumen desperdiciado sería suficiente para solucionar los problemas actuales de desnutrición del mundo (unos 800 millones de personas desnutridas). No obstante, lo que se pudiera ahorrar por la reducción de desperdicios en países ricos, difícilmente esté disponible para aquellos que más los necesitan.

Estos datos remarcan la relevancia de afrontar esta problemática, que además de producir tensiones entre la demanda y la oferta de alimentos, impacta en la eficiencia de uso de recursos y en la rentabilidad de la producción.

La conversión completa de las dietas y la eliminación total de las pérdidas y desperdicios es poco realista. No obstante, podemos trabajar para lograr progresos incrementales en lo referente a propulsar cambios dietarios y reducciones de desperdicios en países desarrollados, evitar que países en vías de desarrollo copien costumbres de países más desarrollados en cuanto a dietas excesivas y prácticas que generan altos desperdicios, evitar pérdidas de alimentos por falta de infraestructura en países subdesarrollados, transferir los excedentes de un país para cubrir déficits de otros, etc. Estos logros serían muy beneficiosos, no sólo para la alimentación y la salud de la humanidad, sino también para el ambiente a través de la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, de las deforestaciones, de la extinción de especies, de la contaminación, del agotamiento de recursos, etc.

## Reducir la tasa de fecundidad

Por último, las futuras demandas de productos agrícolas pueden ser amortiguadas si se reduce la tasa de fecundidad. Reducciones o incrementos de 0.5 puntos en la tasa de fecundidad producen importantes variaciones (de 8300 a 10900 millones) en la población estimada en el año 2050 (estimación media= 9700 millones). La tasa de fecundidad está asociada directamente con la pobreza e inversamente con el nivel educativo (Science, 2011), por lo que el desarrollo de los pueblos, basado en el respeto de la vida y la libertad, es la manera justa e indicada para reducirla.

## Síntesis

Los datos presentados marcan la relevancia que tienen la reducción de pérdidas y desperdicios y los cambios de dieta en la futura seguridad alimentaria, ya que amplían la disponibilidad de alimentos sin costo ambiental, y mejoran la eficiencia de uso de recursos e insumos y la rentabilidad de la producción.

Hasta aquí se han descrito los efectos de la agricultura sobre el ambiente y se estimaron las futuras demandas de alimentos. En el próximo capítulo se presentan y discuten las estrategias productivas basadas en nuestra capacidad innovadora para incrementar la oferta de alimentos de manera sustentable.

## **5. Estrategias para aumentar la producción agrícola**

En el capítulo 2 hemos puesto la mirada en el pasado, remarcando los principales eventos de innovación desde la invención de las primeras herramientas de piedra hace más de 2 millones de años hasta la revolución verde de la segunda mitad del siglo XX. A lo largo de este prolongado periodo superamos severas adversidades, nos adaptamos a ambientes muy contrastantes, postergamos las predicciones maltusianas.

Hoy nuestra capacidad creativa e innovadora enfrenta un nuevo gran desafío que surge de las necesidades de satisfacer la demanda de alimentos, que sigue creciendo y de revertir la extralimitación en el uso de los recursos del planeta (Capítulo 3). El desafío se torna más crítico aún considerando que i) en algunas regiones se evidencian bajas tasas de incremento de los rendimientos de cultivos importantes, incluso con tendencias a alcanzar techos (Cassman et al., 2010; Grassini et al., 2013) y ii) estamos sujetos al cambio climático con posibles efectos negativos sobre los cultivos en algunas regiones (Wheeler y von Braun, 2013).

Satisfacer las futuras demandas indicadas en la sección anterior requerirá aumentar la producción global de alimentos, aunque la mayor parte de estos incrementos se deberá producir en los países en vías de desarrollo (Fischer et al., 2009; Tester y Langridge, 2010).

Los aumentos requeridos de producción se pueden lograr por expansiones de la superficie cultivada y por una intensificación en el uso de la tierra a través de mayores rendimientos del cultivo por unidad de superficie y mayor cantidad de cultivos por año. A continuación se discuten los posibles aportes de estas estrategias, teniendo en cuenta sus posibles efectos sobre el ambiente.

### **5.A. Superficie cultivada**

Durante el siglo XIX y la primera mitad del siglo XX, la producción agrícola creció principalmente por aumentos de la superficie cultivada. El área bajo cultivo se expandió desde 3,5 millones de km<sup>2</sup> en el año 1700 a cerca de 15 millones de km<sup>2</sup> a mediados del siglo XX, mayormente a expensas de zonas forestales. En el mismo periodo, el área de pastoreo aumentó de 5 a 31 millones de km<sup>2</sup> (Goldewijk y Ramankutty, 2004).

En la segunda mitad del siglo XX, sólo se incorporaron unas 100 millones de hectáreas a la agricultura (Fischer et al., 2014). No obstante, desde

principios del siglo XXI se evidencia una tasa mayor de aumento de la superficie cultivada, principalmente la de cereales, oleaginosas, y hortalizas. Grassini et al. (2013) informan que la superficie cosechada de los principales cultivos creció a razón de 10 millones de ha/año en el periodo comprendido entre los años 2002 y 2011, correspondiendo el 60% de este valor a los principales cereales. Parte de este incremento puede deberse al aumento de la frecuencia de cultivos múltiples.

La superficie potencialmente cultivable ronda los 33 millones de km<sup>2</sup> (Norse et al., 1992) (Tabla 2). En los últimos años, el área cultivada se redujo en América del Norte y en Europa y aumentó en América del sur, África y Asia. Sudamérica y África disponen de extensas superficies aún no explotadas (Tabla 3), aunque en su mayoría corresponden a bosques tropicales con suelos muy susceptibles a la degradación (West et al., 2010). La situación en estas regiones contrasta con las de Europa y Asia donde la mayor parte de la superficie con capacidad agrícola está actualmente bajo cultivo (Tabla 3; Figura 24).

Según algunas estimaciones, la superficie de cultivos se expandirá entre 70 y 300 millones de ha en el periodo 2005-2050 para satisfacer las futuras demandas de alimentos (Bruinsma, 2009; Fischer, 2009; UNEP, 2014). Considerando además las demandas de biocombustibles y biomateriales y la compensación por urbanización y degradación de tierras, los requerimientos adicionales de nuevas áreas cultivadas hacia el 2050 pueden ser sustancialmente mayores, de 320 a 850 millones de ha (Bringezu et al., 2010; UNEP, 2014). Los incrementos en superficie cultivada serían de mayor magnitud en los países en vías de desarrollo. Sin embargo, no podemos continuar con las actuales tendencias de expansión, deforestación y degradación.

Actualmente, se deforestan hasta 10 millones de ha por año (FAO, 2011). La expansión de la agricultura hacia áreas sensibles a la degradación es un importante factor en el cambio global (Turner et al., 1993) ya que produce consecuencias importantes en el clima, en los ciclos biogeoquímicos del carbono, nitrógeno, y agua, y afecta la biodiversidad.

La necesidad de expansión de la superficie cultivada hacia nuevas áreas se puede reducir frenando la degradación de los suelos, recuperando tierras degradadas y planificando la urbanización.

Las actuales pérdidas de tierras agrícolas por degradación pueden superar las 5 millones de ha/año (Bringezu et al. 2010; IPSRM, 2010). La UNEP (2014) estima que, sin programas de control y restauración de la degradación, las pérdidas por esta vía serán de 90 a 225 millones de ha en el periodo 2005-2050. Los procesos que ocasionan la degradación del recurso suelo incluyen erosión, compactación, acidificación, reducción de materia orgánica, desertificación, contaminación, salinización, pérdida de fertilidad, etc.

A estas pérdidas hay que sumarle la reducción de tierras agrícolas por expansión de la urbanización e infraestructura que hoy suman unas 300 millones de ha y que sin regulaciones adecuadas puede significar 120 millones de ha adicionales perdidas para la producción de cultivos entre 2005 y 2050 (UNEP, 2014).

Frenar los procesos de pérdida y deterioro de las tierras productivas es imperativo, por lo que surge la necesidad de aplicar tecnologías más acordes con la preservación de los suelos.

Entre estas técnicas se destaca la agricultura conservacionista (Hobbs, 2007; Sahrawat y Kassam, 2013). Esta se basa en 3 principios i) mínimo disturbio físico del suelo, ii) suelo permanentemente cubierto con material vegetal vivo o muerto, y iii) diversificación de cultivos (rotaciones de cultivos anuales y con pasturas, cultivos cobertura, etc ), que están orientados a proteger el suelo de la erosión y a mejorar el contenido de materia orgánica, la fertilidad, la estabilidad de los agregados, la capacidad de retención hídrica, la infiltración, la aireación, y la dinámica de la biología de los suelos (Alvarez et al., 1998; Studdert y Echeverría, 2002; Viglizzo et al., 2011; Rosegrant et al., 2014). Las labranzas reducidas y el mantenimiento de rastrojo en superficie protegen a los suelos de la erosión hídrica y eólica y mejoran la acumulación de agua en el suelo por reducir pérdidas por evaporación y por escurrimiento superficial. No obstante, los efectos de estas prácticas sobre los rendimientos de los cultivos varían en función del ambiente, del manejo y de las condiciones del lote (Costa et al., 2015; Pittelkow et al., 2015). Para evitar el deterioro de los suelos, las labranzas reducidas y la siembra directa deben estar acompañadas por otras prácticas necesarias como por ejemplo, adecuadas rotaciones. La inclusión de gramíneas en las rotaciones incrementan los aportes de biomasa (rastreros y raíces) de alta relación carbono/nitrógeno a los suelos, lo que mejora su estructura, y sus propiedades físicas, químicas y biológicas (Studdert y Echeverría, 2002; Wright y Hons, 2005). Las rotaciones pueden presentar beneficios adicionales en cuanto a nutrición y productividad de los cultivos, dinámica del agua, etc. (Andrade, 2016).

Otras técnicas de gran utilidad para frenar y revertir los procesos de pérdida y deterioro de las tierras productivas son los cultivos en franjas, los cultivos de cobertura, las terrazas, la fijación biológica de N, el reciclaje de nutrientes, las técnicas de captura de agua, los riegos eficientes, el manejo y remediación de suelos sódicos y/o salinos, etc. (Abrol et al., 1988; Postgate, 1998; Hatfield y Sauer, 2011; Rosegrant et al., 2014; Tittonell, 2013). Además, la fertilización con buenas prácticas permite revertir la pérdida de fertilidad de los suelos (Cassman et al., 2002; Rosegrant et al., 2014).

La necesidad de expansión de la superficie cultivada también se puede reducir limitando la futura demanda de productos agrícolas a través de la moderación de las dietas, la reducción de pérdidas y desperdicios de

alimentos, la regulación del consumo de biocombustibles y biomateriales. Estos temas fueron tratados en el Capítulo 4.

Las actuales preocupaciones y legislaciones sobre la expansión de la superficie cultivada (Bringezu et al., 2010) asociada con pérdida de biodiversidad, emisiones de gases de efecto invernadero y degradación de suelos, hacen que los esfuerzos para ampliar la producción a los niveles necesarios deban enfocarse principalmente en la intensificación en el uso de la tierra. Según la UNEP (2014) la superficie cultivada sólo puede aumentar hasta 1640 Mha para cumplir con la meta de frenar las pérdidas de biodiversidad hacia el 2020.

Si la futura demanda se satisface principalmente con incrementos en los rendimientos por unidad de superficie o de tiempo, se reducirían drásticamente las deforestaciones y las emisiones de gases de efecto invernadero originadas por cambio de uso de la tierra (Tilman et al., 2011). Tenemos que recurrir, entonces, a nuestra capacidad creativa e innovadora para obtener mayores rendimientos de los cultivos por unidad de superficie y aumentar la cantidad de cosechas por año en la tierra que actualmente se encuentra bajo cultivo.

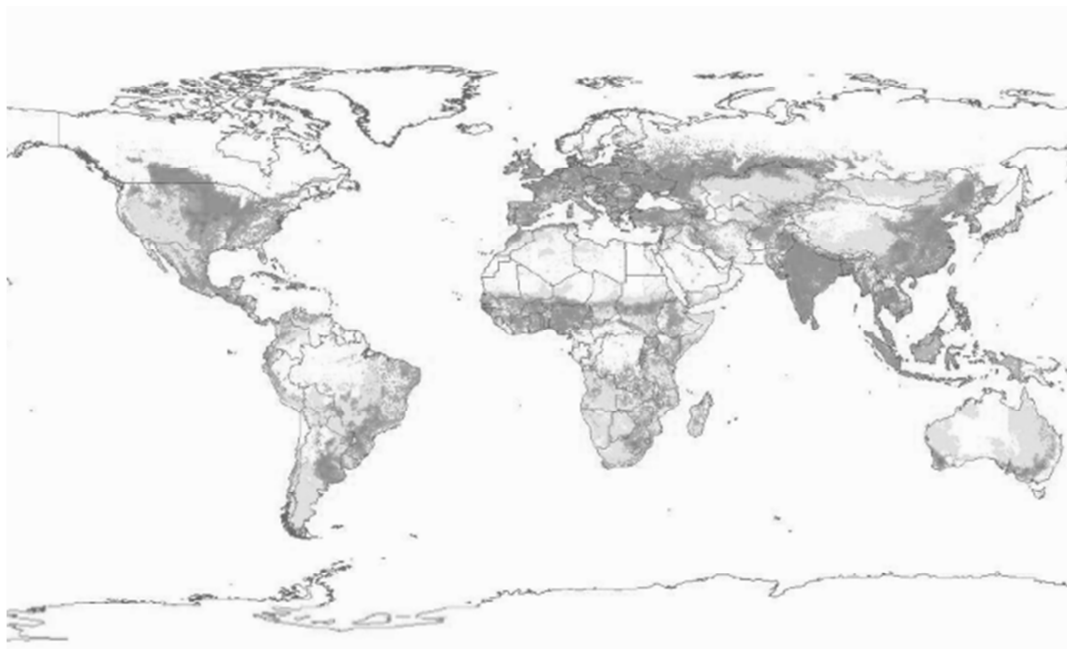


Figura 24: Principales zonas de cultivo y de pastoreo en el mundo. Gris oscuro, gris medio y gris claro representan las principales zonas de cultivo, zonas secundarias de cultivo y áreas de pastoreo, respectivamente. En blanco se indican zonas demasiado frías, demasiado secas, selvas tropicales, o zonas cubiertas por hielo, etc. (Ramankutty et al., 2004 y 2008; Monfreda et al., 2008; Portman et al., 2010).

Tabla 2: Superficies de tierras por categorías (en km<sup>2</sup>). Datos extraídos de Norse et al. (1992) y Buringh y Dudal (1987). \*Otras áreas incluyen zonas muy húmedas, muy pobres, o poco profundas.

<b>Categoría</b>	<b>Superficie (km<sup>2</sup>)</b>
Área potencialmente cultivable	32.800.000
Pobrememente productiva	19.400.000
Medianamente productiva	8.900.000
Altamente productiva	4.500.000
Area no productiva	116.220.000
Cubierta por hielo	14.900.000
Demasiado fría	22.350.000
Demasiado seca	25.330.000
Demasiada pendiente	26.820.000
Otras áreas*	26.820.000
Area total de tierra	149.000.000
Tierra arada	15.000.000
Tierra de pastoreo	32.000.000
Bosques y selvas	41.000.000

Tabla 3: Area cultivada actual (fines del siglo XX), área potencial cultivable, y relación entre estas variables para distintas regiones del planeta. Datos extraídos de Buringh y Dudal, 1987; Norse et al., 1992; y Luyten, 1995. Europa incluye el área correspondiente a la ex URSS.

<b>Región</b>	<b>Area</b>	<b>Area potencial</b>	<b>Relación</b>
	Millones de hectáreas		
<b>Sur América</b>	103	740	7.2
<b>Norte y Centro América</b>	271	465	1.7
<b>Africa</b>	188	877	4.7
<b>Oceanía</b>	52	246	4.7
<b>Asia</b>	469	495	1.1
<b>Europa</b>	368	479	1.3
<b>TOTAL</b>	1451	3302	2.3

## 5.B. Intensificación en el uso de la tierra

Satisfacer las futuras demandas de productos agrícolas requerirá intensificar el uso de la tierra. Esta intensificación puede darse por aumentos en los rendimientos de los cultivos por unidad de superficie y/o por mayores rendimientos por unidad de tiempo a través de sembrar y cosechar más cultivos por año. Para incrementar los rendimientos por unidad de superficie se pueden utilizar tecnologías de insumos y, preferentemente, de conocimientos y procesos que busquen compatibilizar producción con eficiencia de uso de recursos e insumos y con cuidado ambiental. Además, técnicas de intensificación ecológica pueden contribuir significativamente a incrementar los rendimientos de los productores familiares o de subsistencia y a reducir la dependencia de insumos en los sistemas de producción de países más desarrollados

### 5.B.1. Rendimiento por unidad de superficie

Los rendimientos por unidad de superficie han aumentado notablemente durante la segunda mitad del Siglo XX como consecuencia del proceso de la revolución verde (Figura 12b).

Promediando datos publicados en distintos trabajos sobre la evolución de los rendimientos por unidad de superficie de varios cultivos en las últimas décadas se obtienen aumentos promedios mundiales, expresados en  $\text{kg ha}^{-1} \text{año}^{-1}$ , de 82 para maíz, 28 para trigo, 40.6 para arroz y 28 para soja (Fischer y Edmeades, 2010; Fischer et al., 2014; Ray et al., 2013). Como ejemplos emblemáticos de la respuesta a la inversión pública y privada en investigación y desarrollo agrícola se destacan los incrementos de rendimiento de maíz en Iowa ( $214 \text{ kg ha}^{-1} \text{año}^{-1}$  en los últimos años) y de trigo en el Valle de Yaqui en México ( $49 \text{ kg ha}^{-1} \text{año}^{-1}$  en las últimas décadas) (Fischer y Edmeades, 2010). Estos logros se explican por mejoramiento genético, por manejo de los cultivos y por la interacción entre ambos factores.

Los rendimientos de los cultivos continuarán progresando en los años venideros. No obstante, existe preocupación creciente por la desaceleración en las tasas de incremento relativo de los rendimientos medios de los principales cereales. Varios autores indican evidencias de techos de rendimiento o de abruptas caídas de las tasas de incremento en países que aportan un tercio de la producción total de cereales (Cassman et al., 2010; Grassini et al., 2013). Similarmente, Fischer et al. (2014) muestran que las tasas relativas (compuestas) de aumento de los rendimientos de varios cultivos se han frenado y caído por debajo del 1%



por año. Excepciones a esta regla son los cultivos de maíz, cassava, remolacha azucarera, canola, aceite de palma, y soja, entre otros.

Para satisfacer ampliaciones de demandas de productos agrícolas del 70% del 2010 al 2050 sólo a través de incrementos en los rendimientos de los cultivos por unidad de superficie, estos deben aumentar globalmente a razón de 1.33% por año (tasas compuesta) o con una tasa simple del 1,75% del rendimiento del año 2010 cada año. De acuerdo con estas estimaciones, Hall y Richards (2013) sostienen que las tasas relativas (compuestas) de incremento de rendimiento requeridas para satisfacer las futuras demandas de cereales para alimentación humana, animal y biocombustibles en el año 2050 oscilan entre 1.16–1.31% por año.

Entonces, los aumentos de rendimiento por unidad de superficie no alcanzarían por sí mismos para cubrir las futuras demandas. Bruinsma (2009) estima que esta vía aportará cerca del 80% del aumento requerido en producción agrícola para el 2050. No obstante, la situación a futuro es diferente para cada cultivo y los incrementos por cultivo difieren marcadamente entre países. Además, las estimaciones pueden variar según el método de cálculo, y las proyecciones futuras dependen fuertemente de coyunturas políticas, de la relación de precios y costos, del desarrollo tecnológico, de la adopción de tecnología, del cambio climático, etc. (Sadras et al., 2009).

Los rendimientos de los cultivos pueden aumentar por las mejoras de los rendimientos potenciales en condiciones de riego o secano ( $Y_p$ ) y/o por el cierre de la brecha entre los rendimientos reales ( $Y_r$ ) y los potenciales. La brecha de rendimiento se calcula como  $Y_p - Y_r$  y puede expresarse como porcentaje de  $Y_r$  o de  $Y_p$ .

Los rendimientos potenciales se pueden estimar i) por ensayos a campo con las últimas variedades, ii) por distribución de rendimientos de productores, iii) por los máximos obtenidos en las mismas condiciones de suelo y clima para las actuales tecnologías y prácticas de manejo o iv) por modelos de simulación. Por lo tanto, no siempre reflejan los rendimientos que se pueden alcanzar.

Las brechas entre los rendimientos reales y potenciales, expresadas como porcentaje de los rendimientos reales son bajas (<30%) en áreas de producción con amplia disponibilidad de agua y altamente tecnificados como por ejemplo trigo en el Reino Unido o maíz en Iowa, y pueden alcanzar valores superiores al 200% en regiones menos desarrolladas en las que aún no se produjo el proceso de la Revolución Verde, como por ejemplo África subsahara (Fischer y Edmeades, 2010; Figuras 25 y 26). Según Fischer et al. (2014), en 2/3 de los casos las brechas de rendimiento son superiores al 40% y a menudo superiores al 100%. Las brechas promedio mundiales, ponderadas por producción para el año 2010 fueron 50% en trigo, 72% en arroz, 98% en maíz y 31% en soja. En los últimos 20 años, estas brechas se han cerrado, ya que la diferencia entre las tasas

globales de incremento de los rendimientos potenciales y del productor fueron negativas y del orden de -0.4, -0.3, -0.7, y -0.8 para trigo, arroz, maíz y soja, respectivamente (Fischer et al., 2014).

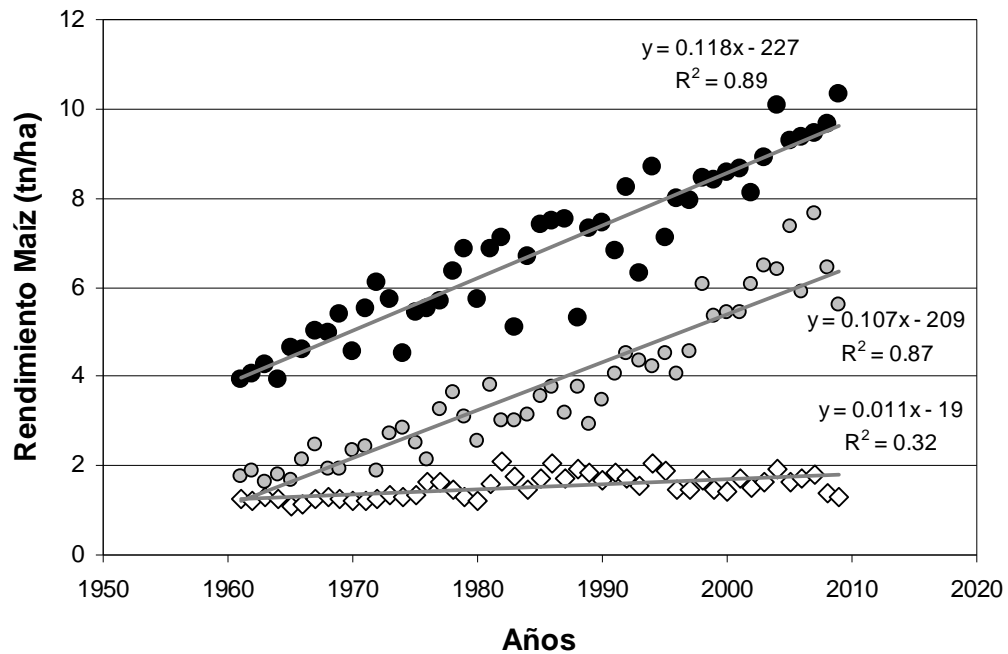


Figura 25: Rendimiento de maíz en función de los años desde 1960 hasta 2010 para Estados Unidos (círculos negros) Argentina (círculos grises) y Kenia (rombos) (FAO 2011).

Foley et al. (2011) estimaron que cerrar las brechas por subir los rendimientos de los 16 principales cultivos al 95% de los máximos obtenidos en las mismas condiciones de suelo y clima para las actuales tecnologías y prácticas de manejo, produciría un crecimiento del 58% en la producción. Si los rendimientos subieran al 75% de los máximos por cierre de brechas, el incremento de la producción sería de 28%, lo que equivale a 1100 millones de toneladas.

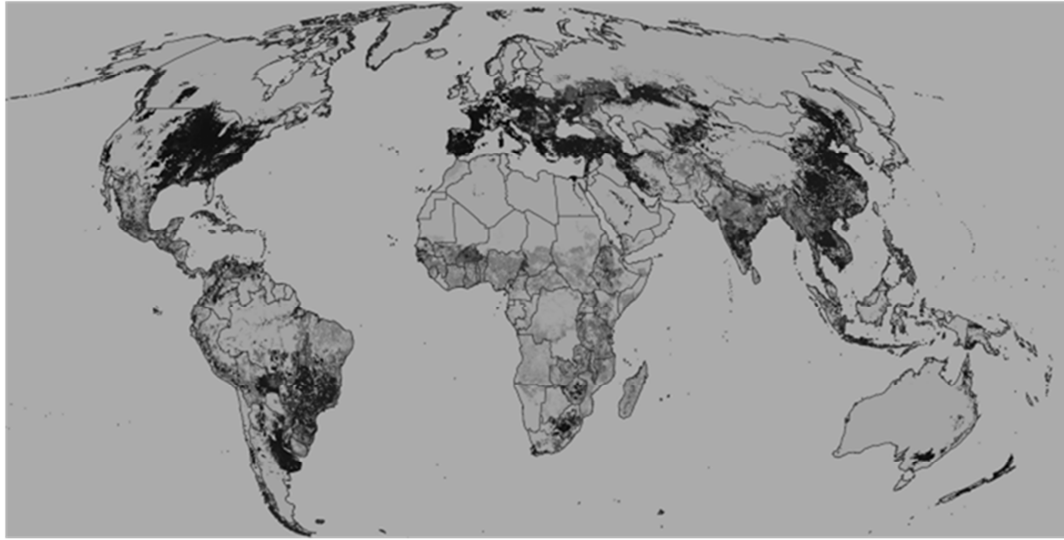


Figura 26: Rendimientos de maíz en las distintas regiones del mundo. La intensidad del color gris indica el nivel de rendimiento (Pardey y Pingalli, 2010).

En muchas regiones del mundo, los rendimientos del maíz son bajos (Figuras 25 y 26). Además, un importante volumen de cereales se obtiene en países en los cuales los rendimientos medios son bajos (Figura 27), lo que indica que la magnitud del aporte a la producción por cierre de brechas puede ser importante (Otegui et al., 2015). Cálculos realizados con la base de datos de la FAO muestran que se obtendrían 175 millones de t adicionales de maíz por elevar a la media mundial actual (4.9 t/ha) los rendimientos de todos los países cuyos rindes son inferiores a dicho valor medio. Además, si los rendimientos de todos los países con rendimientos menores a 7 t/ha se llevaran a ese valor, la expansión de la producción total del cultivo sería de 406 millones de t, lo que significa cerca del 48% de la producción del año 2010.

Estimaciones realizadas en distintas regiones de Argentina, basadas en modelos de simulación de cultivos adecuadamente calibrados y validados, datos de suelos y clima y manejos de cultivos adecuados según recomendaciones de referentes zonales, indican que los rendimientos reales alcanzan el 59% (trigo y maíz) y el 68% (soja) de los potenciales de secano (Aramburu Merlos et al., 2015 a y b). La magnitud de las brechas varió sustancialmente entre zonas climáticas, siendo las mismas mayores en el norte y oeste del país, donde la agricultura se expandió recientemente y menores en la región central, zona de mayor tradición agrícola y con clima más estable y benigno (Aramburu Merlos et al., 2015 a y b). A nivel país, el rendimiento potencial en secano que se simuló para maíz fue de 11.6 t/ha y el rendimiento potencial sin limitaciones hídricas fue

de 16 t/ha. Basado en el rendimiento medio logrado de 6.8 t/ha de las últimas 7 campañas, las brechas de rendimiento son de 4.8 y 9.2 t/ha, respectivamente.

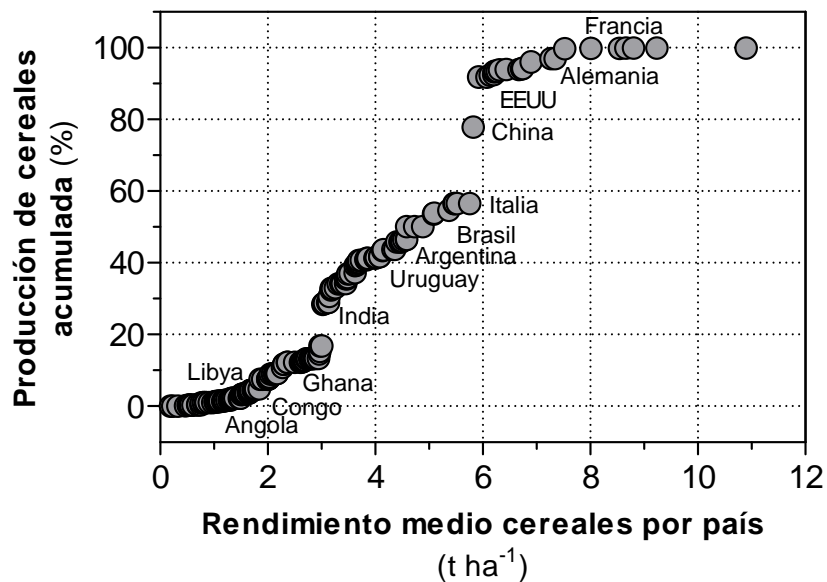


Figura 27: Producción mundial de cereales acumulada (en porcentaje) en función del rendimiento medio de cereales por país. Datos FAO (2014).

Las principales causas de las brechas son baja fertilidad y baja capacidad de retención hídrica del suelo, estrés hídrico, mal manejo de cultivos, adversidades bióticas, bajo nivel de insumos, poca capacitación de los productores, limitaciones en infraestructura, investigación y extensión agropecuaria, bajos precios al productor, clima impredecible, políticas no apropiadas, etc. (Fischer et al., 2014).

Los cálculos de la brechas de rendimiento, junto con el análisis de sus causas, dan indicios sobre las estrategias a seguir para aumentar los rendimientos.

## Cierre de brechas con tecnologías de insumos

Los notables incrementos en la producción agrícola durante la segunda mitad del siglo XX se debieron en gran medida a un mayor uso de insumos externos entre los que se destacan los fertilizantes, el riego, los plaguicidas, y los combustibles fósiles (Capítulo 2).

En muchos países de regiones menos desarrolladas, especialmente de África y América Latina, la proporción de superficie irrigada y el uso de fertilizantes y de plaguicidas es escaso (Figuras 28 y 29) (De Janvry., 2010; FAO 2014), siendo estos factores importantes causales de los bajos rendimientos (Oerke, 2006, Cassman et al., 2002, Edmeades, 2013). Entonces, las actuales tecnologías de insumos pueden contribuir al cierre de brechas entre los rendimientos reales y potenciales. La magnitud de las brechas indicadas anteriormente da indicios sobre el aporte potencial a la producción de alimentos de estas tecnologías.

A continuación se presenta un análisis sobre los efectos de las adversidades bióticas, el riego y la fertilización sobre el rendimiento de los cultivos como marco adicional para dimensionar el impacto potencial de las tecnologías de insumos.

Las adversidades bióticas producen pérdidas de rendimiento de 31% a nivel global siendo estos daños mayores en los países en vías de desarrollo (Oerke, 2006). Dichas pérdidas podrían reducirse mediante la aplicación de plaguicidas, práctica que presenta los problemas de contaminación indicados en el Capítulo 3.

Por otro lado, los cultivos de secano rinden en promedio cerca de un 70% menos que los regados (FAO, 2014), por lo que el riego, que va acompañado por un mayor uso de otros insumos, puede tener un fuerte impacto sobre la producción, dependiendo de las posibilidades de expansión de la superficie irrigada que hoy es el 17% de la superficie cultivada total. El riego se expandió notablemente durante el siglo pasado. No obstante, dicha expansión se frenó en la década de los 80 por altos costos, salinización de suelos y agotamiento de fuentes de agua. Varios autores pronostican expansiones entre 11 y 22% en la superficie global bajo riego para las futuras décadas (Shiklomanov, 2000; Bruinsma, 2009). Estos aumentos pueden ser mayores en algunos países en vías de desarrollo. Según You et al. (2011), África, podría casi triplicar su superficie regada (de 13 a 37 millones de ha) de manera económicamente viable en los próximos 50 años.

Por último, la proporción de los rendimientos atribuibles al uso de fertilizantes minerales comerciales ronda el 50% en EUA y Europa e incluso más en algunos países tropicales (Stewart et al., 2005). Por lo tanto, la fertilización puede aumentar sustancialmente los rendimientos de los cultivos en los países en los que aún no se generalizó el uso de esta práctica (Figura 28).

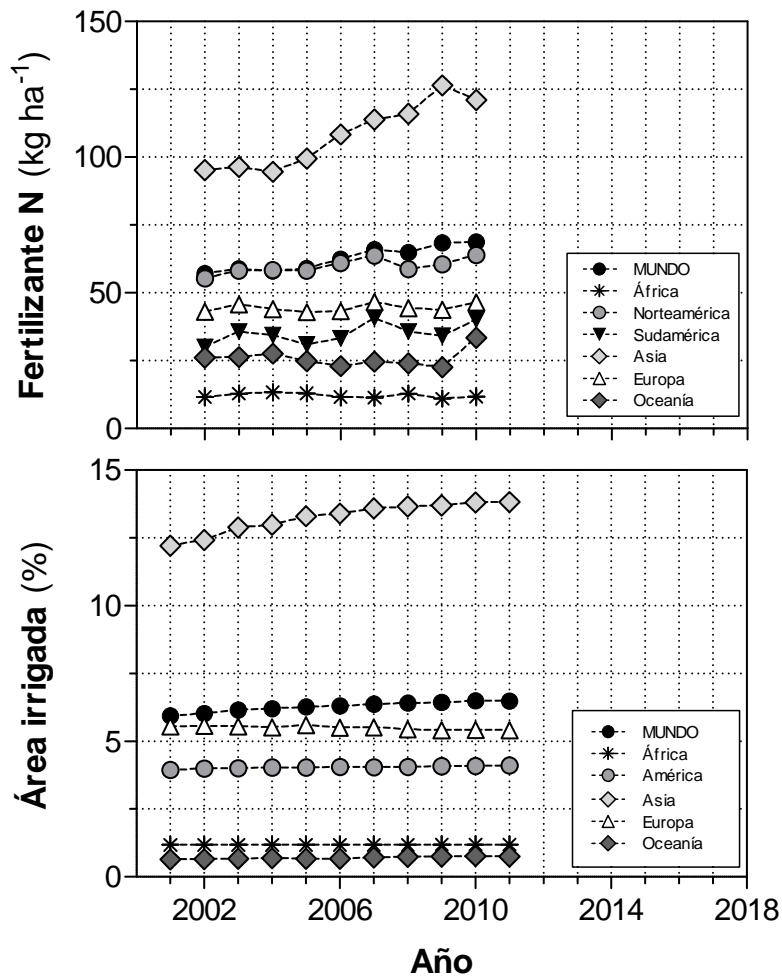


Figura 28: Uso de fertilizante nitrogenado (en kg/ha) y superficie equipada para irrigación (% del área agrícola) para distintas regiones del mundo (FAO, 2014). África subsahara presenta valores inferiores al promedio del continente tanto para superficie irrigada como para uso de fertilizantes.

Los datos presentados dan una idea de la magnitud de los efectos de las tecnologías de insumos en la producción, sobre todo en las regiones menos desarrolladas. No obstante, dichos efectos interactúan marcadamente y se complementan. En las regiones donde los suelos están muy degradados los cultivos no responden a la aplicación de fertilizantes y las leguminosas no fijan N. En estos casos, lo más urgente y necesario es mejorar la estructura del suelo a través de incorporaciones de

materia orgánica y la disponibilidad de agua utilizando adecuadas técnicas de captura del recurso. Luego de estas mejoras, los cultivos muestran respuesta a la aplicación de fertilizantes (Tittonell, 2013).

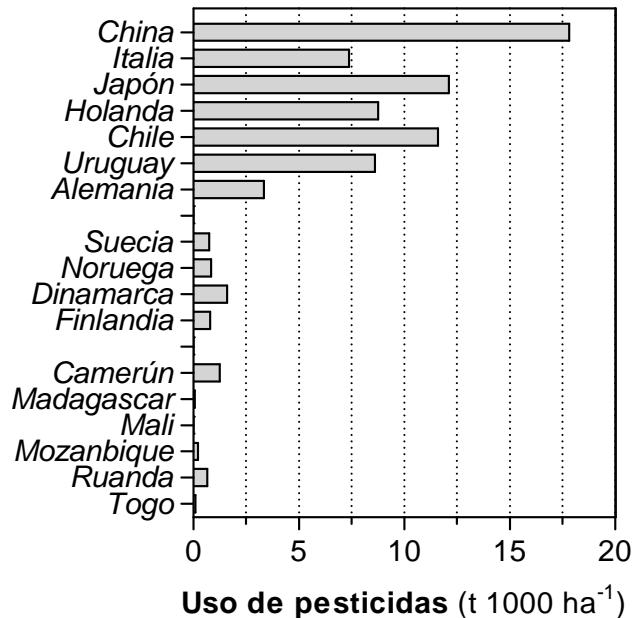


Figura 29: Uso de pesticidas en toneladas de principio activo cada 1000 hectáreas en distintos países del mundo en el año 2010. La utilización de insumos pesticidas es baja en muchos países africanos por escaso desarrollo tecnológico y en países nórdicos por regulaciones para reducir contaminación (FAO, 2014).

La implementación de estas tecnologías de insumos requiere además políticas adecuadas, inversiones en infraestructura, desarrollo del sector, capacitación de los productores, etc.

En la medida en que las brechas se cierran, aumentar los rendimientos a través del uso de insumos se torna cada vez más costoso, ineficiente y contaminante. Las tecnologías de insumos trajeron aparejados problemas de contaminación ambiental que alcanzó niveles serios en distintas regiones del mundo (Capítulo 3) (Bourne, 2009, Gurian Sherman, 2009). Además, los recursos hídricos y los fertilizantes minerales (por ej. los fosforados) se tornan cada vez más limitantes. Entonces, las tecnologías a implementar para aumentar los rendimientos deberán apuntar también a reducir la contaminación y a incrementar la eficiencia de uso de insumos y recursos. Para esto es necesario recurrir a tecnologías intensivas en procesos y conocimientos.

## Aumentar los rendimientos y reducir el impacto ambiental con tecnologías de conocimientos y procesos

En la literatura internacional, muchos expertos hoy coinciden en que la producción de alimentos debe ser incrementada aumentando los rendimientos por unidad de superficie en las actuales áreas agrícolas, minimizando o revirtiendo el impacto ambiental, y utilizando más eficientemente los recursos e insumos (Ikerd, 1990; Postel, 1998; Foley et al. 2011; Garnett et al. 2013; Smith 2013; Rosegrant et al., 2014).

Para esto es necesario un profundo conocimiento de los factores intervinientes en cada sistema de producción, de como las tecnologías específicas que se desarrollen para cada situación los afectan, y de cómo se pueden revertir posibles efectos negativos.

Anteriormente en este capítulo se presentaron estrategias o prácticas para hacer un uso más racional y sustentable de los suelos. A continuación se discute acerca del uso eficiente de recursos e insumos, aspecto de alta relevancia para el manejo agronómico porque tiene implicancias en la rentabilidad de los cultivos y, sobre todo, en la calidad del ambiente. La eficiencia de uso del agua puede aumentar incrementando la eficiencia de captura del agua disponible y/o la eficiencia de uso del agua consumida o evapotranspirada (Andrade y Caviglia, 2015). A su vez, la eficiencia de uso de un nutriente puede mejorarse aumentando la eficiencia de recuperación del nutriente disponible y/o la eficiencia de uso del nutriente absorbido (Andrade, 2009).

La eficiencia de uso de un nutriente o del agua generalmente disminuye en respuesta al incremento en la disponibilidad de los mismos siguiendo la ley de rendimientos decrecientes (Ferreira, 2015; Abbate y Andrade, 2015). Por lo tanto, aumentar la producción sólo en base a la aplicación de un insumo generalmente resulta en reducciones en la eficiencia de uso del mismo. Entonces, para mejorar la producción y la eficiencia a la vez se necesitan saltos de curva en la relación entre el rendimiento del cultivo y la disponibilidad de los recursos e insumos (Figura 30). Análogamente, saltos de curva en la relación entre el rendimiento del cultivo y la utilización de plaguicidas o de energía fósil resultan en un uso más eficiente de estos insumos (Grassini y Cassman, 2011).

Tecnologías de procesos y conocimientos, por aumentar los rendimientos potenciales bajo riego y seco y cerrar brechas, pueden resultar en saltos de curva en la relación entre el rendimiento del cultivo y el nivel de insumos/recursos disponibles que se traducen en i) mejor adaptación de los cultivos a ambientes actuales y futuros (cambio climático), ii) mejoras en eficiencia de uso de recursos e insumos, y/o iii) reducciones de la contaminación ambiental.



Dichas tecnologías pueden entonces conducir i) a la reducción en el uso de insumos sin mermas de rendimiento, ii) al aumento de la producción manteniendo los niveles de uso de insumos y, cuando sea necesario, iii) a incrementos en la aplicación de insumos sin reducir la eficiencia de uso de los mismos (Figura 30). La reducción en el uso de insumos conlleva menores riesgos de contaminación ambiental mientras que el aumento de la producción a igual nivel de aplicación de insumos reduce las huellas por unidad producida. Por otro lado, con mayores volúmenes aplicados, el aumento de la eficiencia de uso de insumos no garantiza por sí mismo menor contaminación, meta que se debe lograr a través de buenas prácticas agrícolas (FAO, 2000; Jaime et al., 2013).

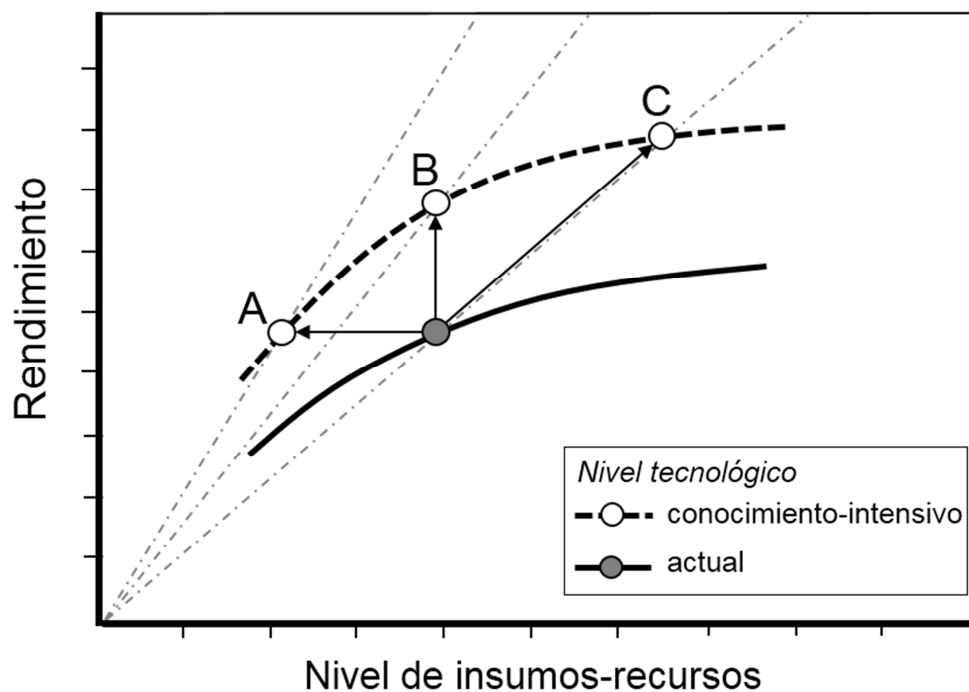


Figura 30: Relación entre rendimiento en grano y nivel de disponibilidad de un insumo para distintos niveles de tecnologías de conocimientos y procesos. Estas tecnologías intensivas pueden conducir a la reducción en el uso de insumos sin mermas de rendimiento (A), al incremento de la producción manteniendo los niveles de uso de insumos (B) y, cuando sea necesario, a aumentos de la producción por incrementos en la aplicación de insumos sin reducir la eficiencia de uso de los mismos (C). En las situaciones A y B la eficiencia de uso de insumos aumenta con respecto a la situación de origen. Incrementos en la aplicación de insumos pueden incluso llevar a aumentos en la eficiencia de uso de los insumos (situación intermedia entre B y C). Las eficiencias de uso están representadas por las pendientes de las líneas punteadas.

Si pudimos afrontar y solucionar los problemas y desafíos que nos presentaban las regiones que exploramos, si aprendimos a cultivar la tierra y domesticar los animales, si protagonizamos revoluciones en la producción basadas en tecnologías novedosas, entonces somos capaces de alcanzar estos nuevos objetivos de sustentabilidad productiva.

Entre estas tecnologías intensivas en conocimiento que producen saltos de curva se analizan a continuación el mejoramiento genético, la biotecnología, el manejo de cultivos con bases ecofisiológicas, y el manejo integrado de organismos perjudiciales. En próximas secciones se discutirán además las estrategias de incrementar el número de cultivos por año y de intensificación ecológica.

No es la intención de este trabajo cubrir ampliamente los distintos temas, sino mencionar sólo algunos ejemplos relevantes, la mayoría productos de trabajos de investigación desarrollados en la Unidad Integrada Balcarce. Los ejemplos están concentrados en el cultivo de maíz, que es el que mayor incremento de demanda mostrará en las próximas décadas y sobre el cual se han realizado importantes investigaciones en la mencionada Unidad.

## Mejoramiento genético

El mejoramiento genético vegetal, basado en la genética pero cada vez más en aproximaciones multidisciplinarias, satisface la necesidad continua de nuevos cultivares de mejor producción en cantidad y calidad, más adaptados al clima de cada región, y más tolerantes a adversidades bióticas y abióticas, (Allard, 1999; Acquaah, 2007; Acquaah, 2012).

El mejoramiento genético incrementó los rendimientos potenciales de los cultivos en las últimas 2 a 3 décadas con tasas promedio de 1,1; 0,8; 0,6; 0,7 y 2% anual para maíz, arroz, soja, trigo y remolacha azucarera, respectivamente (Fischer et al., 2014; Fischer y Edmeades, 2010).

Los rendimientos en ambientes menos productivos han aumentado con tasas similares. Por lo tanto, es común encontrar cultivares que combinan alta potencialidad y alta estabilidad de rendimiento (De Santa Eduvigis, 2010; Tester y Landridge, 2010; Di Matteo, et al., 2014). Estos logros se debieron principalmente al mejoramiento genético, aunque existe una interacción con el manejo de los cultivos.

En Argentina, los híbridos modernos de maíz superan a los más antiguos tanto en ambientes de alta producción como en los de limitada disponibilidad de recursos (Di Matteo et al., 2014; Figura 31), lo que implica una adaptación de los primeros a un amplio rango de ambientes. Asociado con esto, los nuevos híbridos presentan mayor eficiencia de uso de nitrógeno y de agua en comparación con los más antiguos (Robles et al.,

2011; Ferreyra, 2015; Nagore, 2010) y mayor producción por unidad de energía utilizada y de plaguicida aplicado. Algunos híbridos modernos obtenidos por mejoramiento convencional se destacan por su alta tolerancia al estrés (Figura 32) (Castro, 2013, De Santa Eduvigis, 2010). Por lo tanto, el mejoramiento genético de maíz en las últimas décadas ha contribuido a elevar los rendimientos potenciales, pero también aquellos alcanzados en condiciones menos favorables (Russell, 1986; Tollenaar y Lee, 2002). La elección de estos híbridos de comportamiento superior no presentaría entonces restricciones por efectos compensatorios y variación ambiental (Sadras y Denison, 2016).

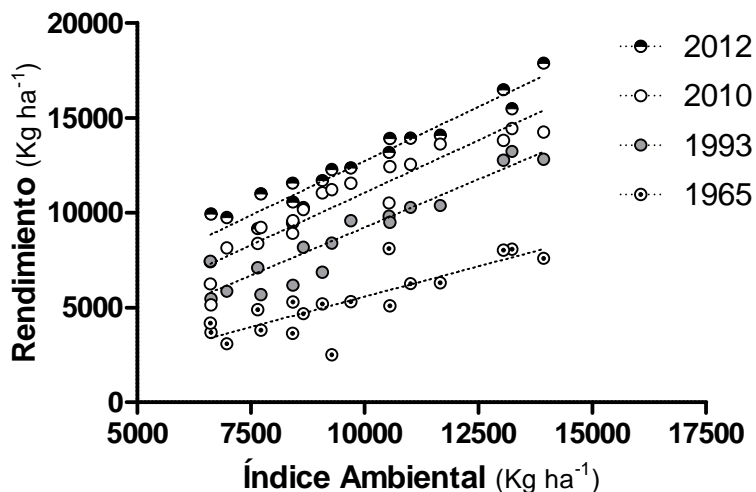


Figura 31: Rendimientos de híbridos de maíz liberados en distintas décadas en función de un índice que refleja la potencialidad del ambiente (Di Matteo et al., 2014).

La Figura 33 muestra la relación entre el rendimiento del cultivo de maíz y la disponibilidad de nitrógeno para híbridos liberados en distintas épocas y sembrados con su densidad de selección y adopción para alta productividad (Ferreyra, 2015). Las curvas superiores corresponden a híbridos modernos que superan en producción y en eficiencia de uso de nitrógeno a los híbridos antiguos tanto en bajo como alto nivel de nitrógeno disponible.

Estas diferencias se explican principalmente por mejoras en la eficiencia de uso de N absorbido (eficiencia fisiológica), variable que se asoció con un aumento en la cantidad de granos fijados por unidad de superficie y,

consecuentemente, con el índice de cosecha, que es la relación entre la biomasa cosechada y la biomasa aérea total.

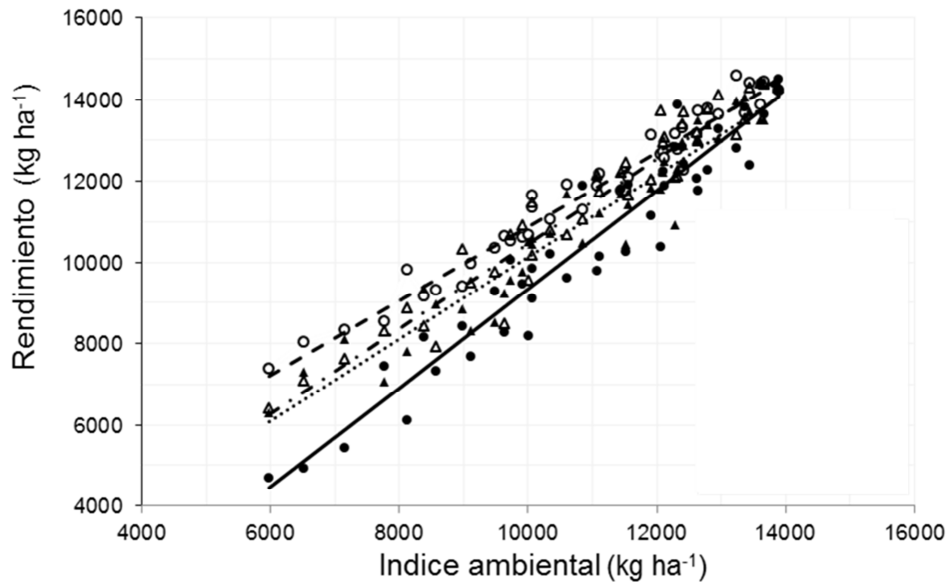


Figura 32. Rendimientos medios y ajustes lineales de 4 híbridos de maíz de estabilidad contrastante en función de un índice que refleja la productividad del ambiente (Castro, 2013).

El mejoramiento genético de los cultivos ha aumentado la eficiencia fisiológica de N, fósforo y de nutrientes en general, principalmente a través de un mayor índice de cosecha (Ferreyra, 2015; Abbate y Andrade, 2014). La cantidad de N absorbido no varió mayormente entre híbridos de maíz de distintas épocas en el experimento indicado. No obstante, la elección del genotipo puede tener un importante efecto en la eficiencia de recuperación ya que se observa variabilidad en desarrollo y morfología de sistema radical y en capacidad de absorber y transportar nutrientes (Manske et al., 2000; Fageria y Baligar, 2005; Hirel et al., 2007). Por lo tanto, la eficiencia de recuperación del nutriente disponible puede ser incrementada por el mejoramiento genético.

Los híbridos modernos de maíz también presentan mayor eficiencia de uso de agua evapotranspirada o consumida que los antiguos (Nagore et al., 2010; Figura 34), lo que se evidencia por un mayor índice de cosecha, asociado con una mayor fijación de granos por unidad de superficie. Contrariamente, la cantidad total de agua consumida no varió entre estos

híbridos (Nagore et al., 2014). Hall y Richards (2013) repasan algunos rasgos ecofisiológicos que fueron utilizados con cierto éxito en programas de mejoramiento genético por tolerancia a sequía e indican rasgos promisorios para futuros progresos, entre los que se destaca la capacidad de absorción de agua por las raíces.

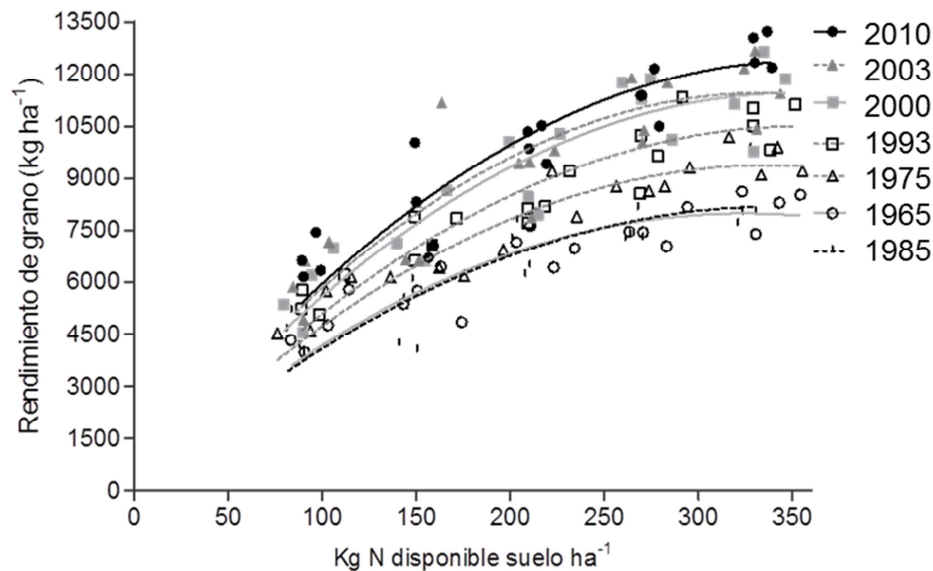


Figura 33: Relación entre rendimiento en grano y el nitrógeno disponible (incluye el del fertilizante, el presente en el suelo a la siembra y el mineralizado durante el ciclo del cultivo) para híbridos de distintas épocas sembrados con la densidad de selección y recomendación para alta producción (Ferreyra, 2015). Los años de liberación de los híbridos están indicados en la parte superior derecha del gráfico.

Una meta principal del mejoramiento genético es desarrollar cultivares adaptados a las limitaciones ambientales de cada área de producción. Además de las sequías y de las deficiencias de nutrientes, otros factores limitantes del crecimiento de los cultivos que causan pérdidas importantes de rendimiento todos los años son las temperaturas extremas, la toxicidad de aluminio, las sales, los excesos de agua por inundación, las adversidades bióticas, etc. Por lo tanto, mejorar la tolerancia a estos factores de estrés constituye un importante desafío para el mejoramiento genético, ya que contribuiría al cierre de brechas de rendimiento y al uso eficiente del agua y los nutrientes disponibles, de la energía utilizada y de los plaguicidas aplicados.

Incrementos en el rendimiento potencial condujeron a mejoras en el rendimiento bajo condiciones leves a moderadas de cualquier tipo de estrés. Esto se debería al hecho que algunos de los principales objetivos de selección son igualmente ventajosos bajo estrés y bajo condiciones óptimas de crecimiento (Cattivelli et al., 2008). No obstante, futuros progresos bajo condiciones de alta probabilidad de estrés severo dependerán de la identificación de rasgos que confieran tolerancia al mismo sin afectar el rendimiento en ausencia de estrés (Ludlow y Muchow, 1990; Schroeder, et al., 2013). De estos conceptos surge también la importancia del mejoramiento genético para lograr adaptación de las especies cultivadas a los efectos del cambio climático, que se espera sea mayor en bajas latitudes.

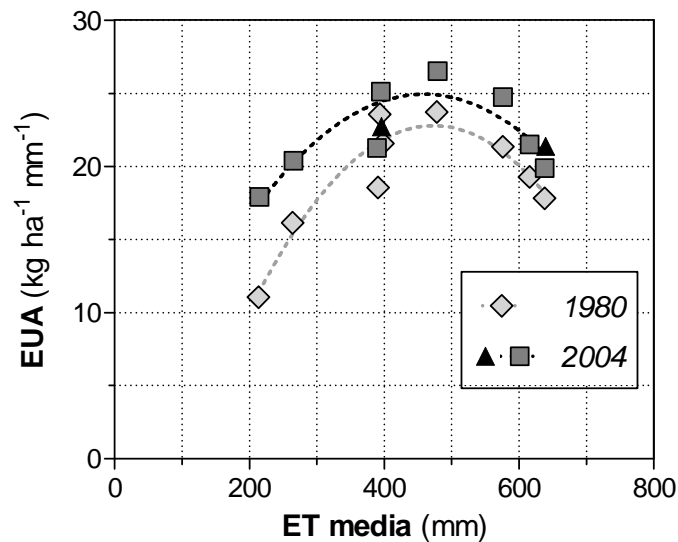


Figura 34: Relación entre la eficiencia de uso del agua evapotranspirada (EUA) y la evapotranspiración (ET) media para híbridos de maíz liberados en distintas épocas. Datos correspondientes a un híbrido liberado en 1980 (rombos) y a dos híbridos liberados en 2004 (cuadrados y triángulos). Datos de Nagore et al. (2010).

La identificación de rasgos relevantes asociados con el desempeño de los cultivos en sus respectivos ambientes es un gran desafío debido a i) efectos compensatorios, atenuaciones, y fuertes interacciones de los rasgos con el ambiente y entre rasgos que se producen al escalar a través

de niveles de organización y ii) complejas y redundantes regulaciones de los procesos en las plantas (Chapman et al., 2002; Edmeades et al., 2004; Sinclair and Purcell, 2005; Tardieu 2012; Passioura, 2012).

La Ecofisiología de Cultivos, que estudia el funcionamiento de los cultivos en interacción con el ambiente, debe contribuir con el mejoramiento genético vegetal i) caracterizando los ambientes de producción, ii) identificando los rasgos claves para rendimientos altos y estables y para una alta eficiencia de uso de recursos e insumos en dichos ambientes, iii) señalando caracteres secundarios fáciles de monitorear, de alta heredabilidad y asociados con el desempeño del cultivo y iv) entendiendo y explicando las complejas interacciones de dichos rasgos con el ambiente y con el fondo genético del cultivar (Hall y Sadras, 2009; Tardieu et al., 2012; Andrade et al., 2015).

En conclusión, el mejoramiento genético ha producido importantes saltos de curva y puede producir otros en el futuro contribuyendo así a aumentar los rendimientos mejorando paralelamente las eficiencias de uso de los recursos e insumos disponibles.

## Biotechnología

Los productos de nuestra capacidad creativa e innovadora se multiplican. Hoy estamos experimentando una prodigiosa innovación en la agricultura, la biotecnología. Esta disciplina nace cuando se descifra la constitución química del ADN (Watson y Crick, 1953).

En los últimos años hubo una explosión en la cantidad de información sobre la estructura de los genomas de las plantas (A. Pontaroli. Com. personal). Hoy están disponibles las secuencias completas del genoma de muchas especies vegetales, incluyendo cultivos importantes como el arroz, el maíz y la papa (<http://www.genomevolution.org>) y grandes colecciones de recursos genómicos. También ha habido avances importantes en conocimientos y tecnologías en ingeniería genética, mutagénesis, marcadores moleculares, proteómica (estudio de estructura y función de las proteínas), metabolómica (estudio de metabolitos celulares), y en bioinformática para integrar toda la información disponible. Estas técnicas pueden ser englobadas en lo que se conoce como biotecnología.

La biotecnología contribuye o puede contribuir a la producción agrícola en tres grandes áreas: a) la disminución del uso de agroquímicos peligrosos para el ambiente utilizando variedades que expresan tolerancia a insectos, enfermedades, o herbicidas de baja toxicidad y baja persistencia; b) la mejora y diversificación de la calidad alimenticia de los productos agrícolas; y c) el aumento del potencial de rendimiento y su estabilidad.

El desarrollo de cultivares tolerantes o resistentes a adversidades bióticas por biotecnologías (Davis y Coleman, 1997; Sharma et al., 2004; Elmore et al., 2001; Creus et al., 2007) mejoró los rendimientos y la rentabilidad en muchos cultivos y redujo el uso de agroquímicos (Huang et al. 2002, Brookes y Barfoot, 2013). Ejemplos de estos cultivares son los maíces Bt resistentes al barrenador del tallo. A través de estas tecnologías podemos i) reducir las pérdidas reales por adversidades bióticas en los cultivos, que hoy rondan el 30% a nivel global y ii) reemplazar a los plaguicidas que reducen marcadamente las pérdidas potenciales por adversidades bióticas (Tabla 4; Oerke, 2006).

El rol de la biotecnología en la mejora de la calidad de los productos agrícolas está bien documentado en la literatura, como por ejemplo en los trabajos de Bressani (1991); Utsumi et al. (1997); Blechl et al. (1998); Al-Babili and Beyer (2005); Ohlrogge et al. (2004); y Sun et al. (2006). Estos trabajos informan sobre el incremento en el aminoácido lisina en las proteínas del grano de maíz, el aumento de la proteína glycinina en soja, la manipulación de las subunidades de alto peso molecular en trigo, el desarrollo de arroz transgénico de alta concentración de provitamina A, y la alteración del grado de saturación de los ácidos grasos en granos de oleaginosas (soja alto oleico, girasol alto oleico y alto esteárico).

Los logros de la biotecnología en cuanto a cultivares tolerantes a adversidades bióticas o con calidad de producto mejorada son una realidad debido a que estos rasgos son de herencia simple, involucran pocos genes integrados en cascadas lineales o en pequeñas redes, con baja interacción genotipo por ambiente, sin fuertes atenuaciones al subir en la escala de complejidad y con efectos compensatorios menores (Andrade et al., 2015). En contraste, la contribución de la biotecnología al incremento del rendimiento potencial y a la estabilidad del rendimiento ante factores abióticos ha sido menos evidente (Passioura, 2012; Edmeades, 2013; Denison et al., 2012, Deikman et al., 2012) debido a que estos son rasgos poligénicos de gran complejidad y con fuertes interacciones con el ambiente (Andrade et al., 2015).

La interacción del mejoramiento genético, la biotecnología y la ecofisiología de cultivos puede ser vital para alcanzar mayores logros en cuanto al mejoramiento de los cultivos (Pontaroli et al., 2012).

Como ejemplo, Edmeades (2013) concluye que las tasas de incremento de rendimiento en condiciones de sequía pueden elevarse por medio de selección asistida por marcadores moleculares y por el uso de transgénicos. Para la situación analizada por dicho autor y partiendo de una base de 3 t/ha de rendimiento de maíz bajo sequía, se pueden esperar en las próximas 2 décadas ganancias de 1.4% por año por mejoramiento convencional, 0.6% por año adicional por mejoramiento asistido por marcadores moleculares y 0.7% adicional por transgénicos. En total, 2,7% per año para esta situación específica. Estos valores de ganancia genética



por tolerancia a estrés pueden ser aumentados con la combinación de técnicas como doble haploides, análisis molecular de porciones de semillas, selección genómica, apilamiento de genes de tolerancia a sequía, adecuadas localidades de testeo de tolerancia a estrés, eficiente y preciso fenotipado (Edmeades, 2013). Fischer et al. (2014) concuerda con que las herramientas moleculares pueden acelerar la mejora genética; no obstante, opina que los progresos mayores a 1% anual son improbables.

Si bien surgen dudas sobre los beneficios del uso de la ingeniería genética en los cultivos (Gourman Sherman, 2009) y se indican riesgos para la salud humana y animal o para el ambiente relacionados con toxicidad, alergenicidad, flujo de genes, efectos perjudiciales sobre organismos benéficos y desarrollo de resistencias en plagas y patógenos, estos pueden y deben ser detectados, evaluados y minimizados a través de procesos de investigación y transferencia de conocimiento (Raimondi et al., 2002).

## Manejo de cultivos intensivo en conocimientos

Aumentar la producción haciendo un uso más eficiente de los recursos e insumos disponibles puede también lograrse por medio de un manejo de cultivos intensivo en conocimientos. Este implica conocer los factores que interactúan en la determinación del rendimiento de los cultivos, e identificar que prácticas se pueden realizar para adecuarlos a la oferta edafoclimática existente.

En establecimientos CREA del sur de la Provincia de Buenos Aires, la eficiencia de uso del agua del cultivo de maíz, medida como la relación entre el rendimiento y la disponibilidad de precipitaciones en un periodo de 50 días alrededor de la floración, aumentó a lo largo de las últimas décadas (Figura 35) (Calviño et al., 2003). Este significativo salto en la eficiencia de uso del agua, si bien en parte se dió por la utilización de tecnologías de insumos como fertilización con P y N y aplicación de herbicidas, se debió en gran medida al uso de tecnologías de procesos y de conocimientos entre las que se destacan la siembra directa, que mejora el balance hídrico por reducir evaporación del suelo y mejorar la infiltración, la adecuación de la fertilización a la demanda del cultivo, la elección de híbridos con mayor potencial y estabilidad de rendimiento, el ajuste de la densidad de plantas y de la fecha de siembra a las condiciones ambientales específicas, la implementación de la agricultura por ambiente, etc. Estas prácticas se encuadran en la mejora del manejo del cultivo, el agua y los nutrientes en base a tecnologías de conocimientos entre las que se destaca la Ecofisiología de Cultivos.

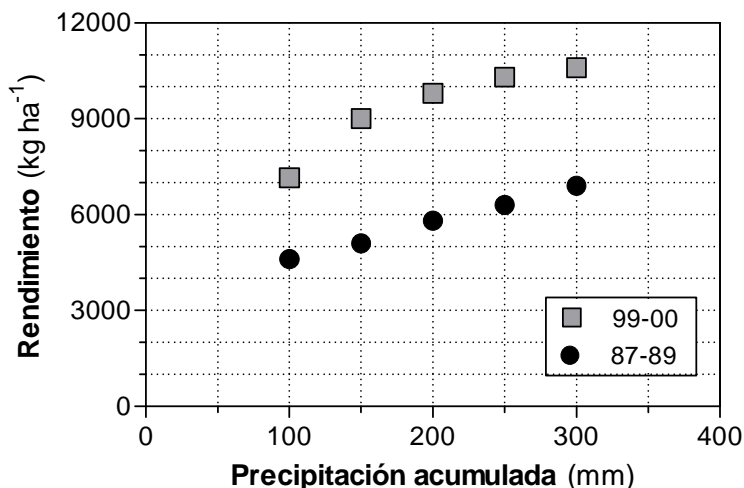


Figura 35: Relación entre el rendimiento de maíz y la disponibilidad de precipitaciones en un periodo de 50 días alrededor de la floración para establecimientos CREA del sur de la Provincia de Buenos Aires en las campañas 1987-1989 y 1999-2000. Los datos fueron obtenidos a partir de las ecuaciones presentadas en Calviño et al. (2003).

La Ecofisiología de Cultivos comprende el estudio de los procesos y mecanismos determinantes del crecimiento y del rendimiento de los cultivos en interacción con el ambiente. Estos conceptos son críticos para diseñar estrategias de manejo intensivas en conocimiento con el fin de aumentar la producción y la productividad de los recursos e insumos.

La disciplina incluye el estudio del desarrollo y crecimiento de los principales cultivos, la partición de los productos de la fotosíntesis entre los distintos destinos metabólicos, la identificación y caracterización de los momentos más críticos para la determinación del rendimiento en cada especie cultivada, la relación entre la fuente de asimilados y la demanda de los granos durante el periodo de llenado, entre otros conceptos (Andrade y Sadras, 2002a; Andrade et al., 2005; Andrade et al., 2010, Andrade, 2012). También aborda el estudio de las relaciones hídricas en el sistema suelo-planta-atmósfera, la dinámica de los nutrientes en las plantas, los efectos de las deficiencias nutricionales e hídricas en el crecimiento y rendimiento de los cultivos, etc. (Uhart y Andrade, 1995; Della Maggiora et al., 2002; Andrade y Sadras, 2002b; Andrade et al., 2002).

Además, los conocimientos ecofisiológicos constituyen las bases para el estudio de los efectos del genotipo, el ambiente y el manejo del cultivo sobre la composición y calidad del producto primario (Andrade y Ferreiro, 1996; Aguirrezábal y Andrade, 1998, Dosio et al., 2000; Izquierdo et al., 2002; Aguirrezábal et al., 2009; Izquierdo et al., 2009; Cirilo et al., 2011; Martre et al., 2011).

La identificación de los periodos críticos para la determinación del número de granos y del rendimiento es fundamental para orientar el manejo de los cultivos. Estos son la floración en maíz y girasol, la prefloración en trigo, y las etapas reproductivas avanzadas en soja (Fischer, 1985, Cantagallo et al., 1997; Uhart y Andrade, 1991; Andrade et al., 1999; Egli y Bruening, 2005). El objetivo es que los cultivos alcancen un estado fisiológico óptimo en dichas etapas (Andrade et al., 2005) caracterizado por altas tasas de crecimiento, prolongadas duraciones, y altas particiones de biomasa a estructuras reproductivas. Para lograrlo, se ajustaron la fecha de siembra, el ciclo del cultivar, la densidad de plantas, el espaciamiento entre hileras y el manejo del agua y los nutrientes en varios sistemas de producción, lo que permitió aumentar los rendimientos, las eficiencias de uso de agua y de nutrientes disponibles, y la eficiencia de uso de la energía fósil consumida (Andrade y Sadras, 2002; Cerrudo et al., 2013).

A continuación se presentan algunos ejemplos detallados de manejo racional de cultivos basado en conocimientos ecofisiológicos.

El manejo del cultivo de maíz se debe ajustar en función del ambiente pudiendo resultar en prácticas opuestas según la disponibilidad de agua (Figuras 36 y 37). En zonas con alta probabilidad de ocurrencia de sequía en los meses de verano se recomienda i) atrasar la fecha de siembra para reducir la probabilidad de ocurrencia de deficiencias hídricas en el período crítico de floración y ii) reducir la densidad de plantas para incrementar los recursos disponibles por individuo y aliviar así el relegamiento que en esta especie sufren las espigas en ambientes restrictivos. Por el contrario, en zonas con alta disponibilidad de agua (suelos profundos bien barbechados, presencia de napa, o bajo riego), la recomendación es i) sembrar temprano para aprovechar mejor el potencial del ambiente y que el periodo crítico de floración ocurra con mayores radiaciones incidentes y ii) aumentar la densidad de plantas para evitar o reducir posibles limitaciones por capacidad de destinos reproductivos (número de granos) durante el llenado de granos (Andrade et al., 2010, Cerrudo et al., 2013). Estas recomendaciones opuestas para las dos situaciones ambientales planteadas surgen del entendimiento del funcionamiento del cultivo en interacción con el ambiente.

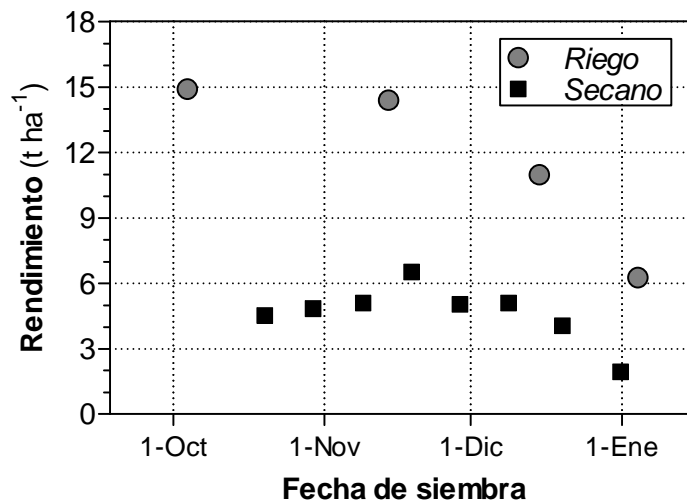


Figura 36: Rendimiento de maíz (híbrido DK 692) en función de la fecha de siembra para dos condiciones hídricas i) Balcarce sin limitaciones hídricas (círculos; 500 mm de pp más riego, suelo profundo) y ii) Coronel Suarez sin riego (cuadrados; déficits de alrededor de 300 mm entre precipitación y evapotranspiración potencial durante el ciclo del cultivo y suelo de 90 cm de profundidad efectiva). Promedio para 4 campañas (Cerrudo et al., 2013; Bonelli, 2014).

Los principios ecofisiológicos fueron además de utilidad para adecuar las rotaciones y el manejo del cultivo al ambiente definido por la topografía en establecimientos del SE de la provincia de Buenos Aires (P. Calviño. Com. personal). En primer lugar se realizó una caracterización ambiental en función de la topografía. Las lomas poseen suelos someros y, por lo tanto, alta probabilidad de ocurrencia de deficiencias hídricas en verano, y un mayor periodo libre de heladas. Por el contrario, los bajos presentan un mayor riesgo de heladas y mayor disponibilidad de agua (incluso lotes con presencia de napa). En base a esta información se diseñaron potreros con características uniformes. Luego, en función del conocimiento de cada ambiente y del funcionamiento de los cultivos, se determinó la secuencia de especies de la rotación de cada potrero y el manejo apropiado de cada cultivo. Ejemplos de estas prácticas son i) la eliminación del cultivo de maíz de las lomas por su alta susceptibilidad a sequía en floración (en caso de decidir mantener este cultivo en dichos ambientes se deben seguir las recomendaciones previamente indicadas para áreas con alta probabilidad de ocurrencia de estrés hídrico en verano), ii) la restricción del doble cultivo trigo-soja a las lomas en las que el mayor periodo libre de heladas permite

dicha práctica, iii) la utilización de soja de ciclo más corto en los bajos para adecuarse al menor periodo libre de heladas y aprovechar el alto potencial del ambiente, realizando los ajustes de densidad y espaciamiento entre hileras necesarios para asegurar altas coberturas, iv) la anticipación de la floración del trigo en las lomas en las cuales el riesgo de heladas en esa etapa es menor, lo que resulta en mayor potencial y estabilidad del rendimiento y posibilita la deseable anticipación de la siembra de soja de segunda, etc. Estos ajustes innovadores en función del ambiente resultan en incrementos de los márgenes brutos y de los rendimientos por unidad de área y tiempo, que se traducen en aumentos de las eficiencias de uso de agua y nutrientes disponibles y de la energía fósil utilizada.

La agricultura de precisión también puede contribuir a mejorar la producción, la eficiencia de uso de los recursos e insumos disponibles, y la calidad del ambiente a través del ajuste de la fertilización, del riego, de la densidad de plantas, y de otras prácticas a las condiciones particulares de cada microambiente del potrero (Stafford, 2005; Gebbers y Adamchuk, 2010; Rosegrant et al. 2014). Esta técnica requiere también de los conceptos de la ecofisiología y es facilitada por los nuevos desarrollos en sensores, robotización, automatismo de maquinaria agrícola, sistemas de información geográfica, procesamiento de la información, sistemas de comunicación, etc.

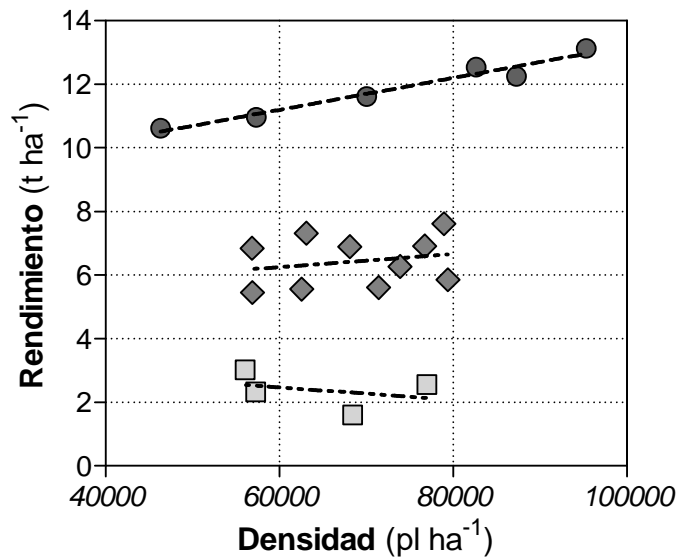


Figura 37: Rendimiento de maíz en función de la densidad de plantas para tres ambientes que difieren en el nivel de restricción hídrica alrededor de floración: i) restricción severa (línea inferior), restricción media y restricción leve (línea superior). Adaptado de Andrade et al. (1996).

En los párrafos siguientes se presentan ejemplos adicionales de mejora en la eficiencia de uso del agua y los nutrientes mediante tecnologías basadas en conocimientos y buenas prácticas agrícolas.

La eficiencia de captura de agua, que es la relación entre el consumo de agua por el cultivo y la precipitación anual, puede ser mejorada reduciendo pérdidas de este recurso por escurrimiento superficial (Fererres y González Dugo, 2009; Rost et al., 2009). El consumo de agua por el cultivo puede ser incrementado i) aumentando el agua disponible en el suelo a través de prácticas de manejo como el barbecho, las labranzas conservacionistas y otras técnicas de captura de agua y ii) alargando el ciclo del cultivar y aumentando el número de cultivos por año. Mejorar la eficiencia de captura de agua reduce excesos hídricos y, por lo tanto, los riesgos de erosión y de contaminación de cursos de agua y de napas.

Por otro lado, la eficiencia de uso del agua evapotranspirada o consumida se puede mejorar aumentando la relación entre agua transpirada y evaporada (Fererres y González Dugo, 2009). Prácticas como la siembra directa, altas densidades de plantas, espaciamentos entre hileras reducidos, cultivares de alto vigor inicial, la fertilización temprana en situaciones de alta deficiencia de nutrientes, etc., pueden reducir las pérdidas por evaporación, incrementando así la eficiencia. No obstante, la utilidad de estas prácticas depende del tipo, frecuencia y distribución de las precipitaciones. Rost et al. (2009) estiman aumentos de 19% en la producción de cultivos por reducir 25% la evaporación y por recolectar y utilizar un 25% de las pérdidas por escurrimiento. Por otro lado, ubicar a los cultivos en períodos o áreas de menor déficit de presión de vapor (menores demandas hídricas) aumenta la eficiencia de uso de agua transpirada (Abbate et al., 2004).

La eliminación de otros factores limitantes como deficiencias nutricionales, adversidades bióticas, temperaturas no óptimas, o inadecuadas prácticas de manejo del cultivo, resulta en aumentos de los rendimientos y en mejoras de la eficiencia de uso de agua consumida (Correndo et al., 2012). En cultivos regados es necesario aumentar la eficiencia del riego que es en general muy baja (Wallace y Gregory, 2002). Esto se puede lograr reduciendo pérdidas y logrando un uso más eficiente del agua absorbida por el cultivo, lo que involucra conocimientos en hidrología, ingeniería, edafología, ecofisiología, etc. (Hsiao et al., 2007).

El manejo del cultivo y el del fertilizante tienen un efecto importante en la eficiencia de recuperación de nutrientes (Cassman et al., 2003; Doberman, 2007; Andrade, 2009; Echeverría y García, 2015). El manejo responsable de los nutrientes requiere de la aplicación de la fuente correcta, a la dosis adecuada, en el momento adecuado y en el lugar correcto (IPNI, 2012; UNEP, 2014). La eficiencia de recuperación tiende a disminuir con el incremento en la disponibilidad del nutriente y cuanto mayor es la oferta en relación con la demanda del cultivo (Cassman et al., 2002; Barbieri et al.,

2008). De aquí surge la importancia de los análisis de suelo y planta para evaluar la disponibilidad de nutrientes y los requerimientos de fertilizante.

Una mayor sincronía entre los requerimientos por parte del cultivo y la oferta resulta en una menor exposición del N a los mecanismos de pérdidas y, por lo tanto, en una mayor recuperación. En este sentido, la aplicación del fertilizante en estadio 6 hojas del maíz y en macollaje del trigo mejoró la eficiencia de recuperación de nitrógeno en comparación con la fertilización en el momento de la siembra (Sainz Rozas et al., 1997; Melaj et al., 2003). Además, el fraccionamiento de la dosis, la localización, la fuente de fertilizante nitrogenado, la aplicación de fertilizantes con el riego, y la utilización de fertilizantes de liberación lenta son otras prácticas que pueden resultar en una mayor eficiencia de recuperación del nutriente, aunque estos efectos interactúan fuertemente con el ambiente (Fageria y Baligar, 2005; IPNI, 2012).

Por otro lado, prácticas de manejo del cultivo como la siembra de maíz con mayor densidad de plantas y con menor espaciado entre hileras incrementan la eficiencia de recuperación de N (Barbieri et al., 2008; Pietrobón, 2012). Esto se debería principalmente a una más rápida y mayor exploración del suelo por las raíces con este sistema de cultivo.

Similarmente a lo mencionado para agua, la eliminación de otros factores limitantes para el crecimiento como deficiencias hídricas, temperaturas no óptimas, baja radiación en manejos de alta producción, adversidades bióticas, inadecuadas prácticas de manejo, etc. puede aumentar la eficiencia de uso del nutriente absorbido, siempre que dichas limitaciones afecten el rendimiento en mayor proporción que la absorción de nutrientes.

Finalmente, una mayor precisión en los pronósticos climáticos, el diagnóstico de la fertilidad de los suelos, la estimación del agua disponible en el momento de la siembra, el monitoreo del estado de las plantas y del ambiente a lo largo de la estación de crecimiento y la evaluación de las condiciones particulares de cada microambiente del potrero posibilitará ajustes del manejo del cultivo, de la fertilización, del riego y de otras prácticas con vistas a una mayor producción y a un uso más eficiente de los recursos e insumos.

En conclusión, prácticas de manejo intensivas en conocimiento pueden aportar significativamente i) al aumento de la producción a través de la adaptación de las especies cultivadas a las condiciones específicas del ambiente y al cambio climático, y ii) al uso eficiente de los recursos e insumos que resulte en una menor dependencia relativa, e incluso en valores absolutos, de insumos no renovables y/o contaminantes. Además, se pueden producir fuertes sinergias entre dichas prácticas y de las mismas con el mejoramiento genético vegetal.

Los aportes de estas prácticas a la producción de alimentos están muchas veces soslayados en la discusión sobre la futura seguridad alimentaria. No

obstante, los datos presentados en el presente capítulo dan una idea de la posible magnitud de las contribuciones de estas estrategias innovadoras. En un nivel superior de análisis, Loomis y Connors (1992) alientan a los investigadores a reforzar y utilizar los conceptos de la ecología de cultivos para solucionar el conflicto entre producción y sostenibilidad a través del adecuado manejo de los sistemas agrícolas (ver Punto 5.B.3).

## Reducción del uso de plaguicidas

La reducción en el uso de los plaguicidas es un aspecto central para alcanzar producciones menos contaminantes. El uso de plaguicidas se multiplicó muchas veces desde 1960 hasta hoy (Rosegrant et al., 2014). Estos productos son muy efectivos en aumentar los rendimientos ya que a nivel global reducen aproximadamente el 50% de las pérdidas potenciales en los cultivos causadas por adversidades bióticas (Oerke, 2006, Tabla 4; Bedmar, 2011). El uso de plaguicidas tuvo un rol relevante en la revolución verde y en las tecnologías de insumos que primaron durante las últimas décadas. Sin embargo, estas tecnologías contaminan el ambiente, dañan la salud, afectan especies benéficas y generan resistencia en las plagas. Tal como fuera indicado en el Capítulo 3, los investigadores encuentran residuos de estos productos en tierra, agua, aire y alimentos (Colombo y Sarandón, 2015, Aparicio, 2015).

Tabla 4: Pérdidas de rendimiento globales potenciales y reales en porcentaje (%) por adversidades bióticas. Datos para Trigo, Maíz, Arroz, Soja, Papa, Algodón. Las pérdidas reales son luego del control. El control de malezas incluye control mecánico. Las enfermedades incluyen hongos y virus, principalmente. Datos de Oerke (2006).

	Pérdidas	
	Potenciales	Reales
Malezas	34	9
Insectos	18	10
Enfermedades	16	12
Totales	68	31



Conocemos el modo de acción de los plaguicidas sobre las especies a controlar, pero es necesario profundizar el estudio de su impacto en el ecosistema y en la salud humana.

Los plaguicidas actualmente utilizados son cada vez más activos en dosis bajas, menos tóxicos (considerando toxicidad aguda), menos persistentes dependiendo del tipo de producto y, por lo tanto, más seguros comparados con los plaguicidas más antiguos (Viglizzo et al., 2011). No obstante, la mayor seguridad se da en los países desarrollados y no en aquellos en vías de desarrollo debido a deficiencias en el proceso de aplicación y en el control de uso. Además, el riesgo de contaminación creció en muchos lugares debido a la expansión de la agricultura y a los volúmenes utilizados. Por otro lado, si bien hay estudios sobre toxicidad de muchas sustancias, se desconocen los efectos sinérgicos entre las mismas o los efectos sobre poblaciones de individuos de distintas condiciones (Wolansky 2011). Tampoco se conoce mucho acerca de sus efectos crónicos (a largo plazo) y de sus interacciones con otros factores de riesgo. Por los riesgos que implican, es imperioso reducir el uso de plaguicidas y utilizarlos de manera más segura y eficiente. Para esto hay que basar el control de las plagas en el manejo racional de los plaguicidas y no solamente en su aplicación.

La Organización Internacional de Lucha Biológica e Integrada define a la Producción Integrada como: “Un sistema agrícola de producción de alimentos que utiliza al máximo los recursos y los mecanismos de regulación naturales y asegura a largo plazo, una agricultura viable. En ella los métodos biológicos, culturales, químicos y demás técnicas son cuidadosamente elegidos y equilibrados, teniendo en cuenta el medio ambiente, la rentabilidad y las exigencias sociales”. Esta forma de producir garantiza el respeto por el medio y la salud de los productores y consumidores.

A continuación se listan y describen brevemente buenas prácticas y manejos integrados de organismos perjudiciales que contribuyen a reducir la utilización de agroquímicos contaminantes y a su uso más seguro sin dañar el ambiente, los humanos y los organismos benéficos (Dent, 1995, Sbarbati Nudelman, 2011; Satorre, 2015). Estas incluyen controles basados en i) la elección de la fecha de siembra y el ciclo del cultivar, para que los cultivos crezcan y definan sus rendimientos cuando las adversidades bióticas estén ausentes o sean menos problemáticas, ii) la utilización de enemigos naturales predadores y parásitos, iii) las rotaciones de cultivos para cortar el ciclo de plagas y enfermedades y combatir las malezas, iv) los cultivos de cobertura o doble cultivos que demoren, reduzcan o compitan con el nacimiento de las malezas, v) el control mecánico, vi) los cultivares resistentes o tolerantes a insectos y enfermedades por mejoramiento tradicional y por biotecnologías, vii) los cultivos trampa, viii) agroquímicos menos tóxicos y persistentes, moléculas

más específicas utilizadas a bajas dosis y, especialmente, productos derivados de sustancias naturales, ix) el control biológico (feromonas, predadores, pesticidas microbianos), x) la rotación de productos con distinto modo de acción para disminuir la aparición de especies resistentes, xi) la consideración de umbrales de daño que justifiquen tratamiento, xii) el uso eficiente y responsable de los productos, etc.

El conocimiento de la dinámica poblacional y de la estructura funcional de las plagas, de las condiciones predisponentes para su aparición y de como son afectadas por el sistema de producción, el manejo del cultivo y el ambiente son datos importantes para poder predecir su incidencia y determinar momentos de mayor vulnerabilidad para su control (Satorre, 2015; Satorre et al., 2016). Además, los controles de las adversidades biológicas tendrían que realizarse sólo cuando el número de individuos de la misma supere el umbral de daño económico. Estos umbrales dependen del estado fisiológico del cultivo y de la plaga y del ambiente. Entonces, la simple presencia de una plaga no implica que esta deba ser controlada.

Los principios de la ecofisiología de cultivos son críticos para diseñar estrategias de manejo intensivas en conocimiento con el fin de disminuir el uso de agroquímicos contaminantes. Estos conceptos ayudan a interpretar y analizar los daños que producen los organismos perjudiciales sobre el área foliar e intercepción de radiación, la eficiencia fotosintética, la partición de biomasa a destinos de interés comercial, etc. (Boote et al., 1983; Johnson, 1987) contribuyendo así al establecimiento de umbrales de daño económico.

Los umbrales de daño por reducción de área foliar durante las etapas vegetativas y las necesidades de control dependen del momento de ocurrencia y, principalmente, de la plasticidad de los individuos y de los factores ambientales, que en conjunto determinan la capacidad de recuperación de cobertura foliar previo a los momentos críticos de determinación del número de granos (Sadras 2002). Además, los umbrales de daño por pérdida de área foliar y de eficiencia fotosintética durante el llenado de granos son función, entre otras variables, de la relación entre la demanda de los granos en crecimiento y la capacidad fotosintética del cultivo, que a su vez son moduladas por el ambiente.

Por otro lado, la habilidad competitiva del cultivo con las malezas depende de las prácticas culturales y del genotipo. Así, una mayor densidad de plantas, un menor espaciamiento entre hileras, fechas de siembra que aseguren rápido crecimiento y la utilización de cultivares más foliosos y de hojas más planófilas incrementan la intercepción de radiación por parte del cultivo en etapas tempranas y, por lo tanto, su habilidad competitiva contra las malezas (Bedmar et al., 2002; Mc Donald y Gill, 2009), posibilitando la reducción en el uso de herbicidas.

También es necesario considerar todas aquellas prácticas relativas al uso eficiente y responsable de los productos como, tratamiento de envases,

respetar periodos de carencia, transporte y almacenamiento seguros, proteger a los operarios, utilizar técnicas para evitar derivas, aplicar menores dosis de producto y aplicar sólo sobre las especies blanco, etc.

La proporción de producto plaguicida que llega efectivamente a destino es muy baja, por lo que existe un gran potencial para la utilización de tecnologías geoespaciales, de sensores, de información y comunicación, de robótica y técnicas de aplicación para el control localizado de malezas, que posibiliten reducir al máximo la utilización de herbicidas ajustándose a las necesidades reales de cada situación (Fernández Quintanilla, 2015). Estos conceptos pueden extenderse al control de enfermedades y plagas animales. Por otro lado, la nanotecnología ofrece nuevos productos y nuevos mecanismos de aplicación promisorios para reducir el uso de pesticidas (Sekhom, 2014).

El manejo integrado de organismos perjudiciales puede reducir los daños de las plagas sin comprometer los rendimientos tal como indican los siguientes ejemplos.

En un lote comercial del Departamento de Castellanos (Provincia de Santa Fe) se realiza un manejo integrado de plagas en soja basado en i) monitoreo semanal de plagas y de enemigos naturales de las mismas, ii) utilización de umbrales de tratamiento, a sea que los plaguicidas se aplican sólo cuando es estrictamente necesario, iii) uso de productos menos agresivos con mínimo daño a organismos benéficos y iv) técnicas de aplicación adecuadas. Con esta aproximación se realizaron sólo dos aplicaciones de insecticidas en 10 años en contraste con lo usual de 3 aplicaciones por año que realizan los productores de la zona. Los rendimientos bajo este sistema de buenas prácticas agrícolas fueron similares o superiores a los de los promedios del Departamento de Castellanos o de la Provincia de Santa Fe (Frana Jorge. Com. Personal).

En otro caso correspondiente al cinturón hortícola de Mar del Plata, la implementación del Manejo Integrado de Plagas en un lote de producción de tomate resultó en rendimientos similares y en una reducción del 70% en el uso de plaguicidas respecto del manejo convencional (Leonardi et al., 2015).

En EUA, se ha estimado que el uso de plaguicidas puede reducirse entre 35 y 50% sin afectar los rendimientos y sin subir apreciablemente el precio de los alimentos (Saini, 2014). Además, en Dinamarca, Suecia, Holanda y Ontario existen en la actualidad programas para reducir el uso de pesticidas en un 50% (Saini, 2014).

En conclusión, técnicas intensivas en conocimientos, algunas ya existentes y otras a desarrollar, posibilitarían reducir sensiblemente la aplicación de agroquímicos contaminantes en los sistemas de producción agrícola, sin que esto comprometa alcanzar las metas de producción de alimentos que cubra las futuras necesidades de la población. La reducción en el uso de

plaguicidas es un aspecto relevante de las producciones ecológicas (Punto 5.B.3).

## 5.B.2. Cultivos por año

El incremento en el número de cultivos por año constituye otra estrategia basada en procesos y conocimientos que posibilita incrementar la producción y hacer un uso más eficiente de los recursos e insumos. Esta modalidad de intensificación agrícola puede aportar un 14% del incremento requerido de la producción para el 2050 (Bruinsma, 2009).

Cosechar más de un cultivo por año es una práctica difundida en varias regiones agrícolas (Fischer et al., 2014). Por ejemplo, la soja de segunda sembrada principalmente después de trigo y cebada creció rápidamente en las últimas décadas en la Argentina y hoy constituye alrededor del 30% de la superficie total del cultivo de soja. Esta práctica estuvo favorecida por la adopción de la siembra directa y de la soja transgénica resistente al glifosato. Otro ejemplo de expansión del doble cultivo es el maíz de segunda (safrinha) en el Matto Grosso, Brasil, sembrado luego de la cosecha de soja. La superficie de este cultivo aumentó de 0,94 a 3,3 millones de has de 2006 a 2013, cifras que representan el 16 y 42% de la superficie de soja de primera, respectivamente. Esta tecnología fue ampliamente favorecida por la utilización de cultivares de soja de ciclo más corto de hábito de crecimiento indeterminado. Finalmente, la siembra de soja de segunda luego de la cosecha del maíz es una práctica que puede expandirse en Sudamérica.

La productividad de los cultivos dobles depende de las características del ambiente, especialmente el período libre de heladas, la temperatura y la disponibilidad de agua (Andrade y Satorre, 2015, Monzón et al., 2014).

El mayor número de cultivos por año aumenta los rendimientos por unidad de tiempo y la eficiencia en el aprovechamiento de los recursos del ambiente, como por ejemplo el agua y la radiación (Caviglia y Andrade, 2010).

El rendimiento en grano y la eficiencia de uso del agua disponible fueron mayores en el doble cultivo trigo/soja que en sus respectivos cultivos simples (Tabla 5). Esta variable se asoció positivamente con la eficiencia de captura (Figura 38) y no con la eficiencia de uso del agua evapotranspirada (Caviglia et al., 2004).

En un estudio en el que se evaluaron distintas secuencias de cultivo (Caviglia et al., 2013) se encontró que a mayor número de cultivos por año mayor fue la eficiencia de captura de agua. Lo anterior resultó, principalmente, de una reducción del escurrimiento superficial. Por otro

lado, a mayor proporción de maíz (planta C<sub>4</sub>) en la secuencia mayor fue la eficiencia de uso del agua evapotranspirada (Tabla 5).

Tabla 5: Rendimiento anual (R), eficiencia de uso del agua disponible en base anual (o productividad del agua, PA) y sus componentes para distintas secuencias de cultivos que varían en el número de cultivos por año (índice de intensificación). Datos simulados utilizando una serie climática de 30 años para Balcarce Argentina. ET: evapotranspiración; EUA<sub>g</sub>: eficiencia de uso del agua evapotranspirada para grano; PA: productividad de agua en grano; EC: eficiencia de captura del agua disponible, esta última medida como precipitación anual. T: trigo, S: soja, M: maíz, T/S: doble cultivo trigo/soja. Caviglia et al. (2013). La PA es la relación entre el rendimiento por año y la disponibilidad de agua en base anual.

Variable	Secuencia					
	T/S	T-S	T/S-M	T-S-M	T/S-M-S	T-S-M-S
	Índice de intensificación					
	2	1	1.5	1	1.33	1
R (kg ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )	5240a	3790b	6160a	5140b	5030a	4460b
ET (mm año <sup>-1</sup> )	607a	423b	554a	453b	522a	456b
EC (mm mm <sup>-1</sup> )	0.67a	0.46b	0.60a	0.50b	0.57a	0.50b
EUA <sub>g</sub> (g m <sup>-2</sup> mm <sup>-1</sup> )	0.87a	0.92a	1.11a	1.13a	0.96a	0.97a
PA (g m <sup>-2</sup> mm <sup>-1</sup> )	0.58a	0.42b	0.67a	0.56b	0.55a	0.49b

Medias seguidas por la misma letra, en cada par de secuencias, no son significativamente diferentes. Índice de intensificación es el número de cultivos por año (cociente entre el número de cultivos en la secuencia y los años que dura dicha secuencia).

Los recursos que no se aprovechan pueden producir procesos degradativos. Los cultivos dobles, al incrementar la captura de recursos hídricos (Figura 38) reducen excesos por escurrimiento superficial que producen erosión y contaminación de cursos de agua, y por percolación que producen contaminación de napas. Pero además, aumentan la captura de radiación (Figura 38), lo que resulta en mayores incorporaciones de carbono a los suelos que mejoran sus propiedades físico-químicas, y la captura de nutrientes reduciendo pérdidas y contaminación (Caviglia et al., 2004). Los cultivos dobles presentan ventajas adicionales en cuanto a la protección del suelo contra la erosión, el control de malezas y el descenso de napas. Estos conceptos se extienden a los cultivos de cobertura (Alvarez et al., 2013).

Los conocimientos sobre los factores determinantes del crecimiento y rendimiento de las especies cultivadas y de las características del ambiente son útiles para evaluar las posibilidades de expansión de esta tecnología de intensificación hacia nuevas áreas, y para elevar la productividad del doble cultivo secuencial o intersechado (Andrade et al., 2012; Coll et al., 2012; Andrade et al., 2015).

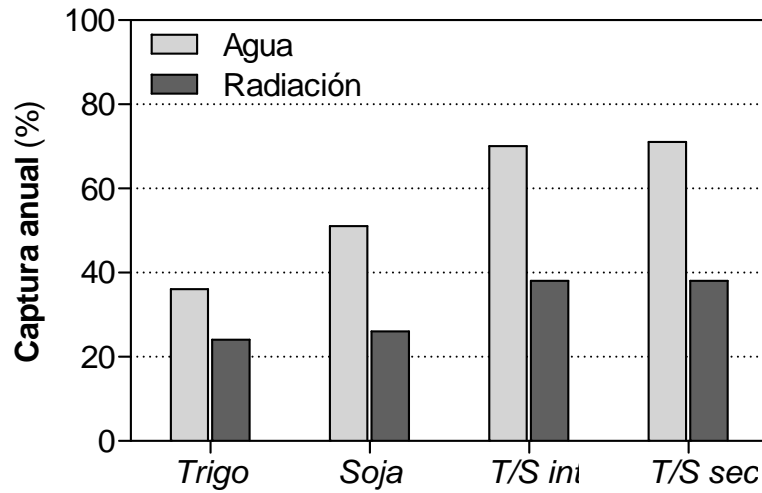


Figura 38: Captura anual de radiación y de agua para los cultivos de trigo, soja, y los dobles cultivos trigo/soja intersechados y secuenciales en Balcarce (Caviglia et al., 2004). Valores expresados como porcentaje de la radiación incidente anual y de la precipitación anual.

### 5:B.3. Producciones ecológicas

La agroecología considera a los sistemas agrícolas como ecosistemas y, basándose en la aplicación de los principios de la ecología, busca alcanzar una producción más eficiente, diversa, y resiliente, con menor dependencia de insumos no renovables y/o contaminantes (Altieri, 1994; Rosegrant et al, 2014). Según Gliessman (2002), la agroecología trata sobre la aplicación de conceptos y principios ecológicos para el diseño y manejo de agro-ecosistemas sostenibles en el plano productivo, ambiental y social. Las interacciones entre los componentes de los agroecosistemas pueden ser manipuladas para el control de adversidades bióticas (malezas,

insectos y enfermedades) y el manejo de nutrientes, entre otros procesos, sirviendo a los objetivos de producción y de cuidado ambiental. Los sucesivos pasos innovadores hacia una producción ecológica incluyen la eficiencia de utilización de recursos e insumos, la sustitución de insumos, el rediseño de los sistemas de producción y, finalmente, la producción agroecológica en función del paisaje. El manejo agroecológico tiene un alto impacto potencial, pero requiere de un profundo entendimiento de las complejas interacciones presentes en los diferentes ecosistemas para mejorar su utilidad (Shennan, 2008). Las prácticas requeridas en cada caso difieren ya que son específicas del contexto (Garnett et al. 2013). Por lo tanto, es necesario profundizar la investigación interdisciplinaria y colaborativa sobre dichas interacciones y sobre la adaptación de las prácticas bajo diferentes condiciones ambientales.

La intensificación ecológica es un concepto centrado en el desarrollo de sistemas sustentables de alta producción con mínimo impacto en los ecosistemas. Busca generar, implementar y combinar prácticas agronómicas que respondan a la necesidad de una mayor producción, mayor eficiencia productiva de los recursos agua, tierra y nutrientes, con mínimo impacto posible sobre el ambiente (Tittonell, 2013). A diferencia de la intensificación en base a tecnologías de insumos, la intensificación ecológica se centra en tecnologías de procesos y de conocimientos.

Las prácticas más comunes de las producciones ecológicas buscan reducir la utilización de energía fósil, fertilizantes y plaguicidas; reciclar nutrientes; usar eficientemente los recursos e insumos; conservar el suelo; diversificar la producción; mantener la biodiversidad a través de refugios, zonas riparias y corredores; fomentar la producción local; etc. Incluyen técnicas o procesos como la fijación biológica de N, abonos verdes, abonos orgánicos, utilización de micorrizas, retornos de residuos locales, rotaciones, cultivos de cobertura, labranzas reducidas, manejo de rastrojos, técnicas de captura de agua, manejo integrado de organismos perjudiciales, etc.

Estas técnicas y procesos intensivos en conocimientos pueden contribuir a incrementar los rendimientos de los productores familiares o de subsistencia (intensificación sustentable) y a reducir la dependencia de insumos en los sistemas de producción más desarrollados (Tittonell, 2013). Los pequeños y medianos productores producen alrededor de la mitad de los alimentos del mundo, en muchos casos con bajos rendimientos (Tittonell, 2013). Según dicho autor, aumentar los rendimientos de los pequeños productores menos desarrollados con estas técnicas ecológicas sería más ventajoso que incrementar los rendimientos de productores más desarrollados (Figura 27). Sería más fácil, tendría menor costo, se producirían alimentos en los lugares en los que estos más se necesitan, y se podría lograr con mínimo impacto ambiental. En su trabajo presenta ejemplos exitosos de aplicación de estas tecnologías en países pobres.

Las tecnologías descritas pueden contribuir a mejorar la salud y el nivel de vida de muchos productores pequeños que habitan zonas degradadas o contaminadas. Un reciente trabajo de la FAO (Reeves et al., 2016) muestra como sistemas de producción con base ecológica ayudan a pequeños productores de África, Asia y Latinoamérica a incrementar los rendimientos, fortalecer su sustento y mejorar su salud, además de disminuir la presión sobre el ambiente y adaptarse al cambio climático.

En las regiones donde se practica agricultura de altos insumos es más difícil elevar los rendimientos por ser las brechas menores. Allí el objetivo sería reducir el uso de insumos externos y contaminantes reemplazándolos por prácticas más ecológicas sin que ello necesariamente signifique mermas de rendimientos (Figura 30). Para ello se requiere una agricultura más diversa e intensiva en conocimientos.

En un nivel mayor de complejidad, es necesario organizar el uso del suelo, la ocupación de la tierra y la utilización de plaguicidas en función de las características ecológicas, ambientales, socioeconómicas, culturales y político institucionales del territorio con la finalidad de promover el desarrollo sustentable. Este ordenamiento territorial contempla el uso directo del suelo para la realización de actividades productivas, la preservación de la calidad ambiental y la capacidad de la tierra para sostener servicios ecosistémicos (Laterra et al., 2011; Maceira et al., 2015). Los servicios ecosistémicos sustentan el bienestar general de la sociedad a través de la regulación de los gases, la purificación del aire y del agua, la regulación del clima, el control de la erosión, la conservación de la biodiversidad, la valorización del paisaje rural, la recreación, etc.

El ordenamiento territorial, es un proceso participativo y dinámico que tiene como objetivo identificar que áreas de tierra tienen potencial para la producción agrícola y cuales para proveer servicios ambientales. Para alcanzar estas metas es necesario i) mantener franjas de vegetación natural en los márgenes de los ríos, arroyos y lagunas para evitar contaminación; ii) mantener corredores naturales que aseguren diversidad biológica y controladores naturales de plagas; iii) establecer áreas de restricción en el uso de agroquímicos alrededor de las zonas pobladas, escuelas rurales, áreas de recreación y de abastecimiento de agua potables que pueden ser utilizadas para producción agroecológica; y iv) establecer áreas adecuadas para la realización de producciones intensivas animales, industriales, mineras que pueden causar impactos ambientales negativos (Maceira et al., 2015).



## **5.C. Síntesis sobre estrategias para incrementar la producción**

Desde el advenimiento de la agricultura, la producción agrícola aumentó siguiendo el incremento en la demanda de alimentos por parte de la población.

La revolución agrícola y la revolución verde constituyen claros ejemplos de innovación tecnológica al servicio de la producción de alimentos que postergaron las predicciones malthusianas. No obstante, la expansión de la producción produjo degradación ambiental tal como fue presentado en el Capítulo 3. El gran desafío que hoy enfrentamos es satisfacer las futuras demandas y reducir simultáneamente el impacto ambiental.

La transformación de la agricultura requiere como primeros pasos reducir drásticamente las emisiones de gases de efecto invernadero, frenar las pérdidas de tierra cultivable, biodiversidad, hábitats y servicios ecosistémicos, disminuir el consumo no sustentable del agua especialmente donde este recurso es demandado para otros usos, frenar la contaminación del agua, suelo, aire y alimentos con productos químicos, y mejorar la eficiencia de uso de recursos e insumos, entre otras acciones (Viglizzo et al., 2001; Foley et al., 2011).

Entonces, los aumentos de la producción no pueden basarse principalmente en la expansión de la superficie cultivada como ocurrió en el siglo XIX y primera mitad del siglo XX, ya que resulta en pérdida de biodiversidad, emisiones de gases de efecto invernadero y exposición de tierras frágiles a procesos de degradación. En consecuencia, los mayores esfuerzos para incrementar la producción deben enfocarse en la intensificación del uso de la tierra. Pero esta no debe basarse primariamente en mayores usos de insumos como sucedió durante la segunda mitad del siglo XX, ya que producen contaminación y degradación del ambiente y agotamiento de recursos hídricos y de fuentes de fertilizantes minerales. Por el contrario, deben centrarse en tecnologías de procesos y de conocimientos (Satorre, 2004) que permitan detener o revertir el deterioro de los suelos y la contaminación química y hacer un uso más racional y eficiente de los recursos e insumos.

Para alcanzar los objetivos de producir los alimentos requeridos y reducir el impacto ambiental, la futura manifestación de nuestra capacidad creativa e innovadora deberá ser adaptar, transferir y desarrollar tecnologías que resulten en mayores producciones, mejores eficiencias de uso de recursos e insumos y menor impacto ambiental. En este capítulo se presentaron ejemplos de los aportes a estos fines del manejo de suelos, el mejoramiento genético, el manejo de cultivos con bases ecofisiológicas y ecológicas, la biotecnología, el manejo integrado de organismos perjudiciales y los cultivos dobles.

Es necesario satisfacer las futuras demandas, pero a través de tecnologías de procesos y conocimientos que contribuyan además a i) reducir la erosión y degradación de los suelos (labranza reducida, siembra directa, cultivos en franja y terrazas, cultivos de cobertura, rotaciones adecuadas, fijación biológica de N, abonos verdes, abonos orgánicos, fertilización eficiente, etc.), ii) evitar la contaminación química (control biológico, enemigos naturales, utilizar umbrales de daño, prácticas culturales, uso racional de agroquímicos, uso de productos menos nocivos, cultivares resistentes incluidos transgénicos, recuperación y reciclaje de nutrientes desde áreas urbanas y de producción animal intensiva hacia los campos cultivados, etc.), iii) reducir la salinización (técnicas de riego, cultivares tolerantes a sales, etc.), iv) un uso más eficiente de recursos e insumos (cultivares de mayor estabilidad y potencial de rendimiento, manejo adecuado de cultivos y del riego, agricultura de precisión, mayor número de cultivos por año, agricultura por ambiente, técnicas de captura de agua, riego eficiente, riego por goteo, buenas prácticas en el uso de fertilizantes, etc.), v) el mantenimiento de la biodiversidad (refugios, corredores, limitaciones a la deforestación, zonas riparias, etc.), y vi) reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> (mayor producción local, cultivos y procesos más eficientes, menor dependencia de energía externa), etc.

Muchas de estas técnicas ya han sido desarrolladas y utilizadas; otras necesitan de un mayor esfuerzo en investigación, adaptación tecnológica, y transferencia y extensión (Huang et al., 2002; Trewavas, 2002; Tilman et al., 2002; Toenniessen, 2003; Rosegrant et al., 2008; Tester y Langridge, 2010; Phillips, 2010; Fedoroff et al., 2010; Hall y Richards, 2013; Tittonell 2013, Rosegrant et al., 2014; EU, 2015; FAO, 2016).

Las prácticas, técnicas o estrategias descritas en el presente capítulo deben ser consideradas dentro de un sistema de producción atendiendo a sus efectos sobre la productividad, el suelo, el ambiente, la dinámica del agua y los nutrientes, las adversidades bióticas, etc. Deberán también considerarse las interacciones y posibles efectos compensatorios entre dichas prácticas y sus interacciones con el ambiente (Andrade, 2016; Sadras y Denison, 2016). Este abordaje es poco frecuente en la literatura internacional debido a las complejas interacciones existentes entre los componentes del sistema y a las dificultades de su interpretación (Andrade 2016).

## 6. Los desafíos

En la actualidad, y en un contexto más general, el mundo experimenta una fuerte globalización caracterizada por una creciente comunicación e interdependencia entre los distintos países que incluye componentes ambientales, tecnológicos, geopolíticos, económicos, culturales e institucionales (Ferrer, 1997; Wolf, 2004; Bhagwati, 2004; Raskin et al., 2002). La población comienza a tomar conciencia de los riesgos del cambio climático, la pérdida de biodiversidad y la degradación ambiental. En cuanto a los aspectos tecnológicos resalta el desarrollo de la informática, las comunicaciones e Internet que posibilitan que un individuo acceda fácilmente a una vasta cantidad de información y se contacte rápidamente con cualquier lugar del planeta. El sistema capitalista y la sociedad de consumo se imponen globalmente tras la caída de la Unión Soviética y el fin de la Guerra Fría aunque surgen cuestionamientos al consumo excesivo y a la concentración económica, indicadores de la fragilidad del sistema socio-económico mundial. Los mercados se globalizan y florecen corporaciones transnacionales, sociedades civiles internacionalmente conectadas y actores globales relevantes. Estos hechos indican que estaríamos en una fase temprana de transición acelerada de un nuevo proceso histórico con resultados difíciles de predecir pero dependientes de las decisiones y acciones que tomemos (Raskin et al., 2002). En esta era planetaria enfrentamos grandes desafíos en relación con el cambio climático, el deterioro ambiental, las futuras demandas de productos agrícolas y de energía, erradicar la pobreza, etc. En el presente capítulo se discuten algunos de estos desafíos. Se presenta, en primer lugar, una síntesis sobre la futura demanda de productos agrícolas y de las acciones que pueden conducir a satisfacerlas. En la siguiente sección, se enfatiza acerca de la necesidad de adecuar la demanda y la producción de alimentos para reducir la degradación ambiental y ajustarse a la capacidad bioproductiva del planeta. Seguidamente, se introduce el tema de la pobreza como causal de la desnutrición en el mundo. Se discute además acerca de las capacidades de innovación y de colaboración inherentes a nuestra especie como vías para solucionar los problemas que enfrentamos. Finalmente, se plantean escenarios futuros basados en las leyes de mercado, la visión mathusiana o la necesidad de cambios profundos de valores que promuevan equidad y salud ambiental.

## **Satisfacer las futuras demandas de productos agrícolas.**

En los capítulos anteriores se presentaron detalladamente los factores determinantes de la futura demanda de productos agrícolas y los caminos para incrementar la producción. En esta sección se presenta una síntesis de estos temas y un ejercicio a nivel global que muestra una posible combinación de estrategias para satisfacer los futuros requerimientos. Se presenta además un análisis por continente debido a los grandes contrastes entre los mismos.

La dieta a consumir tiene un alto efecto en los valores de las futuras demandas de productos agrícolas. Los aumentos de demanda global promedio para el 2050 varían entre alrededor de cero y 200% según la relación entre calorías vegetales y animales de la dieta que se considere a futuro (Figura 22). Otro factor que puede reducir las demandas futuras de alimentos es la reducción de pérdidas y desperdicios que alcanzan un 30% a nivel global (Capítulo 4).

La conversión de las dietas y la eliminación de las pérdidas y desperdicios son objetivos difíciles. No obstante, tal como fuera previamente indicado, se pueden lograr progresos incrementales en cuanto a estos objetivos propulsando dietas moderadas y sanas, procesamientos y consumos más eficientes, inversiones en infraestructura para evitar pérdidas, entre otras acciones.

La reducción de demandas por moderar dietas y disminuir pérdidas y desperdicios de alimentos reducen los requerimientos de aumentos de la producción agrícola entre 2010 y 2050. Por ejemplo, la reducción de las pérdidas y desperdicios desde el 30% en el año 2010 al 20 % en el 2050 implica llevar los valores requeridos de incrementos de la producción del escenario D del 70 al 49% (Figura 39).

Dicho aumento puede lograrse a través de la conjunción de las distintas acciones y tecnologías presentadas en el Capítulo 5 dirigidas a aumentar los rendimientos potenciales por unidad de superficie y tiempo, cerrar las brechas de rendimiento e incrementar la superficie cultivada.

Atendiendo a los conceptos previamente enunciados, la expansión de la superficie cultivada debería limitarse ya que está asociada con pérdidas de biodiversidad, degradación de hábitats, y emisiones de gases de efecto invernadero. Por otro lado, las tecnologías de insumos como la fertilización y el uso de plaguicidas han sido causas de contaminación y degradación ambiental. Si queremos incrementar los rendimientos recurriendo a tecnologías de insumos será necesario que se respeten los protocolos de buenas prácticas agrícolas (FAO, 2000; Jaime et al., 2013) para reducir el impacto sobre el ambiente. Incrementar los rendimientos sin impacto ambiental y con mayor productividad de recursos e insumos requerirá

principalmente de los aportes del mejoramiento genético, la biotecnología, la ecofisiología, la ecología, la edafología, la climatología, entre otras disciplinas, para generar tecnologías intensivas en conocimientos y procesos como el uso de cultivares más productivos y eficientes, los doble-cultivos, el manejo por ambiente, el manejo integrado de organismos perjudiciales, las técnicas agroecológicas y todas aquellas otras prácticas intensivas en conocimientos indicadas en los puntos anteriores que implican saltos de curva en la relación entre el rendimiento y la cantidad de insumos-recursos utilizados (Figura 30).

En base a dichas consideraciones, el incremento global del 49% requerido luego de reducir las pérdidas y desperdicios del 30 al 20% se podría alcanzar con aumentos de 5% en la superficie cultivada, mejoras del 18% en los potenciales de rendimiento bajo riego y seco, incrementos del 18% en la relación entre los rendimientos reales y los potenciales ( $Y_r/Y_p$ ) por cierre de brechas y, el resto, por mayor proporción de doble cultivos. Estos aportes son tomados como multiplicativos (Figura 39). Hay que tener en cuenta que puede haber interacciones y compensaciones entre los mencionados factores ya que, por ejemplo, la expansión de la frontera agrícola puede reducir los rendimientos reales y alcanzables y el mejoramiento por potencial de rendimiento puede ampliar las brechas tecnológicas. Los datos de las Figuras 31 y 33 indican que la mejora del potencial de rendimiento y el aumento de la relación  $Y_r/Y_p$  por cierre de brechas pueden complementarse.

Este ejercicio muestra una de las posibles combinaciones de estrategias para satisfacer las futuras demandas de productos agrícolas. Los valores resultantes son posibles de alcanzar sobre la base de los datos presentados en el Capítulo 5. En primer lugar, con el 5% de aumento de la superficie cultivada no se sobrepasa el límite de 1640 Mha propuesto por UNEP (2014) ni el umbral de seguridad indicado por Rockstrom et al. (2009) (Tabla 1). Por otro lado, la mejora del 18% en los potenciales de rendimiento bajo riego y seco es una meta moderada y posible de lograr en función de los datos presentados anteriormente sobre los efectos del mejoramiento genético y del manejo del cultivo (Fischer et al., 2014; Hall y Richards, 2013; Figura 36). Adicionalmente, el aumento del 18% en la relación entre los rendimientos reales y potenciales es consistente con los altos valores de brechas observados para muchos cultivos. Dicho cierre de brechas de rendimiento se puede lograr por medio de tecnologías de insumos con buenas prácticas agrícolas (Figuras 28 y 33) y, principalmente, a través de tecnologías intensivas en conocimiento como tolerancia a adversidades bióticas y a estrés por mejoramiento genético tradicional y por biotecnologías, por control de las mismas adversidades por manejo integrado de organismos perjudiciales y por manejo de los cultivos con base ecofisiológica y ecológica (Capítulo 5). Por último, el aporte a la producción por aumento en la proporción de doble cultivos o

cultivos múltiples es muy inferior al mencionado por Bruinsma (2009) y es coherente con los incrementos de rendimientos por unidad de tiempo informados anteriormente y con las posibilidades de aplicación de esta tecnología (Luyten, 1995; Bruinsma, 2009). Un aumento en el aporte de este componente así como de los rendimientos por unidad de superficie permitiría reducir los incrementos indicados en área cultivable.

El análisis anterior fue realizado a nivel global. Sin embargo, los grandes contrastes existentes entre demandas y entre posibilidades de expansión de la producción (Capítulos 4 y 5) exigen un análisis por región.

Africa requiere incrementos de disponibilidad de alimentos mucho más altos para cubrir los requerimientos de una dieta adecuada en el 2050 (Figura 21). Esto se agrava al considerar la disparidad que existe entre sus distintas regiones. Para este continente es crítico atender el problema de las altas tasas de fecundidad (Capítulo 4) y realizar esfuerzos para reducir más aún las pérdidas y desperdicios. Africa dispone de mucha tierra cultivable de reserva (Tabla 3) pero para su uso se deberán tener en cuenta las consideraciones realizadas en el Capítulo 5. Además, dado su bajo nivel tecnológico actual (Figuras 25 y 28), puede aumentar notablemente su producción por unidad de superficie (Tittonell., 2013; Dimes et al., 2015; Roxburgh y Rodriguez, 2016). Por ser el continente con las brechas de rendimiento más amplias, el aporte por cierre de las mismas puede ser considerablemente mayor que en otras regiones. Este cierre de brechas se puede centrar en técnicas de intensificación ecológica basadas en conocimiento y procesos (Tittonell, 2013) y, cuando se apliquen insumos como fertilizantes y agroquímicos, es necesario seguir las recomendaciones de las buenas prácticas agrícolas para evitar los errores cometidos en el pasado. El cierre de brechas entre los rendimientos reales y potenciales de secano en la superficie cultivada actual no será suficiente, por amplio margen, para satisfacer las futuras necesidades de cereales de Africa subsahariana (Grassini, P. Com. Personal). Entonces, habrá que recurrir también al riego y a la mejora de los rendimientos potenciales. You et al. (2011) concluyen que el continente africano tiene posibilidades de expandir la superficie bajo riego de 13 millones a 37 millones de ha. Se pueden además lograr importantes mejoras en los rendimientos potenciales bajo riego y de secano por mejoramiento genético y biotecnología, aspectos en los que muy poco han avanzado hasta el momento. Finalmente, también se pueden intensificar las prácticas de intercultivo y aumentar la cantidad de cosechas por año.

Africa necesita además resolver serios problemas de infraestructura y de capacitación de los productores, desarrollar proyectos de recuperación de suelos degradados y realizar una fuerte inversión en investigación y desarrollo agrícola.

Asia presenta una situación diferente. La región necesita aumentar la disponibilidad de alimentos un 60% para cubrir las necesidades de una

dieta adecuada en el año 2050 (Figura 21). Como ya fuera indicado, este valor se puede reducir si se achican las pérdidas y los desperdicios de alimentos. Si bien esta cifra es muy inferior a la mencionada para el continente africano, Asia en su conjunto no tiene grandes posibilidades de expansión del área cultivada (Tabla 3) y en general su nivel tecnológico es ya alto, con importante producción de cultivos múltiples. Los aumentos vendrían principalmente por mejoramiento genético y biotecnología que resultan en cultivares con mayor tolerancia a estrés biótico y abiótico y de mayor potencialidad de rendimiento y por manejo intensivo en conocimientos para lograr mayor adaptación de los cultivos a los ambientes de producción. La utilización de tecnologías de insumos (riego, fertilizantes y agroquímicos en general) requiere extremos cuidados para evitar y revertir los problemas de contaminación y degradación ambiental que se han producido en este continente.

Para los demás continentes, los cálculos de las necesidades futuras contemplaron mantener la disponibilidad de alimentos per cápita actual, que supera los requerimientos de una dieta adecuada y moderada. América del Norte y del Sur necesitan aumentar la disponibilidad sólo moderadamente (Figura 21). Sudamérica presenta un enorme potencial agrícola y puede lograr dicho objetivo a través de distintas estrategias ya que dispone de mucha tierra de reserva, agua para riego y tiene la posibilidad de aumentar los rendimientos aún con tecnologías de bajos insumos. Esta última estrategia es compatible con la preservación de áreas forestales, con la disminución de los procesos de erosión en áreas marginales, y con el mantenimiento de la calidad ambiental. Contrariamente, América del Norte tiene menores posibilidades de expansión del área o de aumentos en los rendimientos por uso de tecnologías de insumos. Oceanía presenta una situación muy favorable a futuro, con posibilidades de expansión del área agrícola y de mejoras tecnológicas. Finalmente, Europa, si bien tiene poco potencial de expansión de su superficie productiva y en general ya produce con alto nivel tecnológico, no necesita aumentar su producción pues su demanda futura será menor que la actual. Varios países de este continente están implementando procesos de detoxificación (Tittonell, 2013, Fig. 29).

Es importante enfatizar que los datos presentados corresponden a promedios y no contemplan las diferencias que existen entre países de una región, ni los problemas de distribución dentro de cada país. Por otro lado, es necesario considerar en el análisis las exportaciones e importaciones de alimentos. Algunos países, especialmente en América y Oceanía, son exportadores netos de productos agropecuarios lo que favorece aún más la futura situación alimenticia de estos continentes. Contrariamente, por la magnitud de la tarea a encarar en África y por las escasas posibilidades de expansión de la producción en Asia, parte de sus futuras demandas necesita ser satisfecha por la producción de otras regiones con saldos

exportables aunque esto tiene un costo en huella de carbono. Para esto, se requiere equilibrar la balanza de pagos con la exportación de otros productos. La solidaridad internacional será necesaria en aquellos casos en los que no se cubran las necesidades de una nutrición adecuada.

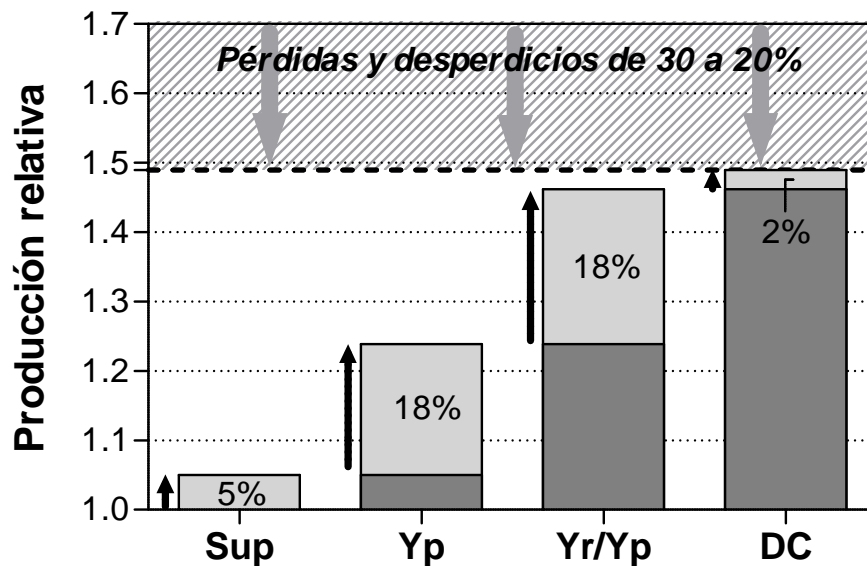


Figura 39: Ejemplo de combinación de factores para alcanzar la meta de aumento de la producción agrícola global para el 2050 sobre la base del Escenario D de la Figura 22. Este escenario contempla un incremento de 70% en la producción agrícola entre 2010 y 2050 en base a i) garantizar a todos los habitantes en el 2050 una dieta moderada y adecuada, moderando la dieta en los países que incrementarán sus ingresos, ii) mantener el nivel de consumo en aquellos países con dietas más ricas, y iii) limitar el uso de alimentos para biocombustibles. La reducción de pérdidas y desperdicios desde 30% en el 2010 a 20% en el 2050 reduce los requerimientos de aumento de la producción entre dichos años del 70 al 49%. Este requerimiento se satisface con aumentos de superficie cultivada (Sup), rendimiento potencial (Yp), relación entre rendimiento real y potencial (Yr/Yp), y doble cultivos o cultivos múltiples (DC). Los aportes multiplicativos se indican en las barras y son expresados en porcentaje. Este ejercicio considera la situación global y muestra una de las tantas combinaciones de factores. Los grandes contrastes existentes en demandas y posibilidades de expansión de la producción entre las distintas regiones exigen un análisis particular para cada una de ellas (ver texto).

Para alcanzar el objetivo de producir los alimentos necesarios para el 2050 reduciendo a la vez el impacto ambiental se deben realizar las inversiones



necesarias en investigación, extensión y desarrollo agrícola y tomar medidas adecuadas de política agrícola (FAO, 2009). Desafortunadamente, y contrariamente a lo deseable, la inversión en investigación y desarrollo agrícola se reduce o se mantiene en el mundo con pocas excepciones (Pardey y Pingali, 2010).

Los conceptos enunciados en los capítulos anteriores se basan en sistemas de producción convencionales. Sistemas de producción alternativos como urbanos y periurbanos, silvopastoriles, agroforestales, etc. pueden aportar considerablemente a la futura producción sustentable de alimentos si son adecuadamente desarrollados y mejorados. Por otro lado, también se pueden explorar y desarrollar sustentablemente nuevas fuentes de proteínas como algas, nuevos cultivos de plantas, insectos, acuicultura, acuaponia, hidroponia, etc. (UNEP, 2014; EU, 2015).

## **Reducir el impacto ambiental**

En la antigüedad, el impacto de la agricultura y de las otras actividades humanas era prácticamente nulo, comportándose nuestra especie como una más en el ecosistema. A principios del siglo XX, la población era de sólo 1500 millones de habitantes. Comparado con la actualidad, se consumían menos calorías diarias y menos carne, y se requería menos agua para producir los alimentos. La agricultura no utilizaba agroquímicos sintéticos y se emitían bajas cantidades de gases de efecto invernadero. El impacto ambiental era bajo y se debía principalmente a las deforestaciones, ya que la producción de alimentos crecía en base a aumentos en la superficie cultivada. Pero durante el siglo XX los aumentos de producción agrícola estuvieron estrechamente asociados con un creciente impacto ambiental de las actividades humanas (Figura 40) y de la agricultura en particular (Capítulo 3), que consistió en importantes deforestaciones durante la primera mitad del siglo y en contaminaciones por el uso de insumos durante la segunda mitad.

La huella ecológica, entendida como la cantidad de planetas Tierra necesarios para producir lo que consumimos y disponer de los desechos que generamos (Wackernagel y Rees, 1996) hoy supera en casi 50 % a la capacidad bioproductiva del planeta y, de continuar la tendencia, este desfase superará el 100% hacia el año 2050. Estamos entonces utilizando recursos a una tasa mayor a la de regeneración, especialmente en los países desarrollados (GFN, 2015).

El gran desafío consiste en alcanzar las metas indicadas en cuanto a producción agrícola hacia el 2050 evitando traspasar los límites que garantizan un uso seguro del planeta (Rockstrom et al., 2009; Godfray et al., 2010; Nature, 2010). Para garantizar una producción sostenida, es

necesario romper la estrecha asociación hasta hoy existente entre producción e impacto ambiental; no tenemos alternativa (Rockstrom et al., 2009a). De los capítulos anteriores surgen las estrategias que podemos utilizar en cuanto a la demanda y oferta de productos agrícolas para aportar al objetivo de reducir la huella ecológica a valores equiparables con la capacidad bioproductiva del planeta (Figura 40, Rockstrom et al., 2009a). Estas incluyen i) morigerar nuestras demandas dietarias y de biocombustibles; ii) limitar las pérdidas, desperdicios y la producción de desechos; iii) incrementar los rendimientos potenciales, cerrar brechas de rendimiento y aumentar la eficiencia de uso de recursos e insumos a través del mejoramiento genético, la biotecnología, el manejo de los cultivos, las buenas prácticas agrícolas, y los cultivos múltiples; iv) reducir el uso de agroquímicos con técnicas de manejo integrado de organismos perjudiciales y de intensificación ecológica; v) proteger el suelo, los hábitas y los suministros de agua dulce; etc.

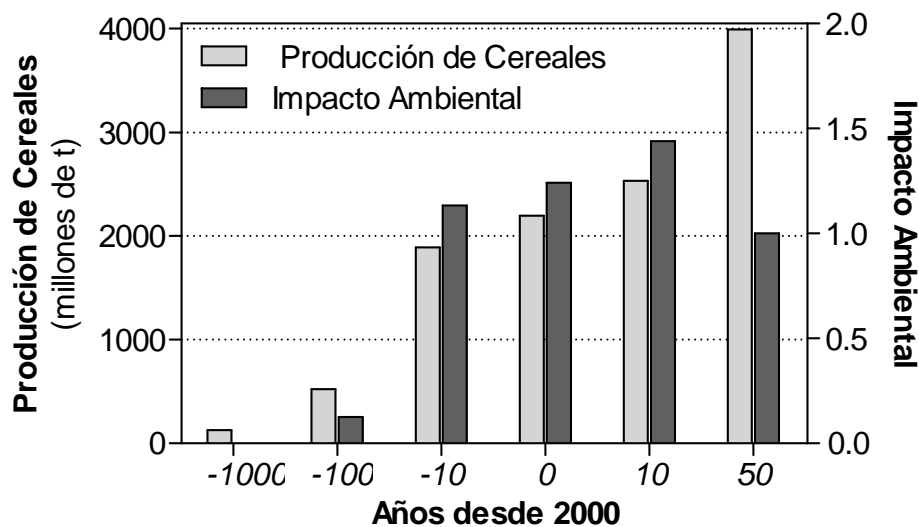


Figura 40: Producción de cereales e índice de impacto ambiental desde el origen de la agricultura hasta el 2050. El índice de impacto ambiental se considera como la cantidad de planetas Tierra necesarios para producir lo que consumimos y disponer de los desechos que generamos. El objetivo a futuro es lograr un índice de impacto ambiental no mayor a 1. Datos de impacto ambiental según Wackernagel y Rees (1996). Datos de producción estimados según modelo lineal de Figura 9 (1990-2010) y según población y consumo de cereales per cápita (1900 y anteriores). Se estimó una producción de 4000 millones de t de cereales al 2050 (Tester y Landrige, 2010) valor superior al de Alexandratos y Bruisma (2012), por considerar arroz con cáscara, nuevas proyecciones de población y actuales tendencias de producción.

En resumen, debemos demandar y producir alimentos de manera sustentable. Esto significa satisfacer de manera continua y equitativa las crecientes necesidades de la población mundial, pero haciendo un uso eficiente y seguro de los recursos naturales y de los insumos externos, de tal manera que se aseguren los servicios ecosistémicos para las generaciones presentes y futuras, se contribuya a la equidad social, y al desarrollo equilibrado de todos los territorios (Ikerd, 1990; Tilman et al., 2002).

Para alcanzar una producción sustentable, se necesitan técnicas y métodos de producción innovadores, que requerirán esfuerzos integrados de especialistas de distintas disciplinas y de los distintos actores involucrados en el medio productivo.

La definición anterior de producción sustentable incluye aspectos sociales como la equidad y el desarrollo equilibrado de todos los territorios. Con relación a estos temas, se presenta en el próximo punto un análisis de los efectos de la pobreza sobre la inseguridad alimentaria y la desnutrición en el mundo.

## **La pobreza, el principal problema**

La inseguridad alimentaria y los serios problemas de desnutrición en el mundo tienen otras causas además de la capacidad de producir alimentos y la situación ambiental.

A pesar de que en las últimas décadas la producción agrícola per cápita promedio mundial aumentó (Figuras 10 y 11), la crisis de la primera década del siglo XXI elevó el número de desnutridos a cerca de 1000 millones (Figura 41). Actualmente el número de personas cuyo consumo de energía en la dieta está continuamente por debajo del mínimo valor requerido para mantener una vida saludable y desarrollar una actividad física ligera es de 805 millones (Figura 41). Muchas más sufren de deficiencias de micronutrientes (EU, 2015). Estas deficiencias alimentarias causan alrededor de 25000 muertes por día (Caparrós 2014). Africa subsahara es la región con mayor porcentaje de personas mal alimentadas y el sur de Asia la región con mayor número de personas en esta condición.

La ausencia de una adecuada nutrición se debe, mayormente, a la falta de acceso a los alimentos y esto es consecuencia de la pobreza. En concordancia, Sen (1981) afirmó que las mayores hambrunas de la humanidad se debieron a causas socio-económicas y a fallas de distribución y de medidas correctoras más que a reducciones en fuentes de alimentos.

Los ingresos y el producto bruto per cápita han aumentado en muchos países en las últimas décadas pero con grandes diferencias entre regiones

(Figura 15). En el transcurso de dicho periodo, una parte creciente del PBI fue afectada a remunerar el capital mientras que la proporción atribuida a remunerar el trabajo no dejó de disminuir (Gorz, 2000).

A pesar del asombroso potencial tecnológico hemos construido un mundo desparejo, sin equidad, con excluidos (Figura 15; Caparros 2014, Piketty, 2015; Encíclica Laudato SI, 2015). Una gran parte de la población mundial subsiste con menos de 2 U\$S diarios per cápita, mientras que unos pocos poseen ingresos desmesurados a pesar de que la felicidad y el bienestar son independientes de los mismos por encima de cierto umbral (Epicuro, Siglo III AC; Kahneman y Deaton, 2010). Tal es el contraste, que en el año 2000, la suma de los ingresos del 1% más adinerado de la población se equiparaba con la del 57 % más pobre (Raskin et al., 2002). Si bien se proyectan incrementos del poder adquisitivo de los habitantes en muchos países del mundo, esto lamentablemente no ocurriría en el grupo de naciones más pobres (Tilman et al., 2011; Figura 16).

La volatilidad de los precios de los alimentos, originada por factores ambientales, financieros, estacionales, por la demanda de biocombustibles en base a alimentos, y por factores de oferta y demanda, impacta fuertemente sobre los más pobres si no se toman las medidas adecuadas (De Janvry, 2010).

Entonces, la pobreza y la marginalidad constituyen las mayores causas de la inseguridad alimentaria en muchos países del mundo (Monckeberg, 1993; Arriagada, 2000; Cittadini, 2010; Butler, 2010; Nature, 2010; EU, 2015).

Las causas de la pobreza generalmente se sustentan en la negligencia, corrupción o inoperancia de los gobiernos, en problemas sociales, y en la explotación por parte de los más poderosos. La falta de una adecuada educación y la desnutrición infantil impulsan la pobreza. Una educación deficiente atenta contra la movilidad social (Huerta Wong, 2012) mientras que una alimentación deficitaria en los primeros años de vida reduce el desarrollo del cerebro afectando de por vida la capacidad intelectual del individuo (Monckeberg, 1993). Por otro lado, la degradación ambiental afecta mayormente a la población con menos recursos, incrementando la pobreza (Encíclica Laudato SI, 2015).

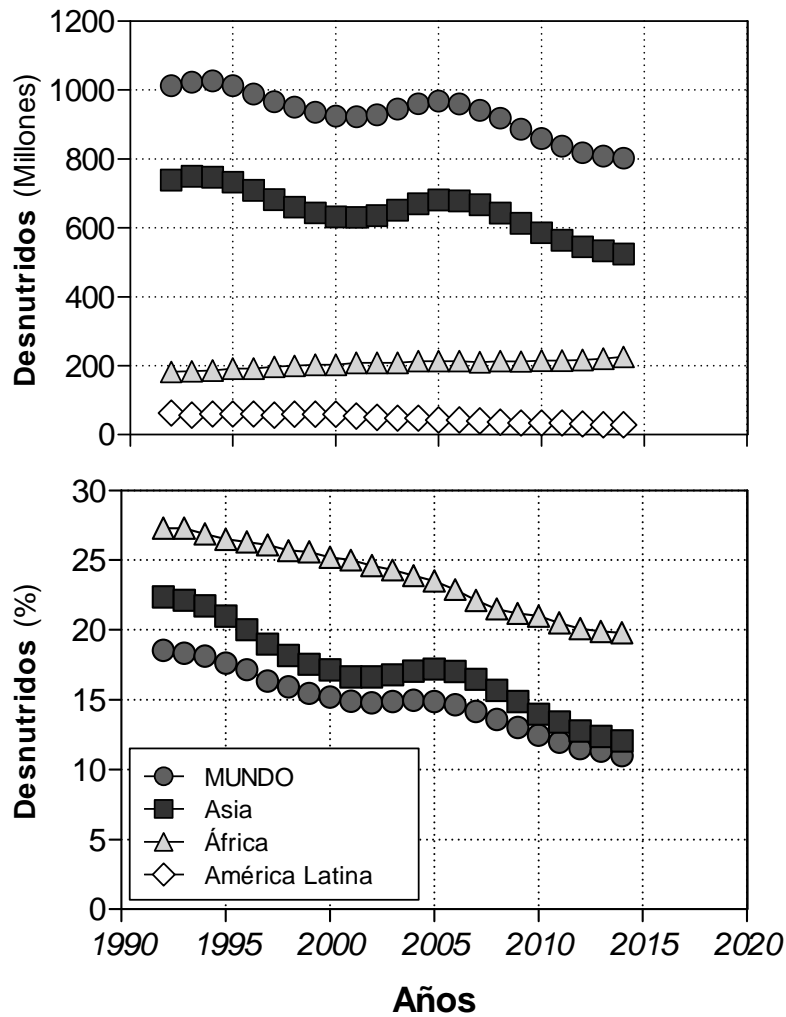


Figura 41: Evolución del número (a) y porcentaje (b) de personas desnutridas en el mundo, Africa y Asia (FAO, 2014). Se presenta también el número de desnutridos en América Latina.

Por lo tanto, erradicar la pobreza requiere i) acciones inmediatas para romper el círculo vicioso entre desnutrición infantil y pobreza, ii) programas de desarrollo social sostenidos que incluyan principalmente la educación para promover equidad e igualdad de oportunidades, iii) revertir el deterioro

ambiental y iv) promover el crecimiento económico (Leonardi et al., 2015; Encíclica Laudato SI, 2015; EU 2015).

En muchos países, los indicadores económicos marcan un progreso global pero sin contemplar que el mismo sea además, ambientalmente sustentable y socialmente aceptable. No obstante, existe una tendencia creciente a utilizar otros indicadores para medir el desarrollo de los pueblos como alternativas o complementos para el consumo y utilización de recursos, y que tienen que ver con la educación, salud y bienestar de las personas.

Historicamente, el crecimiento económico estuvo ligado a la explotación y al consumo de recursos naturales. En países desarrollados, la relación se ha debilitado al menos para algunos recursos (Van Asselt et al., 2005). Aún así, la agricultura tiene un rol importante en el desarrollo social de países pobres porque, además de producir los alimentos requeridos, muchos de sus habitantes son agricultores. Toma también alta relevancia producir más alimentos donde más se los requieren, reduciendo la desigualdad entre regiones y modalidades tecnológicas de producción. Por lo tanto, se debe prestar mayor atención a la producción local de alimentos para abastecer mercados locales y regionales, pues genera puestos de trabajo, promueve el desarrollo de los territorios, y reduce la energía utilizada en el transporte de los productos.

## **Innovar y colaborar**

Para lograr un mundo sustentable debemos fijar objetivos comunes que pueden ser abordados y resueltos valiéndonos de nuestras capacidades de innovación y de colaboración.

La innovación humana es inevitable, acumulativa-progresiva y exponencial (Figura 42). Es inevitable pues ser innovadores es parte de nuestra naturaleza. Es consecuencia de nuestra gran capacidad cerebral (Figura 2) que a lo largo de nuestra evolución nos proveyó ventajas adaptativas asombrosas. Es acumulativa-progresiva pues actúa como trinquete tecnológico-cultural. Cuando un individuo desarrolla una técnica de utilidad o encuentra una forma más adecuada de hacer algo en el entorno en que se encuentra, los otros la copian y aprenden rápidamente, lo cual a su vez puede estimular la creatividad de estos individuos para generar algo aún más útil o novedoso, que entonces los demás adoptan y así, sucesivamente (Tomasello et al., 2013).



Figura 42: Características de la innovación humana. La innovación humana es inevitable, acumulativa y exponencial.

La Figura 43 muestra el número acumulado de los eventos relevantes de creatividad e innovación de nuestra especie identificados en el presente escrito en función de una prolongada escala temporal. El primer evento es la invención de las herramientas de piedra primitivas por el Homo habilis, 2,5 millones de años atrás. El evento 3 corresponde al control del fuego por el Homo erectus hace un millón de años. El evento 9 es el advenimiento de la agricultura a principios del neolítico. Finalmente, entre los últimos y más recientes acontecimientos, están la revolución agrícola, la revolución verde y la revolución biotecnológica. La tasa de innovación creció por aumento del número de personas y de sus virtuosas interacciones. En contraste con la evolución de la población mundial, que se estabilizará durante el siglo XXI en muchas regiones del planeta, la tendencia de eventos de creatividad e innovación es exponencial, sin desaceleración, debido a que los productos de nuestra capacidad innovadora retroalimentan y potencian dicha capacidad.

Como muestra adicional del avance exponencial de las tecnologías, la Tabla 7 presenta la evolución de la capacidad de almacenaje de información, que se multiplica por 10 cada 10 años, y la Figura 44 muestra la capacidad de procesamiento de la información por procesadores que se multiplica por 10 cada 5 años (Hilbert y Lopez, 2011). Dichas capacidades informáticas, junto con el avance de las comunicaciones y de conectividad a través de internet generan un asombroso potencial para futuras innovaciones.

La innovación es un proceso motivado por la necesidad y el contexto social que puede ser potenciado por una cultura y legislación propicias, por la educación y por enfoques interactivos y multidisciplinarios (Oppenheimer, 2014). Muchos sistemas fracasaron por no cuidar este aspecto tan relevante de la naturaleza humana.

Los resultados de la creatividad son inciertos y muy difíciles de predecir por su mismo carácter novedoso. El no tener en cuenta las futuras innovaciones debilita los pronósticos de límites o plateaus en la producción agrícola y en otras actividades.

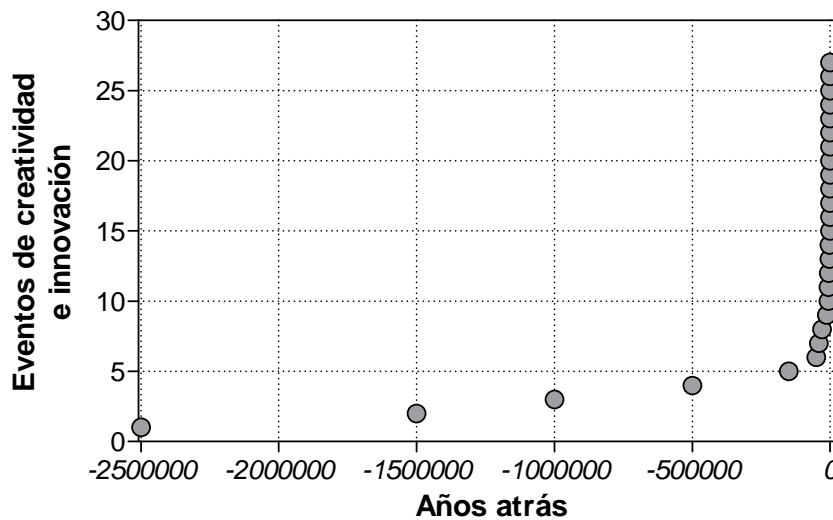


Figura 43: Número de eventos relevantes de creatividad e innovación identificados en el presente escrito acumulados en función del tiempo desde la aparición de las primeras herramientas de piedra 2,5 millones de años atrás.

Tabla 7: Capacidad de almacenaje de datos en Hexabites ( $10^{18}$  bites) en función de los años (Hilbert y Lopez, 2011).

Año	Capacidad
1982	1
1991	10
2002	100
2012	1000

Los avances tecnológicos experimentados son notables. No obstante, los principales problemas sociales, económicos y ambientales persisten e incluso se agudizan al menos en algunas regiones a pesar de las tecnologías disponibles. Surge entonces un sentido de responsabilidad por utilizar para el bien las maravillosas técnicas que disponemos y las muchas más, incluso inimaginables, que dispondremos en el futuro.



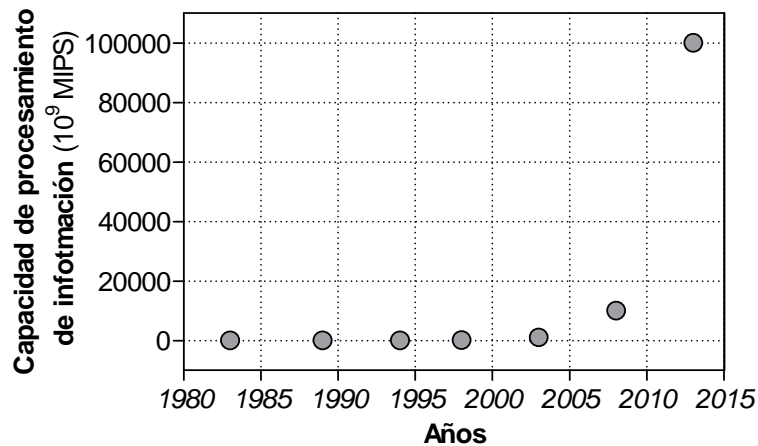


Figura 44: Capacidad de procesamiento de información (10<sup>9</sup> MIPS, millones de instrucciones por segundo) en función de los años. Esta variable es una medida de la potencia de los procesadores (Hilbert y Lopez, 2011).

El desarrollo tecnológico genera diferentes sensaciones. Entusiasmo en algunos; temores en otros. No obstante, la tecnología no es en sí misma buena o mala. Es buena o mala según como se la utilice. Hemos infringido enormes daños y estos son mayores aún valiéndonos de la tecnología. Pero la tecnología nos brinda la oportunidad de encontrar las soluciones requeridas en cuanto a disparidad, brechas crecientes en desarrollo, desempleo, desnutrición, pobreza, y deterioro del ambiente (Griggs et al., 2013; Encíclica Laudato Si, 2015; Leonardi et al., 2015). La capacidad tecnológica creciente no debe estar al servicio de unos pocos, ni de los paradigmas del consumo, de los excesos y del descarte; no debe ser funcional a la explotación irracional de los recursos, ni a los objetivos de corto plazo que responden a planificaciones sectoriales con ausencia de compromiso social y ambiental. La tecnología tiene que servir al bienestar de la población.

¿Podremos poner nuestra capacidad creativa e innovadora al servicio del bienestar de todos?

Si consideramos que la búsqueda de conocimiento, principal motor de la innovación, se sustenta sólo en la necesidad de adquirir poder y control sobre los elementos, otras especies vivientes y nuestros congéneres (Nietzsche, 1901), la respuesta no es alentadora. Pero la búsqueda de conocimiento puede ser impulsada, también, por la satisfacción que

produce el descubrimiento o entendimiento de algún mecanismo o proceso que explique o prediga el desenvolvimiento de la naturaleza. Porque cuando entendemos las expresiones de la realidad, algo de la grandeza que nos rodea puede llegar a impregnar nuestra mente y nuestras acciones e intenciones (Russell, 1912), que pueden estar así al servicio del bienestar general.

Al descubrir, al aprender, nos sobresaltarnos tal como seguramente les ocurrió a aquellas personas que hace tanto tiempo produjeron las primeras innovaciones. No me es difícil imaginar el regocijo que experimentó alguno de nuestros ancestros hace miles de años cuando, al atardecer, marcó sobre una roca la dirección del punto más austral en el que se oculta el sol a lo largo de las estaciones, vislumbrando su utilidad para la agricultura. Nada más sabemos de él, no conocemos su nombre, pero portamos sus genes y su espíritu innovador vive en nosotros.

La tecnología no sólo debe ser considerada como un conjunto de técnicas, artefactos, máquinas y artificios sino, además, como organizaciones y personas portadoras de intenciones, conocimientos y habilidades (Giuliano, 2007). Si dichas intenciones y sus correspondientes acciones se subordinan a compromisos sociales y ambientales, la tecnología será un medio fundamental para lograr un mundo más justo y sustentable.

Pero tenemos que canalizarla a través de una sólida estructura científico tecnológica, evitando posturas ambientalistas extremas que no valoran adecuadamente dicha capacidad innovadora, tanto como posiciones tecnocéntricas extremas que no toman total conciencia de que la tecnología no es neutra sino que puede presentar riesgos para nuestro entorno y que debe ser controlada y sus potenciales efectos estudiados. Alcanzar las metas sustentables requerirá además, de políticas, incentivos y regulaciones adecuadas, inversiones en infraestructura, transferencia tecnológica, monitoreo ambiental, desarrollo de indicadores claros, precisos y efectivos (Viglizzo et al., 2006), cambios organizacionales, y, sobre todo, vigorosos esfuerzos por la educación y la capacitación de la población en materia de sustentabilidad. Además, nuestras aproximaciones deben ser multidisciplinarias e integradoras ya que los problemas que enfrentamos son sistémicos y complejos (Wollenweber et al., 2005; García, 2006; Godfray et al., 2010; Morín, 2011) y las interacciones son de mayor magnitud que la suma de los efectos individuales. Por lo tanto, para que la ciencia y la tecnología resulten en las innovaciones requeridas, se necesita del aprendizaje continuo que deriva de la interacción virtuosa de actores, visiones y disciplinas.

Satisfacer las futuras demandas, aliviar la presión sobre el delicado ambiente y erradicar la pobreza requiere esfuerzos no sólo de las personas involucradas en la ciencia y la innovación sino de toda la sociedad en su conjunto (Raskin et al., 2002; Meadows et al., 2012). Dada la relevancia de los problemas que se enfrentan, la sociedad comprometida debe controlar

a los gobernantes y a las empresas y presionar para que se dediquen menos recursos para armas y conflictos, se combata la corrupción y la excesiva especulación financiera, y se fijen prioridades para que con la ayuda de la ciencia y la tecnología todos los habitantes accedan a una dieta saludable, educación, salud y trabajo y se utilicen tecnologías productivas y energéticas amigables con el ambiente (Monckeberg, 1993; Raskin et al., 2002). Tenemos que producir además, cambios en los patrones de consumo y producción impulsados por la comprensión de que ser no es tener y que el bienestar no es consumir (Schopenhauer, 1851).

Basándonos en los sabios pensamientos de Gandhi, la sociedad debe resistir la política sin principios, la riqueza sin trabajo, los negocios sin moral, la ciencia sin humanidad, el placer sin compromiso...

De una sociedad comprometida, surgirán gobernantes, empresarios, científicos y educadores comprometidos.

Quizá todo dependa en última instancia de la naturaleza de las personas. Mucho se ha escrito acerca de la naturaleza egoísta y violenta versus la naturaleza colaborativa del ser humano. Se ha afirmado que nace egoísta (Dawkins, 1976) o que nace bueno y el entorno social lo corrompe (Rousseau, 1762). En concordancia, Spencer (1864) introdujo el concepto de la supervivencia del más apto que fue utilizado para justificar los excesos del capitalismo. Contrariamente, otras visiones rescatan la naturaleza cooperativa del ser humano, pero basada en el interés personal, con resultados favorables para el grupo al que pertenece y para el establecimiento de complejas organizaciones (Wright, 2001). Estos conceptos están resumidos en Moscardi (2003).

Recientemente, Tomasello et al. (2005), basado en consistentes experimentos con niños muy pequeños, concluyen que la intencionalidad por cooperar es un móvil intrínseco de nuestra especie para trabajar en confianza, tolerancia y respeto en pos de un propósito común. Dicha intencionalidad se basa en procesos psicológicos exclusivos del ser humano que resultan en una evolución cultural y en la creación de instituciones sociales con normas y reglas ampliamente aceptadas (Tomasello, 2010). Poseemos entonces inclinación natural para colaborar estableciendo objetivos comunes basada en un conjunto de habilidades cooperativas y motivaciones. De esta cooperación resulta un beneficio mutuo (Felber, 2014).

Sin embargo, la capacidad de ser altruistas y cooperar, la necesidad de comunicación, la tolerancia, la confianza y la empatía se expresan principalmente con los individuos que identificamos como integrantes de nuestro grupo, con el que poseemos un fuerte sentido de pertenencia (Tomasello, 2010). Los seres humanos nos unimos para realizar todo tipo de maldades habitualmente dirigidas contra los que no pertenecen al grupo. Una estrategia ampliamente utilizada por parte de líderes autoritarios es señalar a un enemigo común para lograr unidad y

colaboración de sus dirigidos. Lo irónico del caso, es que esa mentalidad de grupo para la colaboración también sea la causa de tantos sufrimientos y conflictos en el mundo actual (Tomasello, 2010).

¿Podría la humanidad conformar un gran grupo y así poner nuestras capacidades intrínsecas por innovar, cooperar y compartir al servicio de alcanzar las metas comunes indicadas en lo que respecta a satisfacer las necesidades de alimentos, cuidar el ambiente y erradicar la pobreza?

Hay fundamentos muy sólidos para sustentar y nutrir el concepto de que pertenecemos a un único gran grupo. En primer lugar, todos los habitantes del planeta estamos estrechamente emparentados tal como se explicó anteriormente (Capítulo 2). En segundo lugar, habitamos un planeta común en serio riesgo de degradación por extralimitación en el uso de sus recursos y en el cual lo que cada uno de nosotros haga afectará a todos los demás (Capítulo 3). Somos entonces una única raza que comparte la biósfera y enfrentamos un destino común.

Tenemos una asombrosa capacidad para la innovación y la colaboración que heredamos de nuestros ancestros. Pero tenemos que lograr focalizarlas en los nobles objetivos indicados. Debemos trabajar para instalar en todos los habitantes, instituciones y gobiernos la idea de que somos un gran grupo que habita un único ambiente, que acepta a la vez la diversidad y que lucha contra enemigos comunes que son la degradación ambiental, el hambre y la pobreza. Es una tarea difícil teniendo en cuenta que a lo largo de la historia la competencia, el rechazo y la intolerancia primaron entre las distintas culturas, religiones, clases, etnias y países. La educación será fundamental para lograrlo.

Las tecnologías en informática y en comunicaciones, que se han desarrollado de manera sorprendente en las últimas décadas alcanzando un nivel de desarrollo impensado pocos años atrás, pueden ser de gran utilidad para potenciar y direccionar nuestras capacidades innovadoras y colaborativas.

Si la imprenta de Gutenberg aportó considerablemente al renacimiento de las ciencias, hoy son inimaginables los potenciales aportes de la informática y de la Internet que concentran miríadas de conocimientos, todos los trabajos científicos, los escritos de difusión, las revisiones, y las obras de arte en la pantalla de la computadora, contribuyendo i) a potenciar el pensamiento creativo generador de riqueza interior (Schopenhauer, 1851) y ii) a interconectar los cerebros de manera impensada años atrás, forjando así escenarios de círculos virtuosos de ideas, conocimientos e innovaciones.

Por otro lado, las nuevas técnicas de comunicaciones pueden acercar a las personas y posiciones reduciendo confrontaciones e hipótesis de conflictos y contribuir al establecimiento de metas comunes en temas sociales y ambientales (Arébalos y Alonso, 2009).

## Escenarios posibles

Resulta difícil hacer predicciones fehacientes ante semejante complejidad y combinación de variables. No obstante, se pueden plantear posibles escenarios (Raskin et al., 2002).

Un escenario futuro es que la economía de libre mercado se afiance y que los problemas que hoy nos acucian sean solucionados por la mano invisible del mercado (Smith, 1776) en la medida que se contemplen las externalidades derivadas de las acciones productivas de la sociedad.

Sin embargo, por la relevancia y los riesgos de los problemas que enfrentamos, que pueden llegar a producir daños irreversibles que trascienden las leyes del mercado, y la certeza de que las mismas no aseguran o garantizan un desarrollo social equitativo, se plantea un segundo escenario que incluye acciones y regulaciones de la economía (Keynes, 1936) que reflejen mayor compromiso de los gobiernos para preservar el ambiente y lograr más equidad social, sin que signifiquen un freno a la capacidad innovadora del ser humano.

La resistencia por propios intereses de corto plazo y la ignorancia, miopía o complacencia de los integrantes de la sociedad ponen en duda la implementación y eficacia de estas acciones regulatorias. Si la mano invisible de la economía de mercado o las regulaciones de gobierno no son suficientes para morigerar o contrarrestar las amenazas a la sustentabilidad, los futuros escenarios serían de caos, pobreza, hambrunas y degradación en línea con lo que vaticinó Malthus (1798).

Algunos plantean como posibilidad el advenimiento de sociedades más desarrolladas que se fortifican intentando aislarse de la degradación de los países y sectores más desposeídos y marginados. Algunos gobiernos están tomando medidas en línea con este escenario poco sustentable.

En contraste con estas proyecciones se presenta un escenario que consiste en la reafirmación y potenciación de movimientos, hoy incipientes, que alzan los principios de compromiso ambiental y social, lo que Raskin et al. (2002) denominan la Gran Transición. Las mejoras en comunicación y en interconexión pueden contribuir al establecimiento de una conciencia global de compromiso social y ambiental (Raskin et al., 2002; Moscardi, 2003). Este escenario se sustenta en la imperiosa necesidad de cambios sustanciales para enfrentar los grandes desafíos en relación con satisfacer las futuras demandas, revertir la degradación ambiental y erradicar la pobreza.

Mi intención no es instalar un optimismo ingenuo. Lo que predomina hoy y predominó en el pasado indica lo contrario ya que se imponen intereses sectoriales y de corto plazo, es escasa la consideración de los temas ambientales, priman las extralimitaciones en el uso de los recursos, y las

brechas de desarrollo son crecientes. Las necesidades para un mundo social y ambientalmente sustentable, que reditúan a largo plazo, se contraponen con ideologías que representan formas radicales de individualismo y supervivencia del más apto (Thurow, 1996). La ambición, la puja por el poder, la supervivencia del más fuerte pueden prevalecer (Spencer, 1864). En este caso, la humanidad tal como la conocemos está perdida. Mi intención es más bien remarcar que tenemos una oportunidad para resolver los grandes problemas comunes que enfrentamos basados en el potencial de innovación y en la predisposición natural a colaborar.

La Figura 5, con su amplia escala temporal de 50000 años, representa fielmente la relevancia de la etapa que nos tocó vivir y la responsabilidad que nos compete, ya que la mayor parte del crecimiento de la población humana se produce entre la generación de nuestros abuelos y la de nuestros nietos. En dicho lapso de tiempo hemos sido testigos de asombrosos cambios tecnológicos como el automóvil, el aeroplano, la radio, la televisión, la computadora personal, internet, las comunicaciones satelitales, por nombrar unos pocos.

Las generaciones del futuro evocarán, como hacemos en este libro, a los primeros humanos que cruzaron el mar Rojo, a los que comenzaron a cultivar la tierra, a los que protagonizaron el renacimiento. También dirán que nosotros, las generaciones del siglo XX y XXI vivimos en una época de vertiginoso crecimiento y de estabilización poblacional, que extraíamos una sustancia oleosa oscura, gas y carbón de la tierra para quemarlos y obtener así la energía para mover nuestras máquinas, que para producir alimentos aplicábamos productos químicos contaminantes y erosionábamos el suelo.

Ojalá también digan que logramos unirnos en causas comunes y que, valiéndonos del asombroso desarrollo tecnológico garantizamos seguridad alimentaria a toda la población, aprendimos a utilizar energías limpias y renovables, supimos romper las asociaciones entre producción e impacto ambiental y entre crecimiento económico y desarrollo, y forjamos un mundo más equitativo y justo.

## 7. Conclusiones

Nuestra capacidad creativa e innovadora habría sido impulsada desde hace millones de años por drásticos cambios ambientales a través de prolongados procesos de selección natural y retroalimentada por nuestros propios logros y progresos. Poseemos además una inclinación natural para colaborar. Gracias a estas características prodigiosas, pudimos adaptarnos, progresar y conquistar los distintos y variados territorios del planeta. Valiéndonos de nuestra capacidad creativa e innovadora y de nuestro potencial de colaboración podemos lograr los objetivos de satisfacer la demanda futura de productos agrícolas, utilizar eficientemente los recursos e insumos, reducir el impacto ambiental y eliminar la pobreza. El gran interrogante es si queremos hacerlo. Hacer ciencia y tecnología forma parte de nuestra naturaleza, es humano, no podemos volver atrás. Frente a este magnífico potencial de nuestra especie, menos comprensible son el hambre, la pobreza y la degradación ambiental que hoy sufrimos. Tenemos que lograr que los productos derivados de la capacidad de innovar y crear estén al servicio de los nobles objetivos comunes indicados. Debemos lograrlo por los que comenzaron a tallar la piedra, por los que controlaron el fuego, por los primeros agricultores, por los tantos que se han sacrificado y esforzado por un mundo mejor y, sobre todo, por los que hoy sufren carencias y los tantos más que las sufrirán en el futuro si no actuamos adecuadamente.

### Agradecimientos

El autor desea expresar su agradecimiento a i) Fernando García por su apoyo para la publicación de este libro; ii) Lucas Bonelli y Fernando Aramburu Merlos por la colaboración en la elaboración de las figuras; iii) Aníbal Cerrudo, Marcelo Oviedo, Hugo Ojeda, Fernando Aramburu Merlos, Lucas Bonelli, Fernando García, Alfredo Cirilo, Roberto Rizzalli; Francisco Bedmar; Virginia Aparicio y Nestor Maceira por la lectura crítica del manuscrito y iv) Mercedes Rebaudi por su ayuda en las etapas de escritura y corrección.

## 8. Referencias

- Abbate P. y F. Andrade. 2014. Los nutrientes del suelo y la determinación del rendimiento de los cultivos de granos. Capítulo 6 (p 155-185) en H. Echeverría y F. García (Eds): Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos. Ediciones INTA.
- Abbate P., J. Dardanelli, M. Cantarero y E. Suero. 2004. Climatic and water availability effects on water use efficiency in wheat. *Crop Sci.* 44: 474-483.
- Abrol I., J. Yadav y F. Massoud. 1988. Salt affected soils and their management. Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO). Soils Bulletin 39.
- Acquaah G. 2007. Principles of plant genetics and breeding. Blackwell Eds. Malden, MA, USA. 569 p.
- Acquaah G. 2012. Principles of plant genetics and breeding. 2nd Edition. Wiley-Blackwell. 758p.
- Aguirrezábal L., P. Martre, G. Irujo, N. Izquierdo y V. Allard. 2009. Management and breeding strategies for the improvement of grain and oil quality. Chapter 16 in V. Sadras and D. Calderini (Eds). *Crop Physiology. Applications for genetic Improvement and agronomy.* Academic Press. Elsevier. Amsterdam.
- Aguirrezábal L. y F. Andrade. 1998. Calidad de productos agrícolas. Bases ecofisiológicas, genéticas y de manejo agronómico. Unidad Integrada Balcarce INTA, FCA UNMP. 315pp.
- Al-Babili S. y P. Beyer. 2005. Golden Rice - Five years on the road - five years to go? *Trends Plant Sci.* 10: 565-573.
- Alexandratos N. y J. Bruinsma. 2012. World agriculture towards 2030/2050. The 2012 revision ESA working paper Nro 12-03. FAO. Rome.
- Allard R. 1999. Principles of plant breeding. J. Wiley. Hoboken, NJ. USA. 264 p.
- Altieri M. 1999. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 74: 19–31.
- Altieri S. 1994. Bases agroecológicas para una producción agrícola sustentable. *Agricultura Técnica* 54: 371-386.
- Alvarez C., A. Quiroga, D. Santos y M. Bodrero. 2013. Contribuciones de los cultivos de coberturas a la sostenibilidad de los sistemas de producción. Ediciones INTA. 198pp.
- Alvarez R., M. Russo, P. Prystupa, J. Scheiner, y L. Blotta. 1998. Soil carbon pools under conventional and no-tillage systems in the Argentine Rolling Pampa. *Agron. J.* 90:138-143.
- Ambrose S. 1998. Late Pleistocene human population bottlenecks, volcanic winter, and differentiation of modern humans. *Journal of Human Evolution* 34: 623-651.
- Ambrose S. 2001. Paleolithic technology and human evolution. *Science* 291:1748-1753.
- Andrade F. 1998a. Posibilidades de expansión de la producción agrícola. *Interciencia.* 23: 218-226.
- Andrade F. 1998b. Es posible satisfacer la creciente demanda de alimentos de la humanidad? *Interciencia.* 23: 266-274.
- Andrade F. 2009. Eficiencia de uso de los nutrientes y rol de la nutrición en la producción de los cultivos. P 124-130 en "Mejores prácticas de manejo para una mayor eficiencia en la nutrición de los cultivos" F. García e Ignacio Ciampitti Eds. Actas Simposio Fertilidad. IPNI, Fertilizar. Rosario, Mayo 2009.
- Andrade F. 2009. Eficiencia de uso de los nutrientes y rol de la nutrición en la producción de los cultivos. Actas Simposio Fertilidad. IPNI, Fertilizar. en "Mejores prácticas de manejo para una mayor eficiencia en la nutrición de los cultivos" F. García e Ignacio Ciampitti Eds. Pp. 124-130. Rosario, mayo 2009.
- Andrade F. 2012. Contribuciones de la Ecofisiología de Cultivos a la producción agrícola. *Anales de la Academia Nacional Agronomía y Veterinaria* 66: 345-377.



- Andrade F. y M. Ferreiro. 1996. Reproductive growth of maize, sunflower and soybean at different source levels during grain filling. *Field Crops Res.* 48:155-165.
- Andrade F. y V. Sadras. 2002a. Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja, INTA Balcarce, Facultad de Ciencias Agrarias, UNMP, Buenos Aires, Argentina. 450 pp.
- Andrade F. y V. Sadras. 2002b. Efectos de la sequía sobre el crecimiento y rendimiento de los cultivos. Capítulo 7 en F. Andrade y V. Sadras (Eds). Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. Inta, Facultad de Ciencias Agrarias UNMP.
- Andrade F. y O. Caviglia. 2015. Incrementando la productividad de los recursos. Productividad del agua. Actas IV Simposio Nacional de Agricultura, Uruguay. Pp. 123-130. Paysandú, Octubre de 2015.
- Andrade F., C. Cirilo, S. Uhart y M. Otegui. 1996. *Ecofisiología del Cultivo de Maíz*. Editorial La Barrosa. Dekalb Press. 292pp.
- Andrade F., C. Vega, S. Uhart, A. Cirilo, M. Cantarero y O. Valentinuz. 1999. Kernel number determination in maize. *Crop Sci.* 39: 453-459.
- Andrade F., H. Echeverría, N. Gonzalez y S. Uhart. 2002. Requerimientos de nutrientes minerales. Capítulo 8 en F. Andrade y V. Sadras (Eds). Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. Inta, Facultad de Ciencias Agrarias UNMP.
- Andrade F., V. Sadras, C. Vega y L. Echarte. 2005. Physiological determinants of crop growth and yield. Applications to crop management and modeling. *Journal of Crop Improvement* 14: 51-101. The Haworth Press. Inc. New York. Paper review.
- Andrade F., P. Abbate, M. Otegui, A. Cirilo A y A. Cerrudo. 2010. Ecophysiological basis for crop management. *The Americas Journal of Plant Science & Biotechnology* 4: 23-34.
- Andrade F., R. Sala, A. Pontaroli, A. León y S. Castro. 2015. Integration of biotechnology, plant breeding and crop physiology. Dealing with complex interactions from a physiological perspective. Capítulo 19 en *Crop Physiology: Applications for Genetic Improvement and Agronomy*. 2nd Edition. Editors: V. Sadras y D. Calderini. Elsevier, Academic Press.
- Andrade J. 2016. Intensificación de los sistemas de producción de granos en la región pampeana: productividad y uso de recursos. Tesis doctoral. Escuela para Graduados Facultad de Agronomía UBA. 146 pp.
- Andrade J. y E. Satorre. 2015. Single and double crop systems in the Argentine Pampas: Environmental determinants of annual grain yield. *Field Crops Res.* 177: 137-147.
- Andrade J., A. Cerrudo, R. Rizzalli y J. Monzon. 2012. Sunflower-soybean intercrop productivity under different water conditions and sowing managements. *Agron. J.* 104:1049-1055.
- Andrade J., S. Poggio, M. Ermácora y E. Satorre. 2015. Productivity and resource use in intensified cropping systems in the Rolling Pampa, Argentina. *European J. of Agron.* 67: 37-51.
- Anthony D. 2007. *The horse, the wheel, and language: how Bronze-Age riders from the Eurasian steppes shaped the modern world*. Princeton, N.J: Princeton University Press. 67pp.
- Aparicio V. 2015. Pesticidas en Argentina. En Leonardi et al. *Hacia una agricultura sustentable situada en el territorio*. INTA. <http://inta.gob.ar/documentos/coloquio-sobre-sustentabilidad>.
- Aparicio V., J. Costa y M. Zamora. 2008. Nitrate leaching assessment in a long-term experiment under supplementary irrigation in humid Argentina. *Agricultural Water Management* 95: 1361-1372.
- Aparicio V., E. De Gerónimo, D. Marino, J. Primost, P. Carriquiriborde y J. Costa. 2013. Environmental fate of glyphosate and aminomethylphosphonic acid in surface waters and soil of agricultural basins. *Chemosphere* 93: 1866-1873.
- Aparicio V., E. De Gerónimo, K. Hernández Guijarro, D. Pérez, R. Portocarrero y C. Vidal. 2015. Los plaguicidas agregados al suelo y su destino en el ambiente. INTA Ediciones. Imprenta El Vikingo. Balcarce, Buenos Aires, Argentina. 74 p.

- Aramburu Merlos F., J. Monzón, F. Andrade y P. Grassini. 2015a. Rendimientos potenciales y brechas de rendimiento. *Visión Rural* 107:24-28.
- Aramburu Merlos F., J. Monzon, J. Mercu, M. Taboada, F. Andrade, A. Hall, E. Jobbagy, K.G. Cassman y P. Grassini. 2015b. Potential for crop production increase in Argentina through closure of existing yield gaps. *Field Crops Research* 184: 145–154.
- Arébalos A. y G. Alonso. 2009. La revolución horizontal. Ediciones B. Buenos Aires.
- Arriagada C. 2000. Pobreza en América Latina: Nuevos escenarios y desafíos de políticas para el hábitat urbano. Series medio ambiente y desarrollo nro 27. Naciones Unidas. Cepal. Santiago de Chile.
- Ashton T. 1948. *The Industrial Revolution (1760-1830)*, Oxford University Press. Oxford. 1997.
- Bakker T. M. 1985. Eten van eigen bodem, een modelstudie. Proefschriften uit het LEI no.1. PhD-dissertation. LEI-DLO, The Hague, The Netherlands. 137pp.
- Barbieri P, H. Sainz Rozas, H. Echeverría y F. Andrade. 2008. Nitrogen use efficiency in maize as affected by nitrogen availability and row spacing. *Agron. J.* 100: 1094-1100.
- Bedmar F. 2011. Qué son los plaguicidas? *Ciencia hoy* 21: 10-16.
- Bedmar F., J. Eyherabide y E. Satorre. 2002. Bases para el manejo de malezas. Capítulo 10, En: Andrade FH, VO Sadras (Eds.). Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. Unidad Integrada INTA Balcarce FCA UNMP. 450pp.
- Bellis M. 2010. *The Agricultural Revolution. Introduction to the Agricultural Revolution. About.com Guide.* <http://inventors.about.com/od/indrevolution/a/AgriculturalRev.htm>.
- Bhagwati J. 2004. *In Defense of Globalization.* Oxford, New York: Oxford University Press.
- Blankenship R. 2008. *Molecular Mechanisms of Photosynthesis (2nd ed).* John Wiley & Sons Inc.
- Blechl A., Q. Hung y O. Anderson. 1998. Engineering changes in wheat flour by genetic engineering. *J. Plant Physiol.* 152: 703-707.
- Bonelli L. 2014. Rendimiento potencial de maíz en Balcarce en función de la fecha de siembra y la duración de ciclo del híbrido. Tesis Magister Scientiae. UNMP. 85pp.
- Boote K., J. Jones, J. Mishoe y R. Berger. 1983. Coupling pests to crop growth simulators to predict yield reductions. *Phytopathology* 73: 1581-1587.
- Borlaug N. 2007. Sixty-two years of fighting hunger: personal recollections. *Euphytica* 157:287–297.
- Bourne J. 2009. El fin de la abundancia. *National geographic* 439-59? [ngenespanol.com/2009/.../el-fin-de-la-abundancia-la-crisis-alimentaria-mundial-articulos](http://ngenespanol.com/2009/.../el-fin-de-la-abundancia-la-crisis-alimentaria-mundial-articulos).
- Bressani R. 1991. Protein quality of high lysine maize for humans. *Cereal Foods World* 36: 806-811.
- Bringezu S., M. O'Brien, W. Pengue, M. Swilling y L. Kauppi. 2010. Assessing global land use and soil management for sustainable resource policies. Scoping Paper. International Panel for Sustainable Resource Management. UNEP.
- Brookes G. y O. Barfoot. 2013. GM crops: global socio-economic and environmental impacts 1996-2011. 191 pp.
- Bruinsma J. 2009. The Resource Outlook to 2050: By how much do land, water, and crop yields need to increase by 2050? Paper presented at the FAO Expert Meeting, 24-26 June 2009, Rome on "How to Feed the World in 2050".
- Buringh P. y R. Dudal. 1987. Agricultural land use in space and time. En: *Land agriculture.* Edited by M.G. Wolman and F.G.A. Fournier. John Willey and Sons, New York, USA.
- Butler D. 2010. The growing problem. *Nature* 466: 546-547.
- Caldwell J. y T. Schindlmayr. 2002. Historical population estimates: Unraveling the consensus. *Population and development review.* Vol 28: 183-204.
- Calviño, P., F. Andrade y V. Sadras. 2003. Maize Yield as Affected by Water Availability, Soil Depth, and Crop Management. *Agron. J.* 95: 275–281.

- Cantagallo J., C. Chimenti y A. Hall. 1997. Number of seeds per unit area in sunflower correlates well with a photothermal quotient. *Crop Sci.* 37: 1780-1786.
- Caparrós M. 2014. El hambre. Editorial Planeta. 610pp.
- Cassman K., A. Doberman y D. Walters. 2002. Agroecosystems, nitrogen-use efficiency and nitrogen management. *Ambio* 2: 132-140.
- Cassman K., A. Doberman, D. Walters y H. Yang. 2003. Meeting cereal demand while protecting natural resources and improving environmental quality. *Annu. Rev. Environ. Resour.* 28: 315-358. citar
- Cassman K., P. Grassini y J. van Wart. 2010. Crop yield potential, yield trends and global food security in a changing climate. In: Illel, D., Rosenzweig, C. (Eds.), *Handbook of Climate Change and Agroecosystems: Impacts, Adaptation, and Mitigation*. World Scientific, pp. 37–51.
- Castro S. 2013. Estabilidad de rendimiento y mecanismos ecofisiológicos asociados con la fijación de granos en híbridos de maíz y en sus líneas parentales. Tesis de Magister Scientiae, UNMP.
- Cattivelli L., F. Rizza, F. Badeck, E. Mazzucotelli, A. Mastrangelo, E. Francia, C. Marè, A. Tondelli y A. Stanca. 2008. Drought tolerance improvement in crop plants: An integrated view from breeding to genomics. *Field Crops Res.* 105: 1-14.
- Cavalli-Sforza L. y M. Feldman 2003. The application of molecular genetic approaches to the study of human evolution. *Nature Genetics* 33: 266 – 275.
- Caviglia O. y F. Andrade. 2010. Sustainable intensification of agriculture in the Argentinean Pampas. Capture and use efficiency of environmental resources. *The Americas Journal of Plant Science and Biotechnology* 3:1-8.
- Caviglia O., V. Sadras y F. Andrade. 2004. Intensification of agriculture in the south-eastern Pampas. I. Capture and efficiency in the use of water and radiation in double-cropped wheat–soybean. *Field Crops Res.* 87: 117-129.
- Caviglia O., R. Rizzalli, N. Van Opstal, P. Barbieri, R. Melchiori, A. Cerrudo A., V. Gregorutti, J. Monzón, P. Barbagelata, J. Martinez, F. García y F. Andrade. 2012. Productividad y eficiencia en el uso de agua y nitrógeno en sistemas intensificados. *Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica* 7:6-10.
- Caviglia O., V. Sadras y F. Andrade. 2013. Modelling long-term effects of cropping intensification reveals increased water and radiation productivity in the south-eastern Pampas. *Field Crops Research* 149: 300–311.
- Cerrudo A., J. Monzon, J. Di Matteo, F. Aramburu, R. Rizzalli y F. Andrade. 2013. Manejo del cultivo de maíz en ambientes con restricciones hídricas. *Revista Técnica AAPRESID*. N 119. Maíz. Siembra Directa ISSN 18501559 (pp. 15-20).
- Chapman S., G. Hammer, D. Podlich y M. Cooper. 2002. Linking biophysical and genetic models to integrate physiology, molecular biology and plant breeding. In: Kang, M.S. (Ed.), *Quantitative genetics, genomics and plant breeding*. CAB International, Wallingford, pp. 167–187.
- Chartres C. y S. Varma. 2010. Out of water. From Abundance to Scarcity and How to Solve the World's Water Problems FT Press (USA).
- Cirilo A., M. Actis, F. Andrade y O. Valentinuz. 2011. Crop management affects dry-milling quality of flint maize kernels. *Field Crops Res.* 122:140-150.
- Cittadini R. 2010. Cuando comer es un problema. *Voces en el Fénix* 1: 105-111.
- Coll L., A. Cerrudo, R. Rizzalli, J. Monzon y F. Andrade. 2012. Capture and use of water and radiation in summer intercrops in the south-east Pampas of Argentina. *Field Crops Res.* 134: 105–113.
- Colombo C., S. Sarandón, et al. 2015. Relevamiento de la utilización de agroquímicos en la provincia de Buenos Aires. Mapa de situación e incidencia sobre la salud. Defensor del pueblo, Provincia de Buenos Aires. Universidad Nacional de La Plata. 532pp.

- Correndo A., M. Boxler y F. García. 2012. Oferta hídrica y respuesta a la fertilización en maíz, trigo y soja en el norte de la región pampeana argentina. XXIII Congreso Argentino de La Ciencia del Suelo. Mar del Plata Argentina.
- Costa J., V. Aparicio y A. Cerda. 2015. Soil physical quality changes under different tillage management systems after 10 years in Argentinean Humid Pampa. *Solid Earth* 6: 361-371.
- Creus, C., M. Bazzalo, M. Grondona, F. Andrade y A. León. 2007. Disease expression and ecophysiological yield components in sunflower isohybrids with and without *Verticillium dahliae* resistance. *Crop Sci.* 47:703-710.
- Darwin C. 1859. *The origin of species*. London. John Murray.
- Datta R., S. Tsai, P. Bonsignore, S. Moon y J. Frank. 1995. Technological and economic potential of polylactic acid and lactic acid derivatives. *FEMS Microbiology Reviews* 16: 221-231.
- Davis P. y S. Coleman. 1997. European corn borer (Lepidoptera: Pyralidae) feeding behavior and survival on transgenic corn containing CryIA(b) protein from *Bacillus thuringiensis*. *Journal of the Kansas Entomological Society* 70: 31-38.
- Dawkins R. 1976. *The Selfish Gene*, Oxford University Press, 2nd edition. 352 pp. 1990.
- De Janvry A. 2010. Agriculture for development: new paradigm and options for success. *Agricultural Economics* 41 S1: 17-36.
- De Santa Eduvigis J. 2010. Potencial de rendimiento y tolerancia a sequía en híbridos de maíz. Tesis Magister Scientiae. Facultad de Ciencias Agrarias UNMP. 70 pp.
- Deikman J., M. Petracek y J. Heard. 2012. Drought tolerance through biotechnology: improving translation from the laboratory to farmers' fields. *Current opinion in biotechnology* 23: 243-250.
- Della Maggiora A., J. Gardiol y A. Irigoyen. 2002. Requerimientos hídricos. Capítulo 6 en F. Andrade y V. Sadras (Eds). *Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja*. Inta, Facultad de Ciencias Agrarias UNMP.
- Denison R. 2012. *Darwinian Agriculture: How Understanding Evolution Can Improve Agriculture*. Princeton University Press, Princeton, NJ.
- Dent D. 1995. *Integrated pest management*. Chapman and Hall. London. 356 pp.
- Di Matteo J., A. Cerrudo, J. Ferreyra, L. Echarte y F. Andrade. 2014. Estabilidad de Rendimiento en Híbridos de Maíz liberados en Argentina entre 1965 y 2010. X Congreso Nacional de Maíz, Maíz HD. Septiembre 2014, Rosario, Santa Fe, Argentina.
- Dimes J., D. Rodríguez y A. Potgieter. 2015. Raising productivity of maize-based cropping systems in eastern and southern Africa: Step wise intensification crops. Capítulo 5 en *Crop Physiology: Applications for Genetic Improvement and Agronomy*. 2nd Edition. Editors: V. Sadras y D. Calderini. Elsevier, Academic Press.
- Doberman A. 2007. Nutrient use efficiency. Measurement and management. IFA. International workshop on fertilizer best management practices. 7-9 mayo 2007. Bruselas, Bélgica.
- Domínguez G., G. Studdert y H. Echeverría. 2005. Propiedades del suelo: efectos de las prácticas de manejo. p. 207-229. En: H.E. Echeverría y F.O. García (eds.) *Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos*. Ediciones INTA. Buenos Aires, Argentina.
- Dorn H. 1962. World population growth. An international dilemma. *Science* 135: 283-290.
- Dosio G., L. Aguirrezábal, F. Andrade y V. Pereyra. 2000. Solar radiation intercepted during seed filling and oil production in two sunflower hybrids. *Crop Sci.* 40: 1637-1644.
- Dresselhaus M. y I. Thomas. 2001. Alternative energy technologies. *Nature* 414: 332-337.
- Dubos R. 1985. *Pasteur*. Salvat Editores SA. Barcelona España. Carles Scribner's sons.
- Echeverría H. y F. García. 2014. *Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos*. Ediciones INTA. 904 p.
- Edgerton M. 2009. Increasing crop productivity to meet global needs for feed, food and fuel. *Plant Physiology* 149: 7-13.

- Edmeades G. 2013. Progress in Achieving and Delivering Drought Tolerance in Maize. An Update. International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications (ISAAA). 39pp.
- Edmeades G., G. McMaster, J. White y H. Campos. 2004. Genomics and the physiologists: bridging the gap between genes and crop response. *Field Crop Res.* 90:5-18.
- Egli D. y W. Bruening. 2005. Shade and temporal distribution of pod production and pod set in soybean. *Crop Sci.* 45: 1764-1769.
- Ehrlich P. 1975. The population bomb. Riversity Press. Massachussets. USA.
- Elmore R., F. Roeth, R. Klein, S. Knezevic, A. Martin, L. Nelson y C. Shapiro. 2001. Glyphosate-resistant soybean cultivar response to glyphosate. *Agron. J.* 93: 404-407.
- Enard W., M. Przeworski, S. Fisher, C. Lai, V. Wiebe, T. Kitano, A. Monaco y S. Paabo. 2002. Molecular evolution of FOXP2, a gene involved in speech and language. *Nature* 418: 869-872.
- Encíclica Laudato Si. 2015. Carta Encíclica del Padre Francisco sobre el cuidado de la casa común. La Santa Sede. Libreria Editrice Vaticana. 87 pp.
- Epicuro. Siglo III AC. En de Botton A. 2000. Las consolaciones de La filosofía. Taurus, España. 295 p.
- EU. 2015. The role of research in global food and nutrition security. Expo 2015 European Union Scientific Steering Committee. Fischler, F. Chairman,doi: 10.2788/521449.
- Evans L. 1997. Adapting and improving crops: the endless task. *Phil Trans R. Soc. Lond. B.*354: 901-906.
- Fageria N. y V. Baligar. 2005 Enhancing nitrogen use efficiency in crop plants. *Advances in Agronomy* 88: 97-185.
- FAO. 2011. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. FAO Statistical Database.<<http://www.fao.org/>>.
- FAO. 2014. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. FAO Statistical Database.<<http://www.fao.org/>>.
- FAO. 2016. El estado mundial de la agricultura y la alimentación. Cambio climático, agricultura y seguridad alimentaria. Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura. NU. 27pp.
- Fedoroff N., D. Battisti, R. Beachy, P. Cooper, D. Fischhoff, C. Hodges, V. Knauf, D. Lobell, B. Mazur, D. Molden, M. Reynolds, P. Ronald, M. Rosegrant, P. Sanchez, A. Vonshak y J. Zhu. 2010. Radically Rethinking Agriculture for the 21st Century. *Science* 327: 833-834.
- Felber C. 2014. La economía del bien común. Ed. Paidós. 1ra ed. Buenos Aires. 286pp.
- Fereres E, y V. González-Dugo. 2009 Improving productivity to face wáter scarcity in irrigated agricultura. Chapter 6 en *Crop physiology. Applications for genetic improvement and agronomy.* Sadras V., Calderini D Eds. Academic Press. Amsterdam.
- Fernández Quintanilla C. 2015. Hacia el futuro: Aplicaciones de la agricultura de precisión y la robótica a la gestión de malezas. Actas XXII Congreso Latinoamericano de Malezas. p. 11-14. Malezas 2015. 9 y 10 de septiembre. ALAM, ASACIM. Buenos Aires, Argentina.
- Ferrer A. 1997. Hechos y ficciones de la globalización, Fondo de Cultura Económica, Buenos Aires.
- Ferreira J.M. 2015. Efectos del mejoramiento de maíz (1965-2010) sobre la eficiencia en el uso del nitrógeno. Tesis MSc. UNMP.
- Fischer R. 1985. Number of kernels in wheat crops and the influence of solar radiation and temperature. *J. Agric. Sci.* 105: 447-461.
- Fischer G. 2009. World Food and Agriculture to 2030/50: How do climate change and bioenergy alter the long-term outlook for food, agriculture and resource availability? Paper presented at the FAO Expert Meeting, 24-26 June 2009, Rome on "How to Feed the World in 2050".

- Fischer R. y G. Edmeades. 2010. Breeding and cereal yield progress. *Crop Sci* 50: 585-598.
- Fischer, R., D. Byerlee y G. Edmeades. 2009. Can technology deliver on the yield challenge to 2050? Paper prepared for expert meeting on "How to Feed the World in 2050." 24–26 June 2009. FAO, Rome.
- Fischer T., D. Byerlee y G. Edmeades. 2014. Crop yields and global food security. Will yield increase continue to feed the world? ACIAR Monograph Nro 158. Australian Centre for International Agricultural Research. Canberra. 634p.
- Flannery K. 1973 The origin of agriculture. *Annual Review of Anthropology* 2: 271-310.
- Foley J. et al. 2005. Global consequences of land use. *Science* 309: 570-574.
- Foley J., N. Ramankutty, K. Brauman, E. Cassidy, J. Gerber, M. Johnston, N. Mueller, C. O'Connell, D. Ray, P. West, C. Balzer, E. Bennett, S. Carpenter, J. Hill, C. Monfreda, S. Polasky, J. Rockstrom, J. Sheehan, S. Siebert, D. Tilman y D. Zaks. 2011. Solutions for a cultivated planet. *Nature* 478: 337-342.
- Gaarder J. 1994. *El mundo de Sofía*. Ediciones Siruela. Madrid. 638pp.
- Galloway J., J. Aber, J. Erisman, S. Seitzinger, R. Howarth, E. Cowling y J. Cosby. 2003. The nitrogen cascade. *Bioscience* 53: 341-356.
- Gapminder. 2015. [www.gapminder.org/data/](http://www.gapminder.org/data/)
- García R. 2006. *Sistemas complejos*. Editorial Gedisa S.A. Barcelona. España. 201pp.
- Garnett, T., M. Appleby, A. Balmford, I. Bateman, T. Benton, P. Bloomer, B. Burlingame, M. Dawkins, L. Dolan, D. Fraser, M. Herrero, I. Hoffmann, P. Smith, P. Thornton, C. Toulmin, S. Vermeulen y H. Godfray. 2013. Sustainable Intensification in Agriculture: Premises and Policies. *Science* 341: 33–34.
- Gebbers R. y V. Adamchuk. 2010. Precision Agriculture and Food Security, *Science* 327: 828-831.
- Gellings C. y K. Parmenter. 2004. Energy efficiency in fertilizer production and use. In: Efficient use and conservation of energy. C. Gellings y K. Blok Eds. *Encyclopedia of life support systems*. UNESCO, Eolss Publishers, Oxford, UK.
- GFN. 2015. [http://www.footprintnetwork.org/ecological\\_footprint\\_nations/](http://www.footprintnetwork.org/ecological_footprint_nations/)
- Giuliano G. 2007. *Interrogar la tecnología*. Algunos fundamentos para un análisis crítico. Nueva Librería, Buenos Aires. 1ra Edición.
- Gliessman S. 2002. *Agroecología*. Procesos ecológicos en agricultura sostenible. Catie. Turrialba. Costa Rica. 359 p.
- Godfray H., J. Beddington, I. Crute, L. Haddad, D. Lawrence, J. Muir, J. Pretty, S. Robinson, S. Thomas y C. Toulmin. 2010. Food Security: The Challenge of Feeding 9 Billion People. *Science* 327: 812-818.
- Goldewijk K. y N. Ramankutty. 2004. Land cover change over the last three centuries due to human activities: The availability of new global data sets. *GeoJournal* 61: 335-344.
- Gordon Childe V. (1978). *Los orígenes de la civilización*. Madrid: F.C.E..ISBN 84-375-0015-X.
- Gore R. 1997. The dawn of humans. *National Geographic* 191:72-99.
- Gorz A. 2000. *Misérias del presente, riqueza de lo posible*. Paidós, Buenos Aires, 155 Págs. 1997. *Misères du présent, richesse du possible (Galilée)*.
- Goudsblom J. 1986. The human monopoly on the use of fire. Its origin and conditions. *Human Evolution* 1: 517-523.
- Gourian Sherman D. 2009. Failure to yield. Evaluating the performance of genetic engineered crops. Union of concerned scientists. USC publications. Cambridge.
- Govindjee y D. Krogmann. 2004. Discoveries in oxygenic photosynthesis (1727–2003): a perspective. *Photosynthesis Research* 80: 15–57.
- Grassini P. y K. Cassman. 2011. High-yield maize with large net energy yield and small global warming intensity. *PNAS* 109: 1074–1079. [www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas](http://www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas).

- Grassini P., K. Eskridge y K. Cassman. 2013. Distinguishing between yield advances and yield plateaus in historical crop production trends. *Nature Communications* 4: 2918 | DOI: 10.1038/ncomms3918.
- Grassini P., J. Specht, M. Tollenaar, I. Ciampitti y K. Cassman. 2015. High-yield maize–soybean cropping systems in the US Corn Belt. Capítulo 2 en *Crop Physiology: Applications for Genetic Improvement and Agronomy*. 2nd Edition. Editors: V. Sadras y D. Calderini. Elsevier, Academic Press.
- Green R., S. Pääbo, et al. 2010. A Draft Sequence of the Neandertal Genome. *Science* 328: 710-722.
- Griggs D., M. Stafford-Smith, O. Gaffney, J. Rockström, M. Öhman, P. Shyamsundar, W. Steffen, G. Glaser, N. Kanie y I. Noble. 2013. Policy: Sustainable development goals for people and planet. *Nature* 495: 305–307.
- Gupta A. 2004. Origin of agriculture and domestication of plants and animals linked to early Holocene climate amelioration. *Current Science* 87: 54-59.
- Gustavsson J., C. Cederberg, U. Sonesson, R. van Otterdijk y A. Meybeck. 2011. Global food losses and food waste. Food and agriculture organization of the United Nations. Section 3.2 (Study conducted for the International Congress “Save Food!” at Interpack2011, Düsseldorf, Germany) (FAO, Rural Infrastructure and Agro-Industries Division). 29pp.
- Hall A. y V. Sadras. 2009. Whither crop physiology? Chapter 21 in V. Sadras and D. Calderini (Eds). *Crop Physiology. Applications for genetic Improvement and agronomy*. Academic Press. Elsevier. Amsterdam. 581 pp.
- Hall A. y R. Richards. 2013. Prognosis for genetic improvement of yield potential and water-limited yield of major grain crops. *Field Crops Research* 143: 18–33
- Hallberg G. 1987. Agricultural chemicals in ground water: Extent and implications. *American Journal of Alternative Agriculture* 2: 3-15.
- Hansen J., P. Kharecha, M. Sato, V. Masson-Delmotte, F. Ackerman, J. Sachs, et al. 2013. Assessing “Dangerous Climate Change”: Required Reduction of Carbon Emissions to Protect Young People, Future Generations and Nature. *PLoS ONE* 8(12): e81648. doi:10.1371/journal.pone.0081648
- Hatfield J. y T. Sauer (eds.). 2011. *Soil management: building a stable base for agriculture*. Am. Soc. Agron., Soil Sci. Soc. Am., Madison, WI, USA.
- Hilbert M. y P. Lopez. 2011. The world technological capacity to store, communicate, and compute information. *Science* 332: 60-65.
- Hirel B., J. Le Gouis, B. Ney y A. Gallais. 2007. The challenge of improving nitrogen use efficiency in crop plants: towards a more central role for genetic variability and quantitative genetics within integrated approaches. *Journal of Experimental Botany* 58: 2369–2387.
- Hobbs P. 2007. Conservation agriculture: what is it and why is it important for future sustainable food production? *The Journal of Agricultural Science* 145: 127-137.
- Hoekstra A. y M. Mekonnen. 2012. The water footprint of humanity. *Proc Natl Acad Sci USA* 109: 3232-3237.
- Hsiao T., P. Steduto y E. Fereres. 2007. A systematic and quantitative approach to improve water use efficiency in agriculture. *Irrig. Sci.* 25: 209–231.
- Huang J., C. Pray y S. Rozelle. 2002. Enhancing the crops to feed the poor. *Nature* 418: 678-684.
- Huerta Wong J. 2012. El rol de La educación en la movilidad social de Mexico y Chile. *Rev. Mex. de Inv. Educativa* 17: 65-88.
- IEA. 2012. International energy agency. *Technology Roadmap: Biofuels for Transport*. <http://www.iea.org/publications/freepublications>.
- IEA. 2012. *Energy technologies perspectives 2012*. 2DS high renewables. International Energy Perspectives.

- Ikerd J. 1990. Agriculture's search for sustainability and profitability. *J. Soil Water Cons.* 45: 18-23.
- INTA. 2011. Ejes Conceptuales para un posicionamiento institucional ante el fenómeno de la soja como principal componente del proceso de agriculturización. Documento Interno. 81p.
- IPCC. 2007. Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate change 2007: the physical science basis (summary for policy makers), <http://www.ipcc.ch>. IPCC. Fourth Assessment Report.
- IPCC. 2014. Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate change 2014: Mitigation of climate change. <http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg3>.
- IPNI. 2012. 4R Plant Nutrition Manual: A Manual for Improving the Management of Plant Nutrition, (T.W. Bruulsema, P.E. Fixen, G.D. Sulewski eds.), International Plant Nutrition Institute. Norcross, GA, USA.
- IPSRM. 2010. International Panel for Sustainable Resource Management. Marrakech Process and Green Economy Initiative: Working towards a Sustainable Consumption and Production for a Green Economy, UNEP.
- Isbell F., D. Craven, J. Connolly, M. Loreau, et al. 2015. Biodiversity increases the resistance of ecosystem productivity to climate extremes. *Nature* 526: 574–577.
- Izquierdo N., L. Aguirrezábal, F. Andrade y V. Pereyra. 2002. Night temperature affects fatty acid composition in sunflower oil depending on the hybrid and the phenological stage. *Field Crops Res.* 77: 115-126.
- Izquierdo N., L. Aguirrezábal, F. Andrade, C Geroudet, M. Pereyra Iraola, y O. Valentinuz. 2009. Intercepted solar radiation affects oil fatty acid composition in crop species. *Field Crops Res.* 114: 66-74.
- Jaggard, K., A. Qi y E. Ober. 2010. Possible changes to arable crop yields by 2050. *Phil. Trans. R. Soc. B.* 2835–2851.
- Jaime, S., F. Andrade, F. Bedmar, S. Borracci, C. Leonardi, F. Martens, E. Quargnolo, A. Szczesny, G. Tito y M. Vigna. INTA. 2013. Criterios para la gestión de uso de los agroquímicos con un marco de ordenamiento territorial. Cerbas, Balcarce. 50pp.
- JICA-INTA. 2004. Seminario: Sustentabilidad de la producción agrícola. 29 y 30 de Marzo de 2004. Buenos Aires, Argentina.
- Jobling M. y C. Tyler-Smith. 2003. The human Y chromosome: an evolutionary marker comes of age. *Nature Reviews Genetics* 4: 598-612.
- Johnson K. 1987. Defoliation, disease and growth: a reply. *Phytopathology* 77: 1495-1497.
- Kahneman D. y A. Deaton. 2010. High income improves evaluation of life but not emotional well-being. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 107: 16489–16493.
- Kenny A. 2006. Breve historia de la filosofía occidental. Ed Paydós. Buenos Aires. 493 pp.
- Keynes J. 1936. The general theory of employment, interest and money. Basingstoke, Hampshire: Palgrave Macmillan.
- Klein R. y B. Edgar. 2002. The dawn of human culture. John Wiley. New York. 288 pp.
- Kruse O., J. Rupprecht, J. Mussnug, G. Dismukes y B. Hankamer. 2005. Photosynthesis: a blueprint for solar energy capture and biohydrogen production technologies. *Photochem. Photobiol. Sci.* 4: 957-969.
- Kummu M., H. De Moel, M. Porkka, S. Siebert, O. Varis y P. Ward. 2012. Lost food, wasted resources: Global food supply chain losses and their impacts on freshwater, cropland, and fertiliser use. *Science of the Total Environment* 438: 477–489.
- Larsen M., P. Hamilton y W. Werkheiser. 2013. Water quality status and trends in the United States. En: Ahuja, S. (Ed.) *Monitoring water quality*. Elsevier, NC USA. P.19-57.
- Lassaletta L., G. Billen, B. Grizzetti, J. Anglade y J. Garnier. 2014. 50 year trends in nitrogen use efficiency of world cropping systems: the relationship between yield and nitrogen input to cropland. *Environ. Res. Lett.* 9: 1-9.



- Laterra P., E. Jobbagy y J. Paruelo. 2011. Valoración de servicios ecosistémicos. Conceptos, herramientas y aplicaciones para el ordenamiento territorial. Ediciones INTA. Buenos Aires, Argentina.
- LCAM, 2009. Land Commodities Asset Management AG. The land commodities global agriculture and farmland investments report. A mid term outlook. Switzerland. [www.landcommodities.com](http://www.landcommodities.com)
- Leonardi, C., E. Adlercreutz, F. Andrade, V. Aparicio, F. Bedmar, E. Camadro, D. Carmona; J. Elverdin, S. Guido, D. Huarte, H. Krüger, N. Maceira, J. Machado, M. Manzoni, G. Studdert, A. Szczesny, G. Tito, L. Viglianchino y C. Villagra. 2015. Colloquio sobre sustentabilidad. Hacia una agricultura sustentable situada en el territorio. INTA. <http://inta.gob.ar/documentos/coloquio-sobre-sustentabilidad>.
- Liebig von, J. 1841. *Chemie Organique appliquée à la Physiologie Végétale et à l'Agriculture*.
- Lobell D., W. Schlenker y J. Costa-Roberts. 2011. Climate trends and global crop production since 1980. *Science* 333: 616-620.
- Loomis R. y D. Connor. 1992. *Crop Ecology. Productivity and management in agricultural systems*. 538pp. Cambridge University Press. New York USA.
- Ludlow M. y R. Muchow. 1990. A critical evaluation of traits for improving crop yields in water-limited environments. *Adv. Agron.* 43: 107-153.
- Lund H. 2007. Renewable energy strategies for sustainable development. *Energy* 32: 912–919.
- Lundqvist J., C. De Fraiture y D. Molden. 2008. Saving Water: from Field to Fork: Curbing Losses and Wastage in the Food Chain 20–23. Stockholm International Water Institute.
- Luyten J. 1995. Sustainable world food production and environment. AB.DLO. Dutch Agricultural Research Department, Wageningen. The Netherlands.
- Maceira N., J. Elverdín y S. Guido. 2015. Ordenamiento Territorial, Servicios Ecosistémicos y Observatorios Ambientales. En Leonardi et al. Hacia una agricultura sustentable situada en el territorio. INTA. <http://inta.gob.ar/documentos/coloquio-sobre-sustentabilidad>.
- Magrin G. 2007. Pronóstico de cambio climático en la region pampeana y extrapampeana. Seminario Taller: Estrategias de mejoramiento frente a nuevas demandas del sistema productivo en cereales y oleaginosas. INTA. Buenos Aires, 30 y 31 de mayo de 2007.
- Malthus T. 1798. *An Essay on the Principle of Population*. Johnson, London. 1st edition.
- Manske G., J. Ortiz-Monasterio, M. van Ginkel, R. Gonzalez, S. Rajaram, E. Molina y P. Vlek. 2000. Traits associated with improved P-uptake efficiency in CIMMYT's semidwarf spring wheat grown on an acide Andisol in Mexico. *Plant Soil* 221: 189-204.
- Margueron J. 2002. Los metales utilizados y su origen geográfico. Los mesopotámicos. Ediciones Cátedra S.A. Madrid. 480p.
- Martre P., N. Bertin, C. Salon y M. Génard. 2011. Modelling the size and composition offruit, grain and seed by process-based simulation models. *New Phytologist* 191:601-618.
- Mc Donald G. y G. Gill. 2009. Improving crop competitiveness with weeds: adaptations and trade offs. Chapter 18 en V. Sadras y D. Claderini (eds) . *Crop Physiology. Applications for genetic Improvement and agronomy*. Academic Press. Elsevier. Amsterdam. 581pp.
- Meadows D., J. Randers y D. Meadows. 2012. Los límites del crecimiento. Tauros. Buenos Aires. 424 p.
- Melaj M., H. Echeverría, S. López, G. Studdert, F. Andrade y N. Bárbaro. 2003. Timing of nitrogen fertilization in wheat under conventional and no-tillage system. *Ag. Journal* 95: 1525-1531.
- Mendel G. 1865. Experiments in plant hybridization. Read at the February 8th, and March 8th, 1865, meetings of the Brünn Natural History Society.
- MMADSN. 2015. Inventario de GEI Argentina. Proyecto 3ra comunicación Nacional sobre cambio climático. Informes Finales Componente Aprovechamiento del Potencial

- Nacional para la Mitigación del Cambio Climático. Ministerio de medio ambiente y desarrollo sustentable de la nación. <http://www.ambiente.gov.ar/?idarticulo=13851>.
- Molden D. 2007. Water for food, Water for life: A Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture. Earthscan/IWMI.
- Monckeberg F. 1993. Jaque al subdesarrollo ahora. Ediciones pedagógicas chilenas. Ediciones Dolmen. Chile. 180pp.
- Monfreda C., N. Ramankutty y J. Foley (2008), Farming the planet: 2. Geographic distribution of crop areas, yields, physiological types, and net primary production in the year 2000, *Global Biogeochem. Cycles*, 22, GB1022, doi:10.1029/2007GB002947.
- Monzon J.P., J. Mercau, J. Andrade, A. Cerrudo, O. Caviglia, A. Cirilo, C. Vega, F. Andrade y P. Calviño. 2014. Maize-soybean intensification alternatives for the Pampas of Argentina. *Field Crops Res.* 162: 48-59.
- Morin E. 2011. La voie. Pour l'avenir de l'humanité, Fayard, France.
- Moscardi E. 2003. Hacia una interpretación evolucionista de las grandes revoluciones. Corporación Latinoamericana Misión Rural. CLMR. 208pp.
- Mosier A., C. Kroeze, C. Nevison, O. Oenema, S. Seitzinger y O. van Cleemput. 1998. Closing the global N<sub>2</sub>O budget: nitrous oxide emissions through the agricultural nitrogen cycle. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 52: 225-248.
- Mueller N. et al. 2012. Closing yield gaps through nutrient and water management. *Nature* 490: 254-257.
- Nagore M., L. Echarte, A. Della Maggiora y F. Andrade. 2010. Rendimiento, consumo y eficiencia de uso del agua del cultivo de maíz bajo estrés hídrico. IX Congreso Nacional de Maíz, Simposio Nacional de Sorgo. 17 al 19 de Noviembre de 2010, Rosario, Santa Fe, Argentina.
- Nagore M., L. Echarte, F. Andrade y A. Della Maggiora. 2014. Crop evapotranspiration in Argentinean maize hybrids released in different decades. *Field Crops Res.* 155:23-29.
- Naik S., V. Goudb, P. Rout y A. Dalai. 2010. Production of first and second generation biofuels: A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14: 578–597.
- Nature, 2010. How to feed a hungry World. *Nature Editorials* 466:531-532.
- Nietzsche F. 1901. La voluntad de dominio. Editorial Aguilar, Buenos Aires, 1962. 728pp.
- Norse D., C. James, B. Skinner y Q. Zhao. 1992. Agriculture, land use and degradation. En: *An agenda of Science for environment and development into the 21st Century*. Doodge, J. et al. Eds. Compiled by M. Brennan. Based on a Conference held in Vienna, Austria, November 1991. Cambridge University Press, London, R.U.
- Oerke E. 2006. Crop losses to pests. *Journal of Agricultural Science* 144: 31-43.
- Ohlrogge J., V. Mhaske, F. Beisson y S. Ruuska. 2004. Genomics Approaches to lipid Biosynthesis. In: Fischer, R. et al (Eds.). *New Directions for a Diverse Planet: Proceedings of the 4th International Crop Science Congress, Brisbane, Australia*, p. Available online from [http://www.cropscience.org.au/icsc2004/](http://www.cropsscience.org.au/icsc2004/) (verified 2001/2010/2008).
- Olivier J., G. Janssens-Maenhout y J. Peters. 2012. Trends in global CO<sub>2</sub> emissions. PBL Netherlands Environmental Assessment Agency Report, The Hague.
- Oppenheimer A. 2014. Crear o morir. La esperanza de latinoamérica y las cinco claves de la innovación. *Vintage Español*. 315 pp.
- Otegui M., L. Borrás y G. Maddonni. 2015. Crop phenotyping for physiological breeding in grain crops: a case study for maize. Capítulo 15 en *Crop Physiology: Applications for Genetic Improvement and Agronomy*. 2nd Edition. Editors: V. Sadras y D. Calderini. Elsevier, Academic Press.
- Panwar N., S. Kaushik y S. Kothari. 2011. Role of renewable energy sources in environmental protection: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15: 1513–1524.

- Pardey P. y P. Pingali. 2010. Reassessing international agricultural research for food and agriculture. Global Conference on Agricultural Research for Development (GCARD).
- Parfitt J., M. Barthel y S. Macnaughton. 2010. Food waste within food supply chains: quantification and potential for change to 2050. *Phil. Trans. R. Soc. B* 365: 3065–3081.
- Passioura J. 2012. Phenotyping for drought tolerance in grain crops: when is it useful to breeders? *Functional Plant Biology* 39: 851-859.
- Petit J., J. Jouzel, D. Raynaud, N. Barkov, J. Barnola, I. Basile, M. Bender, J. Chappellaz, M. Davis, G. Delaygue, M. Delmotte, V. Kotlyakov, M. Legrand, V. Lipenkov, C. Lorius, L. Pepin, C. Ritz, E. Saltzman y M. Stievenard. 1999. Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok ice core, Antarctica. *Nature* 399: 429-436.
- Phalan B., M. Onial, A. Balmford y R. Green. 2011. Reconciling Food Production and Biodiversity Conservation: Land Sharing and Land Sparing Compared. *Science* 333: 1289-1291.
- Phillips R. 2010. Mobilizing science to break yield barriers. *Crop Sci.* 50: S99-S108.
- Pietrobon M. 2012. Densidad de plantas en el cultivo de maíz y su efecto sobre la eficiencia de uso de nitrógeno. Tesis MSc. Facultad de Ciencias Agrarias UNMP.
- Piketty T. 2015. La crisis del capital en el siglo XXI. Siglo XXI Ediciones.
- Pittelkow C., B. Linquist, M. Lundy, X. Liang, K. van Groenigen, J. Lee, N. van Gestel, J. Six, R. Venterea y C. van Kessel. 2015. When does no-till yield more? A global meta-analysis. *Field Crops Res.* 183:156–168.
- Poggio S. 2015. Los desafíos de aumentar la productividad agrícola y también conservar la biodiversidad en los paisajes rurales. *Horizonte A* 74: 6-12.
- Pontaroli A. 2012. How can we foster crop improvement? *Journal of Basic and Applied Genetics* 23, 4-6. Available online at <http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci>
- Portmann F., S. Siebert y P. Döll. 2010. MIRCA 2000. Global Biogeochemical Cycles, Wiley Online Library Global monthly irrigated and rainfed crop areas around the year 2000: A new high-resolution data set for agricultural and hydrological.
- Postel S. 1998. Water for Food Production: Will There Be Enough in 2025? *BioScience* 48: 629-637.
- Postgate J. 1998. Nitrogen Fixation, 3rd Edition. Cambridge University Press, Cambridge UK.
- Potts R. 1998. Variability selection in hominid evolution. *Evolutionary Anthropology* 7: 81–96.
- Powell B. 2009. Writing: Theory and History of the Technology of Civilization. Blackwell Pub. Oxford. 276pp.
- Raimondi P., C. Creus, S. Feingold y E. Camadro. 2002. Las plantas transgénicas. ¿Constituyen un riesgo para el ambiente? *Nexos* 15: 15-20.
- Ramankutty N., J. Foley, J. Norman y K. McSweeney. 2002. The global distribution of cultivable lands: current patterns and sensitivity to possible climate change. *Global Ecology and Biogeography* 11: 377–392.
- Ramankutty N., T. Hertel y H. Lee. 2004. Global land use and land cover data for Integrated Assessment Modeling. <http://www.researchgate.net/publication/200033422>.
- Ramankutty N., A. Evan, C. Monfreda y J. Foley. 2008. Farming the planet: 1. Geographic distribution of global agricultural lands in the year 2000. *Global Biogeochem. Cycles* 22, GB1003. doi: 10.1029/2007GB002952
- Raskin P., T. Banuri, G. Gallopin, P. Gutman, A. Hammond, R. Kates y R. Swart. 2002. Great Transition. The Promise and Lure of the Times Ahead. A report of the Global Scenario Group. Stockholm Environment Institute – Boston.
- Rasmuson M. y R. Zetterström. 1992. World population, environment and energy demands. *Ambio* 21: 70-74.
- Ray D., N. Mueller, P. West y J. Foley. 2013. Yield Trends Are Insufficient to Double Global Crop Production by 2050. *PlosOne* 8(6): e66428. doi:10.1371/journal.pone.0066428

- Reeves T., G. Thomas y G. Ramsay. 2016. Save and grow in practice: maize, rice, wheat. A guide to sustainable cereal production. FAO, Rome. 111 p.
- REN 21. 2014. Renewables 2014. Global status report. Renewable energy policy network for the 21st century. [www.ren21.net](http://www.ren21.net).
- Robles M., A. Cerrudo, J. Di Matteo, P. Barbieri, R. Rizzalli y F. Andrade. 2011. Nitrogen use efficiency of maize hybrids released in different decades. ASA Congress. San Antonio, Texas, USA. 2011.
- Rockström J., W. Steffen, K. Noone, Å. Persson, F. Stuart Chapin, E. Lambin, T. Lenton, M. Scheffer, C. Folke, H. Schellnhuber, B. Nykvist, C. de Wit, T. Hughes, S. van der Leeuw, H. Rodhe, S. Sörlin, P. Snyder, R. Costanza, U. Svedin, M. Falkenmark, L. Karlberg, R. Corell, V. Fabry, J. Hansen, B. Walker, D. Liverman, K. Richardson, P. Crutzen y J. Foley. 2009a. A safe operating space for humanity. *Nature* 461: 472-475.
- Rockström J., M. Falkenmark, L. Karlberg, H. Hoff, S Rost y D. Gerten. 2009b. Future water availability for global food production: The potential of green water for increasing resilience to global change. *Water resources research* 45. doi: 10.1029/2007WR006767.
- Rosegrant M., J. Huang, A. Sinha, H. Ahammad, C. Ringler, T. Zhu, T.B. Sulser, S Msangi y M. Batka. 2008. Exploring Alternative Futures for Agricultural Knowledge, Science and Technology (AKST). ACIAR Project. Report ADP/2004/045. IFPRI. Washington D.C.
- Rosegrant M., J. Koo, N. Cenacchi, C. Ringler, R. Robertson, M. Fisher, C. Cox, K. Garrett, N. Perez y P. Sabbagh. 2014. Food security in a world of natural resource scarcity. The role of agricultural technologies. International Food Policy Research Institute. Washington, DC.
- Rost S., D. Gerten, H. Hoff, W. Lucht, M. Falkenmark y J. Rockstrom. 2009. Global potential to increase cropproduction through water management inrainfed agriculture. *Environ. Res. Lett.* 4 044002 (9pp) doi:10.1088/1748-9326/4/4/044002
- Rousseau J. 1762. *Émile ou De l'éducation*.chez Jean Néaulme Libraire. Amsterdam.
- Roxburgh C. y D. Rodriguez. 2016. Ex-ante analysis of opportunities for the sustainable intensification of maize production in Mozambique. *Agricultural Systems* 142: 9-22.
- Rubin E. 2008. Genomics of cellulosic biofuels. *Nature* 454: 841-845.
- Russell B. 1912. *The problems of philosophy*.Home University library.
- Russell W. 1986. Contribution of breeding to maize improvement in the United States, 1920s-1980s. *Iowa State Journal of Research* 61: 5-34.
- Sadras V. 2002. Plagas y cultivos. Una perspectiva fitocéntrica. Capítulo 12, En: Andrade F. y V. Sadras (Eds.). *Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja*. Unidad Integrada INTA Balcarce FCA UNMP. 450pp.
- Sadras V., D. Calderini y D. Connor. 2009. Sustainable agriculture and crop physiology. Capítulo 1 en *Crop Physiology: Applications for Genetic Improvement and Agronomy*. Editors: Victor Sadras y Daniel Calderini. Macmillian Publishing Solutions.
- Sadras V. y R. Denison. 2016. Neither crop genetics nor crop management can be optimised. *Field Crops Res.* 189:75-83.
- Saini R. 2014. Pest and pesticide management. Challenges and future prospects. P 1-11. En *Novel approaches in pest and pesticide management in agroecosystem*. Saini K, Yadav G. y Kumari B eds. CCS Haryana Agricultural University. Hisar. India.
- Sainz Rozas H., H. Echeverria, F. Andrade y G.A. Studdert. 1997. Efecto del inhibidor de la ureasa y momento de fertilización sobre la absorción de nitrógeno y rendimiento del cultivo de maíz bajo siembra directa..*Rev. Fac. Agron. La Plata.* 102: 129-136.
- Sakaiya T. 1994. *Historia del futuro. La sociedad del conocimiento*. Editorial Andrés Bello. Santiago de Chile. 355pp.
- Sahrawat K. y A. Kassam. 2013. *Conservation agriculture: Global prospects and challenges*. CABI, Wallingford Oxfordshire OX10 8DE, UK.
- Sarlangue T., F. Andrade, P. Calviño y L. Purcell. 2007. Why do maize hybrids respond differently to variations in plant density? *Agron. J.* 99: 984-991.

- Satorre E. 2004. Marco conceptual de la sostenibilidad. Seminario: Sustentabilidad de la producción agrícola. Bs As. JICA-INTA.
- Satorre E. 2005. Cambios tecnológicos en la agricultura actual. *Ciencia Hoy*, 15, 24–31.
- Satorre E. 2015. Los sistemas de producción agrícola y el problema de malezas. Oportunidades y limitaciones para su manejo integrado. Actas XXII Congreso Latinoamericano de Malezas. p. 20-22. Malezas 2015. 9 y 10 de septiembre. ALAM, ASACIM. Buenos Aires, Argentina.
- Satorre E., B. Kruk y E. de la Fuente. 2016. Bases y herramientas para el manejo de malezas. Editorial Facultad de Agronomía. UBA. Buenos Aires. 285pp.
- Sbarbati Nudelman N. 2011. Uso Sustentable de Agroquímicos. Debates a nivel nacional e internacional. *Anales de la Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria*. Tomo LXV: 471-482.
- Schopenhauer A. 1851. *Parerga y paralipómena*. Berlín, A.W. Hayn. *Parerga y paralipómena*. Madrid, Trotta, 2006. 510pp.
- Schroeder J., E. Delhaize, W. Frommer, M. Guerinot, M. Harrison, L. Herrera-Estrella, T. Horie, L. Kochian, R. Munns, N. Nishizawa, Y. Tsay y D. Sanders. 2013. Using membrane transporters to improve crops for sustainable food production. *Nature* 497: 60–66.
- Schwarzenbach R., T. Egli, T. Hofstetter, U. von Gunten y B. Wehrli. 2010. Global Water Pollution and Human Health. *Annual Review of Environment and Resources* 35: 109-136.
- Science. 2011. Special Section. Population. 9 billion? *Science* 333: 540-543.
- Sekhom B. 2014. Nanotechnology in agri-food production: an overview. *Nanotechnol Sci Appl*. 7: 31–53.
- Sen A. 1981. *Poverty and Famines: An Essay on Entitlement and Deprivation*. Clarendon Press. Oxford. 257 pp.
- Sharma H., K. Sharma y J. Crouch. 2004. Genetic transformation of crops for insect resistance: Potential and limitations. *Crit. Rev. Plant Sci*. 23, 47-72.
- Sharpley A., H. Jarvie, A. Buda, L. May, B. Spears y P. Kleinman. 2013. Phosphorus legacy: overcoming the effects of past management practices to mitigate future water quality impairment. *Journal of Environmental Quality* 42: 1308-1326.
- Shennan C. 2008. Biotic interactions, ecological knowledge and agriculture. *Phil. Trans. R. Soc. B* 363: 717–739.
- Shiklomanov I. 2000. Appraisal and Assessment of World Water Resources. *Water International* 25: 11-32.
- Shreeve J. 2006a. The greatest Journey. *National Geographic* 209: 60-69.
- Shreeve J. 2006b. Reading the secrets of the blood. *National Geographic* 209: 70-73.
- Simmons A. 2007. *The neolithic revolution in the Near East*. Univ. of Arizona Press. Tucson, USA. 340p.
- Sims J., R. Simard y B. Joern. 1998. Phosphorus loss in agricultural drainage: Historical perspective and current research. *Journal of Environmental Quality* 27: 277-293.
- Sinclair T. y L. Purcell. 2005. Is a physiological perspective relevant in a 'genocentric' age? *J. Exp. Bot*. 56, 2777–2782.
- Smith A. 1776. *La Riqueza de las Naciones*.
- Smith P. 2013. Delivering Food Security without Increasing Pressure on Land. *Global Food Security* 2: 18–23.
- Spencer H. 1864. *The principles of biology*. New York: Appleton, 1891, [1864].
- Stafford J. 2005. *Precision agriculture*. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, The Netherlands. 1005 pp.
- Stewart W., D. Dobb, A. Johnston y T. Smyth. 2005. *Agron. J.* 97: 1-6.
- Striedter G. 2004. *Principles of brain evolution*. Sinauer Associates. Inc. 436pp.
- Stringer C. y P. Andrews. 2005. *The Complete World of Human Evolution*. New York: Thames & Hudson.

- Studdert G. y H. Echeverría. 2002. Soja, girasol y maíz en los sistemas de cultivos en el sudeste bonaerense. Capítulo 14 en F. Andrade y V. Sadras (eds) Bases para el manejo del maíz el girasol y la soja. 2da edición. INTA, FCA UNMP. 450pp..
- Sun S., Q. Liu y R. Chan. 2006. Genetic engineering of crops for improved nutritional quality. In: Xu, Z., Li, J., Xue, Y., Yang, W. (Eds.), *Biotechnology and Sustainable Agriculture 2006 and Beyond*. Proceedings of the 11th IAPTC&B Congress, Beijing, China, pp. 283-287.
- Sutton M., A. Bleeker, C. Howard, M. Bekunda, B. Grizzetti, W. de Vries, H. van Grinsven, Y. Abrol, T. Adhya, G. Billen, E. Davidson, A. Datta, R. Diaz, J. Erisman, X. Liu, O. Oenema, C. Palm, N. Raghuram, S. Reis, R. Scholz, T. Sims, H. Westhoek y F. Zhang. 2013. Our nutrient world. The challenge to produce more food and energy with less pollution. *Global Overview of Nutrient Management*. Centre for Ecology and Hydrology, Edinburgh on behalf of the Global Partnership on Nutrient Management and the International Nitrogen Initiative. GPNM, UNEP, INI. [www.unep.org](http://www.unep.org).
- Sweeney D. 1995. *Agriculture in the Middle Ages: Technology, Practice, and Representation*. University of Pennsylvania Press. Philadelphia. 374 pp.
- Tardieu F. 2012. Any trait or trait-related allele can confer drought tolerance: just design the right drought scenario. *J. Exp. Bot.* 63: 25-31.
- Tester M. y P. Langridge. 2010. Breeding Technologies to increase crop production in a changing World. *Science* 327: 818-822.
- Textile world. 2015. [www.textileworld.com/textile-world](http://www.textileworld.com/textile-world).
- Thurow L. 1996. *The future of capitalism*. William Morrow and Company Inc. 380pp.
- Tilman D. y M. Clark. 2014. Global diets link environmental sustainability and human health. *Nature* 515: 518-522.
- Tilman D., K. Cassman, P. Matson, R. Naylor y S. Polasky. 2002. Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature* 418: 671-677.
- Tilman D., R. Socolow, J. Foley, J. Hill, E. Larson, L. Lynd, S. Pacala, J. Reilly, T. Searchinger, C. Somerville y R. Williams. 2009. Beneficial Biofuels. *The Food, Energy, and Environment Trilemma*. *Science* 325: 270-271.
- Tilman D., C. Balzer, J. Hill y B. Befort. 2011. Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. *PNAS* 108: 20260–20264.
- Tittonell P. 2013. *Farming systems ecology. Towards ecological intensification of world agricultura*. Wageningen University. 40p.
- Toenniessen G., J. O'Toole y J. De Vries. 2003. Advances in plant biotechnology and its adoption in developing countries. *Current Opinion in Plant Biology* 6: 191-198.
- Tollenaar M. y E. Lee. 2002. Yield potential, yield stability and stress tolerance in maize. *Field Crops Res.* 75: 161-169.
- Tomasello M., M. Carpenter, J. Call, T. Behne y H. Moll. 2005. Understanding and sharing intentions: the origin of cultural cognition. *Behavioral and Brain Sciences* 28: 675-691.
- Tomasello M. 2010. *Por que cooperamos?* Katz Editores. Buenos Aires.
- Townsend A. y R. Howarth. 2010. Human acceleration of the global nitrogen cycle. *Scientific American* 302: 32-39.
- Trewavas A. 2002. Malthus foiled again and again. *Nature* 418: 668-670.
- Uhart S. y F. Andrade. 1991. Source-sink relationship in maize grown in a cool temperate area. *Agronomie* 11: 863-875.
- Uhart S. y F. Andrade. 1995. Nitrogen deficiency and maize: I. Effects on crop growth, development, dry matter partitioning and kernel set. *Crop Sci.* 35: 1376-1383.
- UN. 2008. United Nations Population division. *World population prospects. The 2008 revision*. <http://www.un.org/esa/population/>.
- UN. 2012. United Nations Population division. *World population prospects. The 2012 revision*. <http://www.un.org/esa/population/>.
- UN. 2015. United Nations Population division. *World population prospects. The 2015 revision*. <http://www.un.org/esa/population/>.

- UNCCC. 2015. United Nations Climate Change Conference. FCCC/CP/2015/L.9. Conference of the Parties. Twenty-first session. Paris, 30 November to 11 December 2015.
- UNEP. 2013. United Nations Environment Programme. Global Chemicals Outlook. Towards Sound Management of Chemicals. UNEP. 245pp.
- UNEP. 2014. Assessing global land use: balancing consumption with sustainable supply. A report of the Working Group on Land and Soils of the International Resource Panel. S. Bringezu, H. Schütz, W. Pengue, M. O'Brien, F. Garcia, R. Sims, R. Howarth, L. Kauppi, M. Swilling, y J. Herrick. United Nations Environmental Programme. UNEP.
- Uphoff N. 2002. The Agricultural Development Challenges we Face. In: N. Uphoff. (ed.). Agroecological Innovations: Increasing Food Production with Participatory Development. London, Earthscan.
- USCB. 2010. U.S. Census Bureau Historical Estimates of World Population. <http://www.census.gov/ipc/www/worldhis.html>
- Utsumi S., T. Katsube, T. Ishige y F. Takaiwa. 1997. Molecular design of soybean glycinin with enhanced food qualities and development of crops producing such glycinins. *Advances in Experimental Medicine and Biology* 415: 1-15.
- Van Asselt M., J. Rotmans y D. Rothman. 2005. Scenario innovation. Taylor and Francis. London. 203 pp.
- Vanden Bygaart A. 2016. The myth that no-till can mitigate global climate change. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 216: 98–99.
- Viglizzo E. 2001. La trampa de Malthus. Agricultura, competitividad y medio ambiente en el siglo XXI. Eudeba. Universidad de Buenos Aires. 190 pp.
- Viglizzo E., F. Frank, J. Bernardos, D. Buschiazzi y S. Cabo. 2006. A rapid method for assessing the environmental performance of commercial farms in the Pampas of Argentina. *Environmental Monitoring and Assessment* 117: 109-134.
- Viglizzo E., F. Frank, L. Carreño, E. Jobbagy, H. Pereyra, J. Clatt, D. Pince y M. Ricard. 2011. Ecological and environmental footprint of 50 years of agricultural expansion in Argentina. *Global Change Biology* 17: 959-973.
- Violini, S. 2009. Evaluación del riesgo de mortandad de aves por el uso de pesticidas en el noreste de la provincia de La Pampa. Tesina, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de La Pampa.
- Wackernagel M. y W. Rees. 1996. Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth. Gabriola Island, BC: New Society Publishers.
- Wallace J. y P. Gregory. 2002. Water resources and their use in food production systems. *Aquatic Sci.* 64: 1–13.
- Watson J. y F. Crick. 1953. Molecular Structure of Nucleic Acids: A Structure for Deoxyribose Nucleic Acid. *Nature* 171: 737-738.
- Wells S. 2002. The journey of men. A genetic odyssey. Penguin books limited, London. 238pp.
- Wells S. 2007. Nuestros antepasados. Genographic project. National Geographic Society. RBA libros, Barcelona. 287pp.
- WEO. 2009. World Energy Outlook. [www.worldenergyoutlook.org/docs/weo2009/](http://www.worldenergyoutlook.org/docs/weo2009/)
- West P., H. Gibbs, C. Monfreda, J. Wagner, C. Barford, S. Carpenter y J. Foley. 2010. Trading carbón for food: global comparison of carbón stocks vs. crop yields on agricultural land. *Proc. Natl. Acad. Sci USA* 107: 19645-19648.
- Wheeler T. y J. von Braun. 2013. Climate Change Impacts on Global Food Security. *Science* 341: 508-513.
- WHO. 2013. World Health Organization. Obesity and overweight. <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs311/en/>
- Wolansky M. 2011. Plaguicidas y salud humana. *Ciencia Hoy* 21: 23-29.
- Wolf M. 2004. Why Globalization Works. New Haven: Yale University Press. 328p.

- Wollenweber B., J. Porter y T. Lubberstedt. 2005. Need for multidisciplinary research towards a second green revolution. *Current Opinion in Plant Biology* 8: 337-341.
- Wolpoff M. y R. Caspari. 1996. *Race and Human Evolution: A Fatal Attraction*. New York. Simon and Schuster.
- Wood B. 1992. Origin and evolution of the genus Homo. *Nature* 355: 783-790.
- World Bank. 2009. *Global Economic Prospects: Commodities at the Crossroads*. World Bank, Washington, D.C. <http://siteresources.worldbank.org/INTGEP2009/Resources/WRAP>.
- WRAP. 2008. *Waste and Resources Action Programme. The food we waste. Food Waste Report*. L. Ventour: Exodus market research. Wastes Work.
- WRI. 2007. World Resources Institute. *Global biofuels demand. March 2007 monthly update*. <http://earthtrends.wri.org>.
- Wright A. y F. Hons. 2005. Soil carbon and nitrogen storage in aggregates from different tillage and crop regimes. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 69: 141-147.
- Wright R. 2001. *Non zero. The logic of human destiny*. Vintage Books. 448 pp.
- WWDR. 2003. *World Water Development Report*. United Nations.
- You L., C. Ringler, U. Wood-Sichra, R. Robertson, S. Wood, T. Zhu, G. Nelson, Z. Guo y Y. Sun. 2011. What is the irrigation potential for Africa? A combined biophysical and socioeconomic approach. *Food Policy* 36: 770–782.
- Zaccagnini, M.E. 2006 ¿Por qué monitoreo ecotoxicológico de diversidad de aves en sistemas productivos? En: pag. 69-89, Larrea, Ed. INTA Expone 2004, Conferencias presentadas en el Auditorio Ing. Agr. Guillermo Covas. Volumen III. Ediciones INTA.



International Plant Nutrition Institute  
 Programa Latinoamerica Cono Sur  
<http://lacs.ipni.net>



1ra Edición Julio 2016

Impreso en Grancharoff Impresores  
Tapalqué 5868, Buenos Aires  
Impreso en Argentina



IPNI Latinoamérica-Cono Sur  
Av. Santa Fe 910 – (B1641ABO) Acassuso, Buenos Aires, Argentina  
Tel/Fax (54) 011-4798-9939 – (54) 011-4798-9988  
<http://lacs.ipni.net/>

ISBN 978-987-46277-0-4

