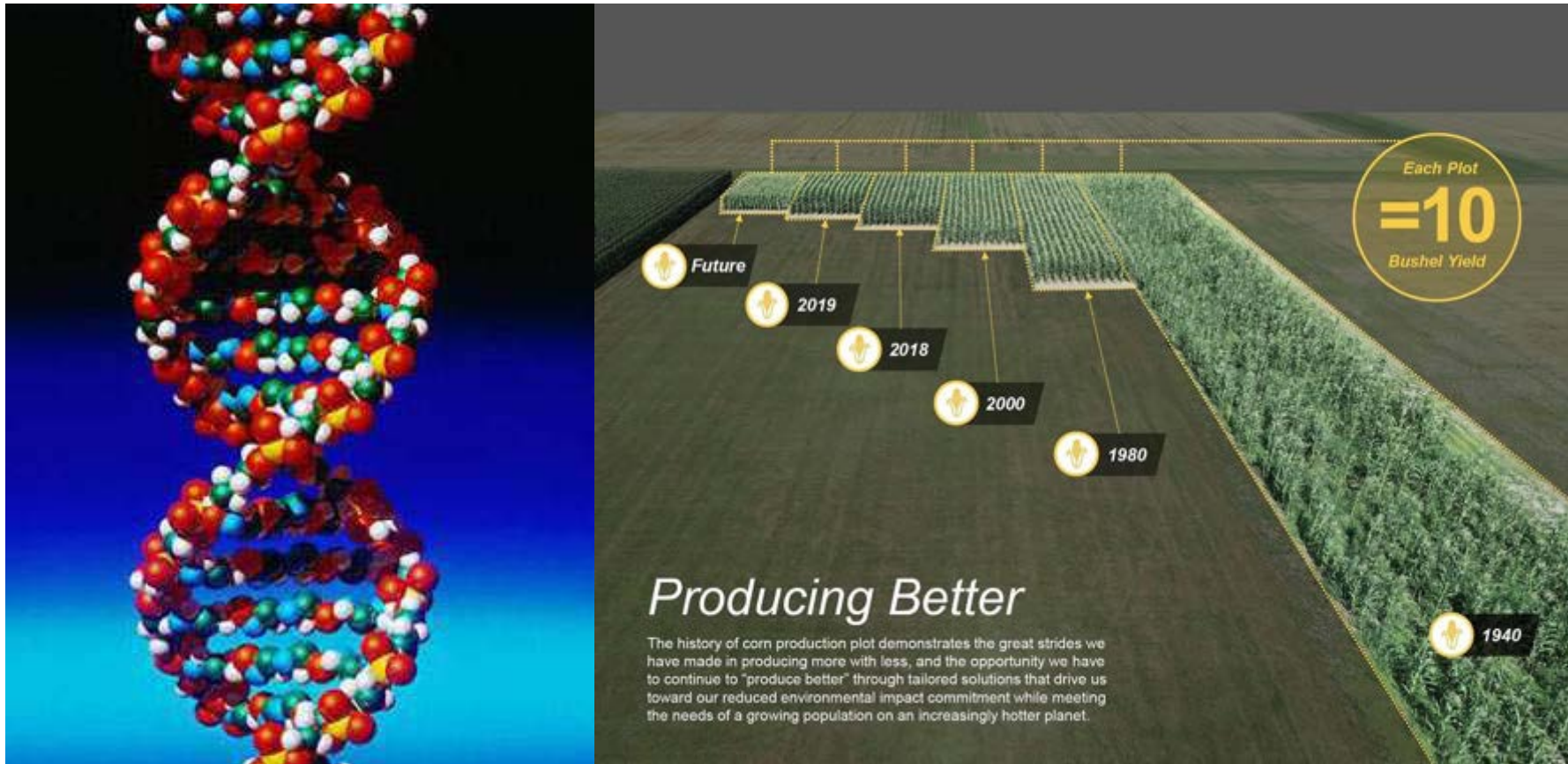


La biotecnología moderna en el fitomejoramiento para una intensificación sostenible de la agricultura



Rodomiro Ortiz, KSLA, PhD, MSc, Biol., BSc
Faculty Professor & Chair Genetics & Plant Breeding
Department of Plant Breeding
Swedish University of Agricultural Sciences



El Sistema Alimentario Ideal

Ofrece una nutrición adecuada y saludable

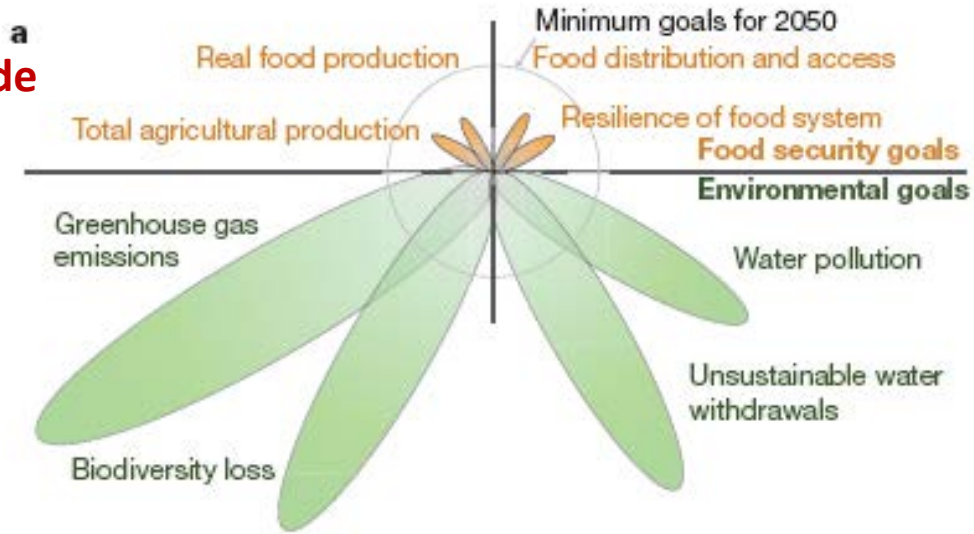
Crea diversidad y evita impactos ecológicos

Asegura el sustento de agricultores, diversidad del paisaje y acceso igualitario a la tierra, agua, semillas y otros insumos

Cumplir los objetivos de seguridad alimentaria y sostenibilidad ambiental para 2050

Cuatro objetivos clave de seguridad alimentaria

Cuatro objetivos ambientales clave que la agricultura debe cumplir



Evaluación cualitativa de los sistemas agrícolas actuales con respecto a las metas establecidas para 2050



Situación hipotética en la que todos los objetivos cumplimos para 2050

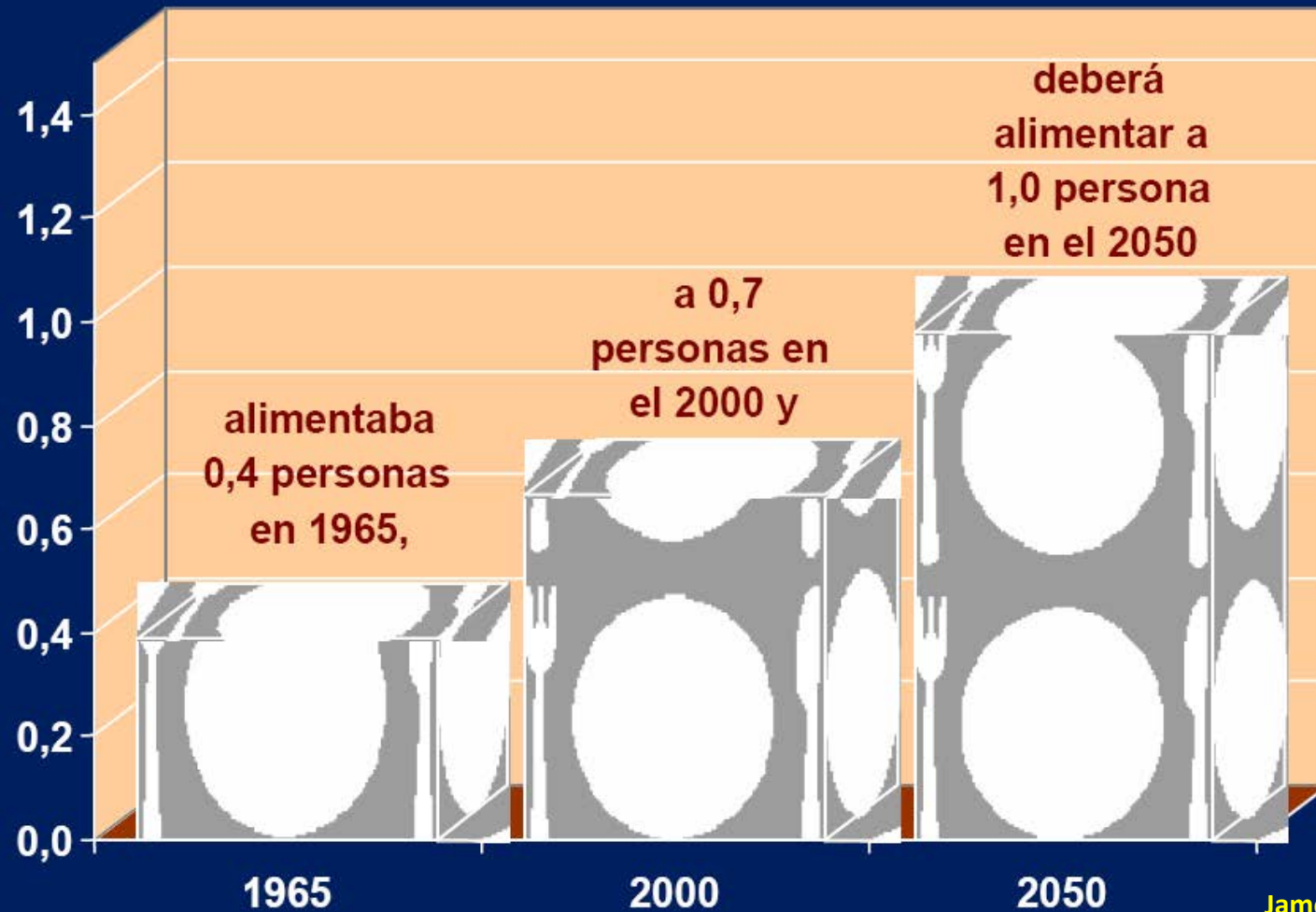
Solutions for a cultivated planet

Los grandes desafíos de hoy para el fitomejoramiento

- El mundo continúa enfrentando una **creciente demanda de alimentos, piensos, fibra y combustible nutritivos y de calidad**
- Habrá **1.000 millones de personas más para alimentar en 2030**, pero con una **proporción decreciente de tierra cultivable entre 40 y 55%**
- Muchas personas que viven en ambientes afectados por la **escasez de agua**, la **erosión de la tierra**, la **intensidad de la sequía**, el **progreso estancado en la productividad de los cultivos**, la **disminución de los acuíferos subterráneos**, el **pastoreo excesivo de pastos**, la **deforestación tropical**, la **extinción de especies**, la **sobrepesca** y el **cambio climático antropogénico**

Sólo incorporando conocimientos podremos alimentar la población del futuro

cada hectárea de tierra agrícola en ALC ...





OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

17 OBJETIVOS PARA TRANSFORMAR NUESTRO MUNDO

1 FIN DE LA POBREZA 	2 HAMBRE CERO 	3 SALUD Y BIENESTAR 	4 EDUCACIÓN DE CALIDAD 	5 IGUALDAD DE GÉNERO 	6 AGUA LIMPIA Y SANEAMIENTO
7 ENERGÍA ASEQUIBLE Y NO CONTAMINANTE 	8 TRABAJO DECENTE Y CRECIMIENTO ECONÓMICO 	9 INDUSTRIA, INNOVACIÓN E INFRAESTRUCTURA 	10 REDUCCIÓN DE LAS DESIGUALDADES 	11 CIUDADES Y COMUNIDADES SOSTENIBLES 	12 PRODUCCIÓN Y CONSUMO RESPONSABLES
13 ACCIÓN POR EL CLIMA 	14 VIDA SUBMARINA 	15 VIDA DE ECOSISTEMAS TERRESTRES 	16 PAZ, JUSTICIA E INSTITUCIONES SÓLIDAS 	17 ALIANZAS PARA LOGRAR LOS OBJETIVOS 	 OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

OBJETIVO 2



PONER FIN AL HAMBRE, LOGRAR LA SEGURIDAD ALIMENTARIA Y LA MEJORA DE LA NUTRICIÓN Y PROMOVER LA AGRICULTURA SOSTENIBLE

SUSTAINABLE DEVELOPMENT KNOWLEDGE PLATFORM

sustainabledevelopment.un.org

Mejoramiento de los recursos genéticos para el fitomejoramiento sostenible

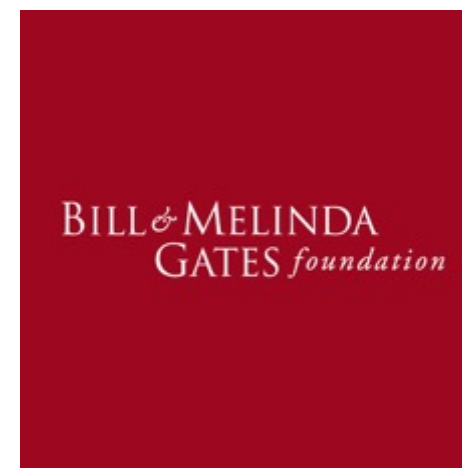
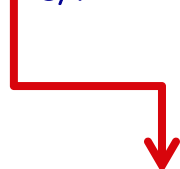
- Definición de **objetivos del fitomejoramiento** con usuarios finales
- Identificar un **carácter útil** en poblaciones de mejoramiento o bancos de germoplasma
- Manejo de la **variación genética** de las características útiles basados en la genética y el conocimiento derivado de la investigación “ómica”
- Poner **genes en una forma (s) utilizable** (líneas, clones, poblaciones) para su uso posterior en cruzamientos
- [Empleo de la **ingeniería genética** para el fitomejoramiento transgénico o la edición del genoma si las características objetivo no están disponibles en el banco de germoplasma o en la población de mejoramiento]
- Uso de **marcadores de ADN** para monitorear los cambios cromosómicos y, como ayuda para la selección (MABC, MARS, GEBV) junto con fenómica para un fenotipado preciso
- **Ensayos multisitio + e-fenotipado** con drones en la población objetivo y **durante años** para posterior liberación de cultivares (puede involucrar métodos participativos)
- Brindar **semillas** genéticamente mejoradas que incorporan las ganancias genéticas para beneficio de los agricultores, consumidores y otros usuarios finales

Desarrollar cultivares mejorados y entregarlos a los agricultores es un elemento clave del aumento de la productividad de los cultivos

- Los programas de fitomejoramiento son esquemas cíclicos de mejora genética de la población que mejoran gradualmente las poblaciones de las que se seleccionan los nuevos cultivares



$$\Delta_{G/Y} = [(K c \sigma^2_A)/(Y \sigma_P)]$$



- Los buenos programas fitomejoramiento ofrecen tasas de ganancia genética de > 2% por año; los programas pobres producen tasas de < 1%

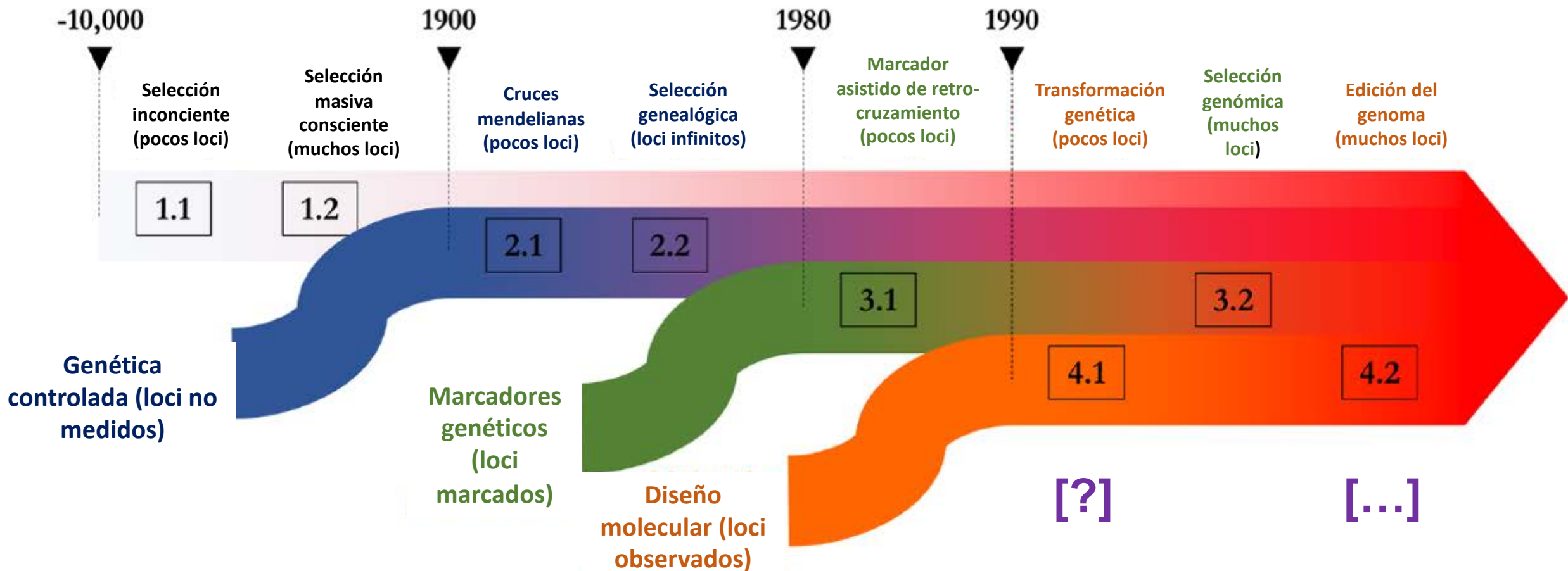
Ganancias genéticas en el fitomejoramiento

$$\text{Respuesta de selección} = \frac{\text{Exactitud} \times \text{Intensidad de selección} \times \text{Diversidad}}{\text{Tiempo}}$$

- **Exactitud** **usar más información**
- **Tiempo** **reducir el intervalo generacional**
- **Intensidad de selección** **disminuir los costos de los ensayos**

- **En el fitomejoramiento también es útil para:**
 - Ampliar y profundizar el objetivo de mejora
 - Extraer más información de los ensayos de campo
 - Manejar a las interacciones genotipo × ambiente
 - Catalizar el uso de índices económicos y la toma de decisiones computacionales

Cronología de las fases de fitomejoramiento



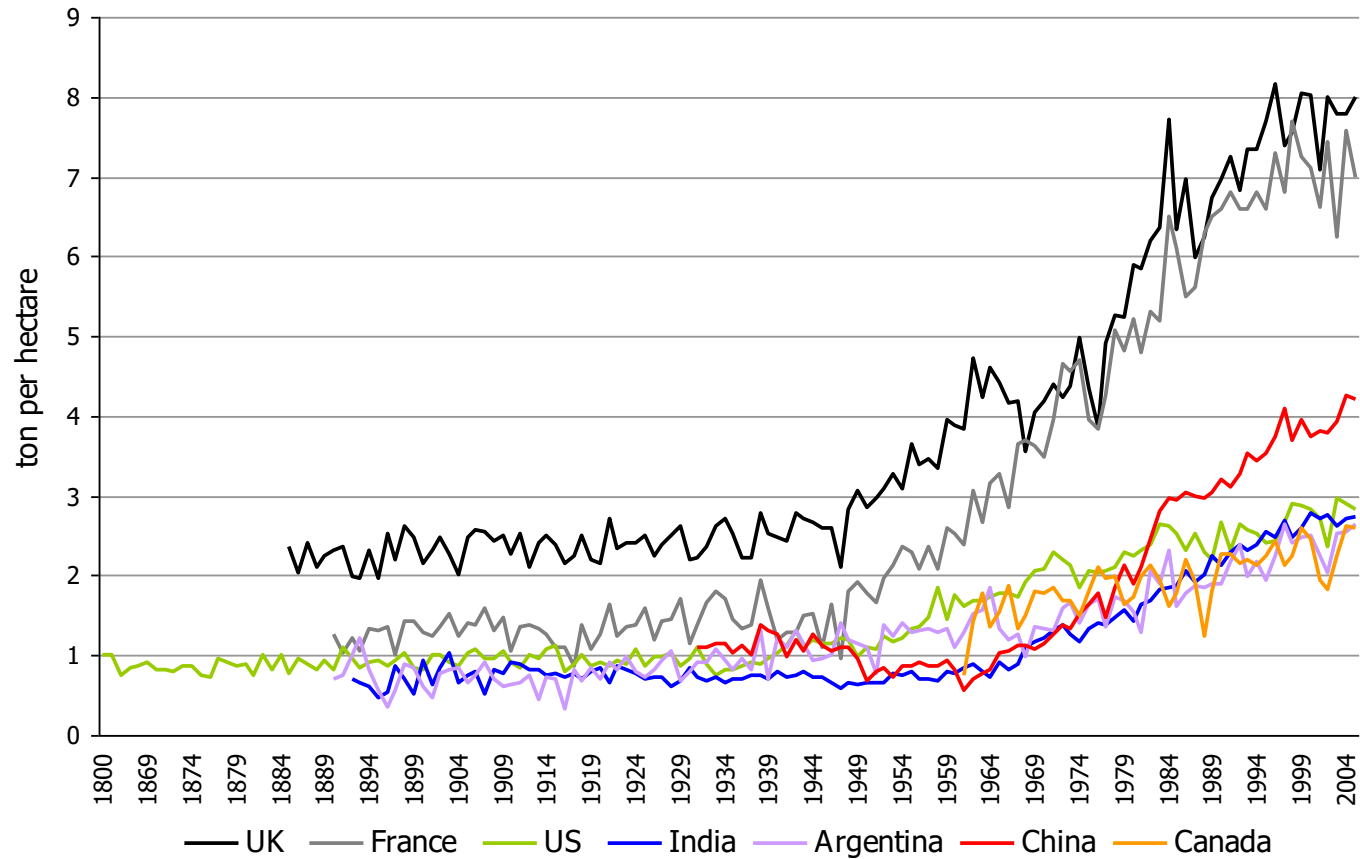
PERSPECTIVE ARTICLE



Breaking the curse of dimensionality to identify causal variants in Breeding 4

Guillaume P. Ramstein¹ · Sarah E. Jensen² · Edward S. Buckler^{1,2,3}

Incremento de los cultivos a partir de los 1950 ha permitido en el largo plazo tener más comida a precios más bajos históricamente (por ejemplo en trigo)



Oferta mundial del alimento: Tendrá que duplicarse para el 2050



- 80% del crecimiento futuro de tierras actualmente en uso
- El crecimiento de la producción se debe concentrar en los países consumidores
- Potencial de expansión de tierras limitado
- La expansión de riego crucial

Norman E. Borlaug 2005

La Revolución Verde: Cambios en los insumos en Asia

	Adopción de <u>nuevos cultivares</u>		Irrigación (millón ha)	Fertilizante (millón t)	Tractores (millón)	Cosecha (millón t)
	Trigo (millón ha / % área)	Arroz				
1965	0 / 0%	0 / 0%	94	5	0.3	368
1970	14 / 20%	15 / 20%	106	10	0.5	463
1980	39 / 49%	55 / 43%	129	29	2.0	618
1990	60 / 70%	85 / 65%	158	54	3.4	858
2000	70 / 84%	100 / 74%	175	70	4.8	962
2005	72 / 87%	102 / 76%	178	77	6.4	1,017

Norman E. Borlaug 2005

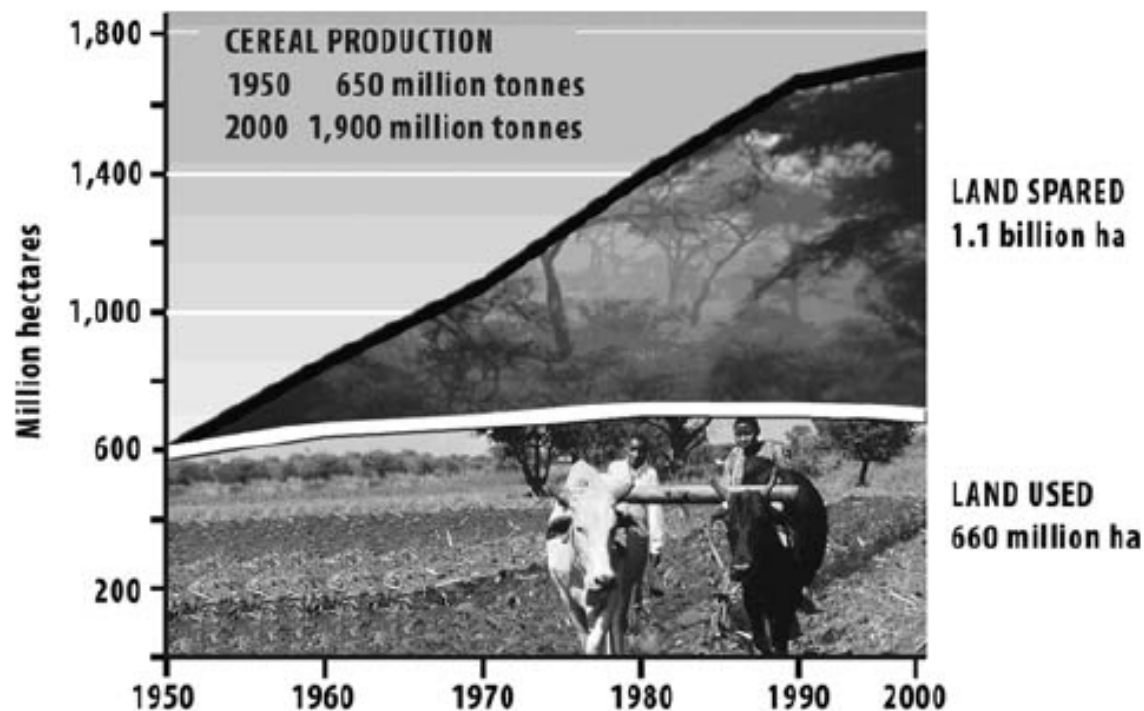
Impactos de la Revolución Verde

Sin la Revolución Verde en el mundo en desarrollo:

- **20% menor rendimiento de los cultivos**
- **19% más altos precios de los alimentos que en el año 2000**
- **5% menor consumo de calorías**
- **2% de incremento en el número de niños desnutridos**
- **más 590 mil millones TM emitidas de CO₂**

Evenson y Gollin, 2003; Burney et al., 2009

La Revolución Verde y el medio ambiente



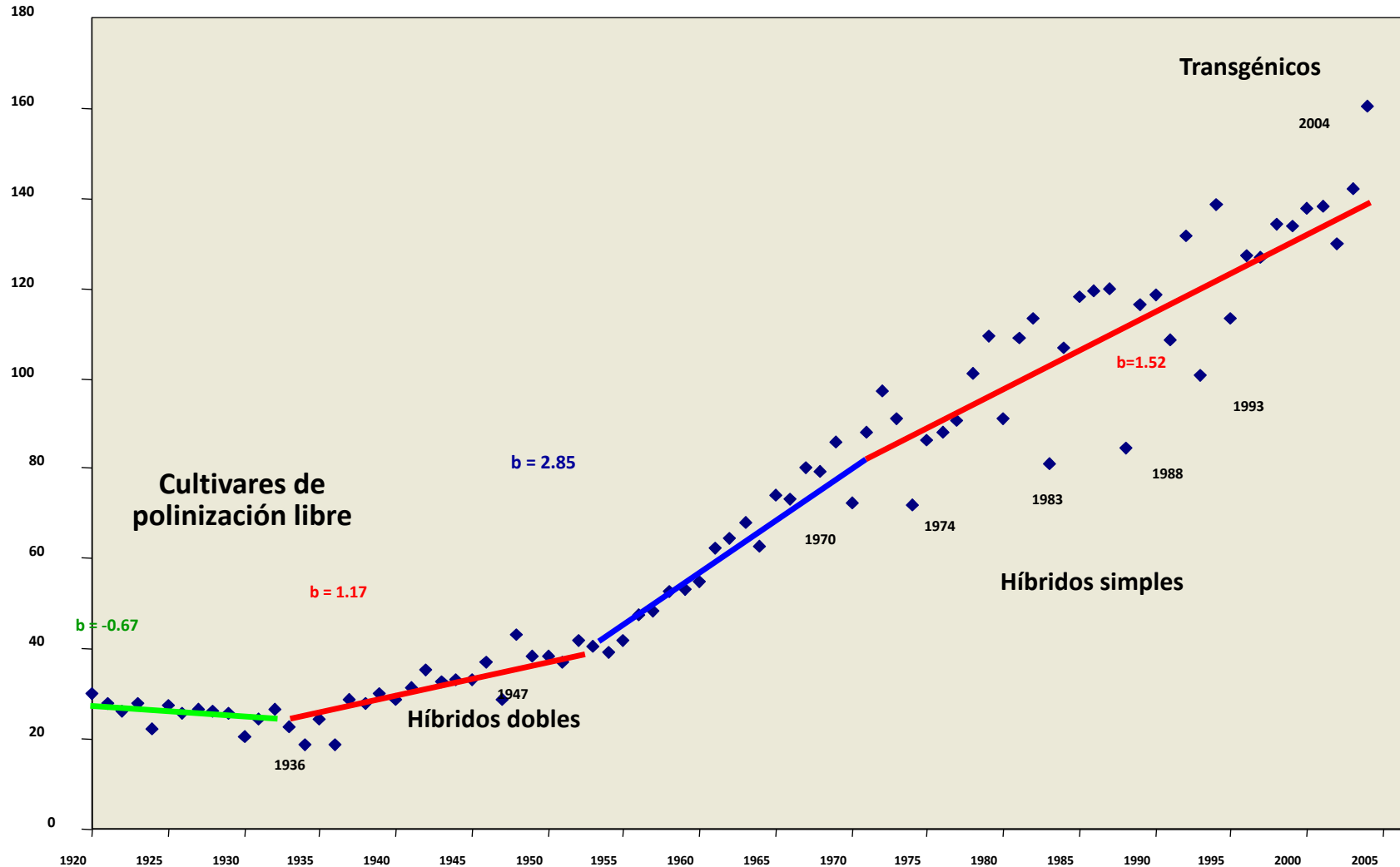
* Uses milled rice equivalents

Source: FAO Production Yearbooks and AGROSTAT

Norman E. Borlaug

Las ganancias en el rendimiento de los cereales han permitido el ahorro de tierras que hubieran sido necesarias para que la agricultura produzca suficientes alimentos para la humanidad

Evolución de la tecnología del maíz y rendimientos (bu/acre) en EE UU



Los cultivos del Siglo XXI

Resistencia a
patógenos y
pestes



Resistencia a
herbicidas

Calidad
nutritiva

Estreses
abióticos

Norman E. Borlaug 2005

Potencial genético
del rendimiento

¿Sabías que las
vacunas
son producto de la
biotecnología?

Historia de la **Biología**
en la **Agricultura** y la
Alimentación





1865

Mendel presenta los principios de la herencia

1869

Se descubre el ADN como material químico en las células

1879

Walther Fleming descubre la cromatina y organización en los cromosomas

1899

Primer Congreso Internacional de Genética en Londres

1909

Se usa el concepto de gen por primera vez

1919

William Bateson introduce la palabra genética

1920

Las características se heredan a través de los cromosomas

1941

Se usa por primera vez la frase ingeniería genética



1944

Oswald Avery identifica el ADN como material genético



1951

Erwin Chargaff demuestra las reglas básicas del ADN

1952

Hershey y Chase prueban que el ADN contiene la información genética... Franklin y Wilkins muestran la estructura del ADN con rayos X

1953

Watson y Crick identifican la estructura del ADN

1961

El código genético es descifrado por Nirenberg y Khorana

1970

Gurdon clona por primera vez exitosamente un renacuajo... Norman Borlaug recibe el Premio Nobel de la Paz por la Revolución Verde en la agricultura

1973

Cohen y Boyer producen los primeros genes recombinantes de bacterias



1975

Cesar Milstein aísla los primeros anticuerpos monoclonales... Sanger y Coulson desarrollan su método para la secuenciación del ADN

1981

Se identifica al primer gen causando cáncer

1982

Hormona de crecimiento de la rata es insertada en los óvulos del ratón para producir los primeros "super ratones" ... la primera insulina humana sintetizada a través de la ingeniería genética



1984

Alec Jeffreys descubre las huellas genéticas

1986

Primer experimento en el campo de una planta transgénica... Comienza el uso clínico de la primera vacuna humana producida por la ingeniería genética

1989

Se descubre el gen que causa la fibrosis quística...

1990

Se inicia el Proyecto del Genoma Humano

1993

Se identifica gen causante de la enfermedad de Huntington ... Comienza la terapia genética para la inmunodeficiencia combinada severa y la fibrosis quística

1996

Agricultores siembran comercialmente las primeras semillas transgénicas...

La oveja Dolly: el primer mamífero clonado de una célula adulta...

Se identifica gen causante de la enfermedad de Parkinson

1998

Se completa la secuenciación del genoma del nematodo *C. elegans*

2000

Se anuncia el primer borrador (al 90%) de la secuencia del genoma humano oveja...

Lechones clonados ofrecen xenotransplantes...

Arroz dorado para producir vitamina A y combatir la ceguera

Se secuencia el genoma de la mosca de la fruta *Drosophila*

([WU](#)) ... secuencia del primer genoma de una planta (*Arabidopsis thaliana*) ([WU](#))

2002

Se descifra por primera vez el genoma de un cultivo: el arroz

2003

Se completa el Proyecto del Genoma Humano...

Entra en vigor el Protocolo de Cartagena que regula el movimiento de transgénicos

2009

El área mundial de cultivos transgénicos fue de 134 millones de hectáreas en 25 países (en color) cuyos 14 millones de agricultores los han adoptado

2010

Creación de una célula bacteriana controlada por una síntesis química del genoma

Beneficios de la Biotecnología Moderna

Diagnóstico, prevención y control de enfermedades, en estudios de medicina forense y paternidad, y desarrollo de vacunas y medicinas



SALUD HUMANA

Mejoramiento genético, vacunas, producción de hormonas a través de bacterias y cultivos celulares, modelos animales para evaluar enfermedades genéticas humanas y producir drogas



ANIMAL

Producción de enzimas para la industria de alimentos y de detergentes, endulzantes, colorantes y saborizantes, pigmentos y vitaminas, y nuevos alimentos fermentados



INDUSTRIA

Métodos de evaluación de los ecosistemas, transformación de contaminantes en sustancias no tóxicas (bioremediación), generación de materiales biodegradables a partir de recursos renovables, tratamiento de desechos



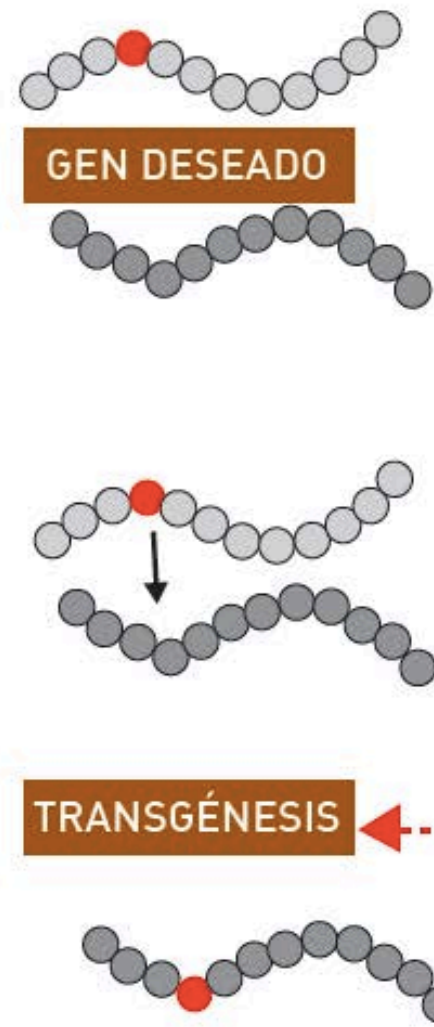
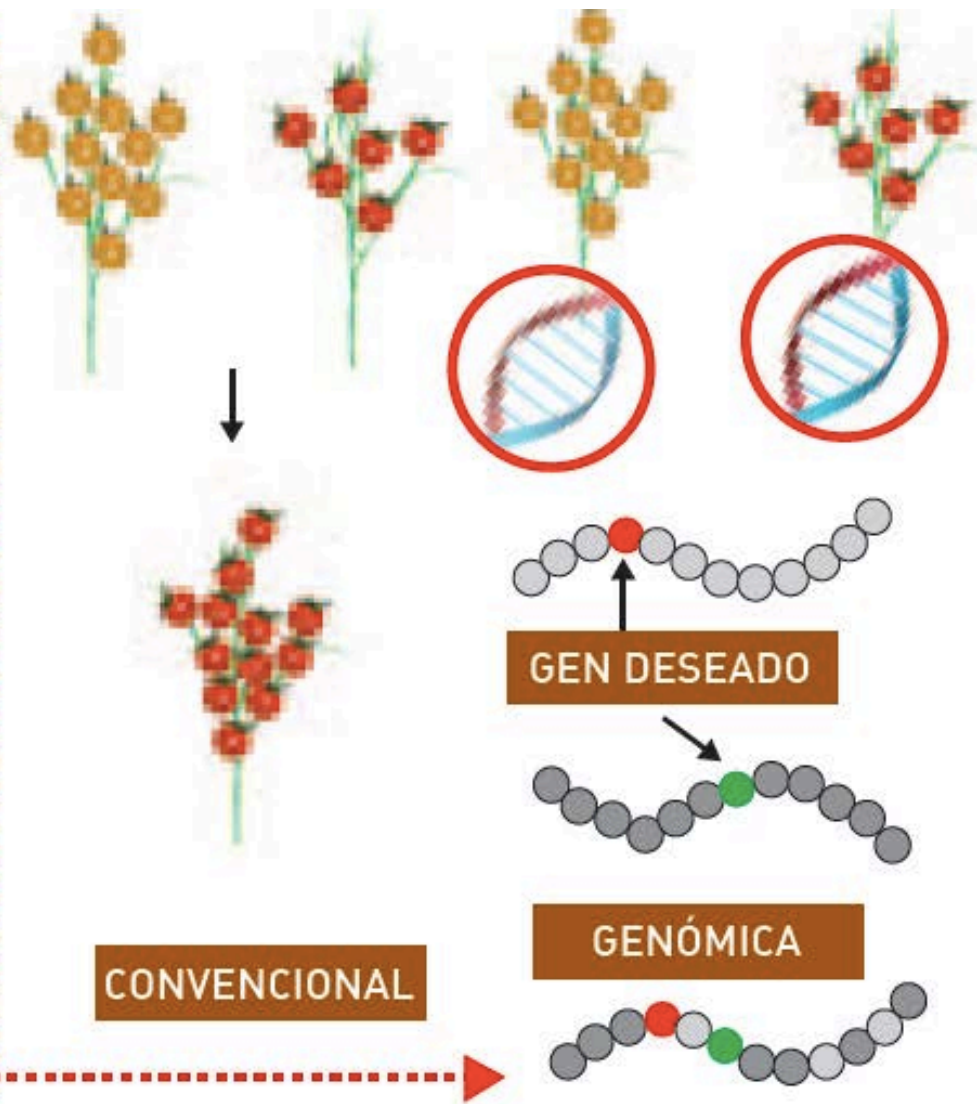
AMBIENTAL

Desarrollo de plantas genéticamente modificadas que toleren condiciones adversas, con resistencia a plagas y enfermedades, tolerancia a herbicidas, con mejor contenido nutricional y calidad de los productos; métodos para conservación y utilización de la biodiversidad agrícola



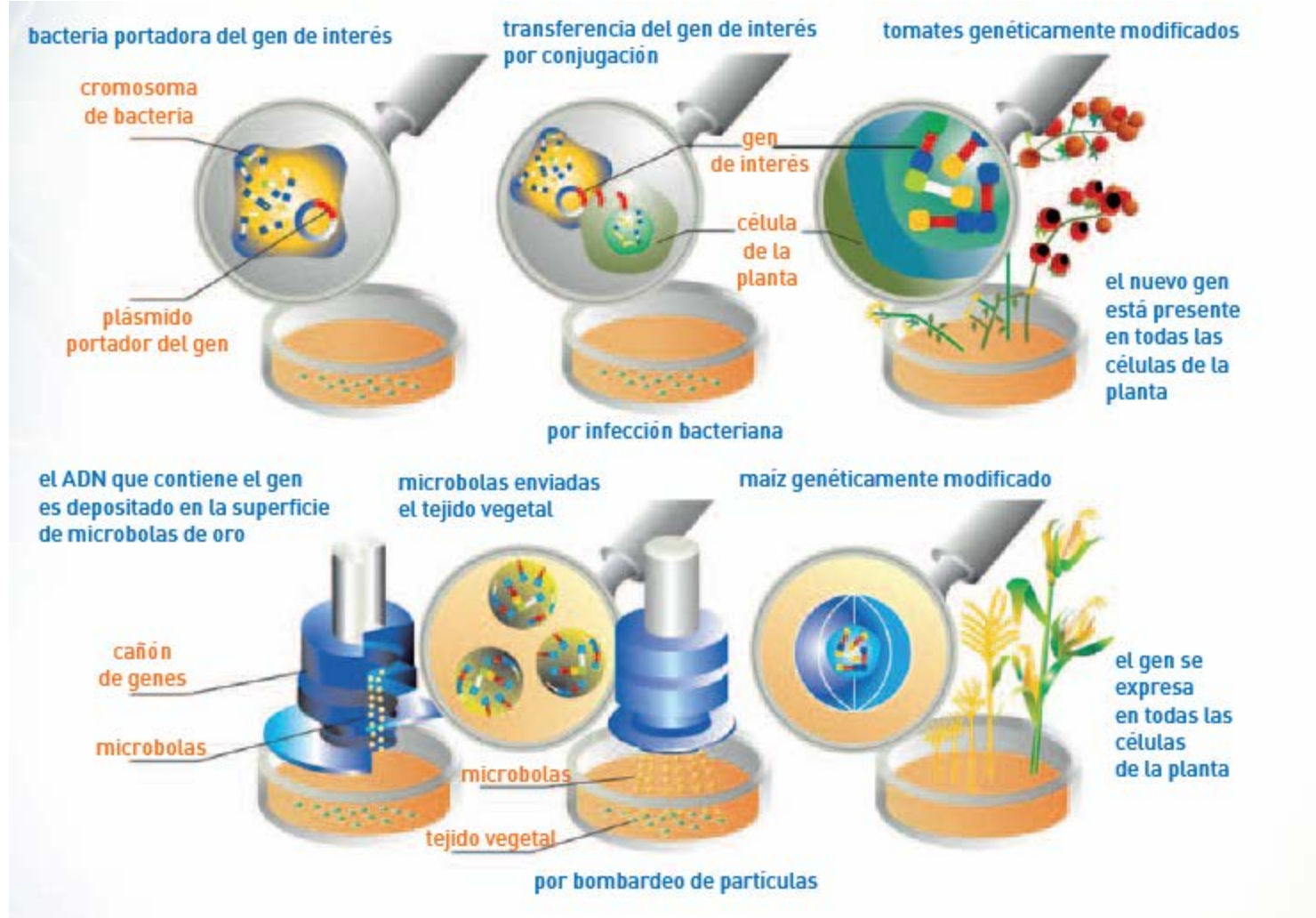
AGRICULTURA

El mejorador de cultivos busca plantas con ciertas características (por ejemplo, muchos frutos y esféricos), con la genómica identifica los genes responsables, y hace cruza entre plantas con las características deseadas para luego seleccionar y más rápido con marcadores de ADN los genes para esas características en la prole



En la ingeniería genética el mejorador toma el DNA -codificando la característica deseada- de una especie y se transfiere a otra planta sin cambiar las otras características

Ingeniería genética



Debate centrado a menudo en OGM mientras agricultores utilizan muchos productos de la biotecnología como biofertilizantes y bioplaguicidas, además de numerosos instrumentos y aplicaciones en el sector agrícola

Discovery



Market Introduction



Definition of the trait

- *Choice of genes*
- *Source of genes*

Decision and actions here can have a long-term and late consequences

Available technology and further improvement

Selections of line(s) with appropriate characteristics

- Stringent agronomic performance and efficacy criteria
- Greater than 90* of all events are eliminated
- Based in part on methods used to evaluate conventional varieties through traditional breeding

Detailed risk assessment for regulatory review

- Food
- Feed
- Fuel
- Environmental

Appropriate product stewardship

- Product performance
- Investigate complaints
- Support of academic research into applications

Biotechnology product development process with projected time: 7-12 years

Economic impact of transgenic crops in developing countries

Terri Raney

Current Opinion in Biotechnology 2006, 17:1-5

Table 1

Performance advantage of IR over conventional cotton expressed as a percentage.

	Argentina	China	India	Mexico	South Africa
Yield	33	19	34	11	65
Revenue	34	23	33	9	65
Pesticide costs	-47	-67	-41	-77	-58
Seed costs	530	95	17	165	89
Profit	31	340	69	12	299

Source: Author's calculations based on Argentina [23]; China [18]; India [36**]; Mexico [30]; and South Africa [25].

El **nivel de ganancias** al nivel de la finca depende si el agricultor adopta y retiene una tecnología, la cual **se debe a varios factores y no solamente a su rendimiento**; por ejemplo la **capacidad nacional de innovación agrícola**, las regulaciones ambientales y de inocuidad de los alimentos, los derechos de propiedad intelectual, y los mercados de insumos agrícolas

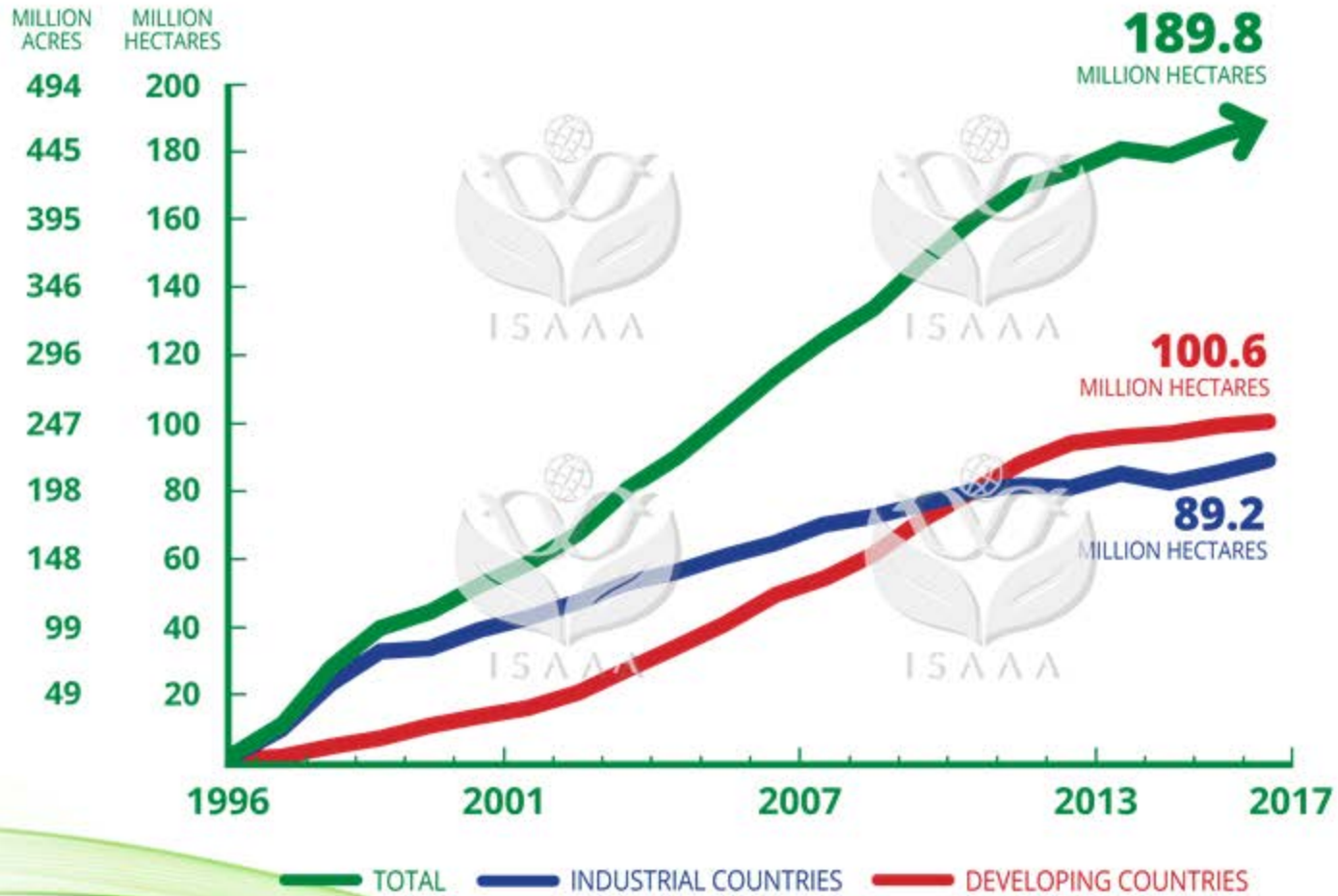
Table 2

Performance advantage of IR over non-IR cotton in India, listed by state, expressed as a percentage.

	Yield		Revenue		Chemical costs		Total costs		Profits	
Maharashtra	32	***	29	***	-44	***	15	**	56	***
Karnataka	73	***	67	***	-49	***	19	**	172	***
Tamil Nadu	43	***	44	***	-73	***	5		229	***
Andhra Pradesh	-3		-3		-19		13	*	-40	
National average	34	***	33	***	-41	***	17	***	69	***

Values were calculated for the year 2002/03. Source: [36**]. Statistically different from zero at the 10% (*), 5% (**) and 1% (***) significance levels.

Global Area of Biotech Crops, 1996 to 2017: Industrial and Developing Countries (Million Hectares, Million Acres)

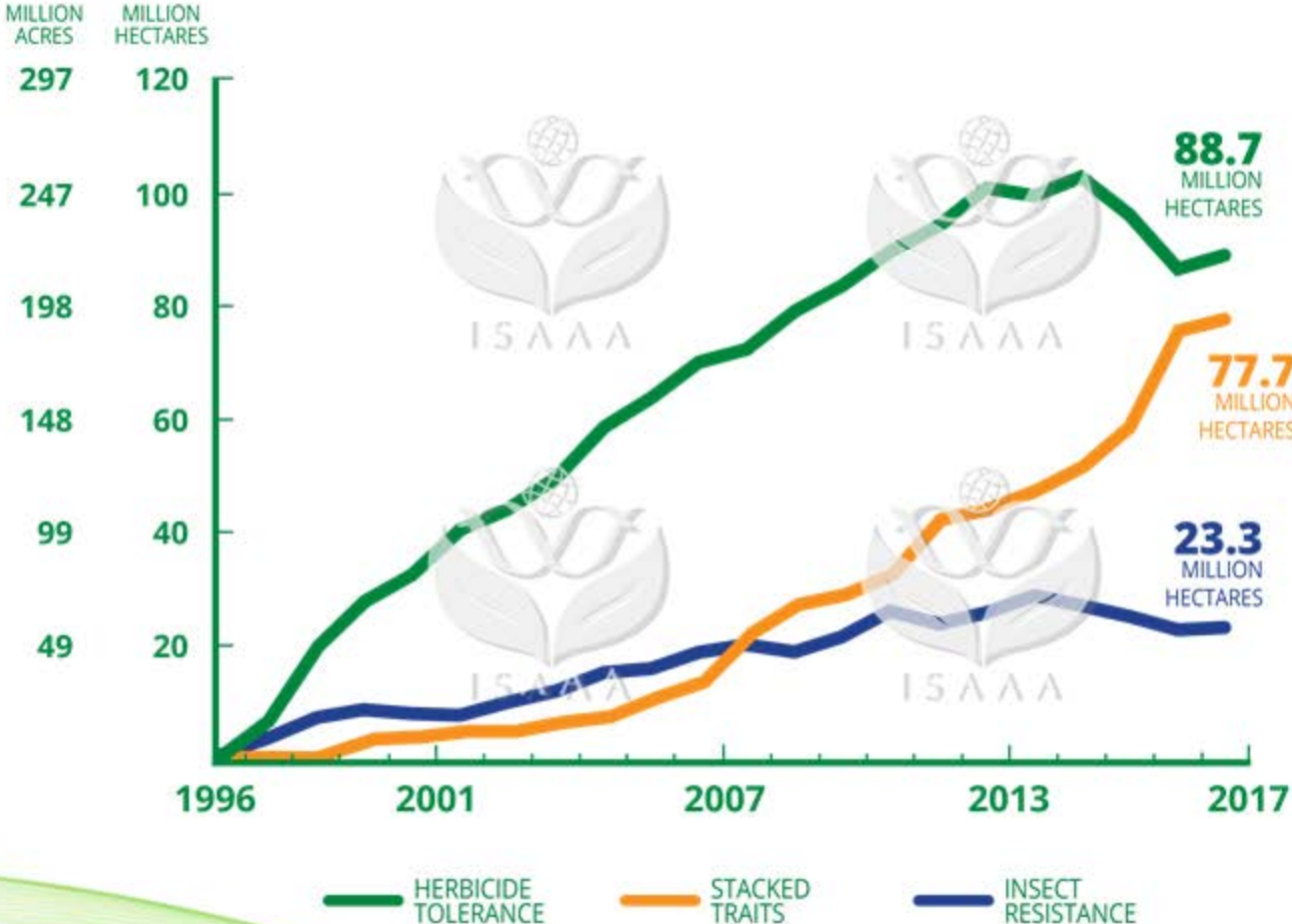


ISAAA, 2017



Global Area of Biotech Crops, 1996 to 2017: By Trait

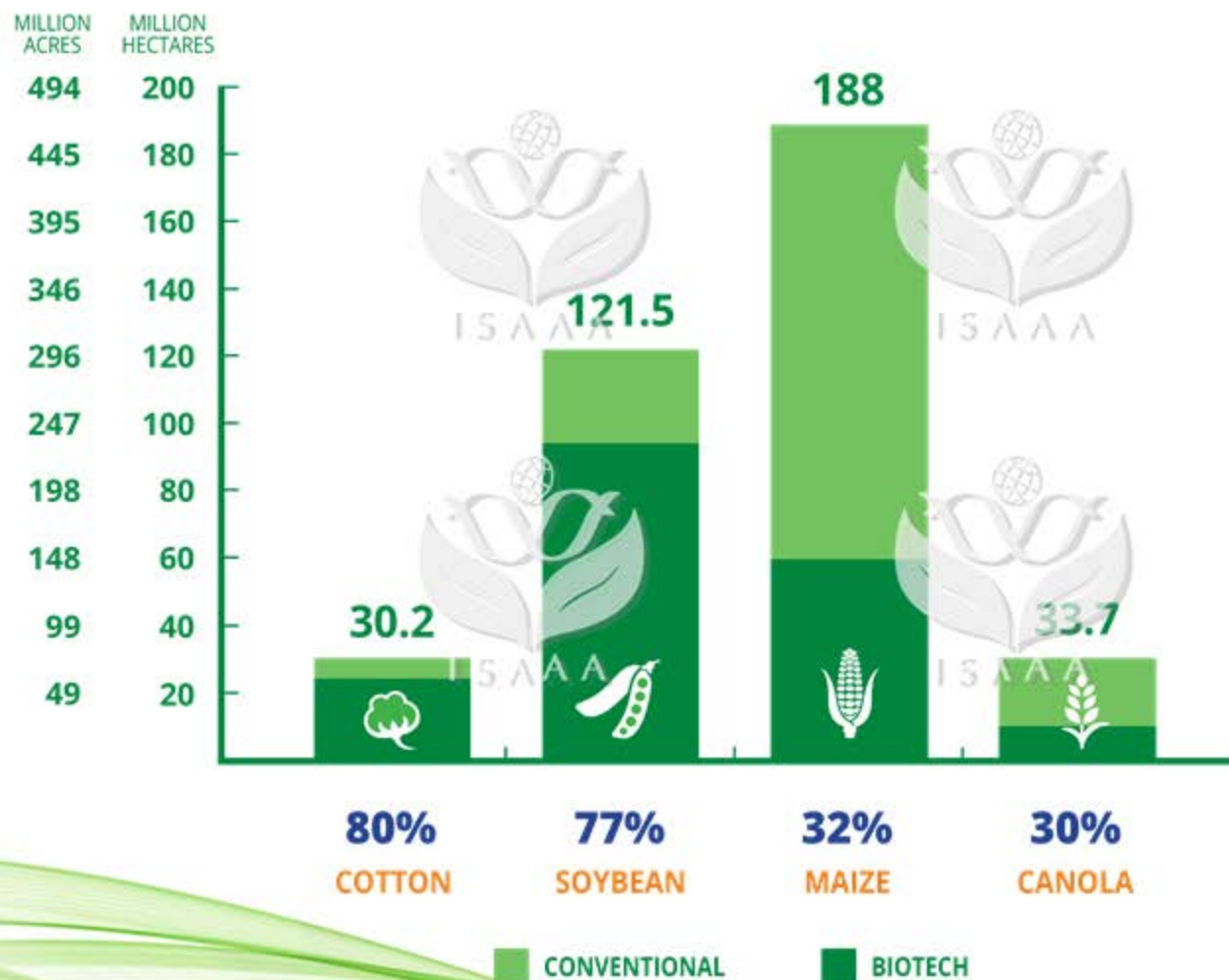
(Million Hectares, Million Acres)



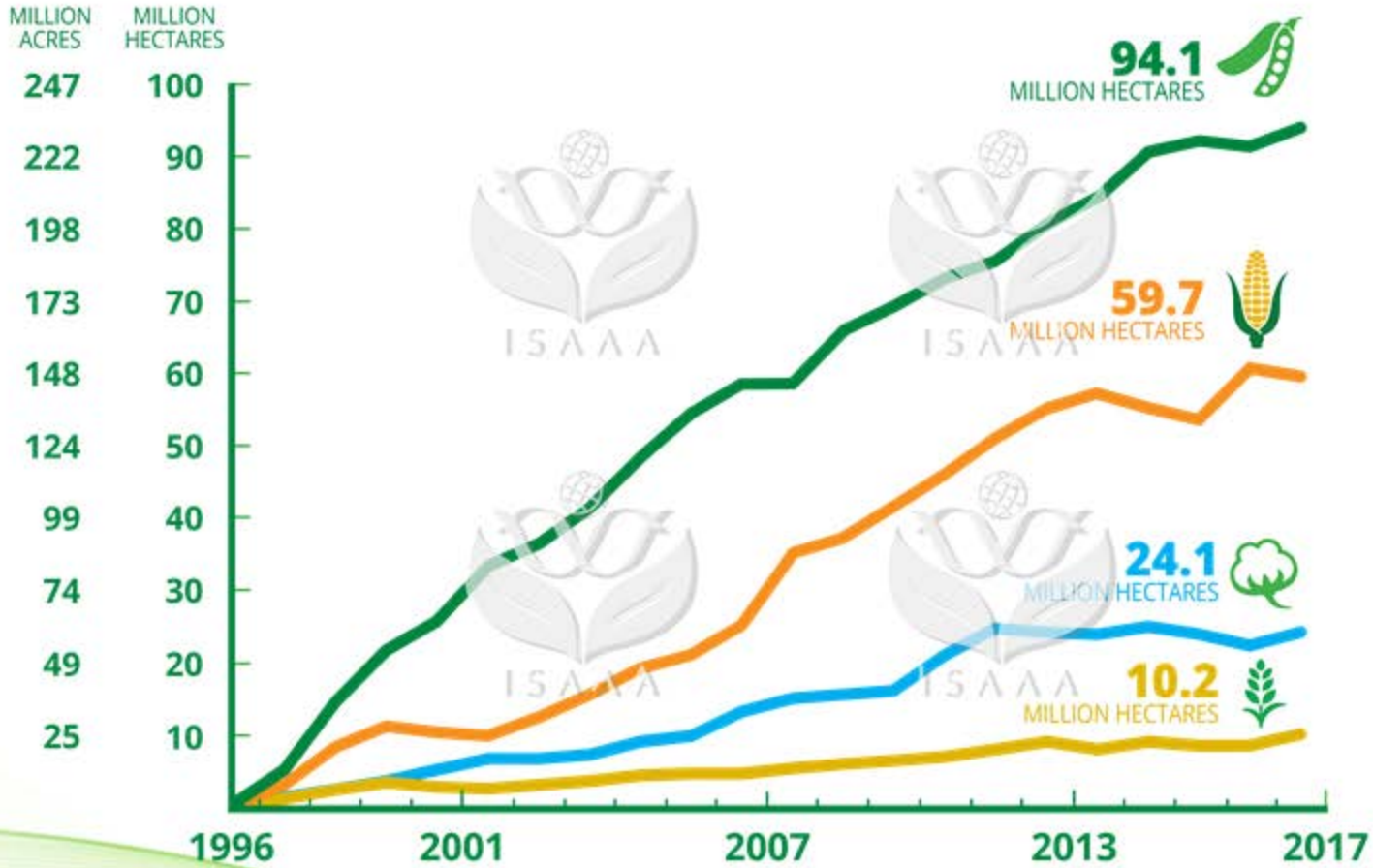
ISAAA, 2017



Global Adoption Rates (%) for Principal Biotech Crops (Million Hectares, Million Acres), 2017



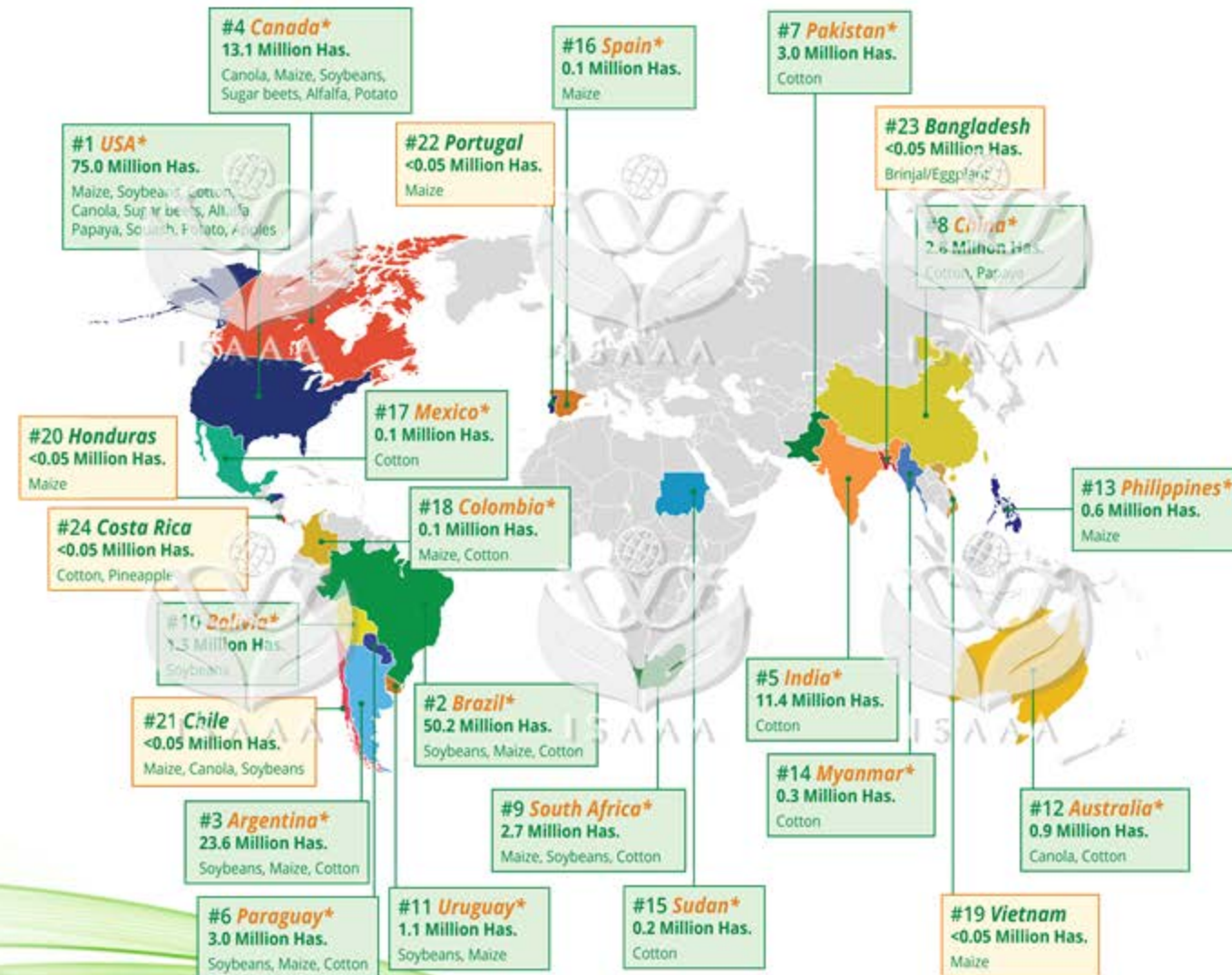
Global Area of Biotech Crops, 1996 to 2017: By Crop (Million Hectares, Million Acres)



ISAAA, 2017



Biotech Crop Countries and Mega-Countries*, 2017



*18 biotech mega-countries growing 50,000 hectares, or more, of biotech crops.

ISAAA, 2017



Los beneficios de los OGM en la agricultura, el ambiente, la biodiversidad y para la sociedad

Productividad

Cosechas extras (por ejemplo 195 y 110 millones de toneladas de maíz y soya) con una ganancia acumulada de **US\$ 98.2 mil millones** (por menor costo de producción) del 1996 al 2011

Impacto ambiental

Ahorro de 443 millones kg (ingrediente activo) o reducción del 9.1% desde el 1996 al 2010

Evitar emisión de 133,639 millones kg de CO₂ entre 2006 y 2010; o retirar 7.84 millones de carros de las pistas sólo en el 2010

Conservación del suelo y del agua en 50 millones de hectáreas con siembra directa de OGM y labranza de conservación

Biodiversidad

Protección de 63 millones de hectáreas de bosques (y su biodiversidad) que hubiesen sido taladas para cosechar 167 millones toneladas extras en estas áreas entre años 1996 y 2008

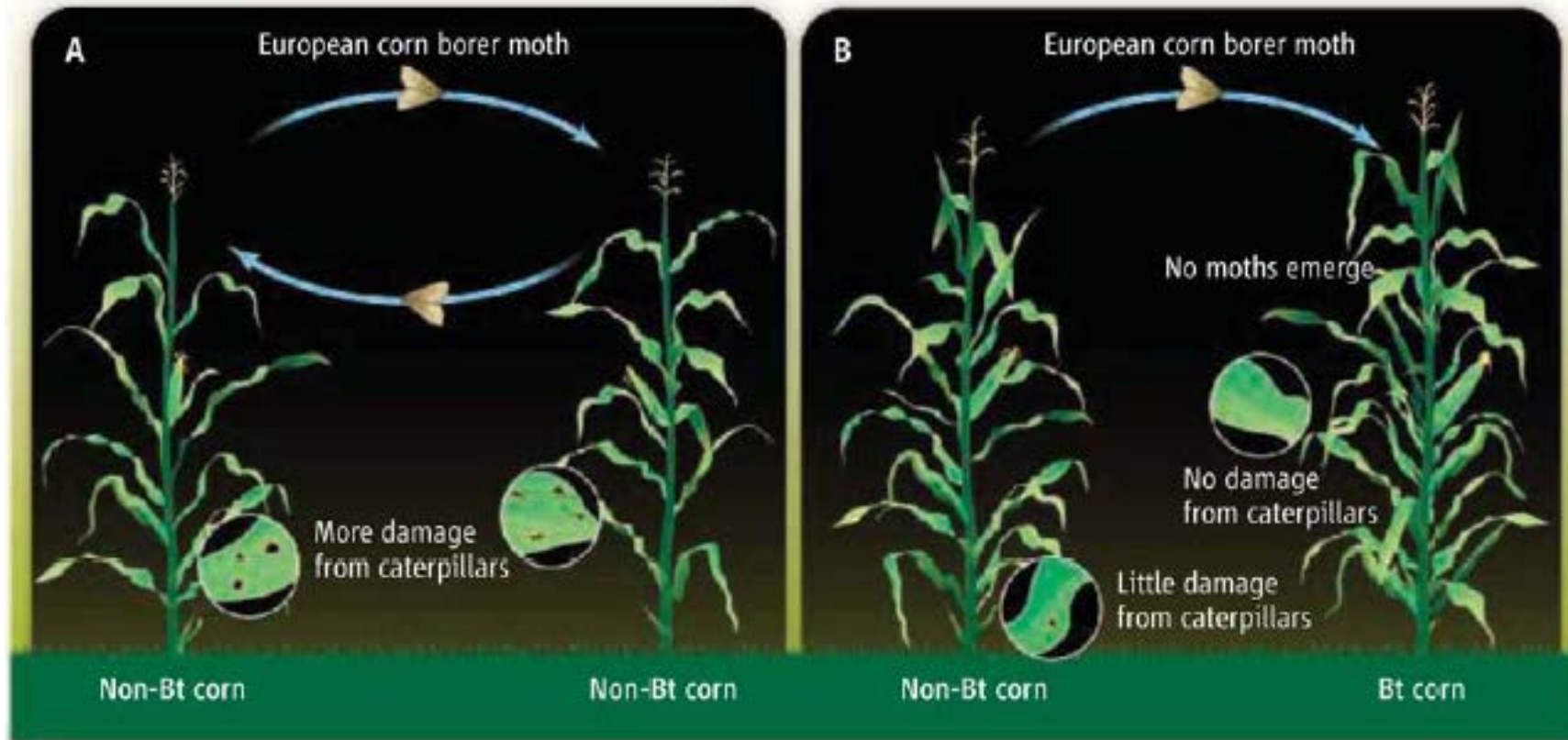
Beneficios Sociales

Contribución al alivio de pobreza de **13 millones de pequeños agricultores de bajos recursos** en países en desarrollo en el 2009

Global Impact of Biotech Crops: Income and Production Effects

<http://www.pgeconomics.co.uk/>

Efecto de Halo



Maíz-*Bt* cultivado cerca de maíz no-*Bt* proporciona a las plantas normales protección indirecta de las pestes

Areawide Suppression of European Corn Borer with Bt Maize Reaps Savings to Non-Bt Maize Growers

Promedio de efectos agronómicos y económicos a nivel agrícola del algodón Bt

Country	Insecticide reduction (%)	Increase in effective yield (%)	Increase in gross margin (US\$/ha)
Argentina	47	33	23
Australia	48	0	66
China	65	24	470
India	41	37	135
Mexico	77	9	295
South Africa	33	22	91
United States	36	10	58



The Economics of Genetically Modified Crops

Matin Qaim Annu. Rev. Resour. Econ. 2009. 1:665-93

Economic impacts and impact dynamics of Bt (*Bacillus thuringiensis*) cotton in India

Jonas Kathage¹ and Martin Qaim¹

www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1203647109

- Algodón-*Bt* ha causado un **aumento del 24% en el rendimiento de algodón por hectárea** a través de reducir daños causados por plagas y un **aumento de 50% en sus ganancias entre los pequeños productores**
- Los **beneficios** se mantienen **estables**, incluso hay indicios de que han **aumentado con el tiempo**
- La adopción del algodón-*Bt* **ha aumentado los gastos de consumo** (medida de estándar de vida) **en un 18%** durante el período 2006-2008

Widespread adoption of Bt cotton and insecticide decrease promotes biocontrol services

Yanhui Lu¹, Kongming Wu¹, Yuying Jiang², Yuyuan Guo¹ & Nicolas Desneux³

- Mercado **incremento en la abundancia de tres tipos de depredadores generalistas de artrópodos** (mariquitas, libélulas y arañas)
- **Disminución de la abundancia de las plagas de áfidos y reducción de las aplicaciones de insecticida** en este cultivo
- Los **depredadores** pueden proporcionar servicios adicionales de control biológico por **“spill-over” de los campos de algodón-Bt a los cultivos vecinos** (maíz, maní y soja)

¿CÓMO FUNCIONA EL MEJORAMIENTO GENÉTICO DE CULTIVOS CON CRISPR?



1

Los científicos primero identifican un gen responsable de alguna característica de la planta. Luego crean un fragmento de ARN y una proteína (enzima en este caso) para dirigirse y "editar" el gen.

2

El ARN, que imita una hebra de la secuencia del ADN del gen objetivo, y una enzima de restricción conocida como Cas9, que puede cortar el ADN, se introducen en una célula.

3

Con su secuencia "guía", el ARN localiza y se une a su secuencia de ADN pareada. El ARN también se une a la enzima Cas9, que corta el ADN en la ubicación seleccionada.

4

La enzima Cas9 corta a través de ambas cadenas de ADN en el lugar deseado dentro del genoma. Entonces se introduce un cambio (o mutación).

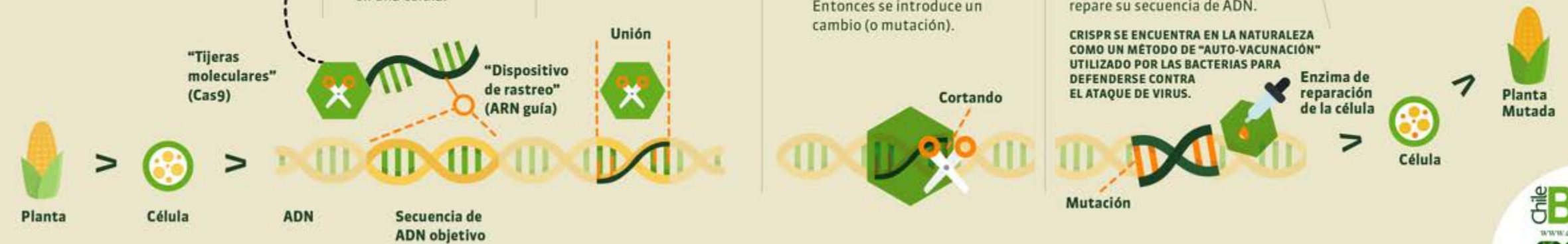
5

Se puede agregar una característica nueva eliminando el gen o introduciendo una variación. Después del cambio, los científicos esperan que la célula repare su secuencia de ADN.

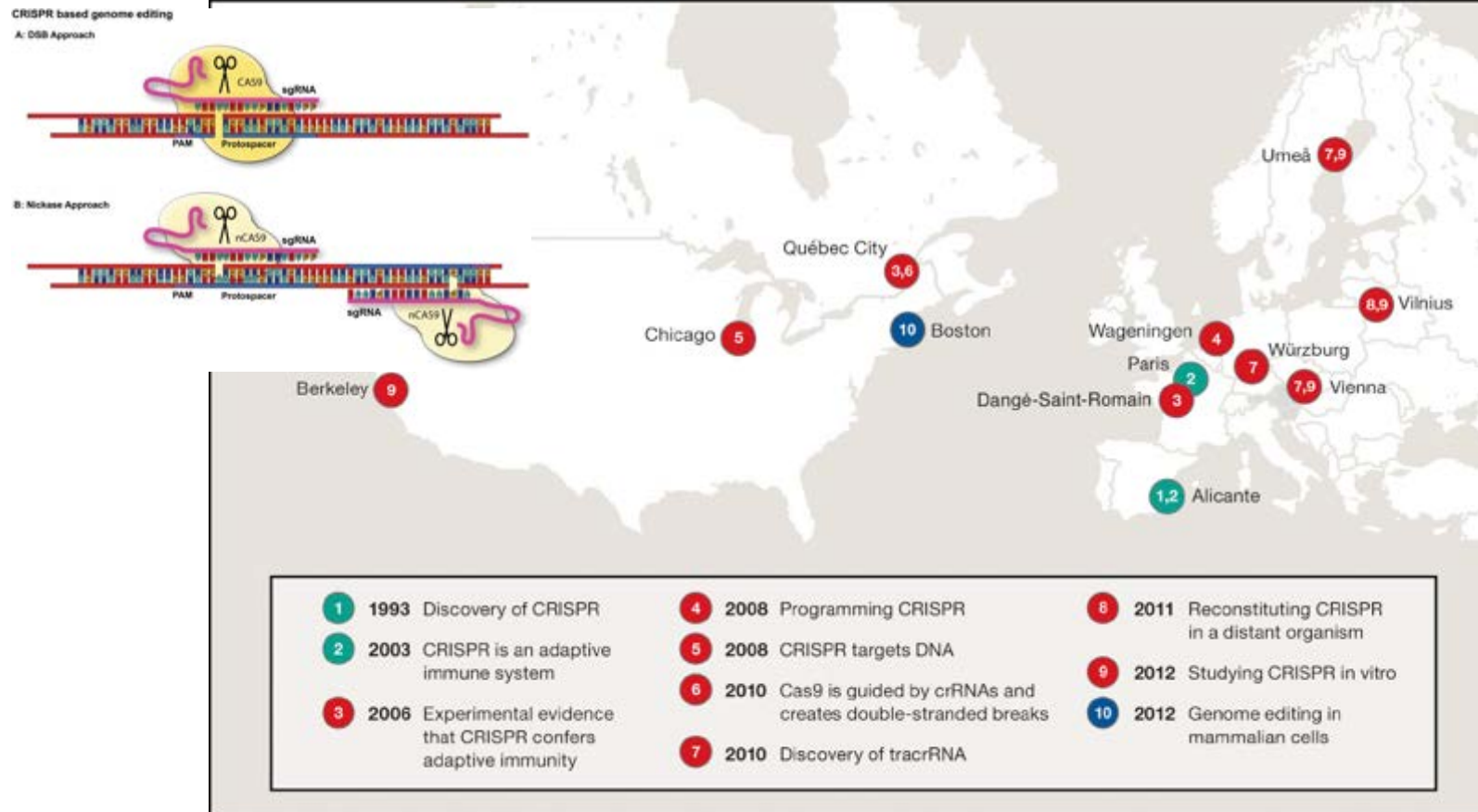
6

La enzima Cas9 corta a través de ambas cadenas de ADN en el lugar deseado dentro del genoma. Entonces se introduce un cambio (o mutación).

CRISPR es una técnica de edición del genoma que se aplica al mejoramiento de cultivos, en la cual los científicos "editan" el genoma de una planta para obtener características deseadas. Es una alternativa a otras técnicas de ingeniería genética más antiguas, como la transgenia. Aquí explicamos cómo funciona.



Cambios de nucleótidos específicos en el genoma de un individuo



The Heroes of CRISPR

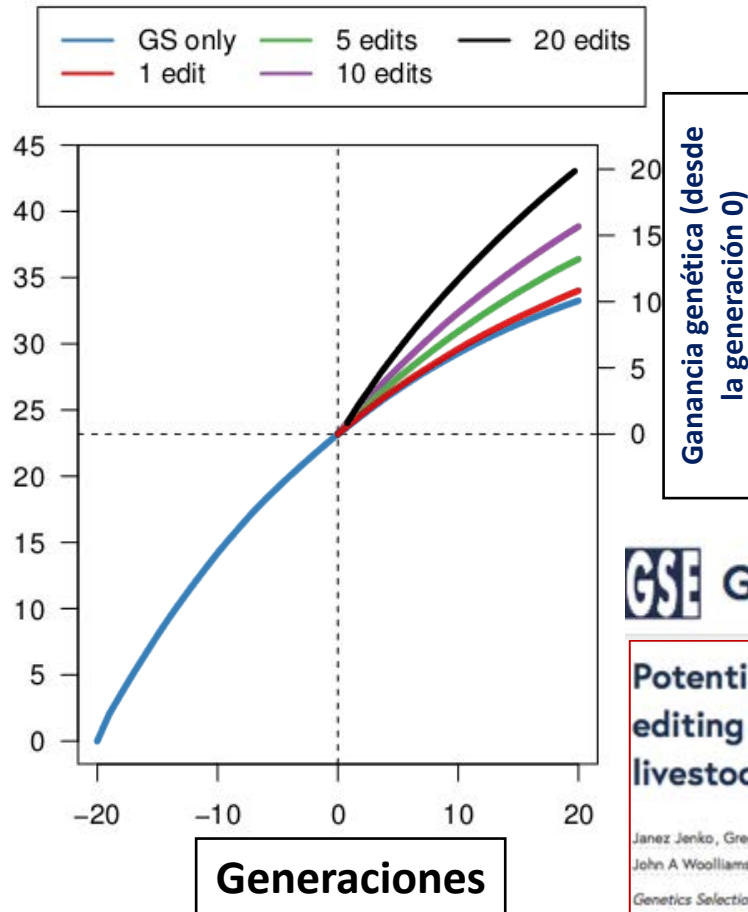
Eric S. Lander^{1,2,3,*} 18 Cell 164, January 14, 2016

Edición de genes en ...
mejoramiento genético

Ganancia genética – ediciones por toro

Ganancia genética
(desde la generación - 20)

Respuesta acumulativa a la selección a través de 21 generaciones de mejora genética histórica reciente basada solo en la selección genómica (GS only) y 20 generaciones de mejora genética futura basada solo en GS o selección genómica más la promoción de alelos por edición de genoma (GS + PAGE) cuando se obtuvieron 20 QTN editado para los 25 toros o 10 toros top



GSE Genetics Selection Evolution

Potential of promotion of alleles by genome editing to improve quantitative traits in livestock breeding programs

Janez Jenko, Gregor Gorjanc, Matthew A Cleveland, Rajeev K Varshney, C. Bruce A Whitelaw, John A Woolliams and John M Hickey III

Genetics Selection Evolution 2015 47:55

<https://doi.org/10.1186/s12711-015-0135-3> © Jenko et al. 2015

Re-escribiendo la ecuación del mejoramiento genético

$$\text{Respuesta de selección} = \frac{\text{Exactitud} \times \text{Intensidad de selección} \times \text{Diversidad}}{\text{Tiempo}}$$

PAGE = Promoción de alelos mediante la edición del gen

Ganancia genética = **Respuesta de selección** + **PAGE**

Contribuciones públicas al fitomejoramiento

- **“Proveedor”** de germoplasma, de fuentes de alelos o líneas y poblaciones avanzadas de mejoramiento
- **“Catalizador de investigación”** para mejorar características y en la gestión de recursos fitogenéticos
- **“Broker”** de tecnología patentada
- **“Facilitador”** de intercambio de conocimientos y tecnología a lo largo de la cadena de valor
- **“Analista”** y **“defensor”** de los medios de vida y la seguridad alimentaria en políticas de estado

Bio-ética

“El estudio sistemático de la conducta humana en el área de las ciencias humanas y de la atención sanitaria, en cuanto se examina esta conducta a la luz de valores y principios morales”

Van Rensselaer Potter (1971)

Una rama de la ética que mediante los **principios de autonomía, beneficencia, no-maleficencia y justicia** provee los lineamientos para una correcta conducta humana frente a la vida, tanto del ser humano como de aquellos que no lo son

Las semillas transgénicas: ¿un debate bioético?

Transgenic seeds: A bioethics debate?

DERECHO
PUCP

Nº 69, 2012
pp. 281-300
REVISTA
DE LA FACULTAD
DE DERECHO

JESÚS CASQUIER & RODOMIRO ORTIZ*

- **Autonomía. La capacidad del hombre de actuar con conocimiento y libertad:** información veraz acerca de este tema
- **Beneficencia. Obligación de hacer el bien:** mejorar la calidad de vida de los sujetos de estudio y de la sociedad ahora y a futuro
- **No maleficencia. No producir daño en el sujeto o en los objetos de la investigación:** precauciones necesarias y no conlleva a riesgos para la salud humana ya que está demostrada su inocuidad
- **Justicia. Darle a cada quien lo que le corresponde:** de respetar y dar a cada uno que le conviene como ser social dentro del desarrollo de la humanidad

¿Qué Hacer?

- Reglamento (o ley) de bioseguridad e inocuidad ambiental y alimentaria
- Política y protocolos para detectar y monitorear transgénicos
- Transparencia y comunicación de resultados a la sociedad





*“Quien produzca dos mazorcas de maíz, o dos
briznas de hierba en donde solo una creció
antes, merece lo mejor de la humanidad y
presta un servicio más esencial a su país que
toda la raza de políticos juntos.”*

Jonathan Swift (1726) “Los viajes de Gulliver”



Swedish University of
Agricultural Sciences

**3RD BEST UNIVERSITY
IN THE WORLD
IN AGRICULTURE AND FORESTRY**