

# La tecnología y la producción agrícola El pasado y los actuales desafíos

Fernando H. Andrade

INTA Balcarce - Facultad de Ciencias Agrarias UNMP - CONICET.



La tecnología y la producción agrícola  
El pasado y los actuales desafíos

Fernando H. Andrade  
INTA Balcarce - Facultad de Ciencias Agrarias UNMP - CONICET.  
Septiembre de 2011

Ediciones INTA. ISBN 978-987-679-055-0  
EEA Balcarce, Centro Regional Buenos Aires Sur

Este libro se terminó de imprimir en Imprenta El Vikingo. Balcarce,  
Provincia de Buenos Aires, Argentina.

2da Edición. 500 ejemplares

## Del Autor

Fernando H. Andrade es Investigador de INTA, Investigador principal de CONICET, Profesor Titular de Ecofisiología de Cultivos de la FCA UNMP y Coordinador Nacional del Área Estratégica Ecofisiología Vegetal 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) y Antonio Pires de la Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria (2010).

## Prólogo del autor

Este trabajo describe el pasado y los escenarios futuros en relación con la tecnología y la producción agrícola, enfatizando logros del ser humano, particularmente, aquellos relacionados con la producción de alimentos.

Dichos logros se debieron a nuestra asombrosa capacidad creativa e innovadora, cualidad inherente a nuestra especie que jugó un rol fundamental en la evolución de la humanidad y es insoslayable en el análisis de los desafíos que se nos presentan.

Una mirada sobre nuestro 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 puede contribuir a dimensionar la magnitud de la tarea a encarar y a encontrar soluciones. La capacidad creativa e innovadora deberá 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 sensibilizarlo en relación con la necesidad de una producción sustentable.

Finalmente, deseo dedicar este humilde pero sentido trabajo a mi padre, que formuló las primeras preguntas, a mis maestros y profesores, que motivaron inquietudes, y a mis alumnos, recurrentes fuentes de entusiasmo.

FHA

Septiembre de 2011

# La tecnología y la producción agrícola. El pasado y los actuales desafíos

## Índice

### 1. Introducción

### 2. El pasado

#### 2.1. El principio

#### 2.2. El hombre moderno, las migraciones

#### 2.3. El origen de la agricultura

#### 2.4. La edad media

#### 2.5. El Renacimiento

#### 2.6. La Revolución Agrícola

#### 2.7. La Revolución Verde

### 3. Los desafíos del presente

#### 3.1. Las futuras demandas de productos agrícolas

#### 3.2. Como satisfacer dichas demandas

#### 3.3. Producir preservando el ambiente

#### 3.4. El principal problema

### 4. Escenarios posibles

### 5. Conclusiones

### 6. Referencias

## 1. Introducción

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

**El principal objetivo de este trabajo es enfatizar logros de nuestra especie en materia de creatividad e innovación, especialmente aquellos relacionados con la producción agrícola necesaria para cubrir la demanda de alimentos.** 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 y las primeras civilizaciones, el Renacimiento con la consiguiente instalación del método científico, las revoluciones tecnológicas, la actual globalización con los desafíos que enfrentamos, y los posibles escenarios futuros.

En las diferentes etapas analizadas se informa sobre i) el desarrollo de conocimientos remarcando las distintas innovaciones que experimentamos en materia de tecnología agrícola, ii) la evolución de las comunicaciones entre individuos como factores que promueven y potencian el desarrollo tecnológico, iii) la evolución de la población humana como indicador de la demanda de alimentos y iv) la relación entre el ser humano y el ambiente. En lo referente a las innovaciones en tecnología agrícola se detallan aspectos de la Revolución Neolítica, la Revolución Agrícola e Industrial, la Revolución Verde y la actual Revolución Biotecnológica. En el tema de comunicaciones entre individuos se mencionan los progresos relacionados con el lenguaje, la escritura, la imprenta, las telecomunicaciones y la Internet. En relación con la evolución de la población humana se precisan las distintas fases del crecimiento poblacional que incluyen una prolongada primera etapa con muy bajas tasas de crecimiento, seguida por un período de crecimiento exponencial resultante de fuertes caídas en la tasa de mortalidad y una etapa final de desaceleración y estabilización de la población producto de una marcada reducción en la tasa de natalidad. En cuanto a la relación entre el ser humano y el ambiente, se describen los efectos del clima cambiante sobre la evolución de las poblaciones del género *Homo*, y los efectos de la producción agrícola sobre los ecosistemas. Se mencionan también las metas actuales en cuanto a producción de alimentos y cuidado del ambiente y las tecnologías disponibles para alcanzarlas.

Finalmente, se discute el rol de la pobreza en la inseguridad alimentaria y 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 en contraposición con paradigmas de individualismo y supervivencia del más apto.

## 2. El pasado

### 2.1. El principio

El género *Homo* existe desde hace alrededor de 2,5 millones de años. La evolución del género durante casi dos millones de años a lo largo del paleolítico inferior se simplifica como un modelo en el 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).

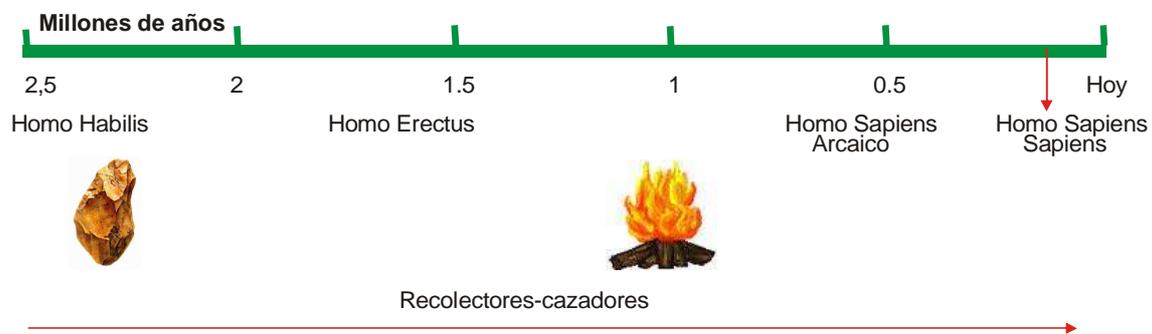


Figura 1: Línea de tiempo desde hace 2,5 millones de años indicando la evolución del género *Homo* y los principales hitos tecnológicos.

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 periodos 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).

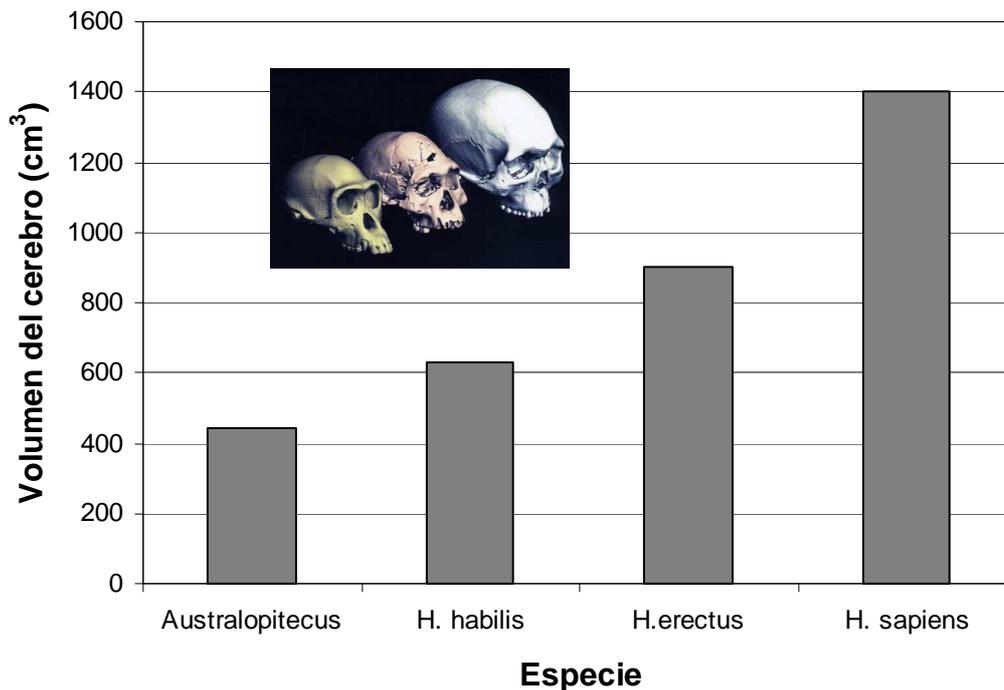


Figura 2: Evolución del volumen del cerebro desde el *Australopithecus* al *Homo sapiens*. Elaborado en base a datos de Gore (1997) y Striedter (2004).

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 de su 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 Africa por distintas regiones del mundo, tal como lo indican los restos fósiles encontrados en Java y en Pekín. El *Homo sapiens* arcaico evolucionó en Africa 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.**

## 2.2. El hombre moderno, las migraciones

Hacia fines del paleolítico inferior, hace unos 150000 años, surge en Africa el hombre moderno, el *Homo sapiens sapiens* (Klein y Edgar, 2002; Jobling y Tyler-Smith, 2003). A juzgar por el volumen de su cerebro, y 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. 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.

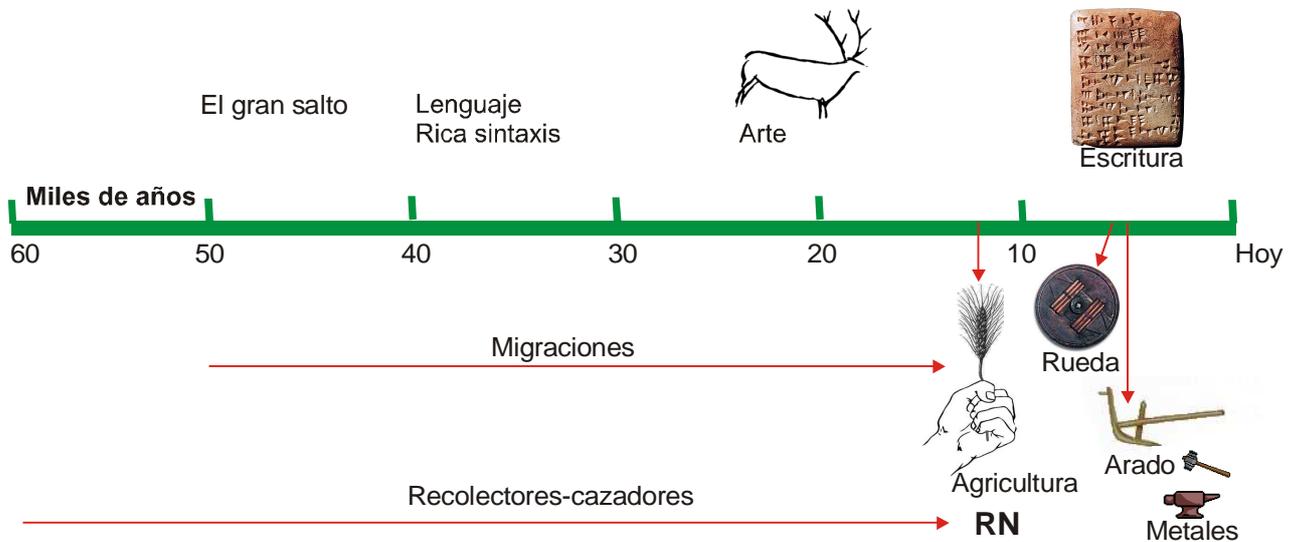


Figura 3: Línea de tiempo desde hace 60000 años indicando los principales momentos del desarrollo de los humanos modernos relacionados con el lenguaje, el arte, las escrituras, las migraciones humanas y el advenimiento de la agricultura. RN: Revolución neolítica.

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 un marcador molecular denominado 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 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 cruzó el Estrecho de Bering, 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 para luego secuenciar segmentos del cromosoma Y que se

mantuvieron sin recombinarse generación tras generación. La red de mensajes de esta porción del código genético permitió 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.**

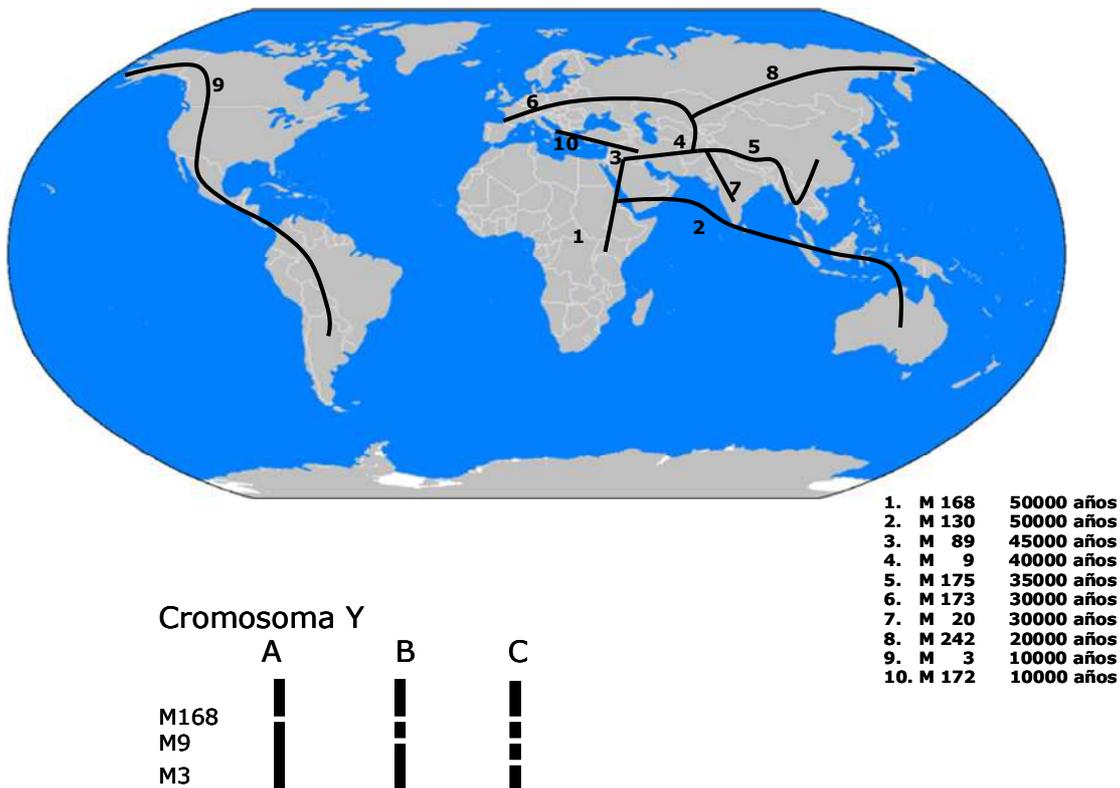


Figura 4: Mapa espacial y temporal de las migraciones humanas en función de mutaciones en el cromosoma Y. Elaborado en base a datos de Wells (2002).

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).

La población humana se incrementó 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 dependíamos de la caza, la pesca y la recolección de productos vegetales, por lo que nuestra alimentación era muy variada y los impactos sobre el ambiente eran mínimos. Estábamos 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. **Estas 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 a la innovación tecnológica.**

### 2.3. El origen de la agricultura

Al final de la última glaciación, alrededor de 15000 años atrás, el clima se tornó más benigno por un incremento 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 inverno-primaverales entre los que se encontraban el trigo, la cebada y el centeno, que fructificaban y maduraban hacia fines de la primavera. Los humanos comenzamos 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, se comenzaron a sembrar, a cuidar e incluso a irrigar los primeros cultivos. 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, favorecidos por las migraciones de 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 se incrementó desde cerca de 10 millones en el año 10000 AC a alrededor de 200 millones en el año 0 (Dorn, 1962) (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).

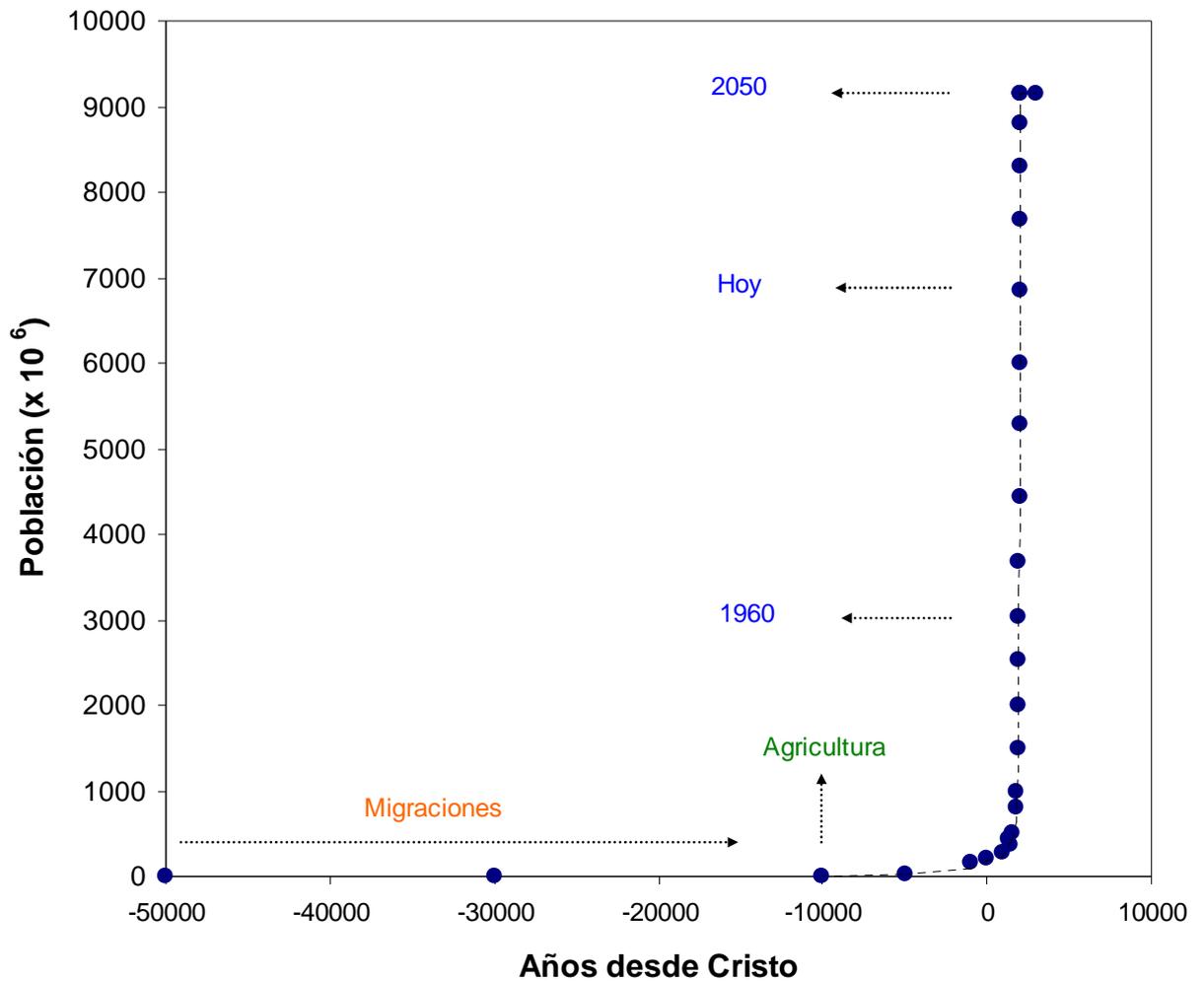


Figura 5: Evolución de la población humana desde 50000 años AC hasta nuestros días y proyección futura según estimaciones de UN (2008; variante media).

## 2.4. 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, la creatividad y 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 0.5t/ha, las tierras se barbechaban uno de cada 3 años, no se utilizaban fertilizantes y los cultivos estaban expuestos a severas mermas por enfermedades y plagas.

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 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, hacia 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.**

## 2.5. 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). **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 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). El incremento en la demanda de alimentos era acompañado 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).

Van Helmont en 1640 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. Priestly 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 la planta debía estar iluminada 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 de 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.**

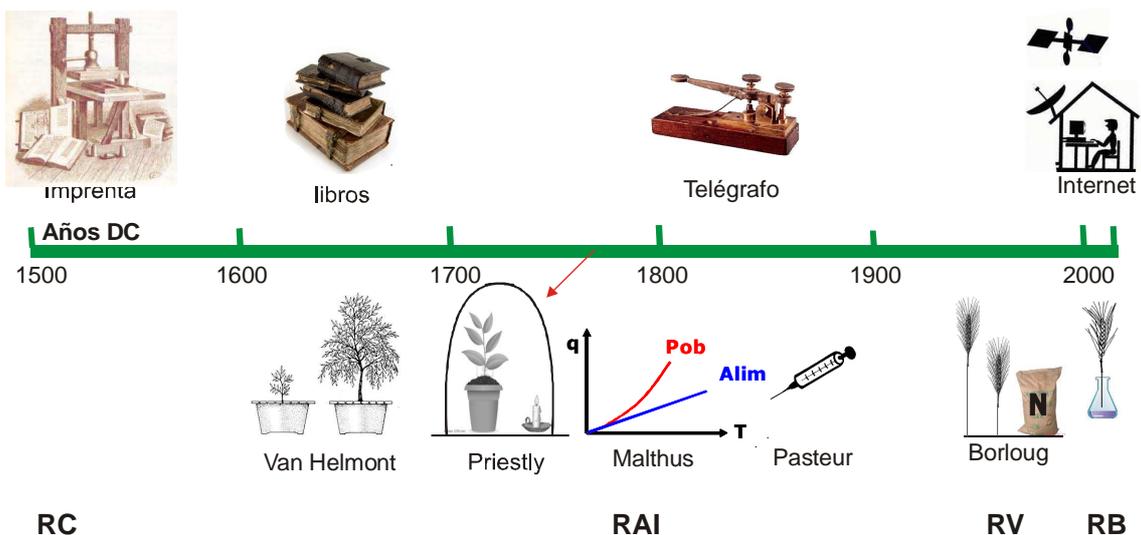


Figura 6: Línea de tiempo desde el Renacimiento (1500DC) hasta nuestros días indicando hitos científico-tecnológicos ligados a la agricultura y a las comunicaciones.

RC: Renacimiento; RAI: Revolución agrícola e industrial; RV: Revolución verde; RB: Revolución biotecnológica.

## 2.6. 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). 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 era inferior a los mil millones, 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 incremento en 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 el incremento 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 permitió 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.

**El importante incremento de los conocimientos científicos y de las tecnologías derivadas de los mismos permitió aumentar la producción, lo que significó un incremento en el 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.

## 2.7. 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 1,1% anual (Figura 7). En concordancia con estas proyecciones, la tasa de fecundidad mundial se redujo de 5 a 2,6 hijos por mujer en las últimas 5 décadas.

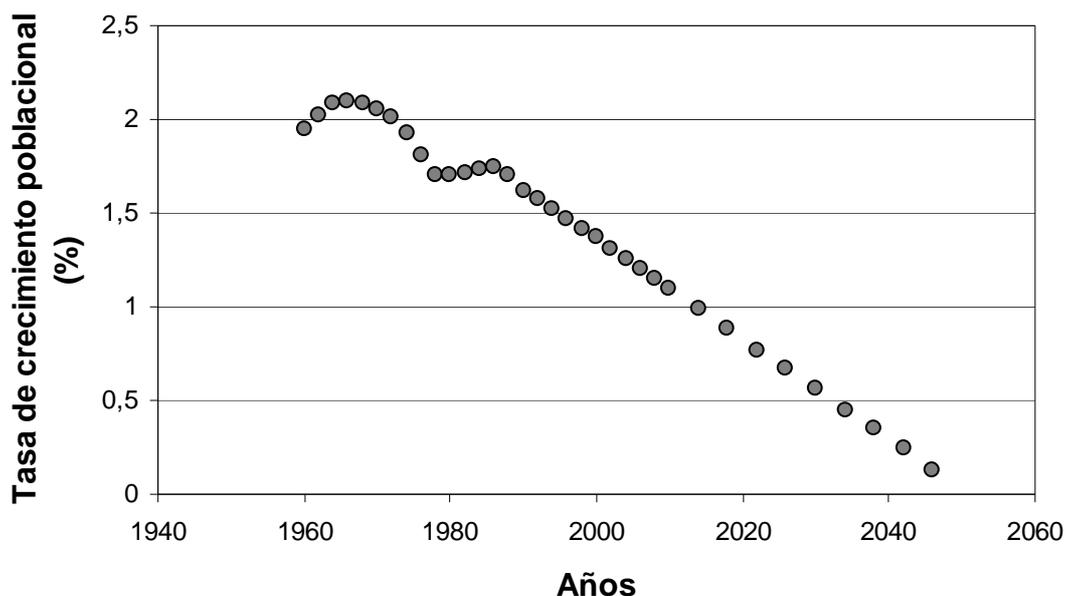


Figura 7: Evolución de la tasa mundial de crecimiento poblacional desde 1960 hasta nuestros días (UN, 2008) y proyección al 2050.

La superficie total cultivada en el mundo se mantuvo relativamente estable a partir de 1960. Sin embargo, la producción de los cultivos se incrementó marcadamente durante las últimas 4 décadas debido, principalmente, a un

aumento en los rendimientos por unidad de superficie como consecuencia del proceso denominado “Revolución Verde” (Borlaug, 2007).

**El proceso de la Revolución Verde consistió en la conjunción de innovaciones con una fuerte sinergia:** a) disponibilidad de fertilizante nitrogenado relativamente barato, b) mayor potencial de rendimiento de cultivares que además presentaban 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.

Los rendimientos promedio globales de los principales cereales aumentaron a razón de  $44 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  durante las últimas 5 décadas (FAO, 2011) (Figura 8). El aumento de la producción de alimentos durante la segunda mitad del siglo XX fue mayor aún que el crecimiento poblacional, generando un incremento promedio en la producción agrícola per cápita de más de 30% en 50 años (FAO, 2011) (Figura 9). Este incremento no fue parejo en todo el mundo 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).

**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, las deforestaciones, 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).

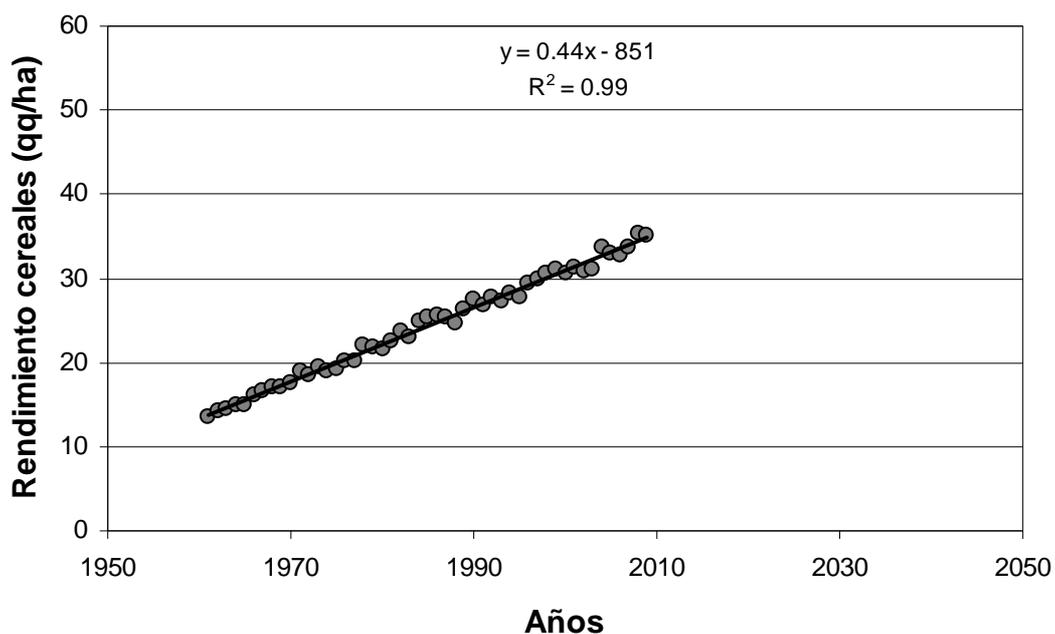


Figura 8: Rendimiento global de cereales en función de los años desde 1960 (FAO, 2011).

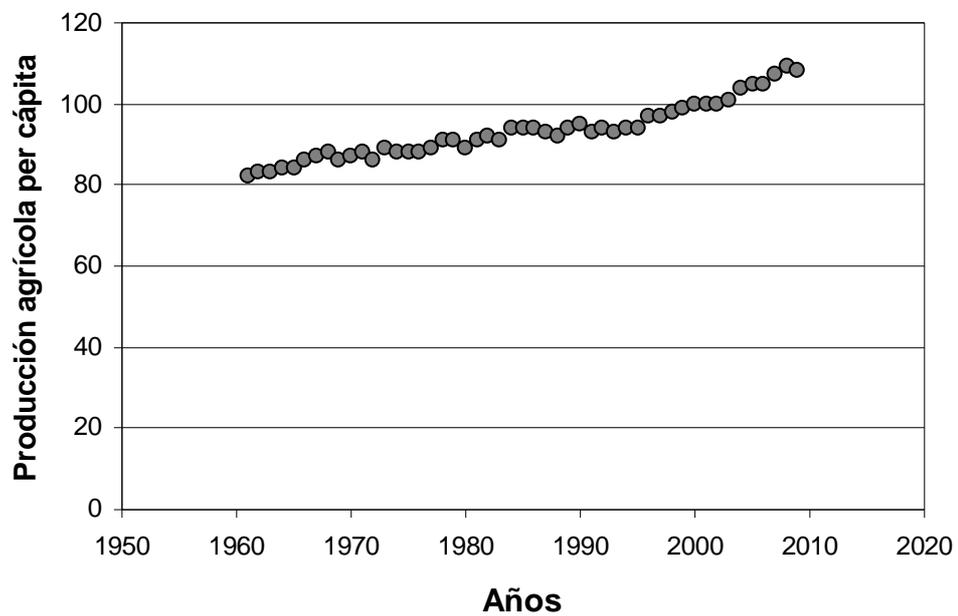


Figura 9: Índice mundial de producción agrícola per cápita en función de los años desde 1960. Base 100= año 2000 (FAO 2011).

### **3. Los desafíos del presente**

En la actualidad, 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, el agujero de ozono, 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 también se globalizan y florecen corporaciones transnacionales, sociedades civiles internacionalmente conectadas y relevantes actores globales. Estos hechos indican que estamos 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 la demanda de productos agrícolas y de energía, la degradación ambiental y la pobreza.

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

Las demandas de productos agrícolas continúan creciendo debido al aumento de la población, la mejora en la calidad de la dieta de muchos habitantes y los crecientes requerimientos de biocombustibles y biomateriales.

La tasa de crecimiento poblacional continúa disminuyendo (UN, 2008) (Figura 7). Estos cambios resultan de la reducción de la fecundidad asociada con un incremento en el nivel de vida, la educación de la mujer y el acceso a la contracepción. Según recientes estimaciones, la población mundial actualmente ronda los 6900 millones de habitantes y tenderá a estabilizarse en alrededor de 9000 millones a mediados del siglo XXI (Figura 5; Figura 10), cuando las tasas de natalidad y mortalidad estén en valores bajos y cerca del equilibrio (UN, 2008). En concordancia con estas proyecciones, la tasa de fecundidad mundial se reducirá de 2,6 hijos por mujer a valores cercanos a 2 (valor de estabilización) para el año 2050. No obstante, estos valores difieren entre las distintas regiones del mundo. Varios países de Europa presentan muy bajas tasas de fecundidad, mientras que la mayor parte de las naciones africanas mantiene aún elevadas tasas. Paralelamente, se están produciendo importantes incrementos en expectativa de vida, inclusive en muchos países de Asia. Estos datos en su conjunto indican que la población se incrementará en algo más de 2000 millones de habitantes hacia el 2050 correspondiendo la totalidad de este incremento a las regiones menos desarrolladas (Figura 10; UN, 2008, variante media).

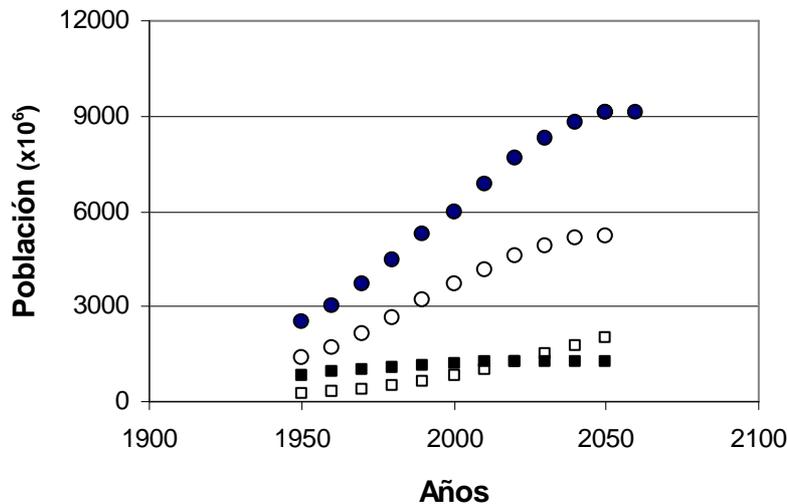


Figura 10: Evolución de la población humana desde 1950 hasta 2050 en el mundo (círculos llenos), y discriminada para África (cuadrados vacíos), Asia (círculos vacíos) y países más desarrollados (cuadrados llenos) (UN 2008; variante media).

Además, mejorará la calidad de la dieta alimenticia, especialmente en países del este y sur de Asia. Se esperan incrementos de más del 200% en el ingreso per cápita medio de los habitantes del mundo para las próximas 4 décadas (World Bank, 2009; LCAM, 2009). Este aumento en el poder adquisitivo de la población redundará en incrementos de 10% en la cantidad de calorías consumida diariamente por individuo (2790 a 3100 Kcal por habitante por día) y del 42% en el consumo medio anual de carne (38 a 54 kg por habitante por año) para el año 2050 (FAO, 2011; LCAM, 2009).

Por otro lado, la demanda mundial de energía crecerá de 13 a 46 terawatts año durante el siglo XXI (Kruse et al., 2005). El petróleo es la fuente de energía más demandada en la actualidad y su disponibilidad es limitada (WEO, 2009), lo que explica el importante incremento en la demanda de biocombustibles que estamos experimentando (WRI, 2007). En el ciclo 2007/08, se utilizaron 84 millones de toneladas de maíz para obtención de etanol y se espera que la demanda se incremente a 143 millones de toneladas en 10 años (Edgerton, 2009). La demanda de maíz para este fin aumentaría sólo hasta alrededor del año 2020, ya que a partir de esta fecha los biocombustibles en base a grano serían gradualmente desplazados por biocombustibles de segunda generación basados en celulosa.

Considerando estos factores conjuntamente, e incluyendo otros posibles destinos como biomateriales, se proyectan demandas mundiales de cereales de 3500 a 4000 millones de toneladas para el año 2050 según los escenarios considerados (Tweeten y Thompson, 2008; Rosegrant et al., 2008; Fischer et al., 2009, Tester y Langridge, 2010; Edgerton, 2009), o sea incrementos de 75 a 100 % sobre la producción del año 2000.

### 3.2. Como satisfacer dichas demandas

Satisfacer estas demandas requerirá mantener o incluso aumentar la actual tasa de incremento en la producción global de cereales de 31 millones de toneladas por año (Figura 11), aunque la mayor parte de estos incrementos se deberán producir en los países en vías de desarrollo (Fischer et al., 2009; Tester y Langridge, 2010). Estos aumentos se pueden dar por adiciones en la superficie cultivada, por una mayor cantidad de cultivos por año o por mayores rendimientos por unidad de superficie.

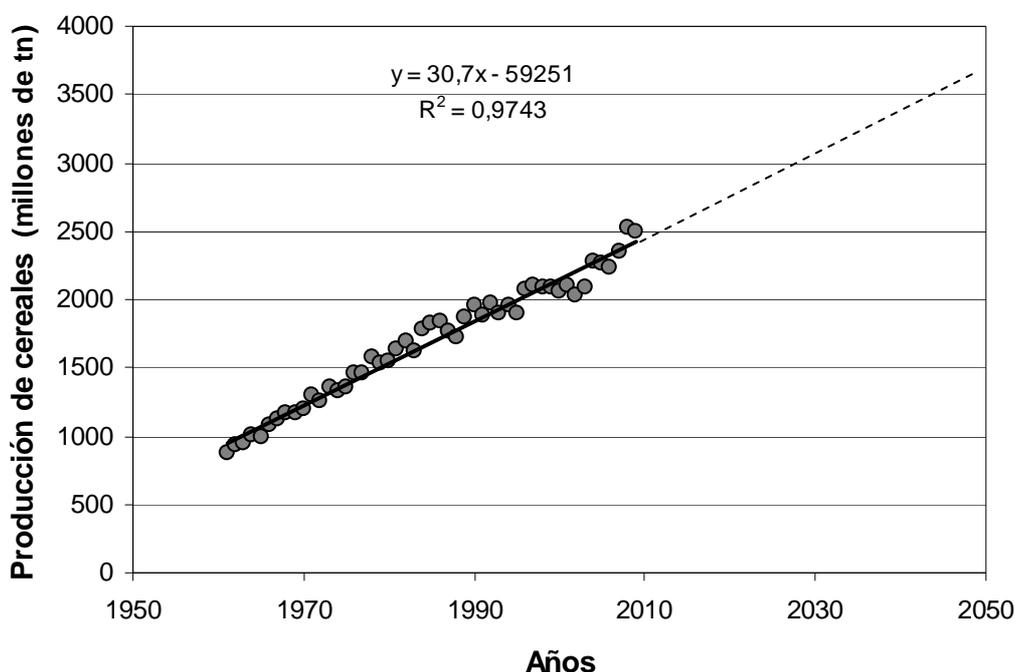


Figura 11: Evolución de la producción mundial de cereales de 1960 hasta 2010 (FAO, 2011) y proyección al 2050 según tendencia lineal.

La superficie cultivada del planeta es de alrededor de 15 millones de  $\text{km}^2$  mientras que la superficie potencialmente cultivable duplica ese valor (Norse et al., 1992). Según algunas estimaciones, se necesitará incrementar la superficie cultivada entre 5 y 8% para satisfacer sólo las demandas de alimentos para el 2050 (Bruinsma, 2009, Fischer, 2009). Considerando además las demandas de biocombustibles y biomateriales y la compensación por urbanización y degradación de tierras, los requerimientos adicionales de área cultivada hacia el 2050 son sustancialmente mayores (Bringezu et al., 2010). Sudamérica y Africa disponen de extensas superficies aún no explotadas, aunque en su mayoría corresponden a ambientes frágiles susceptibles a la degradación. La situación en estas regiones contrasta con la del continente Asiático en el cual la

mayor parte de la superficie con capacidad agrícola está actualmente bajo cultivo.

Las actuales preocupaciones y legislaciones sobre la expansión de la superficie cultivada hacia regiones más susceptibles (Bringezu et al., 2010) hacen que los principales esfuerzos para incrementar la producción deban enfocarse principalmente en los rendimientos por unidad de área. En este sentido, Bruinsma (2009) estima que los incrementos en los rendimientos por unidad de superficie aportarán cerca del 80% del aumento requerido en producción agrícola para el 2050.

Actualmente, los rendimientos promedio mundiales por unidad de superficie de maíz, trigo y arroz aumentan a razón de 82, 27 y 39 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, respectivamente (Fischer y Edmeades, 2010) aunque estos incrementos difieren marcadamente entre países (Figura 12). Estas tasas proyectadas a futuro resultan en rendimientos cercanos a los necesarios para satisfacer la demanda de maíz en las próximas décadas, pero no la de trigo. No obstante, estas estimaciones son de dudosa validez, ya que los rendimientos están fuertemente afectados por coyunturas políticas, relación de precios y costos, ambiente y, sobre todo, por la tecnología (Sadras et al., 2009). 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 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> en los últimos años) y de trigo en el Valle de Yaqui en México (49 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> en las últimas décadas) (Fischer y Edmeades, 2010).

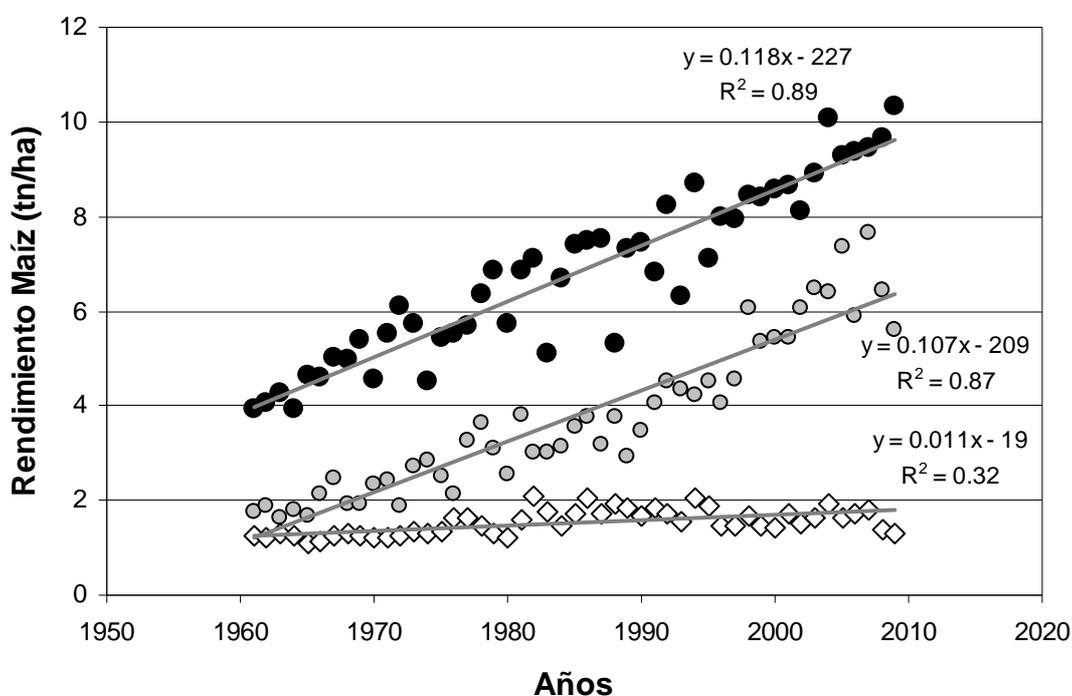


Figura 12: Rendimiento de maíz en función de los años desde 1960 para Estados Unidos (círculos negros) Argentina (círculos grises) y Kenia (rombos) (FAO 2011).

Los rendimientos de los cultivos pueden aumentar por incrementos en los rendimientos potenciales o por el cierre de la brecha entre los rendimientos reales y los potenciales (Huang et al., 2002). Los rendimientos potenciales de los cultivos pueden seguir creciendo (Fischer y Edmeades, 2010) tal como lo hicieron durante las últimas décadas, en las que se registraron aumentos de 0,7 a más de 1 qq ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> de maíz en EE.UU. y Argentina y de 0,3 a 0,5 qq ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> de trigo en distintos lugares del mundo (Andrade, 1998a). Por otro lado, las brechas entre los rendimientos potenciales y reales pueden reducirse debido al uso de fertilizantes y otros agroquímicos, al riego, la mecanización, la adaptación de los cultivos a los ambientes de producción, etc. Estas brechas, expresadas como porcentaje de los rendimientos reales, rondan el 50% en áreas más tecnificadas y pueden alcanzar valores superiores al 200% en regiones menos desarrolladas como África subsahariana (Fischer y Edmeades, 2010), región en la que aún no se produjo el proceso de la revolución verde (Figura 12).

Si los rendimientos de maíz de los 10 principales países productores del mundo con bajas productividades aumentaran hasta el nivel de la media global, se cubriría el 80% de la demanda de este grano durante los próximos 10 años (Edgerton, 2009). Resulta también alentador que recientemente se hayan obtenido cultivares de maíz y trigo que combinan alta potencialidad y alta estabilidad de rendimiento (Santa Eduvigés, 2010, Tester y Landgridge, 2010) y que existe amplio margen para reducir las pérdidas por adversidades bióticas en los cereales, que hoy rondan el 30% a nivel global (Oerke, 2006).

Finalmente, la intensificación en la cantidad de cultivos por año, práctica que aumenta la eficiencia de captura de agua y radiación por parte de las plantas (Caviglia y Andrade, 2010), puede contribuir al incremento requerido de la producción para el 2050 en un 14% (Bruinsma, 2009).

Considerando conjuntamente la superficie con aptitud agrícola y las posibilidades de intensificación, el potencial de la tierra para producir alimentos supera a la futura demanda estabilizada; pero el desafío consiste en hacerlo a un costo aceptable para el planeta (Andrade 1998, a y b; Nature, 2010; Godfray et al., 2010).

El principal peligro radica en que la agricultura ejerce una gran presión sobre el medio ambiente comprometiendo la producción de alimentos en cantidad y calidad. Según diferentes estimaciones, las pérdidas anuales de tierras agrícolas por erosión suman de 2 a 5 millones de ha (Bringezu et al., 2010) a lo que hay que sumar las pérdidas por urbanización, salinización y contaminación. Estos datos son alarmantes y nuevas voces de preocupación se levantan ante la magnitud de la tarea a encarar (Bourne, 2009, Gurian Sherman, 2009). **La proyección de la producción de alimentos para las próximas décadas implica un enorme desafío a nuestra capacidad creativa e innovadora en cuanto al cuidado de los ambientes así como de los servicios ecosistémicos que ellos proveen.**

### 3.3. Producir preservando el ambiente

Los principales efectos negativos de la actividad agrícola sobre el ambiente son: la erosión y degradación del suelo por deforestación y laboreo excesivo, la pérdida de nutrientes del suelo, la contaminación con biocidas que afectan a los vertebrados e insectos benéficos, la pérdida de biodiversidad, la acumulación de nitratos y otros productos químicos en las napas, 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). 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 y 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 una seria contaminación ambiental y atenta contra la inocuidad de los alimentos.

La meta es alcanzar una producción agrícola sustentable que consiste en producir la cantidad de alimentos para satisfacer de manera continua y rentable las necesidades de la creciente población haciendo un uso eficiente y seguro de los recursos naturales y de los insumos externos y asegurando los servicios ecosistémicos para la sociedad (Ikerd, 1990; Solig, 2001; Tilman et al., 2002).

El manejo racional de los recursos implica disponer de técnicas para i) reducir la erosión y degradación de los suelos (labranza reducida, siembra directa, cultivos en franja, cultivos de cobertura, rotaciones adecuadas, fijación biológica de N, abonos orgánicos, fertilización eficiente, etc.), ii) evitar la contaminación química (transgénicos, control biológico e integrado de plagas, uso racional de agroquímicos, uso de productos menos nocivos, etc.), iii) reducir la salinización (riego racional, 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, etc) y v) el mantenimiento de la biodiversidad (refugios, limitaciones a la deforestación, etc.) (JICA-INTA, 2004). Algunas de estas técnicas ya han sido desarrolladas y aplicadas con éxito; otras necesitan de un mayor esfuerzo en investigación y/o adaptación tecnológica (Huang et al., 2002; Trewavas, 2002; Tilman et al., 2002; Toenniessen, 2003; Edgerton, 2009; Tester y Langridge, 2010; Phillips, 2010; Fedoroff et al., 2010).

El conjunto de técnicas indicadas, bien implementadas, puede contribuir a producir los alimentos requeridos y a la reducción del impacto ambiental como indican los siguientes ejemplos. Viglizzo et al. (2011) y Huang et al. (2002) concluyen que los riesgos de contaminación química se han reducido por la utilización adecuada de productos menos tóxicos y de menor persistencia y por el uso de transgénicos. Por otro lado, Viglizzo et al. (2011) y Satorre (2005) afirman que los peligros de erosión hídrica y eólica han menguado con la implementación de la siembra directa o las labranzas reducidas, rotaciones apropiadas, etc. Además, las tecnologías descritas pueden ser utilizadas para mejorar la producción y el nivel de vida de muchos productores pequeños que habitan zonas degradadas o contaminadas (Huang et al., 2002; Bourne, 2009; Gurian Sherman, 2009; Godfray et al., 2010) y para alcanzar una producción

agrícola más homeostática con mayor eficiencia de uso de recursos e insumos externos y/o con menor dependencia de insumos no renovables y/o contaminantes (Altieri, 1994).

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). Con técnicas como la transgénesis, la mutagénesis y la selección asistida por marcadores moleculares, 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 herbicidas, insectos o enfermedades; b) la mejora y diversificación de la calidad alimenticia de los productos agrícolas y c) el aumento del potencial de rendimiento y su estabilidad. Este último aporte está más relegado pues involucra mecanismos genéticos y/o fisiológicos complejos de fuerte interacción con el ambiente; no obstante, se están obteniendo incipientes y alentadores resultados (Edgerton, 2009; Andrade et al., 2009). Para ilustrar estos potenciales efectos, la Figura 13 presenta una proyección de los aportes de la biotecnología al rendimiento de maíz en los Estados Unidos (Edgerton, 2009). 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).

Alcanzar la meta de una producción agrícola sustentable requerirá de esfuerzos integrados de especialistas de distintas disciplinas. Además, el incremento de **la producción no sólo debe ser considerado como un aumento en el uso de insumos, sino que deberá incluir como factor preponderante las tecnologías de procesos y de conocimientos** (Satorre, 2004). **En este sentido, el conocimiento de los procesos y mecanismos determinantes del crecimiento y del rendimiento de los cultivos contribuye al aumento sustentable de la producción y a la adecuación de los requerimientos del cultivo a la oferta ambiental existente**, ya que i) nos orienta en la elección de las prácticas más apropiadas para un manejo eficiente y adecuado de los insumos y recursos (Andrade y Sadras, 2002; Andrade et al., 2005; Andrade et al., 2010) y ii) guía al mejorador y al biotecnólogo en la obtención de genotipos de mayor potencial de rendimiento más eficientes y mejor adaptados a ambientes actuales y futuros (Edmeades et al., 2004; Wollenweber et al., 2005; Andrade et al., 2009; Sala y Andrade, 2010).

**Para lograr que la ciencia y la tecnología contribuyan a 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 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).

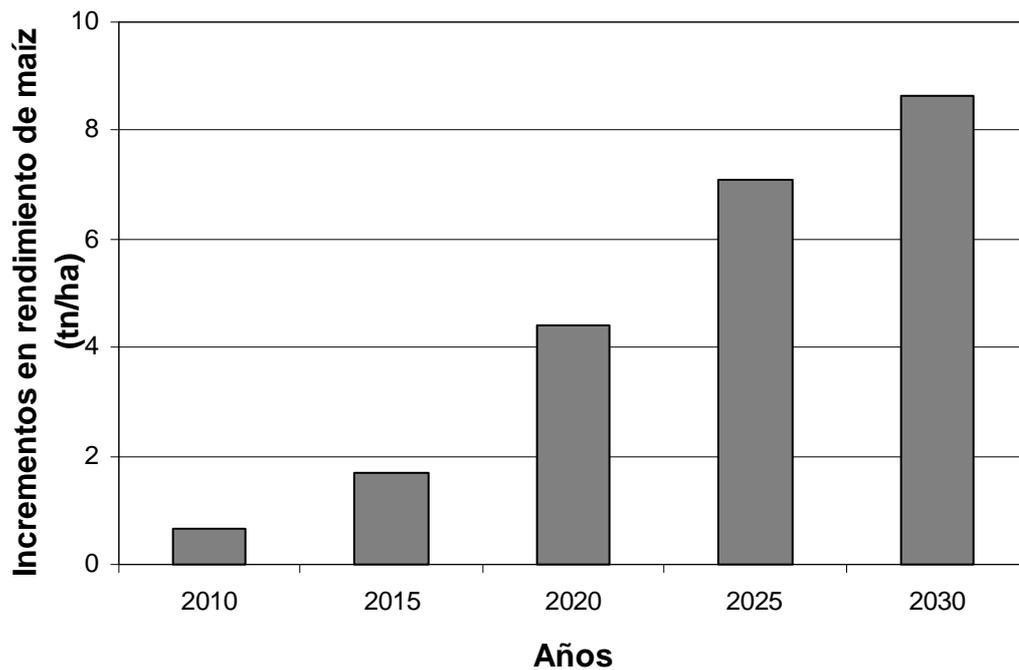


Figura 13: Incrementos proyectados en rendimiento de maíz en Estados Unidos debidos a la biotecnología. Se consideran aportes por selección asistida por marcadores moleculares y por ingeniería genética para protección del cultivo contra adversidades bióticas y para tolerancia a estrés. Adaptado de Edgerton (2009).

A los problemas relacionados con la producción agrícola se le agregan aquellos vinculados con la disponibilidad de energía y agua dulce (WEO, 2009; UNEP, 2002; INTA 2010) y con el cambio climático, en el que efectos antrópicos ocasionados por la emisión de gases de efecto invernadero (IPCC 2007; Magrin, 2007) se suman a los ciclos naturales (Petit et al., 1999; Mann et al., 2009).

La huella ecológica, entendida como el área necesaria para producir los recursos que consumimos y disponer de los desechos que generamos (Wackernagel y Rees, 1996) hoy supera en casi 40 % a la capacidad bioproductiva del planeta y, de continuar la tendencia, este desfase superará el 100% hacia el año 2050 (GFN, 2008). Estos datos indican que estamos utilizando recursos a una tasa mayor a la de regeneración, especialmente en los países desarrollados (GFN, 2008). Para que en el futuro la huella ecológica se reduzca a valores equiparables a la capacidad bioproductiva del planeta (Figura 14) es imperioso controlar las emisiones de gases de efecto invernadero, morigerar nuestras demandas, utilizar energías renovables y limpias, hacer un uso más eficiente de recursos e insumos, proteger el suelo y los suministros de agua dulce, mantener la biodiversidad y limitar la producción de desechos.

Disponemos de métodos y técnicas para incrementar la producción y satisfacer los futuros requerimientos de alimentos y energía, pero el gran desafío consiste en alcanzar estas metas evitando traspasar los límites que garantizan un uso seguro del planeta (Godfray et al., 2010; Rockstrom et al., 2009) (Figura 14). La Figura 5, con su amplia escala temporal de 50000 años, nos 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.

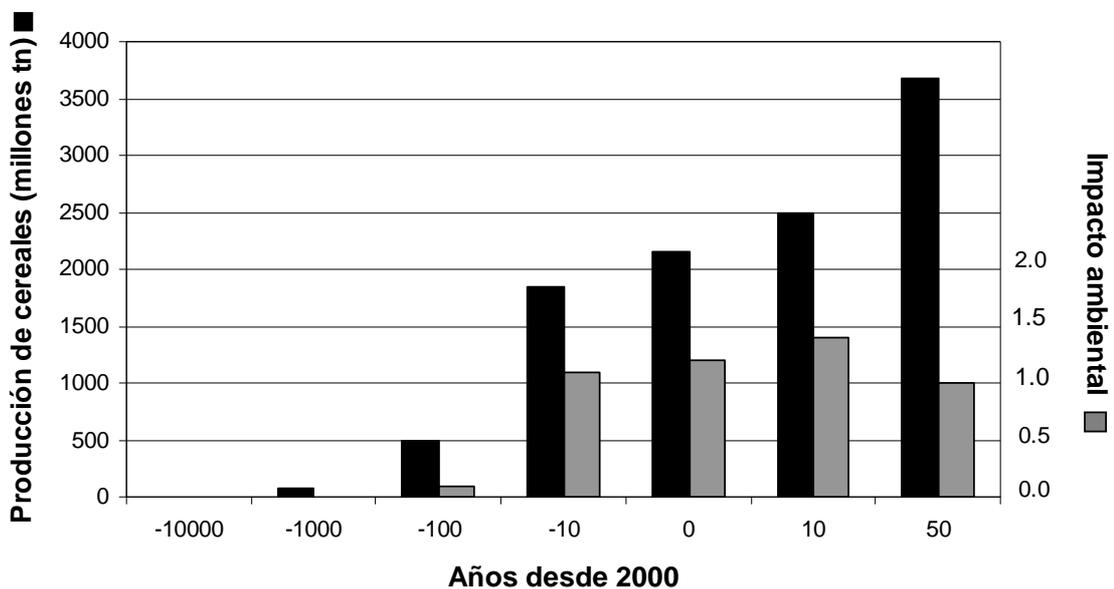


Figura 14: Producción de cereales e índice de impacto ambiental desde el origen de la agricultura hasta el 2050. El índice de impacto ambiental se considera como la cantidad de planetas tierras necesarios para producir lo que la humanidad consume y absorber los desechos generados (GFN, 2008). El objetivo a futuro es lograr un índice de impacto ambiental igual a 1. Datos de producción estimados según modelo lineal de Figura 11 (1990-2050) y según población y consumo de cereales per cápita (1900 y anteriores).

### 3.4. El principal problema

Finalmente, la inseguridad alimentaria y los serios problemas de desnutrición en el mundo tuvieron y tienen otras causas más determinantes que la capacidad de producir alimentos y la situación ambiental. Si bien hay tendencias a descentralización, democratización y respeto por los derechos humanos, y experimentamos un incremento en el desarrollo de muchos países medido a través de caídas en tasa de fecundidad e incrementos en expectativa de vida (UN, 2008), la crisis del 2008 incrementó el número de habitantes desnutridos en el mundo de 800 a 1000 millones (Figura 15) a pesar de que aumentó la producción agrícola per cápita a nivel de promedio mundial (Figura 9). Africa subsahara es la región con mayor porcentaje de personas mal alimentadas y el sur de Asia la región con mayor número de desnutridos. Pero es la pobreza, no la escasez de alimentos, la principal raíz de este serio problema (Monckeberg, 1993; Butler, 2010; Nature, 2010). 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.

Entonces, la pobreza y la marginalidad constituyen las mayores causas de la inseguridad alimentaria en muchos países del mundo (Arriagada, 2000; Cittadini, 2010) y éstas generalmente se sustentan en conflictos, en la negligencia, corrupción o inoperancia de sus gobiernos, y en la explotación de los países más poderosos. 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).

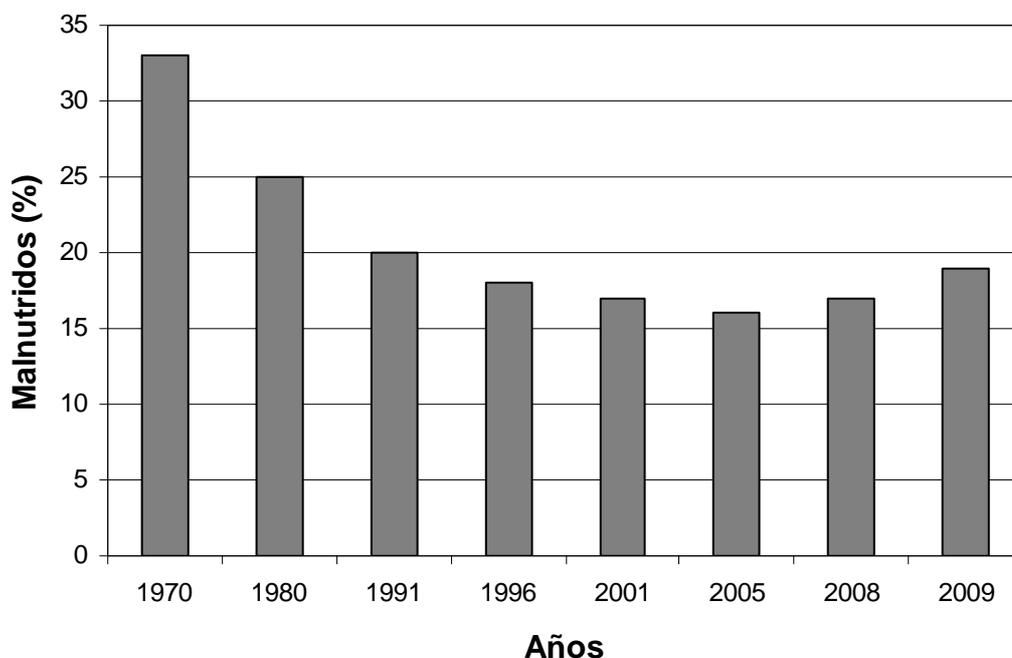


Figura 15: Evolución del porcentaje de personas mal nutridas en países en vías de desarrollo (adaptado de Pardey y Pingalli, 2010).

#### 4. 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 podría ser 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, se requieren vigorosas acciones y regulaciones de la economía (Keynes, 1936) que reflejen mayor compromiso de los gobiernos para preservar el ambiente y lograr más equidad social. 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, hambrunas y/o degradación en línea con lo que vaticinó Malthus (1798). Una alternativa podría ser 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 y sobre la base de una imperiosa necesidad de cambios sustanciales, se presenta un escenario que consiste en la reafirmación y potenciación de movimientos, hoy incipientes, que alzan principios morales de compromiso ambiental y social, lo que Raskin et al. (2002) denominan la Gran Transición.

**Podremos poner nuestra capacidad creativa e innovadora al servicio de este objetivo?** 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 es incierta. Pero la búsqueda de conocimiento puede ser impulsada, además, 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). Entonces, el conocimiento y la innovación pueden estar al servicio de los principios de compromiso ambiental y social de la Gran Transición. **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 y la innovación serán un medio fundamental para lograr un mundo más justo y sustentable.**

Contribuyen a dicho objetivo el desarrollo de nuevas técnicas de comunicaciones que generalizan y distribuyen el conocimiento, acercan a las personas y posiciones reduciendo confrontaciones y asisten a conformar redes sociales que comienzan a controlar excesos de gobiernos y empresas (Arébalos y Alonso, 2009).

Estas tecnologías alcanzaron hoy un nivel de desarrollo impensado pocos años atrás. Si la imprenta de Gutemberg aportó considerablemente al renacimiento de las ciencias, hoy son inimaginables los potenciales efectos de la **Internet y la informática que concentran una miríada de conocimientos en la pantalla de la computadora de cada individuo que, bien utilizada, puede contribuir a satisfacer la necesidad de pensamiento creativo generador de riqueza interior (Schopenhauer, 1851) forjando así escenarios de círculos virtuosos de ideas, conocimientos e innovaciones, aunque la verdad esté más allá de nuestro alcance (Popper, 1963).**

La estabilización de la población, las tecnologías disponibles para un uso más eficiente de recursos e insumos, las nuevas fuentes de energía renovables (Raskin et al., 2002) y los 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) contribuirían a aliviar la presión sobre el delicado ambiente. Por otro lado, una mayor educación, la reducción de los conflictos, el compromiso de los gobiernos y el fortalecimiento de los nuevos valores (Monckeberg, 1993; Raskin et al., 2002) pueden contribuir a reducir o erradicar la pobreza.

Poseemos la capacidad para responder a los grandes desafíos que se nos presentan. Pero debemos 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. Se necesitan, además, políticas, incentivos y regulaciones adecuadas basadas en sólidos conocimientos aportados por la ciencia y la tecnología, inversiones en infraestructura, transferencia tecnológica, monitoreo ambiental y, sobre todo, vigorosos esfuerzos por la educación y la capacitación de la población en materia de sustentabilidad. Nuestras aproximaciones deben ser multidisciplinarias e integradoras ya que los problemas que enfrentamos son sistémicos y complejos (Godfray et al., 2010; Morín, 2011).

## 5. Conclusiones

**Nuestra capacidad creativa e innovadora habría sido impulsada desde hace millones de años por importantes y drásticos cambios ambientales a través de prolongados procesos de selección natural y retroalimentada por nuestros propios logros y progresos.** Gracias a esta característica prodigiosa, pudimos adaptarnos, progresar y conquistar los distintos y variados territorios del planeta. Poseemos entonces capacidad intrínseca para responder a los problemas que hoy enfrentamos, aunque estos sean en gran medida consecuencia de nuestras propias acciones y actividades. **Podemos lograr los objetivos de satisfacer la demanda futura de productos agrícolas y de alcanzar un mundo sustentable, basados en nuestra capacidad creativa e innovadora y en la consolidación del reinado de la mente como producto de un largo proceso de evolución humana.** 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 tecnológico inherente a nuestra especie, más grande es nuestra culpa por el hambre, la pobreza y la degradación ambiental que hoy experimentamos. Debemos lograr que los beneficios derivados de la capacidad de innovar y crear sean para todos y perdurables. Debemos lograrlo por los que comenzaron a tallar la piedra y 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 futuros habitantes de la Tierra.

## Agradecimientos

El autor desea expresar su agradecimiento a Mercedes Rebaudi por su trabajo de edición y a Pedro Laterra, Fernando García, Alfredo Cirilo, Roberto Cittadini, Ernesto Viglizzo, Roberto Rizzalli, Javier Di Matteo, Marcelo Bosch y Emilio Satorre por la lectura crítica del manuscrito.

## 6. Referencias

- Altieri, S. 1994. Bases agroecológicas para una producción agrícola sustentable. *Agricultura Técnica* 54:371-386.
- 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.H. 1998a. Posibilidades de expansión de la producción agrícola. *Interciencia*. 23: 218-226.
- Andrade, F.H. 1998b. Es posible satisfacer la creciente demanda de alimentos de la humanidad?. *Interciencia*. 23: 266-274.
- Andrade, F. y V. Sadras. 2002. Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. 2da edición. INTA, FCA UNMP. 450pp.
- Andrade, F., V. Sadras, C. Vega y L. Echarte. 2005. Physiological determinants of crop growth and yield in maize, sunflower and soybean. Applications to crop management, modeling and breeding. *J. Crop Improvement* 14:51-101.
- Andrade, F., R. Sala, A. Pontaroli and A. León. 2009. Integration of biotechnology, plant breeding and crop physiology: dealing with complex interactions from a physiological perspective. Capítulo 11 en *Crop Physiology: Applications for Genetic Improvement and Agronomy*. Editors: Víctor Sadras y Daniel Calderini. Macmillian Publishing Solutions.
- Andrade, F, P. Abbate, M. Otegui, A. Cirilo, A. Cerrudo. 2010. Ecophysiological Bases for Crop Management. *The Americas Journal of Plant Science and Biotechnology* 4:23-34.
- 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.
- 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.
- 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. ISBN 0-470-71451-4.
- 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? [nacionalespanol.com/2009/.../el-fin-de-la-abundancia-la-crisis-alimentaria-mundial-articulos](http://nacionalespanol.com/2009/.../el-fin-de-la-abundancia-la-crisis-alimentaria-mundial-articulos).
- 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.
- 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".
- Butler, D. 2010. The growing problem. *Nature* 466:546-547.
- 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.
- Cittadini, R. 2010. Cuando comer es un problema. *Voces en el Fénix* 1: 105-111.
- Darwin, C. 1859. *The origin of species*. London. John Murray.
- De Santa Eduvigis, J.M. 2010. Potencial de rendimiento y tolerancia a sequía en híbridos de maíz. Tesis Magister Scientiae. Facultad de Ciencias Agrarias UNMP. 70 pp.
- Dorn H. 1962. World population growth. An international dilemma. *Science* 135: 283-290.
- Dubos, R. 1985. *Pasteur*. Salvat Editores SA. Barcelona España. Carles Scribner's sons.
- Edgerton, M.D. 2009. Increasing crop productivity to meet global needs for feed, food and fuel. *Plant Physiology* 149: 7-13.
- 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.

- Ehrlich, P. 1975. *The population bomb*. Riversity Press. Massachussets. USA.
- 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.
- Evans, L.T. 1997. Adapting and improving crops: the endless task. *Phil Trans R. Soc. Lond. B.* 354: 901-906.
- FAO. 2009. High-Level Expert Forum on "How to Feed the World in 2050". [http://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/expert\\_paper/How\\_to\\_Feed\\_the\\_World\\_in\\_2050.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/expert_paper/How_to_Feed_the_World_in_2050.pdf)
- FAO. 2011. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. FAO Statistical Database. <<http://www.fao.org/>>.
- Fedoroff, N., D. S. Battisti, R. N. Beachy, P. J. M. Cooper, D. A. Fischhoff, C. N. Hodges, V. C. Knauf, D. Lobell, B. J. Mazur, D. Molden, M. P. Reynolds, P. C. Ronald, M. W. Rosegrant, P. A. Sanchez, A. Vonshak, J.-K. Zhu. 2010. Radically Rethinking Agriculture for the 21st Century. *Science* 327:833-834.
- Ferrer, A. 1997. *Hechos y ficciones de la globalización*, Fondo de Cultura Económica, Buenos Aires.
- 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.A. y G. Edmeades. 2010. Breeding and cereal yield progress. *Crop Sci* 50: 585-598.
- Fischer, R.A., D. Byerlee, y G.O. 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.
- Flannery, K. 1973 The origin of agriculture. *Annual Review of Anthropology* 2:271-310.
- Gaarder, J. 1994. *El mundo de Sofía*. Ediciones Siruela. Madrid. 638pp.
- Giuliano, G. 2007. *Interrogar la tecnología. Algunos fundamentos para un análisis crítico*. Nueva Librería, Buenos Aires. 1ra Edición.
- GFN, 2008. Global Footprint Network, 2008 report. [www.footprintnetwork.org/en/index.php/GFN/page/ecological\\_footprint\\_atlas\\_2008/](http://www.footprintnetwork.org/en/index.php/GFN/page/ecological_footprint_atlas_2008/)
- Godfray, H.C., 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.
- 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.
- 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.
- Green, R., S. Pääbo, et al. 2010. A Draft Sequence of the Neandertal Genome. *Science* 328: 710-722.
- Gupta, A. 2004. Origin of agriculture and domestication of plants and animals linked to early Holocene climate amelioration. *Current Science* 87: 54-59.
- Huang, J., C. Pray y S. Rozelle. 2002. Enhancing the crops to feed the poor. *Nature* 418: 678-684.
- INTA. 2010. *El mundo agrario hacia el 2030*. Unidad de Prospectiva. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.
- Ikerd, J.E. 1990. Agriculture's search for sustainability and profitability. *J. Soil Water Cons.* 45: 18-23.
- IPCC. 2007. Intergovernmental Panel on Climate Change *Climate change 2007: the physical science basis (summary for policy makers)*, <http://www.ipcc.ch>
- JICA-INTA. 2004. Seminario: Sustentabilidad de la producción agrícola. 29 y 30 de Marzo de 2004. Buenos Aires, Argentina.
- Jobling, M. A. y Tyler-Smith, C., 2003. The human Y chromosome: an evolutionary marker comes of age. *Nature Reviews Genetics*, 4: 598-612.
- 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. Mussgnug, G. Dismukes, y B. Hankamer. 2005. *Photosynthesis: a blueprint for solar energy capture and biohydrogen production technologies*. *Photochem. Photobiol. Sci.* 4: 957-969.
- 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)
- Liebig von, J. 1841. *Chemie Organique appliquée à la Physiologie Végétale et à l'Agriculture*.
- Luyten, J.C. 1995. *Sustainable world food production and environment*. AB.DLO. Dutch Agricultural Research Department, Wageningen. The Netherlands.
- 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.
- Mann, M.E., Z. Zhang, S. Rutherford, R.S. Bradley, M.K. Hughes, D. Shindell, C. Ammann, G. Faluvegi, y F. Ni. 2009. *Global Signatures and Dynamical Origins of the Little Ice Age and Medieval Climate Anomaly*. *Science* 326:1256-1260.
- Margueron, J. 2002. *Los metales utilizados y su origen geográfico. Los mesopotámicos*. Ediciones Cátedra S.A. Madrid. 480p.
- Mendel, G. 1865. *Experiments in plant hybridization*. Read at the February 8th, and March 8th, 1865, meetings of the Brünn Natural History Society.
- Monckeberg, F. 1993. *Jaque al subdesarrollo ahora*. Ediciones pedagógicas chilenas. Ediciones Dolmen. Chile. 180pp.
- Morin E. 2011. *La voie. Pour l'avenir de l'humanite*, Fayard, France.
- 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., C. James, B.J. 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.C.I., G.T. Goodman, J.W.M. Riviere, J. Marton-Lefevre, T. O'Riordan, F. Praderie. Compiled by M. Brennan (Eds). Based on a Conference held in Vienna, Austria, November 1991. Cambridge University Press, London, R.U.
- Oerke, E. C. 2006. *Crop losses to pests*. *Journal of Agricultural Science* 144: 31-43.
- Pardey, P. y P. Pingali. 2010. *Reassessing international agricultural research for food and agriculture*. Global Conference on Agricultural Research for Development (GCARD).
- Petit, J.R., J. Jouzel, D. Raynaud, N. I. Barkov, J.-M. Barnola, I. Basile, M. Bender, J. Chappellaz, M. Davis, G. Delaygue, M. Delmotte, V. M. Kotlyakov, M. Legrand, V. Y. 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.
- Phillips, R. 2010. *Mobilizing science to break yield barriers*. *Crop Sci.* 50:S99-S108.
- Popper, K. 1963. *El desarrollo del conocimiento científico. Conjeturas y refutaciones*. Ed. Paidós. Buenos Aires. 1979. 463 pp.
- Potts, R. 1998. *Variability selection in hominid evolution*. *Evolutionary Anthropology* 7: 81-96, 1998.
- 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.
- 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.
- Rockstrom, J. et al., 2009. *A safe operating space for humanity*. *Nature* 461:472-475.
- Rosegrant, M.W., 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.
- Russell, B. 1912. *The problems of philosophy*. Home University library.

- 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.
- Sakaiya, T. 1994. *Historia del futuro. La sociedad del conocimiento*. Editorial Andrés Bello. Santiago de Chile. 355pp.
- Sala, R. y F. Andrade. 2010. Perspectivas de interacción entre mejoradores y ecofisiólogos a la luz de las nuevas biotecnologías. En Miralles D., Aguirrezábal L., Otegui M., Kruk B., y Izquierdo N (Eds) *Avances en ecofisiología de cultivos de granos*. Editorial Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. 1ra ed. 306 pp.
- 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.
- Schopenhauer, A. 1851. *Parerga y paralipómena*. Berlín, A.W. Hayn. Parerga y paralipómena. Madrid, Trotta, 2006. 510pp.
- Sen, A. 1981. *Poverty and Famines: An Essay on Entitlement and Deprivation*. Clarendon Press. Oxford. 257 pp.
- 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.
- Smith, A. 1776. *La Riqueza de las Naciones*.
- Solbrig, O. T. 2001. La agricultura argentina del futuro. Entre la productividad y la conservación. Actas IX Congreso Nacional de AAPRESID. Mar del Plata. Agosto de 2001. P 27-33.
- 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, 2005 ISBN 0-500-05132-1
- Sweeney, D. 1995. *Agriculture in the Middle Ages: Technology, Practice, and Representation*. University of Pennsylvania Press. Philadelphia. 374 pp.
- Tester, M y P. Langridge. 2010. Breeding Technologies to increase crop production in a changing World. *Science* 327: 818-822.
- Thurow, L.C. 1996. *The future of capitalism*. William Morrow and Company Inc. 380pp.
- Tilman, D., K. Cassman, P. Mayson, R. Naylor y S. Polasky. 2002. Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature* 418: 671-677.
- Toenniessen, G., J. O'Toole, y J. DeVries. 2003. Advances in plant biotechnology and its adoption in developing countries. *Current Opinion in Plant Biology* 6:191-198.
- Trewavas, A. 2002. Malthus foiled again and again. *Nature* 418: 668-670.
- Tweeten, L., y S. R. Thompson. 2008. Long-term global Agricultural Output Supply-Demand Balance and Real Farm and Food Prices. Working Paper AEDE-WP 0044-08, The Ohio State University.
- USCB, 2010, U.S. Census Bureau Historical Estimates of World Population. <http://www.census.gov/ipc/www/worldhis.html>
- UN, 2008. United Nations Population division. World population prospects. The 2008 revision. <http://www.un.org/esa/population/>.
- UNEP, 2002. United Nations Environment Program. Global Environment Outlook 3. Chapter 2: Freshwater. UNEP/GRID-Arendal Publication. [www.grida.no/publication/other/geo3](http://www.grida.no/publication/other/geo3).
- 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.
- Wackernagel, M. y W. Rees. 1996. *Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth*. Gabriola Island, BC: New Society Publishers.
- 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.
- 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.H. 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/10363\\_WebPDFw47.pdf](http://siteresources.worldbank.org/INTGEP2009/Resources/10363_WebPDFw47.pdf)

WEO, 2009. World Energy Outlook

[www.worldenergyoutlook.org/docs/weo2009/WEO2009\\_es\\_english.pdf](http://www.worldenergyoutlook.org/docs/weo2009/WEO2009_es_english.pdf)

WRI, 2007. World Resources Institute. Global biofuels demand. March 2007 monthly update.

<http://earthtrends.wri.org>.