



UNNOBA

# NÚCLEOS

Revista científica

OCTUBRE DE 2017

# 5



## INNOVACIÓN: SUS MÚLTIPLES ASPECTOS

**EL ESTUDIO  
DE LA INNOVACIÓN  
EN LA UNIVERSIDAD  
PÚBLICA  
ARGENTINA**

NORBERTO FERNÁNDEZ LAMARRA;  
PABLO DANIEL GARCÍA

**EL MEJORAMIENTO  
GENÉTICO  
Y LA ADAPTACIÓN  
DE CULTIVOS  
AL CAMBIO  
CLIMÁTICO**

GUILLERMO H. EYHÉRABIDE

**DISEÑO  
E INNOVACIÓN:  
ENTRE EL CONSUMO  
ACTUAL Y LA  
INESTABILIDAD  
FUTURA**

MARÍA DE LAS MERCEDES FILPE

**EL CEREBRO,  
LAS PALABRAS  
Y LOS  
RAZONAMIENTOS**

EDUARDO MIZRAJI



## AUTORIDADES ACADÉMICAS

*Rector: Dr. Guillermo R. Tamarit*

*Vicerrectora: Mg. Danya V. Tavela (en uso de licencia)*

*Guardasellos: Ing. Luis J. Lima*

*Secretaria Académica: Abog. Ma. Florencia Castro (en uso de licencia)*

*Secretaria de Investigación, Desarrollo y Transferencia: Dra. Carolina Cristina*

*Secretario de Extensión Universitaria: Abog. Diego Batalla*

*Secretario General: Lic. Juan P. Itoiz*

*Secretaria de Asuntos Económico-Financieros: Cdora. Mariela García*

*Secretario Legal y Técnica: Abog. Pablo G. Petraglia*

*Secretaria de Cultura: Lic. Laura Durán*

*Secretario Bienestar Estudiantil: Cdor. Martín Palma*

*Directora Centro de Edición y Diseño: Mg. Ma. de las Mercedes Filpe*

DIRECTOR DE LA REVISTA

**Dr. Ángel L. Plastino**

---

## SUMARIO

### #5 INNOVACIÓN:

#### SUS MÚLTIPLES ASPECTOS

**PÁG. 4 – EL ESTUDIO DE LA INNOVACIÓN  
EN LA UNIVERSIDAD PÚBLICA ARGENTINA**

NORBERTO FERNÁNDEZ LAMARRA; PABLO DANIEL GARCÍA

**PÁG. 16 – EL MEJORAMIENTO  
GENÉTICO Y LA ADAPTACIÓN DE CULTIVOS  
AL CAMBIO CLIMÁTICO**

GUILLERMO H. EYHÉRABIDE

**PÁG. 33 – DISEÑO E INNOVACIÓN:  
ENTRE EL CONSUMO ACTUAL  
Y LA INESTABILIDAD FUTURA**

MARÍA DE LAS MERCEDES FILPE

**PÁG. 45 – EL CEREBRO, LAS PALABRAS  
Y LOS RAZONAMIENTOS**

EDUARDO MIZRAJI

---

#### Edita



CEDi Centro de Edición y Diseño. UNNOBA  
DCV Ma. de las Mercedes Filpe

Callao 289 3.º piso, CP.1022  
Tel 54 11 53531520. Ciudad Autónoma  
de Buenos Aires, Argentina

#### Diseño y diagramación

CEDi Centro de Edición y Diseño  
Coordinador: DCV Cristian Rava,  
DCV Claudia Di Paola, DCV Bernabé Díaz

Corrector de estilo: Mariángel Mauri

#### Impresión

Ofinsumos S.A.

Año 3 N.º 5

Octubre de 2017  
Tirada 500 ejemplares  
ISSN 2408-4492  
Queda hecho el depósito  
que marca la ley 11723

Se invita a potenciales colaboradores  
a remitir sus trabajos al CEDi  
(cedi@unnoba.edu.ar)

#### Sede Junín

Libertad 555, CP. 6000  
Tel 54 236 4407750  
Junín, prov. de Buenos Aires, Argentina

#### Sede Pergamino

Monteagudo 2772, CP. 2700  
Tel 54 2477 409500.  
Pergamino, prov. de Buenos Aires, Argentina

www.unnoba.edu.ar



# EDITORIAL

Acercamos al amable lector el quinto número de nuestra revista de divulgación *NÚCLEOS*, perteneciente a la UNNOBA, en el que se abordan cuatro temas de diversa naturaleza sobre campos de la actividad académica muy relevantes, con una interesante y muy significativa temática.

En nuestro primer artículo, N. Fernández Lamarra y P. D. García discuten un tema de suma importancia, en el que la Universidad debiera jugar un rol fundamental. Los autores tratan la cuestión del pensar críticamente los procesos de innovación y cómo aplicarlos al propio funcionamiento universitario.

Sigue un estudio de G. H. Eyhéabide dedicado a la problemática del cambio climático desde la perspectiva del mejoramiento genético; un tema cuya relevancia para nuestro medio no es necesario enfatizar.

El tercer artículo pertenece a M. M. Filpe, quien nos presenta un complejo y amplio panorama sobre los problemas críticos de los tiempos que corren, vistos desde un original punto de vista: el de los expertos en diseño. Esta peculiar perspectiva ha de generar, seguramente, sorpresa y admiración.

Cierra este número de la revista E. Mizraji, quien nos invita a un excitante recorrido a través de la conjugación de tres tipos de evolución: cosmológica, biológica y cultural. Se trata de una fascinante síntesis de la actual cosmovisión de la comunidad científica.

Tenemos fundada esperanza en que estos tratamientos, de muy disímil espectro, resulten de interés para nuestra audiencia en esta quinta entrega.

***Dr. Ángel Luis Plastino***  
Director revista NÚCLEOS

# EL ESTUDIO DE LA INNOVACIÓN EN LA UNIVERSIDAD PÚBLICA ARGENTINA

## A MODO DE INTRODUCCIÓN

La Universidad, como institución paradigmática de producción y transferencia del conocimiento científico, profesional y artístico, debería constituirse en un agente fundamental de la innovación en nuestras sociedades. Ahora bien, las innovaciones en el sistema universitario argentino, al igual que en los otros niveles de enseñanza, son más una excepción que una práctica habitual. La Universidad es muy poco innovadora, tanto en lo institucional como en lo organizativo (no hay ni ha habido, como en otros países, instituciones de carácter experimental). En general, y salvo unas pocas excepciones, las nuevas universidades asumen los modelos organizativos de las más grandes y antiguas. En lo pedagógico-didáctico también es muy escasa la innovación y la experimentación, lo mismo que en relación con los planes de estudio, con nuevas carreras o nuevos perfiles de graduados deseables. La poca innovación existente no se registra sistemáticamente, no se evalúa ni se difunde, como ya se señaló. Tampoco este es un tema de investigación por parte de las propias universidades o de los centros especializados, por lo que se sabe muy poco al respecto.

Por otra parte, una notable debilidad de la Universidad argentina es que la investigación sobre la educación superior y sobre la propia Universidad como “objeto de estudio” es muy limitada. Esto se refleja en las autoevaluaciones de las instituciones, en el muy limitado debate académico, así como también en el escaso número de proyectos en el CONICET y en el Programa de Incentivos a los Docentes Investigadores relacionados con esta temática. Promover la investigación sobre las propias instituciones y sobre el sistema de educación superior en su conjunto es una condición para enriquecer el debate imprescindible sobre la educación, en general, y sobre la educación superior, en particular.

A partir de la sanción de la Ley 24521/95 de Educación Superior (LES) nuestro país desarrolla sistemáticamente una política educativa de transformación de la Universidad que tiene como propósito explícito mejorar la calidad del sistema, de las instituciones, de las carreras y de los procesos educativos. Con estos propósitos se orienta la tarea que lleva adelante la Comisión Nacional de Evaluación y Acreditación Universitaria (CONEAU), creada a partir de la LES, de evaluación institucional y de acreditación de programas, así como la puesta en marcha de diversos programas por parte de la Secretaría de Políticas Universitarias (SPU) y de otras dependencias ministeriales, como el Programa de Formación y Capacitación para el Sector Educación (PROFOR), el Programa Mejoramiento del Sistema de Información Universitario (PMSIU) o el ya finalizado Fondo para el Mejoramiento de la Calidad Universitaria (FOMECA), etc. A partir de estas acciones, las universidades han introducido cambios, muchos de los cuales responden a ajustes institucionales para atender las recomendaciones o exigencias de la CONEAU en los procesos de evaluación institucional externa, de acreditación, o bien para el cumplimiento de los objetivos de programas ligados a financiamiento específico.

Este cuadro de situación motivó al equipo de investigadores del Núcleo Interdisciplinario de Formación y Estudios para el Desarrollo de la Educación (NIFEDE) de la Universidad Nacional de Tres de Febrero a desarrollar desde el año 2012 una línea de investigación en torno a la innovación en la educación superior. Surgió así el proyecto “Innovación en universidades nacionales. Aportes para la comprensión de aspectos endógenos que inciden en su surgimiento y desarrollo” (Proyecto PICTO/UNTREF-4/73).<sup>1</sup>

Dicha investigación se interesó por identificar y analizar experiencias de mejoramiento, innovación o cambio institucional en organizaciones universitarias públicas, que no se originaron en respuesta a políticas del sector, evaluaciones externas o convocatorias de financiamiento de temas fijados centralmente, que a la vez han tenido incidencia favorable en las funciones de formación, investigación, extensión y gobierno, y que han alcanzado reputación institucional tanto nacional como internacional. Se buscó así generar un conocimiento sobre las situaciones problemáticas desencadenantes de las innovaciones —tal como fueron percibidas por los actores— y sobre las características y vicisitudes de los procesos a través de los cuales las innovaciones se generan y desarrollan, y son difundidas por los grupos que las impulsan.

La investigación se planteó como un estudio de casos y tomó como universo las experiencias de innovación de universidades públicas argentinas. El trabajo se organizó a partir de cuatro fases diferenciadas: la construcción de una muestra teórica de universidades, la identificación de innovaciones significativas desarrolladas en ellas, la caracterización histórico-situacional de una selección de esas innovaciones y el estudio de los grupos involucrados en su emergencia y desarrollo.

En este trabajo se presentan algunos de los resultados obtenidos en las diferentes fases del trabajo. En primer lugar, se especifican algunas de las líneas principales del marco teórico de la investigación; luego se exponen los resultados de la consulta a expertos sobre innovación en la Universidad y de la encuesta realizada a académicos sobre la temática. Finalmente, se desarrollan algunas de las conclusiones que se alcanzaron, específicamente, a partir del estudio de tres de los casos a los que se abocó el equipo de investigación para analizarlos en profundidad.<sup>2</sup>

## ALGUNAS IDEAS TEÓRICAS PARA PENSAR LA INNOVACIÓN EN LA UNIVERSIDAD

En el último tiempo se ha generalizado el uso del término innovación para hacer referencia a los cambios que se dan en el interior de las instituciones educativas, en particular, de las universidades. No obstante, este término, utilizado desde distintas tradiciones disciplinarias con connotaciones diversas, es empleado para designar fenómenos cualitativamente diferentes, lo cual da lugar a una amplia polisemia cuando se intenta caracterizar un fenómeno. De hecho, se carece de un concepto académico de innovación debidamente elaborado. Resulta importante entonces rastrear el concepto de innovación en esas tradiciones para comprender el sentido con el que se ha incorporado esta categoría al lenguaje de la gestión universitaria.

En el ámbito de la educación, mientras algunos autores hablan simplemente de “innovación”, otros adjetivan el término y emplean expresiones como “innovaciones educacionales”, “innovaciones en educación”, “innovaciones educativas” o “innovaciones con efecto educativo”, de las cuales la más utilizada es innovación educativa. La mayor parte de los autores adopta un término específico sin explicitar por qué elige ese y no otro, y a veces un determinado autor utiliza en el mismo texto términos distintos para referirse al mismo tipo de experiencias sin establecer diferencias entre ellos (Barraza Macías, 2013).

Por otra parte, se observa que el significado de “innovación educativa” corre el riesgo de sufrir una reducción al quedar por momentos circunscrito a la innovación tecnológica (Ramírez y Gómez, 2003). Ello se debe, sin lugar a dudas, al enorme desarrollo que han tenido en las últimas décadas las nuevas tecnologías de la comunicación y de la información (TIC). Varios son los autores que advierten sobre el uso tan generalizado del concepto de innovación. Ya a fines de los sesenta Westley (1969) afirmaba que “innovación” es un término engañoso, seductor y equívoco a la vez, porque sugiere mejoramiento y progreso, cuando en realidad solo significa algo nuevo y diferente. Por su parte, Blanco Guijarro (2000) entiende que se trata de un concepto altamente relativo, pues una innovación no es aséptica ni neutra, por cuanto está condicionada por posicionamientos políticos, sociales, culturales y epistemológicos, de tal forma que lo que es innovador para una institución o grupo puede no serlo para otros. En cualquier caso, qué es innovador y qué no depende de la perspectiva y de las representaciones o concepciones de los sujetos involucrados respecto de la sociedad, la cultura y, por supuesto, del nivel de desarrollo o del estado del arte en cuestión en cada contexto sociohistórico y en cada campo disciplinar en que el término se utiliza.

Las innovaciones se definen en función del contexto y del tiempo; por lo tanto, lo que es innovador en un contexto no lo es en otro, y lo que fue innovador en un momento dado puede dejar de serlo al con-

vertirse en rutina. Para poder comenzar a bosquejar una definición de la innovación y particularmente de la innovación en el ámbito de la Universidad, es importante definir algunas nociones próximas a ella, que forman parte del campo donde la innovación se inscribe. Arturo Barraza Macías (2013), en su búsqueda de una definición comprensiva de la innovación educativa, afirma que los conceptos que constituyen el sistema conceptual donde se inscribe la innovación educativa son “nuevo, mejora y cambio”.

Ahora bien, lo nuevo, en sentido estricto, es lo que nunca antes había sido inventado, conocido o realizado; algo que se genera, se instituye o se presenta por primera vez. Según este significado de lo nuevo, las innovaciones serían en realidad escasas o raras, ya que no es común que algo pueda definirse como “nuevo” con mucha frecuencia. Sin embargo, en un sentido más amplio, “nuevo” puede aplicarse a algo que lo fue, o que fue utilizado, en otros tiempos o situaciones, pero que ahora se lo utiliza en nuevas circunstancias, con diferentes finalidades, en diversas combinaciones o formas organizativas, etc. (Barraza Macías, 2013). Esta doble acepción —más estricta o más amplia— de “lo nuevo” resulta interesante en el momento de pensar las innovaciones educativas, en un sentido más estricto o en un sentido más amplio.

Otro concepto vinculado a innovación es el de “mejora”. La mayoría de las veces, la innovación está ligada a una perspectiva de mejora en relación con los métodos, estrategias, recursos didácticos o modos de organización grupal empleados con anterioridad. Pero ¿esta mejora por sí sola puede o no ser innovación? No todas las mejoras son innovaciones: pueden tratarse de ajustes menores o cambios marginales que, no obstante, implican una mejoría respecto del estado anterior, aun cuando el componente de “novedad” sea prácticamente nulo. Por otra parte, en cuanto a las mejoras que sí podemos considerar como innovación, aún cabe preguntarse si la innovación es la mejora en la utilización de lo existente y, por lo tanto, se ubica al nivel de proceso, o si, por el contrario, la mejora es lo que se verifica como resultado de la introducción de una innovación, y se ubica entonces como producto o impacto. Esto pone en evidencia la dificultad de establecer, de manera genérica, una direccionalidad causal unívoca entre mejora e innovación, ya que, si bien en la mayoría de los casos la mejora es el resultado de la introducción —en este sentido, instrumental— de una innovación, en otros la innovación consiste en sí misma en una mejora (básicamente, una mejor forma de hacer las cosas mediante la incorporación de alguna tecnología de gestión o incluso sin recurrir a ella), que a su vez desencadena mejoras más sustantivas como efecto. No obstante, en general el criterio subyacente adoptado en la literatura revisada es el de entender y definir una innovación como algo nuevo que produce mejora (Moreno Bayardo, 1995). Y, si produce mejora, entonces el cambio está implícito. Allí aparece otro de los conceptos con los que suele vincularse el concepto de innovación: el cambio.

Si consideramos que innovación es la introducción de algo nuevo que produce mejora, el hecho de pasar de lo que se tenía antes a un estado diferente, apreciado como mejor respecto del que lo precede, supone la presencia de un cambio. Sin embargo, así como no todo cambio implica mejora, no todo cambio es una innovación. Un cambio puede ocurrir incluso de manera no deliberada a raíz de la concurrencia de múltiples factores en una situación determinada. Por lo tanto, avanzando en la definición del concepto de innovación, podemos afirmar que se trata de algo planeado, deliberado, sistematizado y producto de una intención, mientras que un cambio puede darse de manera espontánea. Según Barraza Macías (2013), lo que provoca que un cambio sea una innovación es que el cambio se haya producido con una intencionalidad. El componente intencional de la innovación hace que esté asociada a un objetivo y a una meta previamente estipulados.

Otras características que suelen invocarse para definir la innovación como tal son que a) necesita ser duradera, b) debe tener alto índice de utilización y c) debe estar relacionada con algo sustancial, lo cual la diferencia de las simples novedades (Barraza Macías, 2013).

Los conceptos vertidos en los párrafos precedentes representan una síntesis del trabajo de indagación bibliográfica realizado por el equipo para pensar y discutir el concepto de innovación. En simultáneo con esta búsqueda y discusión bibliográfica se desarrolló el trabajo de campo.

## LA INNOVACIÓN EN LA UNIVERSIDAD DESDE LA PERSPECTIVA DE LOS ACADÉMICOS

Uno de los componentes elegidos para iniciar el trabajo de campo para el proyecto de innovación fue una consulta a una muestra representativa de académicos universitarios a través de un cuestionario. Los objetivos de esta estrategia fueron producir conocimiento sobre las condiciones y dinámicas institucionales que favorecen el surgimiento y desarrollo de innovaciones y cambios institucionales, y sobre las características y vicisitudes de los procesos organizacionales y psicosociales a través de los cuales las innovaciones son llevadas a cabo por los grupos que las impulsan.

El cuestionario fue administrado electrónicamente, durante septiembre y noviembre del 2013, a una muestra aleatoria de docentes de universidades nacionales compuesta por 885 casos, seleccionada por responsables del Sistema de Información Universitaria (SIU) para otra investigación: “La profesión académica en tiempos de cambio”. El acceso del SIU a todos los cargos del sistema nacional les permitió realizar un muestreo aleatorio. De los 885 casos que recibieron el cuestionario, 135 académicos lo respondieron, la mayoría profesores titulares y adjuntos. Esto fue importante para la investigación dado que era necesario acceder a aquellos académicos que conocen la Universidad, su historia, su funcionamiento y sus particularidades.

En el cuestionario se indagó con respecto a cuatro grandes interrogantes vinculados en particular con los procesos de innovación en las universidades públicas argentinas:

- a. Quiénes son los referentes académicos dentro de su campo disciplinar que han generado innovaciones importantes.
- b. Cuáles son las áreas en las que se ha innovado dentro de su campo disciplinar.
- c. Cuáles fueron las condiciones y procesos que facilitaron u obstaculizaron la instalación y desarrollo de innovaciones.
- d. Cuál es su perspectiva sobre la situación actual de las universidades en cuanto a las posibilidades de innovación.

Primero, los académicos respondieron sobre cuáles fueron los referentes en su campo que pudieron haber aportado innovaciones a la Universidad. Del total de las respuestas, 102 mencionaron a académicos nacionales, 91 respuestas se refirieron a académicos internacionales, 45 respuestas incluyeron grupos científicos nacionales, otras 45 señalaron grupos científicos internacionales, y el resto de las respuestas nombró publicaciones, jornadas, eventos y congresos (tanto nacionales como internacionales). Se advierte que cada entrevistado podía incluir más de una respuesta. Los académicos mencionados por lo general pertenecen a la misma unidad académica que el entrevistado y unos pocos son externos al mundo de la Universidad.

En segundo lugar, se les solicitó a los académicos que identificaran qué tipos de innovaciones o cambios significaron, a su juicio, aportes al desarrollo institucional y académico, y suelen ser consideradas propias o distintivas de su universidad de pertenencia. En este aspecto las respuestas están más divididas: las innovaciones más detectadas tienen que ver con la docencia; les siguen las que se refieren a la investigación y, en tercer lugar, se hace referencia a innovaciones vinculadas a la gestión. En relación con las innovaciones respecto de la docencia, hay una mayoría que menciona modalidades de enseñanza innovadoras; luego, otra importante cantidad remite a políticas académicas innovadoras, por ejemplo, las vinculadas con cambios curriculares o en la carrera docente. En el caso de la investigación, casi un 25 % de las respuestas hace referencia a líneas de investigación innovadoras y un 19,4 % de las respuestas alude a políticas innovadoras. En relación con la tercera temática a la que se refieren las innovaciones, la gestión, prevalecen las respuestas sobre internacionalización de la docencia y la investigación, así como acciones relacionadas con el bienestar estudiantil. Otros temas que se mencionan como ámbito de innovación son: políticas de extensión innovadoras, acciones de seguimiento y tutorías para la retención de los estudiantes, nuevas estructuras de organización (departamental, por institutos, etc.), nuevas unidades de gestión académica, políticas innovadoras en relación con la democratización e inclusión social de la educación superior, innovación con relación al medio productivo, nuevas unidades académicas interdisciplinarias, entre otras.

En cuanto a qué nivel del contexto resulta más relevante para la innovación, según los resultados, una amplia mayoría hace referencia al nivel institucional (51,9 % de quienes respondieron). Le siguen los cambios en el contexto nacional (35,2 %) y solo un 13 % señala cambios en el contexto internacional como factor que favoreció el surgimiento de la innovación.

Otro de los ejes de preguntas del cuestionario indagaba sobre los factores que favorecen y obstaculizan el surgimiento y desarrollo de la innovación. En este sentido, una amplia mayoría de las respuestas alude a las políticas institucionales y, en segundo lugar, aparece el surgimiento de grupos con capacidad y disposición para la innovación. Menos casos mencionan políticas de Estado que favorecen la innovación. En menor medida también algunas respuestas señalan políticas provenientes de organismos internacionales y, en mucho menor medida aún, se hace referencia a adelantos en el campo disciplinar y descubrimientos tecnológicos.

En lo que respecta a las características personales de quienes lideraron los procesos innovadores, la respuesta más sobresaliente es la de poseer conocimientos destacados en el área. Luego se distingue la capacidad de convocar a otros, de animarlos a involucrarse en un proyecto y sostenerse en el proceso, y en

menor medida el prestigio y reconocimiento internacional, nacional o institucional, el poder en la trama institucional o en el gobierno institucional, la originalidad y creatividad y, en última instancia, las condiciones personales especiales.

Otra de las preguntas hacía referencia a los obstáculos para la innovación. Claramente el primer lugar es ocupado por la falta de recursos. En un segundo nivel aparecen cuestiones tales como dificultades institucionales, la rigidez del campo disciplinar, la historia de los grupos académicos, o bien otros acontecimientos internos dentro del grupo y, en mucho menor medida, estilos de liderazgo contrarios a la innovación y rasgos de la cultura institucional que obturan la innovación.

Finalmente, el cuestionario incluía una serie de preguntas para analizar el punto de vista de los académicos sobre cómo la Universidad promueve la innovación, tanto desde la perspectiva de la propia institución en donde trabaja el académico como desde su percepción sobre el sistema. Cuando se los consulta sobre el ámbito de la propia universidad para que valoren qué actividades perciben con mayores posibilidades de innovación en su institución, los encuestados responden que la propensión más alta está en la investigación, seguida de la extensión. La función menos propensa a la innovación —en su opinión— se da al nivel del gobierno institucional. Para los académicos encuestados las principales condiciones en su universidad tienen que ver con políticas institucionales, liderazgos personales y obtención de recursos, las cuales rondan la mitad de las respuestas. Esto es coherente con las respuestas anteriores sobre las condiciones y límites de la innovación. Estas percepciones se mantienen relativamente con respecto al “ámbito de la Universidad en general”; sin embargo, el promedio es bastante menor para el nivel del sistema que para la propia institución. En cuanto a los obstáculos, aparecen como fundamentales las dificultades en las políticas institucionales, menos identificadas en la propia universidad, y las dificultades relacionadas con la obtención de recursos y la rigidez normativa.

A partir del análisis de las respuestas obtenidas, el equipo de investigación concluyó que los académicos encuestados estiman que los principales innovadores han sido científicos, tanto nacionales como del exterior. Por ello la mayor parte de las innovaciones mencionadas se identifican en ámbitos de docencia e investigación y menos en ámbitos de gestión. El nivel del contexto de la innovación es mayoritariamente institucional, lo que refuerza el carácter académico, poco relacionado con lo externo de las instituciones. En relación con las características personales de los líderes de la innovación (aspecto reforzado porque el perfil individual es fundamental como referente de la innovación), se valoran las capacidades de liderazgo y el conocimiento específico sobre la temática, asociados con la necesidad de una adecuada política institucional y con la obtención de recursos, aspecto que funcionaría como condición al igual que como obstáculo.

## LA OPINIÓN DE LOS EXPERTOS SOBRE EXPERIENCIAS INNOVADORAS EN LA UNIVERSIDAD

Otra de las estrategias para abordar el campo en el marco del proyecto de investigación fue la realización de una entrevista semiestructurada a una selección de expertos en la temática. La selección de los informantes expertos se hizo de acuerdo con el criterio de reputación, la cual fue evaluada por el equipo del proyecto, según su conocimiento experto y a partir de la consulta de bibliografía específica de carácter histórico. El corpus estuvo conformado por 27 entrevistas.

La entrevista fue diseñada como instrumento de acuerdo con los lineamientos de los métodos biográficos e indagó en forma abierta con puntos de focalización en cuatro áreas amplias: la trayectoria de quien informa, las experiencias de innovación producidas, vividas o protagonizadas por él/ella, las condiciones y procesos que facilitaron y obstaculizaron su instalación y desarrollo, y sus ideas con respecto a la situación actual de las universidades en cuanto a las posibilidades de innovaciones necesarias.

El análisis de las entrevistas a los expertos permitió identificar una serie de experiencias de innovación en las universidades nacionales argentinas. De esta forma se agruparon las innovaciones según el nivel en el que se desarrollaron.

En primer lugar, aparecieron menciones a innovaciones vinculadas al acceso a la educación superior en diferentes universidades (la Universidad Nacional del Litoral, con sus actividades de formación para el ingreso, y la Universidad de Buenos Aires, a partir de la creación del Ciclo Básico Común, fueron las más destacadas). Otro ámbito de innovación que apareció mencionado en las entrevistas fueron las propuestas destinadas a fomentar la permanencia en las instituciones universitarias (en este sentido, se destacaron las menciones a las acciones de tutoría realizadas por la Universidad Nacional del Litoral y las acciones de acompañamiento a los estudiantes realizadas por la Red de Universidades del Conurbano Bonaerense).

Un tercer ámbito en el que se mencionaron innovaciones fueron el currículum y la enseñanza (aquí se destacaron las experiencias de la Universidad Nacional del Sur y su oferta académica vinculada a necesidades locales, la Universidad Nacional de la Plata por la creación de la Unidad Pedagógica en la Facultad de Agronomía, la Universidad de Buenos Aires por el Programa de Tutorías y la Asesoría Pedagógica, y el Instituto Balseiro, de la Universidad Nacional de Cuyo, por el desarrollo del campo de la física nuclear en el país). Un cuarto ámbito de innovación fue la relación de la Universidad con el medio social (al respecto se destacaron la experiencia de la Universidad de Buenos Aires en la Isla Maciel, el trabajo con el INTA de la Universidad Nacional de la Plata, las vinculaciones con el municipio y las organizaciones de la comunidad de la Universidad Nacional de Lanús y la creación del Centro para la Transferencia de los Resultados de la Investigación (CETRI) en la Universidad Nacional de Litoral, entre otras). Un quinto ámbito en el que se mencionaron innovaciones fue la investigación y el desarrollo (en este ámbito se destacó nuevamente la experiencia del CETRI en la Universidad Nacional del Litoral, la experiencia de la Fundación Leloir y el Programa UBACyT de la Universidad de Buenos Aires). Finalmente, se destacaron innovaciones en el ámbito de la organización y el gobierno de las instituciones universitarias. En este sentido, las experiencias que se destacaron fueron la organización departamental en la Universidad Nacional del Sur, en la Universidad Nacional de General Sarmiento y en la Universidad Nacional de Lanús; la organización regional de la Universidad Nacional de la Patagonia Austral, el Consejo Social de la Universidad Nacional de Lanús y el Plan Taquini y su expresión en la Universidad Nacional de Río Cuarto, entre otras.

A partir del análisis del marco teórico y de la bibliografía pertinente, así como de los diversos instrumentos aplicados, se pudieron identificar cinco grandes dimensiones sobre las cuales profundizar el estudio de las innovaciones. Estas dimensiones fueron:

**-El acceso a los estudios, especialmente centrados en una mayor democratización del sistema.**

Los estudios superiores se ven ante el problema de cómo afrontar un proceso de masificación, con cambios cuantitativos y cualitativos en los estudiantes. Las innovaciones tenderían a promover una mejor adaptación de los estudiantes a los estudios universitarios, lo que redundaría en una democratización no solo en el acceso a los estudios, sino también en la permanencia y el egreso.

**-Innovaciones pedagógicas en relación con el currículum y la enseñanza.** La masificación de los estudios, la necesidad de vincular la formación de grado con las demandas sociales, la práctica profesional y también la de investigación han planteado la necesidad de innovación en los modelos curriculares y las prácticas docentes tradicionales centrados en la trasmisión de contenidos. Las innovaciones tenderían a incorporar espacios y prácticas docentes multidisciplinares, de aprendizajes prácticos, que promuevan conocimientos transversales y relacionados con el “afuera” de la Universidad; estas incluirían además la formación docente de los académicos para que cumplan con estos objetivos.

**-La relación de la Universidad con el medio social.** La Universidad se caracterizó por su perfil “endógeno” y ya una de las demandas de la Reforma Universitaria fue la conexión del mundo académico con la sociedad y sus necesidades. Durante mucho tiempo, la extensión, como función irrenunciable de las universidades, se extendió como una práctica subsidiaria de las demás. Sin embargo, a partir de ciertos actores fundamentales, en la segunda mitad del siglo XX se empezaron a detectar actividades de trabajo académico en lugares y con agentes sociales no tradicionales, muchos de estos provenientes de sectores populares. Estas acciones han convertido a la extensión y al contacto con el medio en un ambiente dinámico para la producción y trasmisión del conocimiento, cumpliendo directamente con funciones sociales, pero también transformando las formas y modelos de plantear la investigación y la docencia.

**-La institucionalización de la investigación y el desarrollo.** A nivel internacional el tradicional modelo continental de Universidad tuvo un límite en la promoción de la investigación con el inicio de la masificación del sistema. El caso argentino no estuvo exento a esto. Sin embargo, se han podido detectar innovaciones con relación a cómo promover la función de investigación y desarrollo, otorgándole una necesaria dinámica nueva a dicha función de producción del conocimiento. Una de las estrategias preponderantes ha sido la implementación periódica de programas y convocatorias para la presentación de proyectos de investigación, por un lado, o para la promoción del contacto con el sector productivo, por otro.

**-El desarrollo de nuevas estructuras de organización y gobierno.** Tradicionalmente las universidades públicas argentinas han tenido un tipo de organización basada en facultades: dentro de ellas funcionan las carreras y, sobre todo, las cátedras. En lo que se refiere al gobierno, la Reforma promovió inicialmente el gobierno de docentes y estudiantes, y posteriormente el de graduados. Esta estructura encontró ciertos problemas para generar espacios innovadores, respuestas a nuevas realidades científicas y sociales y a las necesidades geográficas de las nuevas instituciones. Han aparecido diversas experiencias innovadoras en cuanto a la organización, basadas en la departamentalización, la creación

de institutos, unidades académicas descentralizadas, etc. En lo que se refiere al gobierno esto se combinó con mecanismos alternativos de elección y con la posibilidad de participación de agentes sociales (mayoritariamente a través de los Consejos Sociales).

## UNA BREVE APROXIMACIÓN A UNA SELECCIÓN DE LOS CASOS ESTUDIADOS EN PROFUNDIDAD

Considerando cada una de las dimensiones definidas en el apartado anterior, se decidió incluir en el estudio en profundidad los siguientes casos:

- La Universidad y su relación con el medio en la Universidad Nacional del Litoral: el Centro para la Transferencia de los Resultados de la Investigación (CETRI).
- El Programa de Promoción de la Ciencia y la Tecnología de la Universidad de Buenos Aires (UBACyT).
- La democratización del acceso a la Universidad y la experiencia de las universidades del conurbano bonaerense y del Ciclo Básico Común de la UBA.
- El Instituto Balseiro como modelo de organización institucional y pedagógica innovador destinado a la formación en un nuevo campo disciplinar y a la formación de excelencia.
- El caso de la Universidad Nacional de Río Cuarto como modelo de innovación en la gestión.

De esta manera, los casos seleccionados permitieron la consideración de experiencias innovadoras que se desarrollaron en universidades creadas en diversos períodos históricos, en distintas ubicaciones geográficas, con diferentes grados de incorporación a procesos de evaluación institucional, e incluso de variados tamaños.

Con excepción del caso del CBC de la UBA, cuyo informe se le encargó a un equipo de especialistas, los casos fueron llevados adelante por investigadores del equipo. Tanto para el informe de expertos como para el acceso a los casos, se planteó una serie de dimensiones a analizar. En primer lugar, algunos factores vinculados con los contextos que permitieran describir el ambiente donde se generó la innovación. En segundo lugar, diferentes aspectos que dieran cuenta de la génesis, el desarrollo y el estado actual de la innovación.

A continuación se presenta una síntesis de tres de los casos estudiados: la experiencia del CETRI de la Universidad del Litoral, el Programa UBACyT de la Universidad de Buenos Aires y el Instituto Balseiro de la Universidad Nacional de Cuyo.

## EL CENTRO PARA LA TRANSFERENCIA DE LOS RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DEL LITORAL (CETRI-LITORAL)<sup>3</sup>

La relación de la Universidad con el medio social constituye una inquietud de la Universidad latinoamericana por extender su acción más allá de los límites de la propia institución. Esta preocupación por conectar el mundo académico con la sociedad y sus necesidades tiene su origen en la Reforma Universitaria de 1918, momento en que los sectores medios comienzan a luchar por el acceso a los estudios superiores, lo cual inicia un proceso de deselitización de la Universidad tradicional, controlada hasta ese momento por la oligarquía terrateniente y el clero. A partir del movimiento reformista de Córdoba surge el concepto de “función social” de la Universidad, como un intento de llevar su actividad a la sociedad a través de programas de extensión y difusión de la cultura. De este modo, a la docencia y la investigación se suma una tercera función llamada de “extensión universitaria”. Si bien durante mucho tiempo la extensión se desarrolló como una función secundaria respecto de las demás, a partir de la segunda mitad del siglo XX esta se intensifica y comienzan a realizarse actividades de extensión en lugares y con agentes sociales no tradicionales. Muchas de estas acciones permitieron que la extensión y el contacto con el medio se constituyeran en un ámbito dinámico para la producción y transmisión del conocimiento, facilitando el cumplimiento directo de sus funciones sociales, pero también transformando los modos de concebir la investigación y la docencia.

Para estudiar las innovaciones vinculadas con el ámbito en que la Universidad se relaciona con la sociedad, se presenta un estudio sobre prácticas innovadoras desarrollado por la Universidad Nacional del Litoral a través del CETRI-Litoral, por ser esa universidad pionera en la atención de las necesidades sociales de su región y por ser la primera universidad argentina en crear una estructura administrativa propia para

la gestión de las relaciones institucionales con el sector productivo local, a partir de 1993. La conformación del grupo inicial que dio vida al proyecto de creación del CETRI-Litoral fue sumamente acotada, al punto que puede identificarse claramente a la persona que lideró los debates internos respecto de cómo transferir los resultados de investigación y quien armó el proyecto de creación del CETRI-Litoral. Se trata de Mario Barletta, quien fuera Secretario de Ciencia y Técnica de la UNL durante la gestión del rector Juan Carlos Hidalgo desde mediados de los años 80. El proyecto de creación y puesta en marcha del CETRI-Litoral recibió además el asesoramiento de la Universidad Politécnica de Valencia (UPV).

En primer lugar, se observa el aspecto novedoso, es decir, la creación de algo nuevo que supone toda innovación, y el cambio que genera en determinadas prácticas institucionales. En efecto, podría afirmarse que, con la creación del CETRI-Litoral, la UNL desarrolla una estructura novedosa en lo que respecta a la gestión de la extensión universitaria, particularmente en los modos de vinculación con el sector productivo, puesto que en ese entonces no había experiencias similares a nivel nacional. Como consecuencia de esta nueva estructura se produce —no sin conflicto ni tensiones— una transformación en las relaciones de poder dentro de la universidad. Esto origina un profundo cambio institucional que modifica la relación de la UNL con el medio social, especialmente en relación con el sector productivo, que pasa de realizarse bajo un esquema descentralizado en cada unidad académica a otro centralizado en el rectorado. Pero lo más importante de toda esta transformación producto de la innovación es el hecho de que la creación del CETRI reorienta el modo de concebir la relación entre la universidad y el sector productivo, puesto que de un esquema pensado solo como prestación de servicios se pasa a otro que piensa dicha relación en términos de transferencia de conocimiento. Es decir, se asiste a un cambio de sentido en las propias prácticas institucionales, a tal punto que para los propios actores institucionales se hace impensable “volver atrás”.

Por otra parte, resulta interesante resaltar el aspecto intencional de la creación del CETRI. Aquí podría pensarse el CETRI como resultado de una planificación estratégica, por cuanto su desarrollo se inicia con un deliberado proceso de debate interno respecto de cómo vincularse con el medio y continúa a partir de una decisión política de asumir las actividades de transferencia como parte del gobierno y la gestión de la propia universidad. En tercer lugar, es de resaltar el carácter duradero que conlleva toda innovación. En efecto, la creación de nuevos mecanismos de gobierno y gestión para la instalación y desarrollo del CETRI, al igual que la generación de vínculos y estructuras organizacionales por fuera de la propia universidad (por ejemplo, la Sociedad Anónima Parque Científico Tecnológico del Litoral Centro —SAPEM— y la creación del Foro para la Innovación y la Red de Vinculación Tecnológica —VITEC— en el ámbito del CIN) han contribuido a profundizar la permanencia del cambio institucional. Al respecto cabe señalar que el CETRI-Litoral, con más de veinte años de existencia, parece estar en una posición fuertemente consolidada y en expansión dentro de la UNL, habiendo atravesado hasta la fecha tres cambios de gestión institucional.

## EL PROGRAMA UBACYT DE LA UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES<sup>4</sup>

En diversos trabajos se ha señalado que el sistema universitario argentino daba indicios de que la función de investigación era una dimensión que estaba rezagada en relación con el desarrollo de la docencia universitaria. Parte de la convulsiva agenda de los años 90 incluyó la discusión sobre cómo promover la investigación en las universidades argentinas, cómo mejorar su vinculación con el medio productivo y con el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), así como la creación de una Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (AGENCIA). La AGENCIA era una institución similar a la que estaban desarrollando países del primer mundo, como es el caso de la National Science Foundation (NSF) de los Estados Unidos, pero también similares a las de países latinoamericanos como México y Brasil.

Iniciado a partir de la recuperación democrática y la normalización de la Universidad de Buenos Aires, el Programa de Promoción de la Ciencia y la Tecnología de la UBA (más conocido por su sigla UBACyT) puede entenderse como una experiencia exitosa de innovación promovida por la propia organización como estrategia de orientación de la investigación para el desarrollo de la misma, para el fortalecimiento académico de sus profesores y para vincularse con el sector productivo. En este sentido, la UBA se anticipó a políticas públicas que impulsaron el uso de fondos competitivos especiales para promover proyectos y actividades de investigación.

Quienes estuvieron en el proceso constitutivo del programa UBACyT entienden que hubo una “usina” de referencia internacional que permitió el desarrollo del proyecto: el Departamento de Asuntos Científicos y Tecnológicos de la Organización de los Estados Americanos.

Desde el marco del concepto de innovación adoptado por la investigación —que hace foco en la generación emergente surgida de la propia institución o en la innovación adaptada, pero claramente no en el tipo de innovación impuesta—, esta experiencia resulta importante. Durante los años 80 y 90 se empeza-

ron a promover nuevas políticas de intervención pública que estimularon la competencia entre los actores (que no es exactamente lo mismo que mecanismos de mercado). Para ello, desde los gobiernos se hizo uso de fondos competitivos especiales para promover proyectos y actividades de investigación. Por lo tanto, la anticipación a este tipo de políticas públicas como proceso de innovación parece ser uno de los aspectos centrales de la experiencia. Con el UBACyT la Universidad de Buenos Aires comenzaba a construir un modelo alternativo de gestión de la investigación.

Una de las innovaciones más importantes que incorpora el UBACyT fue la puesta en marcha de un proyecto institucional por sobre las facultades. El programa dependía de la Secretaría de Ciencia y Tecnología, a cargo en ese momento de Mario Albornoz, que provenía del CONICET. En un primer momento se nombró un coordinador por área disciplinaria. Este coordinador, designado por el rectorado y la secretaría, era quien se encargaba de seleccionar los pares y realizar las evaluaciones. Esto fue cambiando con el tiempo, pero en un principio respondió a la necesidad de centralizar las decisiones para evitar que el statu quo de las facultades impidiera llevar adelante el proceso innovador. Esto estaba asociado a la idea fundamental del proyecto que era promover la investigación en toda la universidad, por sobre los criterios propios de las facultades.

El caso del UBACyT puede, sin lugar a dudas, considerarse como una innovación exitosa que perdura en el tiempo, aunque con transformaciones, por supuesto. Sus resultados han impactado diferencialmente tanto en el prestigio de la función dentro de la universidad como en la capacidad institucional para generar orientaciones propias al respecto, y ha trascendido hacia el sistema universitario, particularmente a partir de la implementación del Programa de Incentivos a Docentes Investigadores del Ministerio de Educación de la Nación y de otras políticas de promoción de la ciencia y la tecnología.

## EL INSTITUTO BALSEIRO Y LA CREACIÓN DE UN NUEVO CAMPO DISCIPLINAR EN EL PAÍS<sup>5</sup>

En otra dimensión: la innovación curricular y pedagógica, el caso elegido fue el del Instituto Balseiro de la Universidad Nacional de Cuyo, ubicado en la ciudad de Bariloche, cuya singularidad —la creación del campo de la física y la ingeniería nuclear en el país— da cuenta también de una innovación organizacional que ha logrado afianzarse y ser reconocida nacional e internacionalmente por su nivel de productividad y excelencia científica. “El Balseiro” expresa y mantiene, en forma consistente desde su creación, una posición decidida en cuanto a una serie de asuntos que son debate permanente en nuestras comunidades científicas y universitarias: la libertad de investigación, la definición política de las prioridades en investigación, la cuestión del ingreso, la autogestión de la formación y la formación directiva, entre otros. Los integrantes del Balseiro han desarrollado lo que frecuentemente constituye el discurso pedagógico más reiterado y menos convertido en acto: el que sostiene que la formación reclama relaciones grupales e intersubjetivas configuradas en torno a la producción de la que se trate: aquí, la producción científico-tecnológica y el avance en el conocimiento de cada uno de sus sujetos. Lo han logrado sosteniendo con firmeza las pautas de su encuadre y las condiciones que le sirven de prerrequisito. También han puesto en acto el respeto y sostén de un modelo pedagógico que consideran ligado a la calidad de la formación y la retención real —con aprendizaje— de los estudiantes. Por último, parecen tener claridad tanto sobre lo que vale la pena cuidar como sobre aquello que debe ser indagado en la búsqueda de “mejores formas”.

La creación del Balseiro fue el resultado de un cuestionamiento profundo al estado de nuestras universidades y se erige como una verdadera pieza contraargumental respecto de las concepciones de apertura sin límite que plantea la ideología universitaria vigente.

El Instituto Balseiro es tomado como caso de esta investigación por algunos motivos centrales. Por su carácter de innovación, porque lo es, en cuanto un tipo de organización institucional y pedagógica destinada a la formación en un campo disciplinar en sí nuevo a la hora de su creación y porque, además, tiene en ese carácter un desarrollo de 60 años y un afianzamiento reconocido nacional e internacionalmente debido a su nivel de productividad y excelencia científica. En cuanto a sus rasgos singulares, por su estrecha vinculación con un área de desarrollo científico-tecnológica considerada prioritaria para el país y que, en esa consideración, se mantiene como política de Estado —a pesar de algunos avatares— desde los años 40.

Un aspecto que es fundamental destacar al considerar el caso del Instituto Balseiro es su doble inserción institucional. Por una parte, su relación con una política de Estado ligada al desarrollo de un área prioritaria que se ha sostenido en el tiempo, garantizando disponibilidad de presupuesto e impidiendo que los altibajos sufridos produjeran un corte definitivo de la creación institucional. Por otra, la original resolución del problema que planteaba la relación con la universidad: indispensable para legitimar los títulos emitidos, pero cuya proximidad era temida por los fundadores en cuanto a sus efectos. Esta doble dependencia, y el

haber encontrado una universidad casi patagónica pero alejada, con un Consejo dispuesto a asumir los riesgos del proyecto, delimitó con mayor amplitud la zona de funcionamiento libre y permitió disponer de los apoyos de una u otra institución según las circunstancias.

## ALGUNAS IDEAS PARA SEGUIR PENSANDO LA CUESTIÓN DE LA INNOVACIÓN EN LA UNIVERSIDAD

A partir de analizar estos y otros casos considerados en la investigación, el equipo advierte, a modo de conclusión general, que todos los procesos de innovación se originaron en situaciones en las que se combinaron dos factores: las oportunidades sociohistóricas y la existencia de un grupo capaz de interpretar una necesidad colectiva y alumbrar un proyecto. En todos los casos la innovación ha surgido con el objeto de resolver una situación problemática que afecta a la organización y que la puede llevar a la pérdida de su identidad organizacional, o que influye en su constitución como tal. Por ello, una innovación no se trata de un cambio superficial, sino de un cambio profundo, que trastoca la particularidad de un aspecto central. Es decir, surge para resolver una situación dilemática y en todos los casos está ligada a su contexto de producción y a una lectura particular que los actores que la promueven hacen de ese contexto.

En segundo lugar, es fundamental considerar el análisis detallado de la puesta en marcha de las innovaciones que el estudio en profundidad de cada caso permitió hacer. En general, los primeros tiempos de un proceso de cambio comprenden riesgos: un “proyecto” resume y expresa ideales y valores que involucran expectativas que —por su carácter ideal— van más allá de las posibilidades de acciones reales, debido al orden establecido. Es decir, un proyecto de innovación propone una ruptura con lo habitual que implica tensiones, incertidumbres y la conformación de grupos de resistencia. También se ponen en juego las posiciones de poder de los distintos grupos, y se establece un nuevo orden en los roles y las relaciones. En este punto, cabe señalar que una de las características definitorias que se han asumido para analizar los casos de innovación ha sido calificar como innovación a aquellas experiencias que introducen una modificación en las reglas (formales o informales) o en las concepciones respecto a los parámetros utilizados como referencia. El cambio de normas formales implica nuevas prácticas que deben ser consolidadas en el tiempo.

Otro aspecto importante para resaltar tiene que ver con el financiamiento de los proyectos de innovación. La investigación concluye que el financiamiento es un factor estratégico para asegurar su viabilidad. En todos los casos, las actividades pudieron ser realizadas a partir de la contribución de recursos asignados por determinadas fuentes de financiamiento, entre las que se distinguen dos tipos de situaciones: a) casos con financiamiento proveniente de la gestión burocrática de los recursos, que es prevista, presupuestada y asignada a través de la normativa institucional tradicional. Este es un tipo de financiamiento no cuestionado, dado que se establece en el presupuesto anual y se limita a ello, o b) una estrategia de financiamiento de la propia innovación, que autogenera los propios recursos, su uso, su aplicación y los efectos de la aplicación; este es un financiamiento que no está definido de antemano en cuanto a montos y límites de ejecución.

También para destacar como uno de los hallazgos más relevantes es que las experiencias de innovación provocaron una ruptura conceptual en los aspectos vinculados a la problemática en la que tuvieron lugar. En todos los casos se identificó un cambio de sentido respecto de los aspectos principales sobre los que se propuso la mejora, produciéndose una ruptura que movilizó las distintas posiciones del campo. Esto quiere decir que, luego de poner en marcha la innovación, institucionalmente no es posible retrotraerse a la situación anterior. La ruptura conceptual conlleva una ruptura en el sentido de las prácticas y un nuevo enfoque.

Un aspecto primordial que se puede ver en cada caso estudiado en profundidad da cuenta del pasaje de la innovación como esfuerzo individual hacia un “esfuerzo colectivo e institucional”. En este sentido, el grupo “fundador” tiene una tarea central: la creación de una cultura que traccione cambios orientados y sostenidos en el propio contexto. Esto implica un doble trabajo: por un lado, gestionar las resistencias a la innovación y, por otro, darle visibilidad y transparencia, estableciendo un estilo de comunicación y un flujo de la información entre todos los involucrados.

Finalmente, el análisis realizado revela que, en relación con las experiencias innovadoras implementadas en la educación superior en nuestro país, la evaluación y la sistematización son tareas aún pendientes, a pesar de ser fundamentales para verificar y dimensionar la eficacia de los cambios introducidos en cuanto a lograr las mejoras buscadas en cada caso. Pero esta no es la única deuda.

La educación en general y las universidades en particular tienen, lamentablemente, deudas importantes en relación con los requerimientos de nuestras sociedades. Ello ocurría en América Latina a principios del siglo pasado y, por eso, el Movimiento Reformista de 1918 de la Universidad Nacional de Córdoba

—en el centro de la República Argentina— constituyó un importante aporte para la reforma universitaria prácticamente en toda América Latina. Todavía, a casi un siglo, muchos de los postulados reformistas de 1918 están parcialmente incumplidos: una Universidad científica, participativa, al servicio de la sociedad. Son ámbitos donde todavía resulta fundamental el surgimiento de nuevos procesos innovadores.

El mejor homenaje que se le puede hacer a los estudiantes y los profesores universitarios de Córdoba y de toda América Latina que sostuvieron fuertemente los principios de la Reforma Universitaria es diseñar, en el marco de un proceso amplio y democrático de debate, una nueva reforma universitaria para el siglo XXI, basándose en el espíritu democrático de la del 18, pero pensándola en función de los requerimientos actuales y futuros. Puede considerarse a la reforma universitaria de Córdoba de 1918 —extendida ya en los años 20 a casi todos los países latinoamericanos— como la principal política innovadora en educación surgida en América Latina y el Caribe durante el siglo XX. Por eso hoy, casi al cumplirse el centenario del inicio del proceso reformista, es importante pensar una nueva e innovadora reforma universitaria para dar respuesta a los problemas actuales de las sociedades contemporáneas, pero a la vez pensando en el futuro. Las estrategias de innovación en la Universidad deben pensarse a largo plazo (a diez, quince o veinte años) de manera que puedan atender lo inmediato en el contexto de la Universidad para el futuro.

## NOTAS

1. Dirigido por Norberto Fernández Lamarra e integrado por Martín Aiello, Marisa Álvarez, Lidia Fernández, Pablo García, María Eugenia Grandoli, Paola Paoloni y Cristian Pérez Centeno; como profesora invitada, también participó Marcela Ickowicz.
2. Como resultado del proyecto se publicó el libro: Fernández Lamarra, N. (comp.) (2015). *La innovación en las universidades nacionales. Aspectos endógenos que inciden en su surgimiento y desarrollo*. Buenos Aires: EDUNTREF.
3. Este caso ha sido profundizado por el equipo de investigación que coordinó de María Eugenia Grandoli.
4. Este caso ha sido profundizado por el equipo de investigación bajo la coordinación de Martín Aiello.
5. Este caso ha sido profundizado por el equipo de investigación coordinado por Lidia M. Fernández y Marcela Ickowicz.

## REFERENCIAS

- Altbach, P., Reisberg, L. y Rumbley, L. (2009). *Tras la pista de una revolución académica: Informe sobre las tendencias actuales*. Resumen para la Conferencia Mundial sobre la Educación Superior organizada por UNESCO en 2009. París: UNESCO.
- Barraza Macías, A. (2013). *¿Cómo elaborar proyectos de innovación educativa?* Durango: Universidad Pedagógica de Durango.
- Blanco Guíjarro, R. y Messina Raimondi, G. (2000). *Estado del arte sobre las innovaciones educativas en América Latina*. Bogotá: Convenio Andrés Bello.
- Brunner, J. (2008). "El proceso de Bolonia en el horizonte latinoamericano: límites y posibilidades". *Revista de Educación*, número extraordinario, mayo de 2008, pp. 119- 145.
- Chiroleu, A. (2011). "La educación superior en América Latina: ¿Problemas insolubles o recetas inadecuadas? *Revista Avaliação*, 16(3), pp. 631-653.
- Fernández Lamarra, N. (2003a). "La educación superior argentina en debate. Situación, problemas y perspectivas". Buenos Aires: Eudeba-IESALC/UNESCO.
- Fernández Lamarra, N. (2003b). *Evaluación y acreditación en la educación superior argentina*. Informe Nacional de Argentina para IESALC/UNESCO. Buenos Aires: IESALC/UNESCO.
- Fernández Lamarra, N. (2004). "Una nueva agenda para la educación del futuro. La internacionalización de la educación virtual y la evaluación de su calidad". *Virtual Educa*, Forum de Barcelona.
- Fernández Lamarra, N. (2007). *Educación superior y calidad en América Latina y Argentina. Los procesos de evaluación y acreditación*. Buenos Aires: EDUNTREF IESALC/UNESCO.
- Fernández Lamarra, N. (coord.) (2009). *Universidad, Sociedad e Innovación. Una perspectiva internacional*. Buenos Aires: Proyecto RILEUS, EDUNTREF.

- Fernández Lamarra, N. (2010). *Hacia una nueva agenda de la educación superior en América Latina*. México, D.F.: ANUIES.
- Fernández Lamarra, N. y Coppola, N. (2014). "Desafíos para la construcción del Espacio Latinoamericano de Educación Superior, en el marco de las políticas supranacionales". *Journal of Supranational Policies of Education*, 1. Recuperado de [http://www.jospoe-gipes.com/Articulos/VOL1/4\\_JOSPOE\\_VOL1.pdf](http://www.jospoe-gipes.com/Articulos/VOL1/4_JOSPOE_VOL1.pdf)
- Fernández Lamarra, N. (comp.). (2015). *La innovación en las universidades nacionales. Aspectos endógenos que inciden en su surgimiento y desarrollo*. Buenos Aires: EDUNTREF.
- Moreno Bayardo, G. (1995). "Investigación e innovación educativa". *La Tarea*, 7. Recuperado de <http://www.latarea.com.mx/articulo/articulo7/bayardo7.htm>
- Rama, C. (2005). "La tercera reforma de la educación superior en América Latina y el Caribe. masificación, regulaciones e internacionalización". Caracas: IESALC/UNESCO, Fondo Editorial.
- Ramírez, J. y Gómez, N. (2003). "Panorama de la producción escrita en innovación educativa sobre medios y nuevas tecnologías de la información y la comunicación en el noroeste de México". *Revista Electrónica de Investigación y Desarrollo Educativo*, 5(2).
- UNESCO. (1998). *Declaración mundial sobre la educación superior en el siglo XXI: visión y acción*. Recuperado de [http://www.unesco.org/education/educprog/wche/declaration\\_spa.htm](http://www.unesco.org/education/educprog/wche/declaration_spa.htm)
- UNESCO. (2008). *Declaración Final de la Conferencia Regional de la Educación Superior en América Latina y el Caribe*. Recuperado de <http://www.fvet.uba.ar/institucional/Declaracion.pdf>
- UNESCO. (2009). *Declaración Final de la Conferencia Mundial de Educación Superior*. Recuperado de [http://www.unesco.org/education/WCHE2009/comunicado\\_es.pdf](http://www.unesco.org/education/WCHE2009/comunicado_es.pdf)
- Westley, W. (1969). "Report of a conference". En: Centre for Educational Research and Innovation. *Innovation in Education*, Part. 1. Paris: OECD.

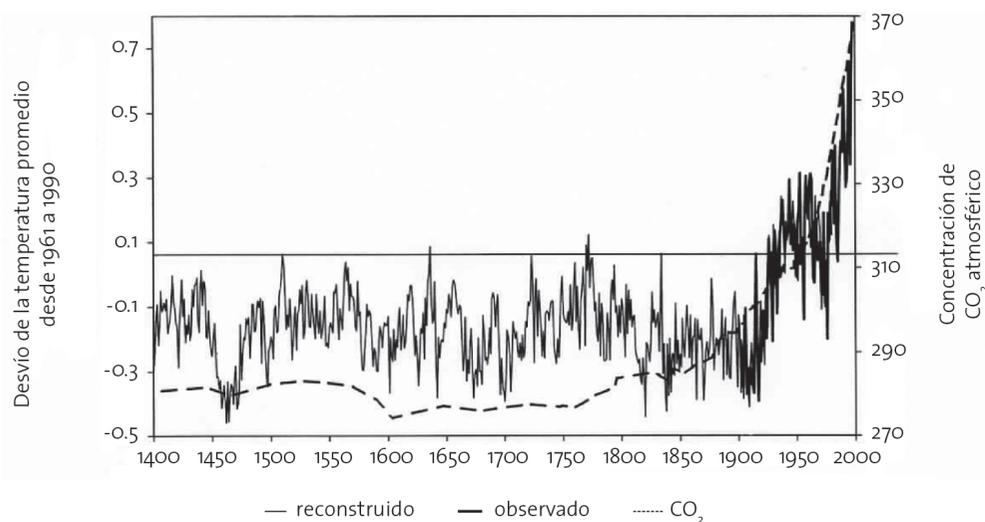
Norberto Fernández Lamarra es profesor universitario, investigador y consultor nacional e internacional en el área de las políticas, la planificación, la gestión y la evaluación de la educación, con énfasis en la educación superior. Es director de posgrados en la UNTREF, donde además dirige el Núcleo Interdisciplinario de Formación y Estudios para el Desarrollo de la Educación (NIFEDE), el Doctorado en Políticas y Gestión de la Educación Superior y el Programa de Posgrados en Políticas y Administración de la Educación. Es profesor en la UNTREF y director de la Cátedra UNESCO "Educación y Futuro para América Latina. Reformas, cambios e innovaciones". Fue miembro de la CONEAU entre 1996 y 2001. Se desempeña como profesor de posgrado en diversas universidades argentinas y de otros países de América Latina. Como investigador es Categoría 1. Dirige la Revista Latinoamericana de Políticas y Administración de la Educación (RELA-PAE), editada por el NIFEDE/UNTREF, la Revista Argentina de Educación Superior, que edita la Red Argentina de Postgrados en Educación Superior (REDAPES) y la Revista Latinoamericana de Educación Comparada (RELEC), editada por la Sociedad Argentina de Estudios Comparados en Educación (SAECE), de la que es presidente. Es vicepresidente del Consejo Mundial de Sociedades de Educación Comparada (WCCES) y presidente de la Sociedad Iberoamericana de Educación Comparada. Es autor de más de 250 publicaciones, estudios, trabajos, libros y artículos sobre la educación argentina y latinoamericana. En los últimos catorce años ha publicado quince libros, la mayoría sobre educación superior. Recientemente ha sido distinguido por la Latin American Studies Association (LASA) con el Premio Paulo Freire por su trayectoria en Investigación de la Educación y sus Aportes a la Educación Superior en América Latina.

Pablo Daniel García es licenciado y profesor en Ciencias de la Educación (UBA), especialista en Gestión Educativa (FLACSO) y magister en Políticas y Administración de la Educación (UNTREF). Actualmente se encuentra en proceso de elaboración de su tesis doctoral en el Programa Interinstitucional de Doctorado en Educación de UNTREF-UNLA-UNSAM. Es coordinador del Programa de Posgrados en Políticas y Administración de la Educación y profesor de posgrado e investigador en formación.

# EL MEJORAMIENTO GENÉTICO Y LA ADAPTACIÓN DE CULTIVOS AL CAMBIO CLIMÁTICO

## EL CAMBIO CLIMÁTICO Y LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA

Las observaciones sobre el incremento de las temperaturas en el océano y en el aire, el derretimiento de hielos y la elevación del nivel del mar constituyen una prueba indiscutible del calentamiento del planeta, según concluye el cuarto informe del Panel Internacional del Cambio Climático (IPCC), del 2007. En los últimos ciento cincuenta años el aumento de la temperatura media del hemisferio norte ha sido muy rápido en relación con los cambios a escalas milenarias (Porter y Semenov, 2005) (Figura 1). La temperatura presenta anomalías en su media (valor promedio) y variancia (variabilidad respecto de la media), especialmente desde inicios del siglo XX. Esta evolución ha sido acompañada desde el siglo XVI por una disminución de la amplitud térmica (Porter y Semenov, 2005).



**Figura 1.** Anomalía en el rango de temperaturas a nivel del mar en el hemisferio norte desde el año 1400 d. C. hasta el año 2000 y cambios observados en la concentración de CO<sub>2</sub> atmosférico. Tomado de Porter y Semenov (2005).

El incremento de la temperatura media global obedece a la acumulación de los denominados gases de efecto invernadero (GEI), generados por la naturaleza y la actividad humana, que afectan la disipación al espacio tanto de la radiación recibida desde el sol como del calor generado por los ecosistemas naturales y la actividad humana. Los principales GEI de larga vida son el anhídrido carbónico (CO<sub>2</sub>), el metano (CH<sub>4</sub>) y el óxido nítrico (N<sub>2</sub>O). Por otra parte la actividad antrópica es responsable del aumento de la concentración de ozono (O<sub>3</sub>) al nivel de la capa inferior de la atmósfera (tropósfera), a partir de precursores, como el monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno y aldehídos. A diferencia de los otros gases, el ozono es un GEI de corta vida, ya que es bastante reactivo.

Por sus características moleculares y su abundancia relativa, el CO<sub>2</sub> contribuye en un 76 % al calentamiento global, el metano (CH<sub>4</sub>) lo hace en un 13 %, el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) en un 6 % y los gases clorofluorocarbonados (CFC) en un 5 % (Fernández Murcia, 2007). La efectividad con que cada uno de estos gases absorbe el calor es diferente. Con relación al CO<sub>2</sub>, el CH<sub>4</sub> y el N<sub>2</sub>O son más perjudiciales, por cuanto absorben el calor 23 y 310 veces más que el primero (Comisión Europea, s/f).

En los albores de la agricultura la concentración de CO<sub>2</sub> era de aproximadamente 260 a 280 ppm y en la actualidad se ha elevado a 370 ppm (Porter y Semenov, 2005). Se estima que hasta el año 2100 las emisiones de CO<sub>2</sub> continuarán incrementándose un 400 %, de modo que la concentración atmosférica aumentará en 100 %.

En la naturaleza, las emisiones de CH<sub>4</sub>, o *gas de los pantanos*, se generan por la descomposición de la materia orgánica en condiciones de anaerobiosis (ausencia de oxígeno). Entre las actividades productivas que generan mayor cantidad de CH<sub>4</sub> se destacan la ganadería de rumiantes —debido a la descomposición de la ingesta de pastos y granos por las bacterias del rumen— y los cultivos de arroz en condiciones de suelo inundado.

El óxido nitroso N<sub>2</sub>O es un potente GEI que se libera a partir de la denitrificación bacteriana de abonos orgánicos y fertilizantes nitrogenados no absorbidos por los cultivos. Este proceso genera nitrógeno elemental (N), monóxido de nitrógeno (NO) y óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) (Ortiz, 2008).

Hasta la Revolución Industrial la concentración de ozono (O<sub>3</sub>) en la tropósfera ascendía a 10 nanomoles x mol<sup>-1</sup>, pero actualmente en los meses de verano puede superar 60 nanomoles x mol<sup>-1</sup>. Los modelos de simulación de calentamiento global indican que este gas aumentará 20 % más al 2050 (IPCC, 2007).

Para los próximos cincuenta años se proyecta que los días y noches frescas y las heladas disminuyan su frecuencia respecto al presente. Se prevé, en cambio, que aumente la frecuencia de olas de calor, sequías y eventos de precipitaciones intensas en la mayoría de las áreas terrestres y que se incremente la probabilidad de áreas afectadas por salinidad de suelos y la frecuencia de situaciones de estrés debidas a insectos y patógenos perjudiciales para los cultivos (Ceccarelli *et al.*, 2010). El patrón de distribución de lluvias se modificaría: se pronostican menores precipitaciones en los trópicos y mayores en latitudes elevadas. Entre 1950 y 1990 (Easterling *et al.*, 2000) y a nivel general, se observó una disminución del rango o amplitud de la temperatura diaria como resultado de incrementos superiores en las temperaturas mínimas a los ocurridos en las temperaturas máximas. En cuanto a las precipitaciones, la frecuencia de lluvias superiores a 25 mm ha aumentado, a veces sin cambio en el promedio total anual (por ejemplo, en Brasil y el sur de África). Las frecuencias de sequías e inundaciones también han experimentado cambios que, por consiguiente, han afectado la seguridad alimentaria.

Un aspecto muy importante a tener en cuenta es que los cambios en la temperatura, las precipitaciones, y la concentración de ozono son fenómenos espacial y temporalmente variables y que suceden en paralelo, mientras que el aumento en la concentración de CO<sub>2</sub> es uniforme y de alcance global (Ainsworth *et al.*, 2008). Nelson *et al.* (2009) sostienen que algunos países podrían experimentar impactos positivos del cambio climático, pero que a escala global el saldo resultaría negativo.

La variabilidad climática implica la desviación de las condiciones meteorológicas respecto de su valor promedio en determinada región o espacio geográfico e incluye la ocurrencia de eventos extremos. Por lo tanto, la calificación de un evento como extremo depende de la región de referencia (Porter y Semenov, 2005). El nivel de conocimiento sobre la variabilidad climática es desafortunadamente insuficiente. Según Easterling *et al.* (2000), ya existen evidencias de incrementos de eventos térmicos extremos en ciertas regiones del planeta (Tabla 1).

**Tabla 1.** Resumen de análisis de frecuencia de casos de temperaturas extremas en algunas regiones del mundo. Adaptado de Porter & Semenov (2005) y Easterling *et al.* (2000).

País	Días con heladas	Aumento de temperatura		Olas térmicas	
		Mínima	Máxima	Frío	Calor
Australia	Menos		Hacia arriba		
China	Menos	Hacia arriba	Hacia arriba	Menores	
Europa Central	Menos				
Norte de Europa	Menos				
Nueva Zelanda	Menos		Hacia arriba		
Estados Unidos	Menos	Hacia arriba	Neutro	Neutro	Neutro

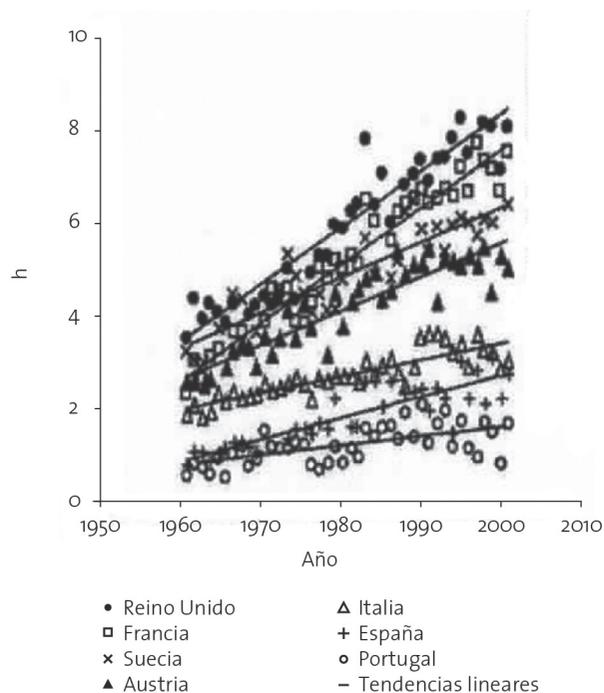
Una de las fluctuaciones climáticas de gran escala por su efecto global es el ENSO (Oscilación Meridional de El Niño), provocada por pequeñas oscilaciones en la temperatura de las aguas superficiales del océano Pacífico en su franja ecuatorial centro-oriental. Las corrientes cálidas provocan a su vez incrementos o disminuciones de las precipitaciones, según las regiones. El fenómeno de El Niño se asocia en nuestro país con excesos hídricos e inundaciones en la zona litoral de Argentina y, frecuentemente, está correlacionado con la ocurrencia de mayores rendimientos medios nacionales por hectárea en los cultivos de granos gruesos (maíz, soja) y, eventualmente, retraso en la cosecha, con mayores pérdidas y afectación de la calidad de los granos. Mediante simulaciones se analizó el efecto del aumento de la concentración de los GEI sobre la frecuencia e intensidad del ENSO y se concluyó que esta podría aumentar desde un año cada cinco, en la actualidad, a un año cada tres (Porter y Semenov, 2005).

Además de los efectos del cambio climático sobre los agroecosistemas, existen otros efectos importantes sobre los ecosistemas silvestres. El principal interrogante que se plantea es si estos podrán adaptarse al *nuevo clima* lo suficientemente rápido, de manera que las poblaciones no pierdan viabilidad y no se reduzca la biodiversidad (Visser, 2008).

## EFFECTO GENERAL DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LOS CULTIVOS

El crecimiento, el desarrollo y el rendimiento de los cultivos están afectados por el cambio climático (CC) y la variabilidad climática. El efecto del CC varía entre regiones, en parte, por las diferencias entre los sistemas de cultivo o de producción y sus correspondientes interacciones, con la modificación de las condiciones climáticas. Cuanto más sofisticadas sean las tecnologías, es probable que los efectos del CC sean proporcionalmente menores (Ortiz, 2008). Asimismo, se pronostica que su efecto será diferente según los cultivos considerados.

Porter y Semenov (2005) mencionan que en Europa las tasas de crecimiento de los rendimientos de los cultivos de cereales de invierno muestran un crecimiento lineal, con tasas variables de 0,8 % a 2,6 %, y un mayor nivel de variabilidad interanual a partir de mediados de los 80. Los autores sugieren que en los países del sur europeo probablemente las tasas fueron menores debido al efecto de las mayores temperaturas y condiciones de precipitaciones en esos países en comparación con los del norte (Figura 2).

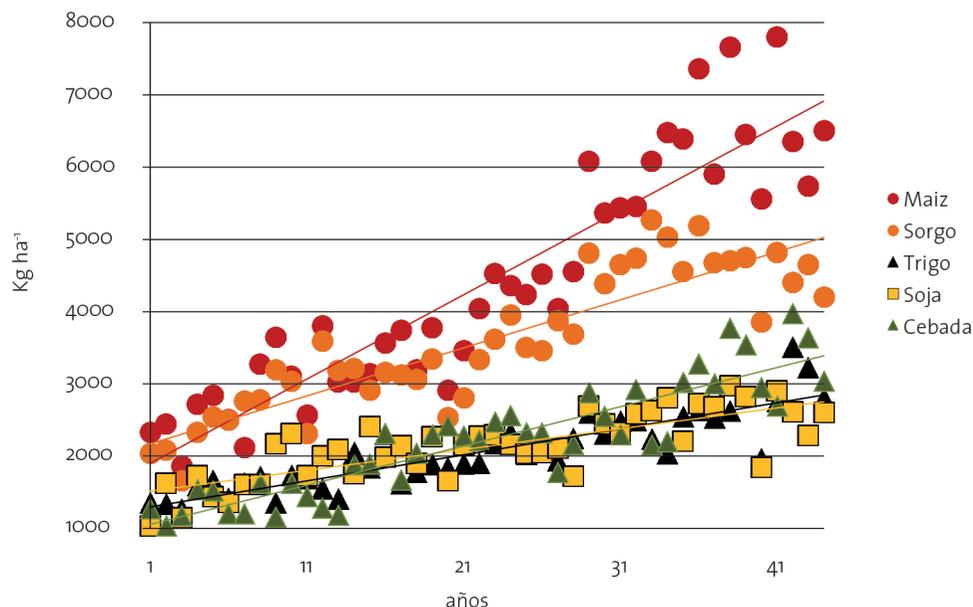


**Figura 2.** Evolución de los rendimientos medios anuales de trigo en países europeos y su variabilidad respecto de su tendencia lineal. Tomado de Porter y Semenov (2005).

Hacia el este de Inglaterra, las dos causas principales de variación en los rendimientos fueron las temperaturas y las precipitaciones, cuyos efectos independientes resultaron tres a cuatro veces mayores que los de las variaciones en las condiciones de la radiación solar incidente en los cultivos. De cualquier modo, esto explicaba apenas el 12 a 17 % de la variación interanual de los rendimientos. El manejo de los cultivos, por lo tanto, tenía un efecto mucho más importante que las variaciones de factores ajenos al control de los agricultores. Sin embargo, se presume que las variaciones en temperatura y precipitaciones protagonizarán los cambios futuros del clima. Según Schär *et al.* (2004), el cambio climático comenzó a afectar los rendimientos de trigo en Europa ya desde inicios de los años 90.

En Argentina, la evolución de los rendimientos medios nacionales de cultivos de grano en los últimos cuarenta y cinco años muestra una tendencia de crecimiento lineal, aunque puede observarse una mayor variabilidad respecto de esa tendencia en los últimos años (Figura 3). Un análisis de los rendimientos en períodos quinquenales indica que los coeficientes de variación resultaron más elevados en los últimos quinquenios para los cultivos de trigo, soja, maíz, girasol y cebada cervecera (Eyhérbide, 2014).

**Figura 3.** Evolución de los rendimientos medios nacionales (kg/ha) de Argentina para los cultivos de sorgo, maíz, trigo, soja y cebada cervecera en los últimos cuarenta y cinco años.



Magrín *et al.* (2007), utilizando el modelo climático regional MM5/CIMA y a partir de datos del período 1981-2000, aplicaron modelos de simulación para conocer los efectos del cambio climático en la pradera pampeana ante dos escenarios (*Special Report on Emissions Scenarios*), denominados SRESA2 y SRESB2 (IPCC, 2007) para el período 2081-2090. Estos escenarios difieren en la concentración futura de CO<sub>2</sub> y consecuentemente en los incrementos de temperatura. El escenario SRESA2 correspondería a la condición más extrema, con 698 ppm de CO<sub>2</sub> en la atmósfera y aumentos de 2 a 3 °C en la temperatura máxima y 2 °C en la mínima. El escenario SRESB2 presentaría 559 ppm de CO<sub>2</sub>, y un aumento de 2 °C en la temperatura mínima y entre 1 y 2 °C en la máxima. Para ambos casos se pronostican incrementos de 100 mm en las precipitaciones para el semestre primavera-verano. Bajo el escenario SRESA2, sin considerar los efectos del CO<sub>2</sub>, habría una reducción promedio del rendimiento de trigo (4 %), de maíz (9 %) y de soja (14 %), pero con gran diversidad de situaciones, algunas con incrementos, dentro de la región considerada. Si se toman en cuenta los efectos de la concentración de CO<sub>2</sub>, los rendimientos aumentarían en los tres cultivos (trigo 14 %, maíz 19 % y soja 67 %). Bajo el escenario SRESB2 y sin considerar los efectos del CO<sub>2</sub>, habría reducciones promedio de los rendimientos en trigo (3 %) y maíz (6 %) y aumentos en soja (3 %); considerando los efectos biológicos del CO<sub>2</sub>, los rendimientos aumentarían en los tres cultivos (trigo 6 %, maíz 16 % y soja 68 %). De la misma manera que en el otro escenario, hay gran diversidad de situaciones dentro de la región pampeana. Las disminuciones pronosticadas, sin consideración del efecto biológico del CO<sub>2</sub>, se deberían al acortamiento del ciclo de los cultivos por las mayores temperaturas. Estos efectos podrían revertirse por el incremento de la eficiencia de la fotosíntesis y de la eficiencia en el uso del agua, cuando se considera el aumento de la concentración de CO<sub>2</sub> atmosférico. Travasso *et al.* (2007), para los mismos escenarios, concluyeron que la modificación de las fechas de siembra (adelanto en el caso del trigo y maíz; su retraso en el de la soja) posibilitarían reducir las pérdidas de rendimiento, ya que las etapas fenológicas de los cultivos se ajustarían mejor a las condiciones ambientales.

## EFFECTOS SOCIOECONÓMICOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

La humanidad puede enfrentar el cambio climático combinando dos estrategias generales: la *mitigación* y la *adaptación*. La primera hace referencia a las medidas de los gobiernos nacionales y organismos internacionales a fin de reducir las emisiones de GEI. Las políticas que incentivan la generación y utilización de energías renovables, el reemplazo y uso más eficiente de la energía fósil, los compromisos internacionales para reducir las emisiones de GEI, etc. constituyen medidas de mitigación. Las estrategias de adaptación, en cambio, tratan de adaptar los hábitos de la población y las características de los sistemas productivos de manera que los efectos del cambio climático tengan menor impacto sobre ellos. Se trata de reducir la vulnerabilidad y aumentar la capacidad de resiliencia.

En una escala de miles de años, las poblaciones humanas se han adaptado a los diferentes cambios climáticos modificando las prácticas agrícolas, formando y fortaleciendo redes sociales, emprendiendo actividades ganaderas y mudándose a otras regiones (Ceccarelli *et al.*, 2010). Las tres primeras estrategias dependen básicamente de la voluntad y esfuerzo conjunto de las poblaciones. Los sistemas agrícolas basados en policultivos y patrones de sistemas silvopastoriles contribuían a hacerlos menos vulnerables ante los eventos meteorológicos, la variabilidad y el cambio climático y, por lo tanto, permitían lograr rendimientos relativamente estables (Altieri y Koohafkan, 2003). Existe además la denominada adaptación autónoma, o la implementada por agricultores o sus organizaciones sin la intervención o coordinación de las regiones o gobiernos locales. Un ejemplo de ello es la adopción de cultivos alternativos o de diferentes variedades de un cultivo determinado que presentan mayor resistencia a factores de estrés (Ceccarelli *et al.*, 2010).

Stern (2005) indica que, de no haber medidas efectivas de mitigación, el producto bruto global disminuirá 5 % cada año, y en los peores escenarios llegará al 20 %, con mayores riesgos de hambruna en los países más pobres. Precisamente, el riesgo de experimentar los efectos más dramáticos del CC se darían en las zonas rurales donde habitan aproximadamente 370 millones de las personas en situación de mayor pobreza. Atkinson *et al.* (2008) señalaron que el cambio climático tendrá efectos no solo en la producción de los alimentos, sino también en la calidad de los mismos.

El número de personas malnutridas al 2080 crecería 150 % en el centroeste y norte de África, y 300 % en los países subsaharianos (Tabla 2). Hacia 2050 será preciso alimentar a una población de 8 a 11 mil millones de habitantes. Uno de los problemas es que ese crecimiento poblacional ocurrirá en regiones menos favorables para la producción de alimentos. Ello incidirá probablemente sobre la tendencia actual a la “desintensificación” de cultivos en países con condiciones de producción más favorables (Europa, zonas templadas de América del Norte y del Sur, etc.) (Porter y Semenov, 2005).

Regiones	Años				
	1990	2020	2050	2080	Relación 2080/1990
Países en desarrollo	885	772	579	534	0,6
Países asiáticos en desarrollo	659	390	123	73	0,1
África subsahariana	138	273	359	410	3,0
América Latina	54	53	40	23	0,4
Medio Oriente y norte de África	33	55	56	48	1,5

**Tabla 2.** Número esperado de personas malnutridas (en millones) cuando se tiene en cuenta el efecto del cambio climático. Tomado de Tubiello y Fisher (2007), citados por Ceccarelli *et al.* (2010).

Así como la tendencia a la modificación de los parámetros meteorológicos medios de determinada región son expresión del CC, la variabilidad climática que este conlleva —y que se manifiesta por el mayor riesgo de eventos drásticos referidos a temperatura, vientos, precipitaciones, olas de calor, etc.— puede generar impactos de corto plazo ante los cuales la tecnología no siempre podría proveer una solución adecuada. En estas circunstancias será necesaria la implementación de medidas de políticas públicas (por ejemplo, seguros, declaraciones de emergencias, etc.) para paliar los daños, mientras que el desarrollo de nuevas tecnologías agronómicas y genéticas podrían focalizar sus esfuerzos en contribuir a la solución de fenómenos menos extremos y, por lo tanto, más frecuentes (Porter y Semenov, 2005).

## RESPUESTA DE LAS PLANTAS Y CULTIVOS A LAS VARIABLES AMBIENTALES ASOCIADAS AL CAMBIO CLIMÁTICO Y A LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA

### Crecimiento y desarrollo

El crecimiento, desarrollo y rendimiento de los cultivos están afectados por la variabilidad climática, a través de la existencia de umbrales de respuesta (especialmente temperatura) y patrones de respuesta a esas variables, que pueden ser lineares y no lineares (Porter y Semenov, 2005).

#### *Efecto de la temperatura*

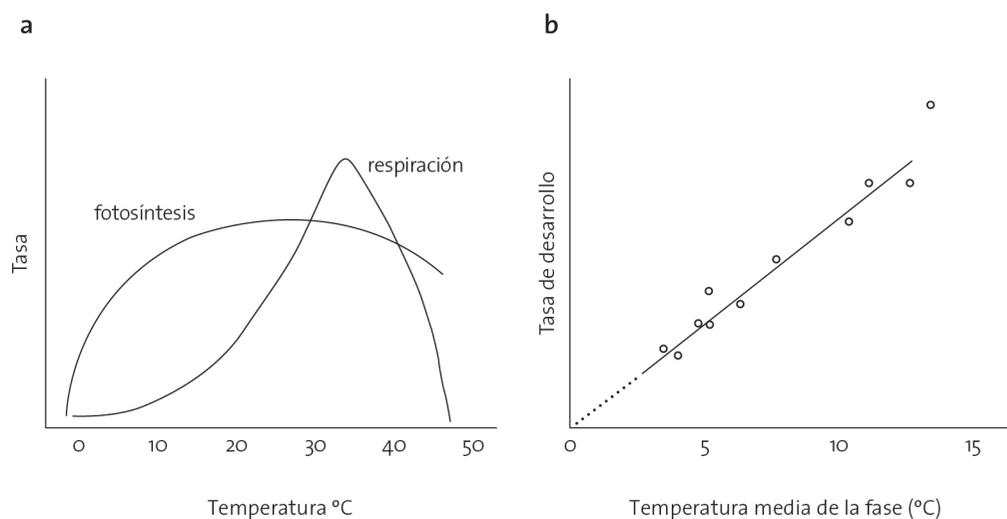
Los cambios en la temperatura media y su variabilidad afectan al crecimiento (aumento neto del peso de materia seca) y desarrollo de los cultivos (la progresión de las etapas en el ciclo vital) y a los procesos

fisiológicos involucrados, pero no necesariamente de la misma manera. Los procesos de fotosíntesis y respiración están implicados con el crecimiento y responden de manera continua y no lineal a los incrementos de temperatura (Figura 4a). Por el contrario, los procesos relacionados con el desarrollo presentan una respuesta lineal (Figura 4b). Tanto los procesos de crecimiento como los del desarrollo presentan un valor óptimo de temperatura, por lo tanto sus tasas se incrementan en un rango de temperaturas, alcanzan sus niveles óptimos y luego comienzan a declinar. Los umbrales de temperatura para procesos de desarrollo presentan un rango mucho más estrecho en el cual cambian de dirección, con óptimos más claramente definidos (Porter y Semenov, 2005). El rendimiento de los cultivos también presenta temperaturas medias óptimas (Tabla 3).

**Tabla 3.** Temperaturas óptimas para el rendimiento de varios cultivos. Adaptado de Ortiz (2008).

Cultivo	Temperatura (°C)
Maíz	18–22
Soja	22–24
Arroz	23–26
Sorgo	25
Algodón	25–26
Maní	20–26
Poroto seco	23–24
Tomate	22–25

**Figura 4.** Cambios en la tasa de fotosíntesis y respiración en plantas de metabolismo C<sub>3</sub> (a) y tasa de desarrollo de un cultivo (b) en función de la temperatura. Tomado de Porter y Semenov (2005).



El área de adaptación geográfica de muchos cultivos presenta un rango de variación de temperaturas de 3 a 10 °C con respecto a su óptimo. Por lo tanto, el incremento de 1 a 2 °C por CC haría que las áreas más afectadas sean las que se ubican hoy en zonas marginales (Chapman *et al.*, 2012).

Las respuestas fisiológicas de las plantas a los cambios de temperatura pueden ocurrir a diferentes escalas de tiempo. Las respuestas a corto plazo pueden explicarse por la termosensibilidad diferencial de distintas enzimas, que implicaría la acumulación (o la depleción) de ciertos metabolitos claves, con modificaciones en el ritmo de reacciones metabólicas relacionadas, o bien por la alteración de la expresión génica y la síntesis de las llamadas proteínas *heat-shock*. Las respuestas a mayor plazo ante cambios térmicos se asocian a la tasa de fotosíntesis y síntesis de sacarosa; partición de Carbono:Nitrógeno entre órganos; absorción, transporte y asimilación de nutrientes y daños a nivel de lipoproteínas de las membranas celulares (Wollenweber *et al.*, 2003).

Schlenker y Roberts (2008) encontraron una respuesta no lineal entre rendimiento y variables meteorológicas: las plantas aumentan linealmente su crecimiento con la temperatura hasta un punto en que el calor provoca daños. La relación es claramente asimétrica, con mayor pendiente a mayores temperaturas que a menores temperaturas.

Además de las respuestas lineares y no lineares del crecimiento del cultivo y los procesos de desarrollo, eventos cortos de temperaturas extremas pueden producir severas disminuciones del rendimiento.

Existen entonces umbrales de temperatura por encima de los cuales la formación de destinos reproductivos (futuros frutos y semillas) se afecta severamente. Tal es el caso de la pérdida de viabilidad del polen de maíz por encima de 36 °C, la esterilidad floral a más de 35 °C en el arroz o, en el trigo, la reversión de los efectos de la vernalización (satisfacción de requerimientos de bajas temperaturas para florecer) cuando la temperatura supera 35 °C (Porter y Semenov, 2005).

Los rendimientos de semilla de los cultivos son especialmente dependientes de las condiciones de temperatura y precipitación en etapas fisiológicamente críticas del cultivo (Ceccarelli *et al.*, 2010). Justamente, la variabilidad interanual de las condiciones ambientales que ocurren durante esas etapas críticas explica gran parte de las variaciones interanuales de las cosechas (Ortiz, 2008). La fase de desarrollo en la que se encuentran las plantas o cultivos puede modificar la magnitud del daño provocado por el incremento de la temperatura. En el caso del trigo, altas temperaturas en antesis y doble lomo del meristema apical disminuyen el índice de cosecha (relación de peso entre los órganos cosechados y la biomasa aérea total producida) y el rendimiento de grano (Porter y Semenov, 2005). Según Lobell y Field (2007), la temperatura y las precipitaciones explican el 30 % de la variación de los rendimientos en los seis principales cultivos.

#### *Efecto de la concentración atmosférica de CO<sub>2</sub>*

Actualmente se dispone de un cuerpo importante de conocimientos sobre cómo las plantas responden al aumento de la concentración de CO<sub>2</sub>. Este incremento tiene efectos directos e indirectos (Ceccarelli *et al.*, 2010). Los efectos directos (también llamados de fertilización de CO<sub>2</sub>) hacen referencia a cómo el aumento de la concentración atmosférica de CO<sub>2</sub> afecta directamente al cultivo. Los efectos indirectos son los que se producen por la asociación del incremento del CO<sub>2</sub> atmosférico con otros factores climáticos, fundamentalmente la radiación solar, las precipitaciones y la temperatura del aire.

Los efectos directos son diferentes según el tipo de metabolismo de la especie considerada (metabolismo C<sub>3</sub> y metabolismo C<sub>4</sub>). Para las especies con metabolismo C<sub>3</sub> (por ejemplo, trigo, cebada y soja) el nivel actual de CO<sub>2</sub> en el aire está por debajo del óptimo para la fotosíntesis. Ello se debe a que la enzima clave de la fotosíntesis, la *ribulosa 1,5 difosfato carboxilasa oxigenasa (RuBisCo)*, se encuentra en las células del mesófilo de las hojas en contacto directo con la atmósfera de los espacios intercelulares, vía los poros estomáticos. Por lo tanto, un incremento en la concentración atmosférica de CO<sub>2</sub> aumentaría la fotosíntesis neta respecto de los niveles de CO<sub>2</sub> actuales, porque la enzima disminuiría su nivel de desaturación de CO<sub>2</sub>, característico de la atmósfera actual (o, dicho en otros términos, se aproximaría al óptimo). En plantas de metabolismo C<sub>4</sub> (por ejemplo, maíz y sorgo), la *RuBisCo* se encuentra en un tejido donde la concentración de CO<sub>2</sub> es de tres a seis veces mayor que la concentración del CO<sub>2</sub> atmosférico y, en consecuencia, la enzima ya está saturada para el óptimo fotosintético y no se deberían esperar cambios significativos bajo una atmósfera enriquecida de CO<sub>2</sub> atmosférico.

Sin embargo, tanto en las plantas C<sub>3</sub> como en las C<sub>4</sub>, el aumento de la concentración de CO<sub>2</sub> atmosférico tiene efectos adicionales, como la reducción de la conductancia estomática, la tasa de transpiración y la probabilidad de estrés hídrico. Esto mejora entonces la eficiencia en el uso de agua y los rendimientos de los cultivos (Ceccarelli *et al.*, 2010). Para Seneweera y Norton (2011), la disminución de la conductancia estomática y el aumento de la eficiencia en el uso del agua tendrían una magnitud variable según la especie vegetal considerada y el estado del agua en el suelo. Los mismos autores sostienen que la eficiencia fotosintética de las plantas C<sub>3</sub> aumentaría hasta que la concentración de CO<sub>2</sub> alcance 750 ppm y que también mejoraría la eficiencia en el uso de la radiación, del agua y del N, en relación con las especies C<sub>4</sub>.

Carácter Proceso	Condición experimental	Cultivos			
		Arroz	Soja	Trigo	Cultivos C <sub>4</sub>
Rendimiento	En confinamiento	11 a 19	21 a 32	19 a 31	18 a 27
	A campo	12	14	13	0*
Biomasa	En confinamiento	21	30 a 35	24	8
	A campo	13	25	10	0*
Fotosíntesis	En confinamiento	35	25 a 32	10 a 21	4
	A campo	9	19	13	6

\* Datos de un único año

**Tabla 4.** Porcentajes de incremento del rendimiento, biomasa y fotosíntesis de cultivos que crecen con 550 ppm de CO<sub>2</sub> atmosférico, en ambientes confinados respecto de ambientes no confinados e igual concentración de CO<sub>2</sub>. Adaptado de Ceccarelli *et al.* (2010) en base a Long *et al.* (2006).

Estudios teóricos y experimentos en ambientes confinados permiten estimar que, cuando se duplica la concentración de CO<sub>2</sub> atmosférico, la producción de biomasa aumenta del 10 al 30 %. Teóricamente, a 25 °C, un incremento de las actuales 380 ppm de CO<sub>2</sub> atmosférico a las previstas 550 ppm en el año 2050 incrementaría 38 % la fotosíntesis. Sin embargo, en experimentos realizados en condiciones de campo (experimentos FACE, “concentración enriquecida al aire libre”), los efectos del enriquecimiento atmosférico con CO<sub>2</sub> se reducirían a la mitad de los observados en ambientes confinados (Tabla 4) (Ceccarelli *et al.*, 2010).

Tubiello *et al.* (2007) evaluaron la respuesta de cultivos a atmósferas con diferentes concentraciones de CO<sub>2</sub> (Tabla 5) utilizando tres modelos de simulación de cultivos y argumentaron que una reinterpretación y análisis correctos de los resultados presentados revelaría que las diferencias reportadas entre ambientes confinados y no confinados no serían de gran magnitud y resultarían similares a los indicados por los modelos de simulación de cultivos utilizados.

Tabla 5. Respuestas en rendimiento de los cultivos a niveles crecientes de concentración de CO<sub>2</sub> (en términos relativos al rendimiento a la concentración de 330 ppm), utilizando tres modelos de simulación de cultivos (CERES, EPIC y AEZ). Tomado de Tubiello *et al.* (2007).

[CO <sub>2</sub> ]	Modelos de simulación de cultivos							
	Ceres		Epic		Aez			
	C3	C4	C3	C4	Trigo	Arroz	Soja	Maíz
330	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
440	1,08	1,03	1,11	1,05	1,05	1,03	1,07	1,01
550	1,17	1,06	1,11	1,08	1,11	1,10	1,16	1,04
660	1,25	1,10	1,25	1,10	1,16	1,15	1,21	1,06
770	1,32	1,13	1,30	1,12	1,18	1,17	1,24	1,08
880	1,38	1,16	1,33	1,13	1,18	1,17	1,24	1,08
990	1,43	1,18	1,36	1,14	1,18	1,17	1,24	1,08

El efecto directo positivo de mayor CO<sub>2</sub> en la atmósfera puede ser contrarrestado por el impacto negativo de mayores temperaturas y menores precipitaciones (Porter y Semenov, 2005). Por ejemplo, plantas de cultivo con metabolismo C<sub>3</sub>, como el arroz y el trigo, presentan una tasa de fotosíntesis máxima entre 20 y 32 °C en condiciones de saturación de luz. La suma de la respiración de crecimiento y mantenimiento muestran un crecimiento no lineal en el rango 15-40 °C y a mayor temperatura una rápida declinación a tasa lineal. Por otra parte, al acelerarse el crecimiento por las mayores temperaturas, se reducen los grados días, la radiación total capturada y, por lo tanto, la biomasa producida (Chapman *et al.*, 2010).

#### *Efecto de la concentración de ozono (O<sub>3</sub>)*

El aumento en la concentración de ozono en la tropósfera (superior a 40 nanomoles x mol<sup>-1</sup> y por tiempo prolongado) puede afectar a los cultivos y eventualmente contrarrestar los efectos benéficos del aumento de la concentración de CO<sub>2</sub>. Ello se debe a que el ozono crea moléculas reactivas que producen estrés oxidativo, destruyen la enzima *RuBisCo* y aceleran la senescencia o envejecimiento de las hojas (Ortiz, 2008).

#### **Respuesta de los organismos perjudiciales para la agricultura a las variables ambientales asociadas al cambio y a la variabilidad climática**

Los cultivos son muy vulnerables a los incrementos de temperatura, no solo porque tienen un efecto directo y perjudicial sobre el rendimiento, sino también porque favorecen el desarrollo de malezas, patógenos responsables de enfermedades e insectos plagas. La temperatura es el factor que más influye en la ecología, epidemiología y distribución de insectos, mientras que, en el caso de patógenos, además de la importancia de la temperatura, debemos considerar también la concentración de CO<sub>2</sub> y las precipitaciones (Ceccarelli *et al.*, 2010).

El cambio climático puede afectar a los patógenos y las plagas de varias maneras: i) modificando su rango geográfico y distribución; ii) modificando sus poblaciones en términos genéticos y biológicos, incluyendo el espectro de virulencia y tasa de evolución de razas; y iii) alterando la efectividad de los genes y conjunto de genes de resistencia a la enfermedad disponibles en las variedades de cultivo. La naturaleza y magnitud de los daños provocados por los organismos perjudiciales en los cultivos hospedantes también tiene relación con el estrés abiótico al que pueden estar sometidos ante condiciones ambientales menos favorables. Una atmósfera más cálida puede incrementar el movimiento del aire en las capas altas de la atmósfera y, por lo tanto, modificar la distribución de los patógenos y promover la aparición de epidemias. La mayor concentración de CO<sub>2</sub> atmosférico favorece la fecundidad de patógenos biotróficos y necrotrofos e influye sobre la vida de insectos y malezas (especialmente si estas últimas son especies de metabolismo C<sub>3</sub>) (Chapman *et al.*, 2012). En ciertos casos el CO<sub>2</sub> puede ser factor desencadenante del rápido establecimiento de insectos (Zavala *et al.* (2008), citados por Ortiz (2008)).

## LA PRODUCCIÓN Y CALIDAD DE LOS CULTIVOS BAJO CAMBIO CLIMÁTICO

La intensidad y naturaleza de los efectos del cambio climático sobre los cultivos depende en gran medida del tipo de ambientes en el que estos crecen y se desarrollan. Así, los efectos del CC sobre los cultivos intensivos y bajo cubierta son esencialmente indirectos y consistirán en mayores costos para proveer y mantener esos ambientes controlados (Chapman *et al.*, 2012). En el caso de los cultivos perennes destinados a producción de biomasa (bosques cultivados y sistemas silvopastoriles), aunque podrían ser más tolerantes al impacto del clima, estarían expuestos a mayores riesgos de incendios.

En el caso de los cultivos extensivos, sobre los cuales descansa mayormente la seguridad alimentaria del planeta, interesa conocer el potencial del cambio climático para reducir la productividad de sus sistemas de cultivo y sus posibles adaptaciones para disminuir la formación de GEI (Porter y Semenov, 2005) y resistir sus efectos. El potencial de tales adaptaciones se basa en el mejoramiento genético y la agronomía.

Porter y Semenov (2005) plantean el efecto del cambio climático sobre los cultivos (Figura 5). En un escenario de CC, la distribución de probabilidad de situaciones climáticas se ve alterada. Pueden plantearse entonces tres situaciones posibles: i) cambios en la media de las variables atmosféricas, de modo tal que la distribución de probabilidades se desplaza hacia un aumento de la temperatura (o de precipitaciones) (Figura 5a), aumentando la probabilidad de situaciones de temperaturas altas o muy altas y disminuyendo la de temperaturas bajas y muy bajas; ii) variaciones en la distribución del cambio atmosférico, pero sin alteración de la media, que causarían eventos extremos con mayor frecuencia, tales como temperaturas que provoquen daños en la fisiología de la plantas y períodos de sequía más prolongados (Figura 5b); y iii) combinación de las dos situaciones anteriores (Figura 5c).

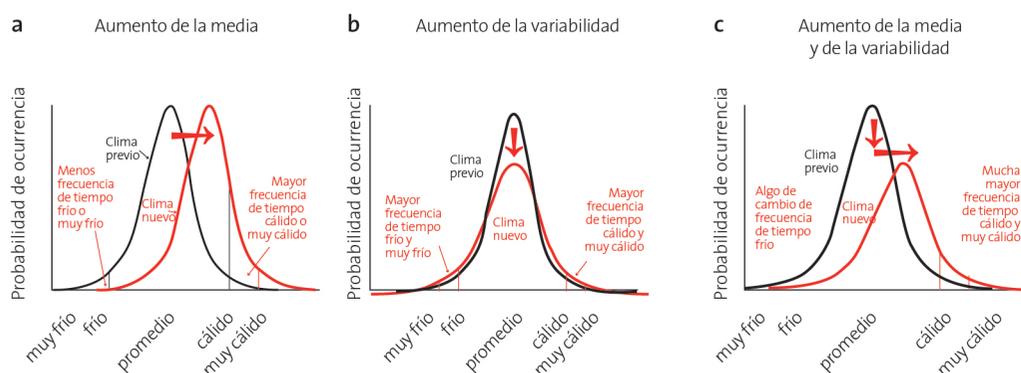
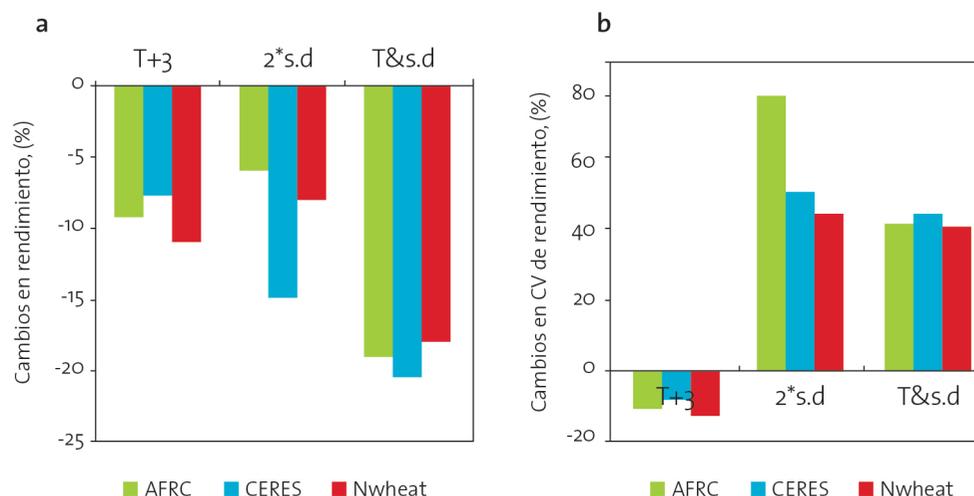


Figura 5. Cambios postulados en la distribución de la temperatura, que comprenden cambios en la media (a), la variancia (b) y la media y variancia (c), y su efecto sobre la frecuencia de ocurrencia de condiciones extremas. Adaptado de Porter y Semenov (2005).

En cualquier caso, es necesario conocer en qué medida esa variabilidad meteorológica tiene su espejo en la variabilidad de la producción de los cultivos, ya que un incremento en la variabilidad del rendimiento implica menor seguridad alimentaria en términos de cantidad y calidad. Mediante simulaciones se determinó que la variabilidad interanual de las variables climáticas se acompaña con aumentos en la variabilidad en los rendimientos (Figura 6).

**Figura 6.** Modelación del efecto de la variación en la temperatura sobre el rendimiento de trigo (a) y su variabilidad (b) expresada como coeficiente de variabilidad (CV). T+3: corresponde a un incremento de 3 °C (situación de Figura 5a), 2\*s.d: duplicación del desvío estándar sin cambio en la media (situación de Figura 5b) y T&s.d: combinación de ambos cambios (situación de Figura 5c). AFRC, CERES, Nwheat son modelos de simulación de cultivos. Tomado de Porter y Semenov (2005).



El cambio climático también afecta la calidad de los cultivos. En trigo, en general, se considera que la elevación de la concentración de CO<sub>2</sub> perjudica la calidad de la harina en términos nutricionales y reológicos. En Europa se ha investigado el efecto de la Oscilación del Atlántico Norte (NAO). Kettlewell *et al.* (1999) comprobaron efectos de la NAO sobre el Hagberg Falling Number, parámetro relacionado con la actividad de alfa amilasa. Porter y Semenov (2005), empleando modelos de simulación, establecieron que el incremento de la variabilidad de las condiciones térmicas tenía mayor incidencia que el simple aumento de la temperatura media en 2 o 4 °C sobre el coeficiente de variabilidad del porcentaje de proteína en el grano (Tabla 6).

**Tabla 6.** Simulación del efecto de diferentes condiciones de temperatura sobre la variabilidad del rendimiento y la calidad proteica del grano de trigo. Tomado de Porter y Semenov (2005).

Escenario climático	CV (%) del rendimiento de grano	CV (%) de la concentración de proteína en el grano
Línea base	11,1	11,0
Temperatura media + 2 °C	10,9	9,7
Temperatura media + 4 °C	9,8	8,5
Mayor variabilidad térmica	14,0	12,5
Períodos de sequía más prolongados	17,6	19,2

La elevación de la concentración atmosférica de CO<sub>2</sub> y la temperatura tendrían leve efecto sobre la digestibilidad y composición de la fibra del material cosechado. Pero, de acuerdo con Chapman *et al.* (2012), la determinación de los efectos posibles del CC sobre la calidad de cultivos para biomasa requiere disponer de mayor información. Bajo condiciones de crecimiento acelerado por mayores temperaturas, CO<sub>2</sub> y/o lluvias, las pasturas generalmente incrementan el contenido de fibras y reducen la digestibilidad y eficiencia de conversión del alimento. El aumento de la relación carbono:nitrógeno (C:N) o disminución de la relación proteína:energía de las pasturas reduce la disponibilidad de proteína microbiana en rumiantes para su crecimiento y producción, llevando a una menor eficiencia de utilización del alimento y aumento de desperdicios, lo que afecta las emisiones de CH<sub>4</sub> (Porter y Semenov, 2005). En caña de azúcar, disminuye la relación entre azúcar y fibra cuando aumenta la temperatura (Chapman *et al.*, 2012).

Challinor *et al.* (2014), a partir del metaanálisis de 1700 simulaciones, estimaron el efecto del cambio climático y la adaptación a él sobre el rendimiento de los cultivos. Sin adaptación y por efecto de 2 °C de calentamiento, habría una reducción en la producción agregada de trigo, arroz y maíz en regiones tropicales y templadas. Concluyeron además que la magnitud de las pérdidas de rendimiento sería mayor luego de 2050, especialmente en las zonas tropicales. También se pronostica un aumento de la variabilidad interanual de los rendimientos. Bajo escenarios de adaptaciones exitosas de los cultivos, sus rendimientos crecerían 7 a 15 %, más en trigo y arroz (especies de metabolismo C<sub>3</sub>) que en maíz (metabolismo C<sub>4</sub>).

## ADAPTACIÓN DE LOS CULTIVOS AL CAMBIO CLIMÁTICO

Los organismos se adaptan a las modificaciones del ambiente de dos maneras posibles: i) plasticidad fenotípica y ii) evolución adaptativa por selección natural actuando sobre caracteres cuantitativos. La plasticidad fenotípica hace referencia a los cambios o adaptaciones fenotípicas a *nivel de individuo* cuando se ve expuesto a diferentes situaciones ambientales. La segunda alternativa implica cambios en las frecuencias genéticas a *nivel poblacional*, tendiendo a incrementar su nivel de adaptación hasta lograr una condición de equilibrio por selección natural (Visser, 2008). Si bien la mayoría de las especies poseerían esta capacidad de adaptación, resulta muy difícil de cuantificar y de comparar entre especies (Williams *et al.*, 2008). No obstante, ha sido comprobada en la práctica la hipótesis respecto a la mayor capacidad adaptativa de las especies de polinización cruzada respecto de las de autopolinización (Morran *et al.*, 2009).

Los eventuales cambios necesarios para mejorar la adaptación de los cultivos mediante el manejo agronómico y la genética demandarían más inversión de recursos y de tiempo, especialmente en especies perennes como las forestales. La adaptación a determinados ambientes es un carácter complejo, condicionado por muchos genes, aunque, en ciertos casos, como la tolerancia a patógenos o una calidad específica, las respuestas pueden ser más rápidas (Ceccarelli *et al.*, 2010).

Para adaptar las prácticas de cultivo a un escenario climático caracterizado por eventos de estrés biótico (insectos, enfermedades, competencia por malezas) más inciertos e intensos existe la alternativa de apelar a sistemas de pronósticos. Sin embargo, la incertidumbre o variabilidad climática agrega complejidad a los modelos. Este es un factor crítico ya que, actualmente, y a pesar de todos los esfuerzos, las pérdidas anuales, solo por enfermedades, se estiman en 200 000 millones de dólares (Chapman *et al.*, 2012).

Porter y Semenov (2005) señalan que un incremento de la producción bajo cambio climático requerirá el aumento del uso de fertilizantes nitrogenados, por dos razones básicas: i) porque el mantenimiento de la respuesta en rendimiento a incrementos de CO<sub>2</sub> requerirá mayores niveles de abastecimiento a la *RuBisCo* (enzima Ribulosa 1,5 bifosfato Carboxilasa-Oxigenasa), probablemente porque un aumento del CO<sub>2</sub> incrementa la renovación (*turn-over*) de la enzima y ii) porque la mayor concentración de CO<sub>2</sub> tiende a aumentar la relación C:N, con pérdida de calidad nutricional, a menos que se incremente la oferta de nitrógeno.

El gas N<sub>2</sub>O no puede ser aprovechado por las plantas. En este sentido, es importante no solo el manejo de la fertilización nitrogenada (que la fertilización se haga en el momento y técnica adecuados para que pueda ser íntegramente aprovechado por los cultivos y no genere GEI), sino el mejoramiento de la eficiencia de uso del nitrógeno (Ortiz, 2008).

Para adaptar los cultivos al cambio climático es preciso conocer cómo las plantas responden a esos cambios. A escala geológica, las plantas superiores primitivas, que crecían en una atmósfera con alta concentración de CO<sub>2</sub> atmosférico, carecían de hojas, las que aparecieron conforme aquella concentración fue descendiendo. Pero, desde la edad industrial hasta el presente, las especies vegetales han respondido al incremento de CO<sub>2</sub> disminuyendo la densidad de estomas (Ceccarelli *et al.*, 2010). Esta característica está bajo control genético. En *Arabidopsis*, el gen *HIC* previene el cambio en el número de estomas, pero el alelo recesivo *hic* aumenta la densidad estomática un 42 % al duplicarse el CO<sub>2</sub>. En cebada detectaron variabilidad genética para densidad estomática, variando de 39 a 98 estomas por mm<sup>2</sup>.

## MEJORAMIENTO GENÉTICO PARA ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO

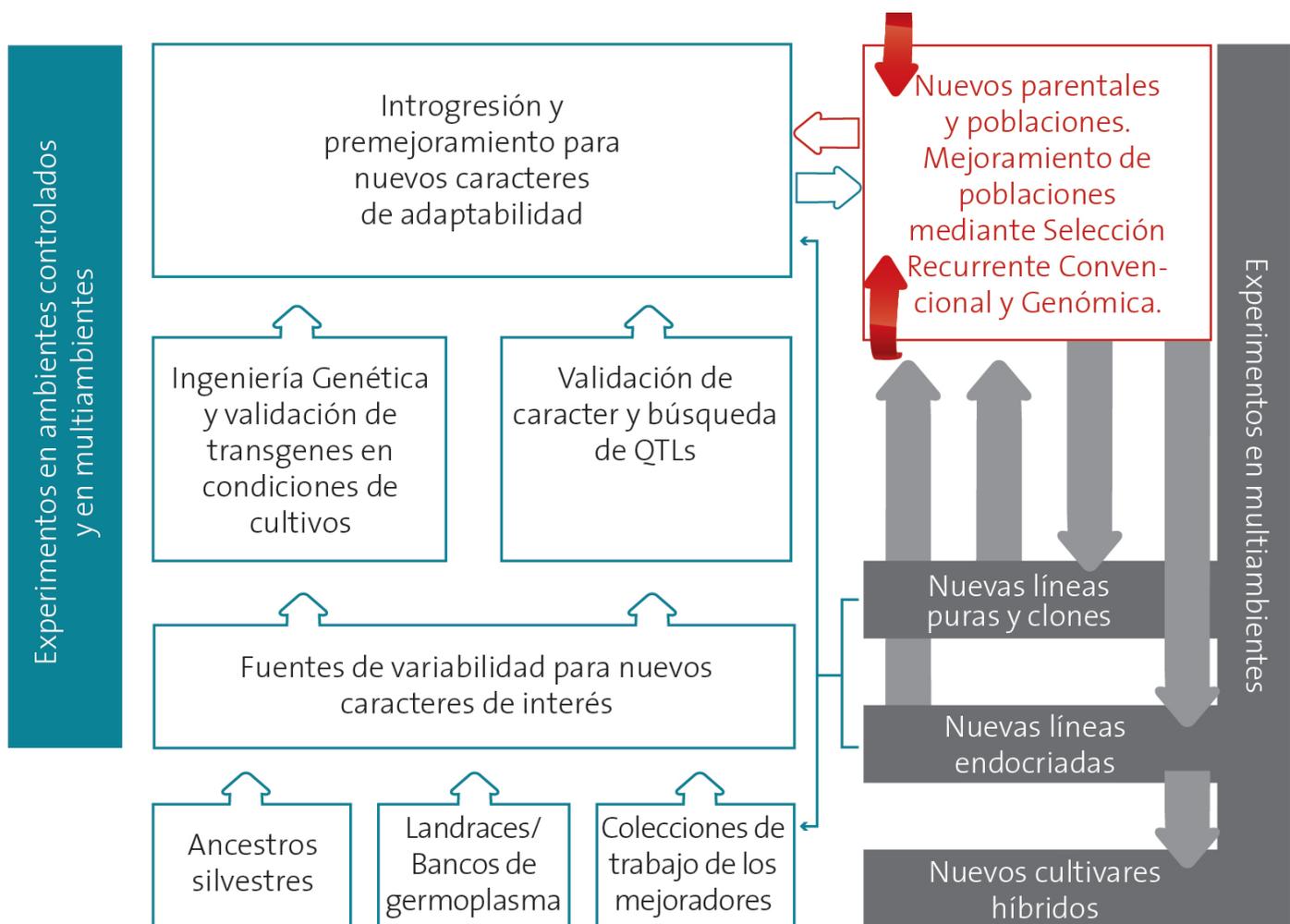
El objetivo del mejoramiento es desarrollar variedades de cultivo mejor adaptadas al ambiente de producción para satisfacer las necesidades humanas de alimento, fibras, maderas y energía.

Chapman *et al.* (2012) señalan la necesidad de que los fitomejoradores caractericen los probables desafíos ambientales para las futuras variedades, especialmente en términos de establecer su impacto potencial por intensidad e incidencia, e identificar cuáles serían los caracteres a seleccionar que permitirían adaptar los cultivos a esos ambientes. En la medida en que alcanzar este objetivo dependa de la selección de algunas características que deberían recibir mayor atención que en la actualidad, será necesario determinar su modo de acción y herencia, aplicar el método de mejoramiento que en cada caso permita lograr los objetivos de selección de manera más rápida y eficiente, así como establecer la existencia de variabilidad genética en diferentes fuentes de germoplasma. Además de las colecciones de trabajo de los mejoradores,

convendrá explorar la utilidad de variedades locales (*landraces*), que han tenido escaso grado de mejoramiento genético para caracteres productivos, pero que por generaciones han sido seleccionadas artesanalmente por agricultores de subsistencia, y en ciertos casos aun de ancestros silvestres de las actuales especies cultivadas. Ambas constituyen un reservorio de genes que merecería explorarse, por cuanto, luego del proceso de hibridación y selección natural, podrían haberse “erosionado” (perdido), durante la domesticación, algunas características neutras o quizás desfavorables desde el punto de vista adaptativo de la especie silvestre, pero que en el “clima proyectado” podrían ser revaloradas. Posteriormente, debería instrumentarse la introducción y selección de esos recursos genéticos mediante mejoramiento convencional, molecular e ingeniería genética, y finalmente evaluarse las potenciales nuevas variedades en condiciones reales de cultivo (Figura 7).

En general los programas públicos y privados de mejoramiento ponderan de manera diversa los objetivos de largo y corto plazo, utilizan distintas fuentes de germoplasma, y los ambientes a los cuales se pretende destinar sus productos son distintos. En términos generales, los programas públicos orientan su actividad a objetivos de largo plazo, seleccionan sobre germoplasma con escaso mejoramiento previo y se esfuerzan por obtener genotipos con adaptación general y que aporten nueva variabilidad genética para el cultivo. Por el contrario, los programas privados de mejoramiento tienen objetivos de corto plazo, orientados al mercado de semillas, utilizan fuentes de germoplasma élite y deben orientar sus productos a áreas o ambientes más específicos. Para ello será cada vez más importante perfeccionar y emplear modelos de zonificación ambiental y capitalizar en la selección fracciones de la *interacción genotipo x ambiente* asociadas a factores de cultivo controlables. Aunque no exclusivamente, las actividades indicadas en el sector izquierdo de la Figura 7 resultan más pertinentes para los programas públicos de mejoramiento de especies cultivadas.

Figura 7. Esquema general de actividades y flujo de material genético en programas de mejoramiento orientados a mejorar la adaptación de cultivos al cambio climático.



A grandes rasgos, el escenario climático al que deberán adaptarse las futuras variedades (Ceccarelli *et al.*, 2010) tendrá las siguientes características:

- Mayor temperatura media, mayor tasa de uso del agua, aceleración del desarrollo, menor rendimiento y menor seguridad de cosecha.

- Incremento de CO<sub>2</sub>, con efectos directos e indirectos. Probables efectos positivos sobre el crecimiento, especialmente en especies con metabolismo C<sub>3</sub>, pero efectos menos evidentes en el rendimiento (Hatfield and Prueger (2011), citado por Chapman *et al.*, 2012).
- Interacciones entre las dinámicas de CO<sub>2</sub> y N en el canopeo. A mayor CO<sub>2</sub> en la atmósfera es esperable mayor respuesta al N, a menudo con reducciones en la concentración de N en los órganos, como ocurre con otros nutrientes (Chapman *et al.*, 2012).
- Modificaciones en la presencia, distribución e incidencia de organismos perjudiciales.

En consecuencia, los programas de mejoramiento genético deberían enfatizar las siguientes características:

- Rendimiento y estabilidad frente a factores bióticos (plagas, enfermedades) y abióticos (temperatura y sequía) que causan estrés.
  - Selección para mejorar la respuesta a mayor CO<sub>2</sub>.
  - Tolerancia a sequía:
    - Selección para cambios en la fenología.
    - Selección para mayor tolerancia al déficit de agua.
  - Tolerancia a efectos térmicos:
    - Selección para altas y bajas temperaturas.
- Resistencia a salinidad y a condiciones de inundación o saturación de agua en el suelo.
- Compatibilización de mayor rendimiento con calidad.
  - Modificación de la dotación de N en la planta, tratando de que el N lábil sea mayor y pueda ser translocado al grano para mantener la cantidad y calidad proteica (Porter y Semenov, 2005).

Algunas características de valor adaptativo, como la tolerancia al estrés térmico, pueden encontrarse especialmente en las especies que están adaptadas a esa condición. Pareciera existir mayor variabilidad entre especies en cuanto a adaptación a bajas temperaturas que a altas temperaturas. Respecto de la variabilidad para respuesta a elevado CO<sub>2</sub> hay muy poca información sobre su existencia dentro de las especies cultivadas. No obstante, se especula con la posibilidad de sustituir la enzima *RuBisCo* de especies cultivadas por la de otras especies (algas no verdes) que tienen menor especificidad y mayor tasa catalítica, lo cual posibilitaría, bajo niveles elevados de CO<sub>2</sub> atmosférico, aumentar la fijación de carbono y su incorporación a productos de la fotosíntesis (Ainsworth *et al.*, 2008). Probablemente haya que ajustar la fenología de los cultivos para adaptarla a una estación de cultivo más corta en el caso de ambientes con menor disponibilidad de agua (Ceccarelli *et al.*, 2010). Para modificar la fenología del cultivo puede ser necesario controlar las respuestas al fotoperíodo y termoperíodo, las cuales son heredables y fáciles de manipular por selección. Otra alternativa es modificar la temperatura óptima de los cultivos para el crecimiento, de manera de evitar los períodos de estrés (Chapman *et al.*, 2010). Para evitar la disminución en la radiación total interceptada por el cultivo, causada por el efecto acelerador de las mayores temperaturas sobre el desarrollo, podrían seleccionarse genotipos de ciclo más largo o con mayor requerimiento de suma térmica.

Como mecanismo adicional de adaptación a elevadas temperaturas, Chapman *et al.* (2012) indican que no está comprobado que las proteínas de choque térmico (HSP, *heat-shock proteins*) que posee la especie modelo *Arabidopsis thaliana* tengan similar función protectora en cereales. En cambio, postulan que existe variabilidad genética para características de los cultivos que permitirían controlar la temperatura del canopeo, tales como disponer de un sistema radicular que absorba el agua necesaria para la evapotranspiración, y así enfriar el aire del cultivo y evitar daños celulares por mayor temperatura (Tabla 7). En este caso la temperatura del canopeo podría funcionar, tal vez, como un carácter indicador a través del cual seleccionar. Este caso refleja la importancia de validar en condiciones reales del cultivo la importancia de estas características indirectas.

Tabla 7. Algunos ejemplos de respuestas adaptativas ante incremento de las temperaturas medias y extremas. En base a Chapman *et al.* (2012).

Carácter	Proceso	Objetivo para adaptación	Escala de adaptación
Adecuación de la fenología para optimizar el momento de floración y otros	Respuesta a la temperatura	Disminuir (o acelerar) la respuesta a las altas temperaturas	Planta y cultivo
	Respuesta a fotoperíodo y vernalización	Independizar momento del desarrollo de la temperatura	Planta y cultivo
	Respuesta a temperatura, fotoperíodo y vernalización	Hacer coincidir etapas de cultivo con condiciones meteorológicas favorables	Planta y cultivo
Respuesta, escape y tolerancia a altas temperaturas en órganos vegetativos	Activación de proteínas <i>heat-shock</i>	Protección de la integridad enzimática y del aparato fotosintético	Molecular
	Control estomático de la transpiración	Enfriamiento por transpiración	Molecular
	Disminución de la respiración (especialmente nocturna)	Disminuir el impacto de altas temperaturas sobre el crecimiento	Molecular
	Incremento de la partición de fotoasimilados hacia las raíces	Mantenimiento del estado hídrico y enfriamiento pos transpiración	Órgano
	Incremento de cera epicuticular y enrollamiento foliar	Reducción de carga calórica	Órgano
	Reducción de senescencia ( <i>stay green</i> )	Mayor crecimiento durante llenado de grano	Órgano y Planta
Adaptaciones reproductivas	Mantenimiento del desarrollo del ovario y viabilidad del polen	Mantenimiento de número potencial de semillas (granos)	Órgano y Planta
	Crecimiento del pedúnculo floral	Extrusión normal de inflorescencia (enfriamiento)	Órgano
Calidad de producto	Incremento de removilización de reservas	Mantenimiento del crecimiento del grano	Órgano y Planta
	Respuesta de enzimas a la temperatura	Mantenimiento de perfiles óptimos de proteínas, aceites, azúcares y composición del almidón	Molecular

En el caso del trigo, la característica *stay green* (senescencia retardada) se asocia generalmente con una mayor tolerancia a altas temperaturas durante el llenado del grano. Para mejorar la tolerancia a la sequía en trigo, el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) ha evaluado mediante ingeniería genética los genes *dreb*, pero seguramente existan otros genes que podrían utilizarse como alternativa (Olesen y Bindi (2002), citados por Porter y Semenov, 2005).

Chapman *et al.* (2012) sugieren que, como mecanismo de defensa ante patógenos del suelo, podría explorarse la capacidad diferencial de individuos y especies para producir exudados en la rizosfera que promuevan la proliferación de microorganismos supresores de patógenos.

Los modelos de simulación de cultivos pueden servir para determinar cuáles características de cultivo serían más apropiadas para determinada región y condición climática. Por ejemplo, Sinclair y Muchow (2001), citados por Porter y Semenov (2005), determinaron, mediante simulaciones de veinte años de datos climáticos para una región con mucha variabilidad interanual en las precipitaciones (rango de 169 a 772 mm/año y media de 441 mm/año), el probable efecto de modificar ocho características en maíz y sorgo. Estas fueron elegidas por su presunto efecto favorable ante condiciones de sequía (Tabla 8). Sus conclusiones fueron que el mejoramiento para mayor exploración radicular del suelo por agua sería de gran beneficio. Sinclair *et al.* (2004) y Boote y Sinclair (2006) enfatizan la necesidad de tener en cuenta que, debido a la jerarquía y complejidad de los diferentes procesos metabólicos y fisiológicos de las plantas, la sola modificación de un carácter ubicado en un nivel inferior de escala jerárquica (por ejemplo, nivel génico y celular) no asegura un efecto similar verificable a escalas jerárquicas mayores (órgano, planta entera y cultivo). El enfoque, que Boote y Sinclair (2006) denominan "investigación genocéntrica", resultaría entonces insuficiente desde la mirada de la ecofisiología, pero también desde la genética, cuando consideramos la existencia de interacciones epistáticas (entre genes ubicados en diferentes *loci*), los efectos pleiotrópicos y las probabilidades de ligamiento estrecho entre *loci*. Estas consideraciones son válidas no solo en la selección convencional, sino también al momento de evaluar la eficiencia de la transgénesis y *cis-génesis*. El empleo de índices de selección, el uso de caracteres secundarios y de variables indicadoras son una herramienta importante para mejorar la eficiencia de la selección simultánea de varios caracteres, ya sea basada en datos fenotípicos o en una combinación de datos fenotípicos y genotípicos.

Carácter	Rendimiento	CV	ET	Rend./ET
	g . m <sup>-2</sup>	%	mm.m <sup>-2</sup>	g.mm <sup>-1</sup>
Línea de base	409	54	387	0,99
Profundización de raíces a 100 cm	597	47	419	1,16
Profundización de raíces a 120 cm	563	43	442	1,23
Hojas más pequeñas	370	52	389	0,90
Aparición de hojas más lenta	540	57	408	1,23
Menor eficiencia en el uso de la radiación	421	47	386	1,04
Mayor tasa de crecimiento de los granos	368	50	366	0,96
Cierre estomático temprano	445	60	391	1,08
Cierre estomático tardío	381	55	383	0,93
Caracteres combinados	474	36	402	1,14

Tabla 8. Valores medios y coeficientes de variación (CV) para simulaciones de rendimiento, evapotranspiración (ET) y su proporción, a partir de simulaciones sobre veinte años para modificaciones en una serie de caracteres de posible valor adaptativo. Fuente: Porter y Semenov (2005), a partir de Sinclair y Muchow (2001).

El incremento de la productividad de las especies cultivadas ha ocurrido fundamentalmente como respuesta a la selección artificial. Sin embargo, la selección natural es un proceso sistemático que, dependiendo del carácter, componente de la adaptabilidad, sobre el que actúa también puede ser aprovechado para alcanzar los objetivos del mejoramiento. Ceccarelli *et al.* (2010) rescatan la antigua propuesta de Suneson (1956) del *mejoramiento genético evolucionario*, basado en los trabajos de Harlan y Martini (1929) en cebada cervecera. Conceptualmente el método consiste en generar una población con variabilidad genética y dejar avanzar un número de generaciones sin selección artificial, mientras actúa la selección natural. La respuesta a ella será una población compuesta por individuos con mejor adaptación al ambiente. A pesar de que la cebada es una especie autógena (de autopolinización), la existencia de pequeños porcentajes de alo-gamia (polinización cruzada) permitiría el surgimiento de suficientes recombinaciones sobre las que actúe la selección natural. Esta estrategia podría ser útil para caracteres productivos (rendimiento, respuesta a mayor CO<sub>2</sub>) y defensivos (tolerancia a factores de estrés biótico y abiótico), pero no para características de calidad, ya que estas son generalmente neutras desde el punto de vista de la selección natural (Ceccarelli *et al.*, 2010). El *mejoramiento genético evolucionario*, dentro de un marco general de mejoramiento para adaptación al cambio climático como el planteado en la Figura 7, podría ser más apropiado en la etapa de premejoramiento. Phillips y Wolfe (2005) han propuesto una variante al mejoramiento genético evolucionario, dándole un carácter participativo y contemplando la combinación de selección natural y artificial.

Las diferentes variantes de los métodos de selección recurrente (SR), selección recurrente asistida por marcadores moleculares (MARS) y la selección recurrente genómica (GWS) pueden aplicarse sobre poblaciones de base amplia o en poblaciones derivadas de cruzamientos entre progenitores élite con la finalidad de aumentar la frecuencia y así las probabilidades de identificación y selección de individuos mejor adaptados a las condiciones climáticas y con buena productividad. Si tenemos en cuenta que el ambiente en el "clima proyectado" cambia en la dirección de condiciones menos favorables, será necesario mejorar la eficiencia de los programas de mejoramiento en términos de progreso genético en la adaptación por unidad de tiempo. En tal sentido, la selección recurrente genómica permite acelerar el ciclo de mejoramiento, y la disponibilidad próxima de técnicas de fenotipificación de alto caudal en condiciones de campo permitirían mejorar aún más la eficiencia de la selección recurrente en cualquiera de sus variantes.

El abordaje de la problemática del cambio climático desde el mejoramiento genético debe ser suficientemente abarcativo: debe contemplar desde la búsqueda de fuentes de variabilidad genética para características adaptativas y el premejoramiento hasta el mejoramiento propiamente dicho. De esta forma, podrían conciliarse estrategias de selección que resuelvan el dilema entre la necesidad de acortar la duración de tiempo de cada ciclo de selección y la necesidad de exponer los genotipos bajo selección a una muestra ambiental que resulte representativa de la variabilidad climática de cada región.

## REFERENCIAS

- Ainsworth, E. A.; Rogers, A. y Leakey, A. D. (2008). "Targets for crop biotechnology in a future high-CO<sub>2</sub> and high-O<sub>3</sub> world". *Plant Physiology*, 147(1), pp. 13-19.
- Altieri, M. A. y Koohafkan, P. (2003.) *Enduring Farms: Climate Change, Smallholders and Traditional Farming Communities*. Third World Network Environmental and Development Series 6. Penang, Malaysia: TWN.
- Atkinson, M. D.; Kettlewell, P. S.; Poulton, P. R. y Hollins, P. D. (2008). "Grain quality in the Broadbalk wheat experiment and the winter North Atlantic Oscillation". *Journal of Agricultural Science*, 146, pp. 541-549.
- Boote, K. J. y Sinclair, T. R. (2006). "Crop physiology: significant discoveries and our changing perspective on research". *Crop Science*, 46, pp. 2270-2277.
- Ceccarelli S.; Grando, S.; Maatougui, M.; Michael, M.; Slash, M.; Hachparast, R.; Rahmanian, M.; Taheri, A.; Al-Yassin, A.; Benbelkacem, A.; Labdi, M.; Mimoun, H. y Nachit, M. (2010). "Plant breeding and climate changes". *Journal of Agricultural Science*, 148, pp. 627-637.
- Challinor, A. J.; Watson, J.; Lobell, D. B.; Howden S. M.; Smith, D. R. y Chhetri, N. (2014). "A meta-analysis of crop yield under climate change and adaptation". *Nature Climate Change*. doi:10.1038/NCLIMATE2153
- Chapman, S. C.; Chakraborty, S.; Dreccer, M. F. y Howden, S. M. (2012). "Plant adaptation to climate change-opportunities and priorities in breeding". *Crop and Pasture Science*, 63, pp. 251-268.
- Comisión Europea. (s/f). "Comprender los gases de efecto invernadero". Recuperado de [http://ec.europa.eu/clima/sites/campaign/pdf/gases\\_es.pdf](http://ec.europa.eu/clima/sites/campaign/pdf/gases_es.pdf)
- Easterling, D. R.; Meehl, G. A.; Parmesan, C.; Changnon, S. A.; Karl, T. R. y Mearns, L. O. (2000). "Climate extremes: observations, modeling, and impacts". *Science*, 289, pp. 2068-2074.
- Eyhéride, G. H. (2014). "Perspectivas en la producción de cereales y oleaginosas en el mediano plazo". Ciclo de Seminarios sobre Producción Agropecuaria y Recursos Naturales. PEA Metas Ambientales: Variaciones en el uso del suelo y perspectivas para la producción agrícola en el mediano plazo. CABA: Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, 15 de mayo de 2014.
- Fernández Muerza, A. (2007). "Gases de efecto invernadero". *Eroski Consumer*. Recuperado de [http://www.consumer.es/web/es/medio\\_ambiente/urbano/2007/06/18/163831.php](http://www.consumer.es/web/es/medio_ambiente/urbano/2007/06/18/163831.php)
- Harlan, H. V. y Martini, M. L. (1929). "A composite hybrid mixture". *Journal of the American Society of Agronomy*, 21, pp. 487-490.
- Hatfield, J. L. y Prueger, J. H. (2011). "Agroecology: implications for plant response to climate change". En Yadav, S. S.; Redden, R. J.; Hatfield, J. L.; Lotze-Campen, H. y Hall, A. E. (eds.) *Crop adaptation to climate change* (pp 27-43). Chichester: Wiley-Blackwell.
- Panel Internacional del Cambio Climático (IPCC) (2007). *Climate change. 2007. The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Nueva York: Cambridge University Press.
- Kettlewell, P. S.; Sothorn, R. B. y Koukkari, W. L. (1999). "UK wheat quality and economic value are dependent on the North Atlantic Oscillation". *Journal of Cereal Science*, 29, pp. 205-209.
- Lobell, D. B. y Field, C. B. (2007). "Global scale climate-crop yield relationships and the impacts of recent warming". *Environmental Research Letters* 2. doi:10.1088/1748-9326/2/1/014002
- Long, S. P.; Ainsworth, E. A.; Leakey, A. D. B.; Nösberger, J. y Ort, D. R. (2006). "Food for thought: Lower than expected crop yield stimulation with rising CO<sub>2</sub> concentrations". *Science*, 312, pp. 1918-1921.
- Magrín, G. O.; Travasso, M. I.; Rodríguez, G. R. y Lloveras, A. R. (2007). "Impactos potenciales del cambio climático". En *Vulnerabilidad de la producción agrícola en la región pampeana argentina*. Informe final. 2.ª Comunicación Nacional sobre el Cambio Climático. Componente B3. Argentina, Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable.
- Morran, L. T.; Permenter, M. D. y Phillips, P. C. (2009). "Mutation load and rapid adaptation favour outcrossing over self-fertilization". *Nature*, 462, pp. 350-352.
- Nelson, G.; Rosegrant, M. W.; Koo, J.; Robertson, R.; Sulser, T.; Zhu, T.; Ringler, C.; Msangi, S.; Palazzo, A.; Batka, M.; Magalhaes, M.; Valmonte-Santos, R.; Ewing, M. y Lee, D. (2009). *Climate change: impact on agriculture and costs of adaptation*. Food Policy Report. Washington, D. C.: International Food Policy Research Institute.
- Olesen, J. E. y Bindi, M. (2002). "Consequences of climate change for European agricultural productivity, land use and policy". *European Journal of Agronomy*, 16, pp. 239-262.
- Ortiz, R. (2008). "Crop genetic engineering under global climate change". *Annals of Arid Zone*, 47(3 y 4), pp. 1-12.
- Phillips, S. L. y Wolfe, M. S. (2005). "Evolutionary plant breeding for low input systems". *Journal of Agricultural Science*, 143, pp. 245-254.
- Porter, J. R. y Semenov, M. A. (2005). "Crop responses to climatic variation". *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 360, pp. 2021-2035. doi:10.1098/rstb.2005.1752
- Schär, C.; Vidale, P. L.; Lüthi, D.; Frei, C.; Häberli, C.; Liniger, M. A. y Appenzeller, C. (2004). "The role of increasing temperature variability in European summer heatwaves". *Nature*, 427, pp. 332-336.
- Schlenker, W. y Roberts, M. (2008). "Estimating the impact of climate change on crop yields: the importance of nonlinear temperature effects". Working Paper 13799. *NBER Working Paper Series*. Cambridge, EE. UU.

- Schmidhuber, J. y Tubiello, F. N. (2007). "Global food security under climate change". *PNAS*, 104(50), pp. 19703-19708.
- Seneweera, S. y Norton, R. M. (2011). "Plant responses to increased carbon dioxide". En Yadav, S S.; Redden, R. J.; Hatfield, J. L.; Lotze-Campen, H.; Hall, A. E., *Crop adaptation to climate change* (pp. 198-217). Chichester: Wiley-Blackwell.
- Sinclair, T. R.; Purcell, L. C. y Sneller, C. H. (2004). "Crop transformation and the challenge to increase yield potential". *Trends in Plant Science*, 9(2), pp. 70-75. doi:10.1016/j.tplants.2003.12.008
- Stern, N. (2005). *The Stern Review on the Economics of Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Suneson, C. A. (1956). "An evolutionary plant breeding method". *Agronomy Journal*, 48, pp. 188-191.
- Travasso, M. I.; Magrín, G. O.; López, G. y Rodríguez, G. R. (2007). "Adaptación". En *Vulnerabilidad de la producción agrícola en la región pampeana argentina*. Informe final. 2.ª Comunicación Nacional sobre el Cambio Climático. Componente B3. Argentina, Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable.
- Tubiello, F. N.; Amthor, J. S.; Boote, K. J.; Donatelli, M.; Easterling, W.; Fischer, G.; Gifford, R. M.; Howden, M.; Reilly, J. y Rosenzweig, C. (2007). "Crop response to elevated CO<sub>2</sub> and world food supply. A comment on 'Food for thought...' by Long et al.". *Science*, 312, pp. 1918-1921. *European Journal of Agronomy*, 26, pp. 215-223.
- Visser, M. E. (2008). "Keeping up with a warming world; assessing the rate of adaptation to climate change". *Proceedings of the Royal Society B*, 275, pp. 649-659.
- Williams, S. E.; Shoo, L. P.; Isaac, J. L.; Hoffmann, A. A. y Langham, G. (2008). "Towards an integrated framework for assessing the vulnerability of species to climate change". *PLoS Biology*, 6(12), e325. doi:10.1371/journal.pbio.0060325
- Wollenweber, B.; Porter, J. R. y Schellberg, J. (2003). "Lack of interaction between extreme-high temperature events at vegetative and reproductive growth stages in wheat". *Journal of Agronomy Crop Science*, 189, pp. 142-150.
- Zavala, J. A.; Casteel, C. L.; DeLucia, E. H. y Berenbaum, M. R. (2008). "Anthropogenic increase in carbon dioxide compromises plant defense against invasive insects". *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(13), pp. 5129-5133.

Guillermo Eyhérbide es ingeniero agrónomo egresado de la FAUBA. Realizó su maestría en Mejoramiento Vegetal en la Universidad Nacional de Rosario y su Ph.D. en Iowa State University. Es coordinador del Programa Nacional de Cereales y Oleaginosas del INTA y profesor titular de Genética Cuantitativa en el área de Genética Superior de la UNNOBA. Integra el Consejo Directivo de la Escuela de Ciencias Agrarias de la UNNOBA, el Consejo Directivo del Centro de Investigación y Transferencia (CITNOBA) de UNNOBA-CONICET y el Consejo Directivo de la Asociación Maíz y Sorgo Argentino (MAIZAR). En 2010 fue incorporado como académico a la Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria y en 2016 a la Comisión Asesora Honoraria de "Ciencias Agrícolas, Producción y Salud Animal" de la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires. Su especialidad es el mejoramiento genético del maíz, tarea que desarrolla en la EEA INTA Pergamino.

# DISEÑO E INNOVACIÓN: ENTRE EL CONSUMO ACTUAL Y LA INESTABILIDAD FUTURA

## ¿ES POSIBLE EL DISEÑO SUSTENTABLE?

Los diseñadores coinciden en general en que nuestra disciplina, como práctica social que participa de la prefiguración del entorno, está involucrada en el impacto que nuestras acciones generan/causan sobre la sociedad y que todavía es necesario trabajar con mucho compromiso para la construcción de un mundo sostenible. Para indagar acerca de los posibles modos de intervención, es necesario entender las formas en que el diseño participa hoy de la producción de la cultura material. Coincidimos con algunos teóricos del diseño (Victor Papanek, 1995; John Thackara, 2007; Victor Margolin, 2002) entre otros, quienes manifiestan que, más allá de muchas acciones bien intencionadas que lo alejan de su servilismo a la lógica del mercado hacia otros lugares, muy rara vez el diseño escapa al impetuoso avance de la cultura del consumo.

Podríamos pensar que diseñar es prefigurar, conceptualizar, dar forma a algo antes de que exista. Pero ese algo ¿es necesariamente un objeto, un producto concreto? Responde Victor Margolin (2002): “Una vez que el diseño se haya independizado del paradigma dominante según el cual su actividad consiste en dar forma a los objetos, será necesario establecer con exactitud cuál será la contribución de los diseñadores a un proyecto”. De este modo, replantearnos nuestra actividad implica cuestionar el modelo socioeconómico de productividad ilimitada y acumulación indiscriminada. Es un problema social, y político. De acuerdo con Raquel Pelta (2011b), “la respuesta, por tanto, pasa no solo por una redistribución de las riquezas sino, también, por una redefinición de lo que entendemos por bienestar y por una reflexión profunda sobre qué debemos producir, de qué manera, en qué cantidad, qué bienes y servicios son precisos y, sobre todo, cuál es el medio en qué queremos vivir.

Se trata de reflexionar acerca de qué estamos diseñando, pero también cómo estamos diseñando. Cómo gestionamos estos diseños, qué conciencia tenemos acerca de los intereses de los destinatarios de nuestros diseños, y si existe un compromiso responsable con los efectos sociales, económicos, políticos, culturales y ambientales que generan estos diseños, desde la perspectiva de su producción, su uso y desuso. En palabras de V. Papanek (1977):

La responsabilidad del diseñador (...) su buen juicio social y moral tiene que entrar en juego mucho antes de que empiece a diseñar, porque tiene que juzgar, apriorísticamente, si los productos que se le pide que diseñe o rediseñe merecen su atención o no. En otras palabras, si su diseño estará a favor o en contra del bien social.

## UNA HISTORIA DE MÁS DE CINCO DÉCADAS

Trataremos de recuperar algunos de los momentos que consideramos significativos en la historia del diseño, tomando el problema de la insustentabilidad como emergente de un modelo económico que se funda en el consumo. Podemos indicar que el manifiesto de Ken Garland, *First Things First*, firmado por veintidós diseñadores en 1964 en el contexto de los movimientos anticonsumo —en las últimas décadas revalorizado a partir de la profundización de la crisis del modelo— fue una primera señal acerca de la pregunta clave que empezaron a formularse algunos profesionales del diseño: ¿Qué mundo estamos ayudando a construir? Los diseñadores deseaban reconducir sus habilidades y lograr así que fueran empleadas de una manera más valiosa.

Es también durante la década del sesenta cuando podemos situar el inicio de los movimientos *ecocéntricos*, a partir de la denominada “revolución ecológica”. En 1968 se crea el Club de Roma, entidad que realizó un primer informe en el que planteaba la necesidad de poner límites al crecimiento (de la población, del desarrollo económico, del consumo) para reestablecer el equilibrio de los sistemas vivos. Empezaba a surgir el concepto de *sustentabilidad*.

En 1972 Arne Naess inicia el movimiento llamado *ecología profunda*, fundada en la idea de la interrelación entre los sistemas vivientes y la necesidad de que el hombre se autorrealice a partir de su identificación con la ecosfera. En aquellos años se publica la obra de Victor Papanek, *Design for the Real World (Diseñar para el mundo real)*, referencia fundacional para quienes abogan por un diseño responsable, ético y comprometido social y medioambientalmente. Papanek abrió una línea de pensamiento ecológico entre los diseñadores y planteó cuestiones que hoy nos siguen preocupando: las consecuencias del exceso de embalaje, la creciente obsolescencia tecnológica y el rol que podían desempeñar los diseñadores gracias a que, por su capacitación, a menudo asumen posiciones clave pues hablan lenguajes de diversas disciplinas y pueden ayudar tanto a nivel local como internacional.

La enorme vigencia y significación de los aportes de Papanek es cada vez más evidente. En 2014, a quince años del aniversario de su muerte, la historiadora del diseño Raquel Pelta comienza a dar impulso a la reedición de *Diseñar para el mundo real* en español. Y espera ofrecer también a los lectores un segundo libro, *Homenaje a Papanek*, en el que personalidades del mundo del diseño actual publicarán sus reflexiones en torno a las preguntas que planteara Papanek en los años setenta.

En 1974, se fundó en la Hochschule für Gestaltung (Escuela Superior de Diseño) de Offenbach el colectivo *Des-in*, al frente del que se encontraba Jochen Gros que, como respuesta a los problemas medioambientales descritos en el informe *The Limits to Growth*, proponía diseñar desde el reciclaje. *Des-in* reutilizó neumáticos, planchas de impresión *offset*, cajas para embarcar té, etc. Aunque esta manera de afrontar el problema medioambiental hoy pueda parecer algo ingenua abrió una vía que aún tiene continuidad.

Walter R. Stahel y Genéviève Reday, en el informe *The Potential for Substituting Manpower for Energy*, en 1976, expresaron la necesidad de una economía circular (de la cuna a la cuna) y plantearon cuál podría ser su impacto en la creación de empleo, la competitividad económica, el ahorro de recursos y la prevención de residuos: la solución realmente sostenible sería crear productos duraderos que se encontraran dentro del bucle del nacimiento hasta un nuevo nacimiento. Esta teoría será luego reinterpretada en *De la cuna a la cuna: Rediseñando la forma en que hacemos las cosas* de Michael Braungart y William McDonough (2002), que propusieron un cambio de enfoque: en vez de reducir los consumos de energía, que se tuvieran en cuenta, en el propio diseño y concepción de cualquier producto, estrategia o política, todas las fases de los productos involucrados (extracción, procesamiento, utilización, reutilización y reciclaje) de manera que ni siquiera fueran necesarios los gastos de energía; incluso que el balance de gastos y aportes fuera positivo. Los conceptos clave de la filosofía “de la cuna a la cuna” son intuitivos y enraizados en la imitación de la naturaleza o, de modo más preciso, en la conexión con ella:

Hay que rediseñar las cosas pensando en el uso presente y futuro de los materiales. Una parte de ellos retornará a la biosfera, otra parte se quedará necesariamente en la tecnosfera. Los nutrientes tecnológicos, como el plástico, el cristal o los metales se

tienen que reutilizar. Los nutrientes biológicos, como la madera, el algodón o el corcho son compostables y pueden volver a la tierra (Braungart y McDonough, 2005).

Los productos deben concebirse de manera inteligente y con la intención de que su final sea como el de un elemento natural que, cuando muere, inicia un nuevo ciclo de vida, pues en la naturaleza no se pierde nada, sino que todo se transforma y reutiliza.

Aunque en los 80 lo ambiental fue parte relevante de la agenda pública, en la práctica se relacionó con el rediseño técnico de los productos, sin que esto planteara **reconcebir** la sociedad ni la economía. Un retroceso respecto de los avances teóricos realizados décadas anteriores. Se popularizaron los partidos verdes como consecuencia de una mayor sensibilización ecológica del público, que se enteró del efecto invernadero, de la catástrofe de Chernobyl y otros desastres ecológicos, sumados a la difusión de las conclusiones del informe *Our Common Future* (Brundtland Report, 1987). Este informe publicado por la ONU es significativo en tanto estableció el concepto de *desarrollo sostenible* como aquel que: “satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras de atender a sus propias necesidades”. Era la primera ocasión en que se empleaba el término *sostenibilidad* y aunque el documento demostraba una toma de conciencia de los problemas medioambientales causados por los seres humanos, transmitía una firme confianza en su resolución, que hoy, en un mundo en crisis y cada día más desigual, se encuentra más que cuestionado por su optimismo tecnocéntrico.

En los años noventa se desarrollan posiciones fundadas en la idea de la conexión inexorable entre la economía, lo sociocultural y su impacto medioambiental. Es decir, el concepto de que para alcanzar un desarrollo equilibrado es necesario cambiar estilos de vida que conduzcan a minimizar el gasto de recursos materiales y energía.

El *ecodiseño* se convirtió en una corriente seguida en muchos de los países europeos y en Australia, con la creación ese mismo año de la Eco Design Foundation en Sydney. Entre otros documentos, en 1992 *The Hannover Principles: Design for Sustainability* establecía un conjunto de máximas cuyo objetivo era animar a los profesionales del diseño a tener en cuenta la sostenibilidad en sus proyectos. El número de conferencias, congresos y grupos de trabajo sobre el tema fue en incremento y se iniciaron investigaciones con un enfoque sistémico en las universidades. Así, retomaron vigencia conceptos como el del ciclo de vida, el de “la cuna a la cuna” anteriormente mencionado.

La crítica al *ecodiseño* no se hizo esperar, fundamentada en que esquematiza los modelos ecológicos —dejando de lado que la naturaleza es un conjunto de sistemas dinámicos impredecibles y en constante evolución— y los trata como absolutos (Madge, 1997). Se podría decir, pues, que es un tratamiento tecnocéntrico del medio, que lo parcializa, que no tiene en cuenta el equilibrio y la interconexión de los sistemas naturales.

A final de la década empieza a vislumbrarse que el camino hacia un nuevo modelo de vida puede alcanzarse a través de la *innovación social*. Este eje conceptual de las propuestas contemporáneas en relación con diseño/sostenibilidad lo desarrollaremos más adelante en este artículo.

Cuando se llevó a cabo la Cumbre de la Tierra de Río de Janeiro en 1992, los problemas ambientales del mundo ya habían alcanzado proporciones críticas. Los acuerdos de Río no contenían medidas de aplicación obligatoria y los posteriores esfuerzos de instrumentación estuvieron muy por debajo de lo que originalmente se había anunciado. El aspecto positivo fue que la cumbre derivó en una emergente *cultura de la sustentabilidad*. Nos detenemos en el informe de esta Cumbre, porque identifica muchos problemas en los que pueden intervenir los diseñadores. Este amplio mandato se divide en seis categorías:

- Calidad de vida
- Uso eficiente de los recursos naturales
- Protección del ciudadano común
- Administración de los asentamientos humanos
- Uso de productos químicos y administración de los residuos domésticos e industriales
- Promoción del crecimiento económico sustentable a escala mundial

Queda claro que dentro de cada categoría hay una extensa lista de tareas a realizar. Aquellas que tienen una relevancia particular para el diseño, tal como lo conocemos hoy, incluyen la investigación y el desarrollo de fuentes de energía nuevas y reutilizables; el reciclado de residuos en ecosistemas mundiales; la modificación de los patrones de derroche en el consumo; la reducción del envasado excesivo de los productos; el desarrollo de tecnología para la asistencia médica a un costo accesible en zonas rurales; el diseño de sistemas de tránsito masivo ambientalmente seguros; la creación de una nueva estética para los productos elaborados con materiales reciclados; la invención de tecnología para reducir la producción de residuos industriales; la expansión del turismo ecológico y cultural como nuevas formas de consumo; el uso más eficiente de los productos forestales; la búsqueda de productos alternativos a aquellos que requieren la combustión de materiales fósiles; la creación de mejores previsiones respecto del impacto ambiental de los nuevos productos; la invención de nuevos mecanismos para controlar el uso de los recursos mundiales; el mejoramiento de los métodos de reciclado de residuos para la elaboración de nuevos productos y el fomento de actividades empresariales en los pueblos indígenas.

Diez años después, podemos citar la Cumbre Mundial sobre Desarrollo Sostenible celebrada en Johannesburgo en el año 2002, como otro de los grandes eventos mundiales en los que se focalizó, como una de las principales causas del deterioro ambiental del planeta, en las *modalidades insostenibles de consumo y producción*, particularmente en los países industrializados. En este sentido, Naciones Unidas hizo un llamamiento a revisar estos modelos insostenibles, recurriendo a modelos de consumo y de producción responsable.

Lo más probable es que no tengamos idea de la cantidad de agua que se consume en nuestras casas para conocer nuestra huella de agua. Y sabemos que, sin agua, la vida en este planeta no es posible.

La Conferencia sobre el Desarrollo Sostenible (Río+20) en Río de Janeiro en 2012 se centró en la economía ecológica en el contexto del desarrollo sostenible, y en la erradicación de la pobreza y el marco institucional para el desarrollo sostenible. En esa ocasión, Argentina propuso una serie de aportes vinculados al tema que nos ocupa:

No se trata de adoptar un nuevo concepto o transmutar el ya conocido de “desarrollo sostenible”, sino de lograr la realización de éste, en forma equitativa y equilibrada.

[...]

Los tres pilares del desarrollo sostenible, deben abordarse conjugando aspectos de crecimiento económico, desarrollo social y protección ambiental, de una forma equilibrada, global, interdependiente y solidaria.

El desarrollo económico es una condición necesaria, pero no suficiente. Es necesario que ese crecimiento sea inclusivo, sostenible y sustentable. La transformación de procesos productivos hacia procesos sostenibles debe ir acompañada de la creación de empleos decentes y de calidad en el marco de una transición justa, de manera de conectar el desarrollo económico, el desarrollo social y, en especial, la reducción de la pobreza.

[...]

La crisis ambiental actual se debe principalmente a la irresponsabilidad de los patrones dominantes históricos de producción y consumo en los países desarrollados. No se trata sólo de una crisis ecológica en términos de pérdida y degradación ambiental, sino de la crisis de un modelo económico, tecnológico y cultural que ha depredado la naturaleza, negado las culturas alternas y subvalorado la diversidad cultural, mientras que se han privilegiado modos de consumo no sustentables.

La “economía verde” no debe sustituir de ninguna manera al concepto fundacional de “desarrollo sustentable”, acordado en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y Desarrollo (CNUMAD). Sólo podría considerársela como uno de los instrumentos o herramientas del desarrollo sostenible, en tanto integre de forma fehaciente y equilibrada a los tres pilares del mismo y esté dirigido a la erradicación de la pobreza (Argentina, 2011).

## DE ECODISEÑO A DISEÑO SOSTENIBLE

Las distintas formaciones conceptuales acerca de la relación *diseño/sostenibilidad* a través de las décadas revisadas evidencian una correspondencia entre estas y un estado de la cultura devenido del estado de situación de la economía y los movimientos sociales en el mundo: el pasaje de las posiciones duramente críticas de los 60 al diseño verde como estrategia de venta de los 80 es el más elocuente ejemplo. Distintos autores (Arne Naess; García Parra, 1989) han caracterizado estas posiciones que van, como algunos prefieren sintetizarlo, del “verde claro” al “verde oscuro” (García Parra, 2008). Así, podríamos vincular esta terminología:



¿El *ecodiseño* es, como proponen García Parra y otros autores, una estrategia posible de transición hacia el *diseño sustentable* o, por el contrario, terminaría convirtiéndose en una herramienta para prolongar la agonía de este sistema, que tarde o temprano llegará al agotamiento? Intencionalmente agregamos signos de interrogación a la idea de *ecología profunda* en relación con el *ecodiseño*. Nos preguntamos si el *ecodiseño* puede enmarcarse en lo que Arne Naess denominó *ecología profunda*. Este autor, fundador del movimiento del mismo nombre, distinguía dos visiones ambientales:

La «superficial», caracterizada por ser un enfoque antropocéntrico y tecnocéntrico, orientado a la lucha contra la degradación de la naturaleza, pero con el objetivo de lograr un bienestar basado en la riqueza, la buena salud y la riqueza de los habitantes de los países desarrollados. La «profunda», que sería una perspectiva ecocéntrica que cuestiona los valores de la sociedad y quiere llegar a la raíz de los problemas medioambientales. Se dice que es profunda porque propone diseñar materiales, productos, proyectos y sistemas en armonía y respeto por el medioambiente.

Como dijimos anteriormente, en los años 90 el *ecodiseño* tuvo enorme proyección, que se materializó en cooperaciones entre organismos internacionales y algunos países (entre otros, los Países Bajos), sobre todo en el desarrollo de metodologías para el análisis de ciclos de vida, la matriz MET y otras herramientas de medición del impacto ambiental. Los diseñadores más comprometidos fueron dejando el *diseño verde* y acercándose al *ecodiseño*, un término que se usó por primera vez para nombrar a *Ecodesign*, la publicación de la Ecological Design Association, fundada en Inglaterra en 1989. En esta dirección se encuentran, por ejemplo, las propuestas del grupo holandés Droog Design con piezas como la *rag chair* de Tejo Remy (1991) o, más recientemente, los diseños de los austríacos —dentro de la filosofía del *upcycling* (suprareciclaje)— y la convocatoria del Recycling Designpreis, una competición anual que premia la utilización de la basura, las “cosas desechadas” y cualquier material residual.

El *ecodiseño* propone que el diseño participe de la constitución de modelos de actividades productivas que conduzcan al desarrollo sustentable a través de la reducción del uso de materias primas

y energía, y el manejo de los desechos. Sin embargo, la crítica a este modelo es que funciona bajo el paradigma de la ciencia, o sea, es tecnocéntrico. En este punto entra en conflicto con la llamada “nueva ecología”, cuya expresión en diseño es el *diseño sustentable*, y que tiene una posición más radical fundada en la idea de conservar el equilibrio de los sistemas naturales, basándose en la teoría del caos y la teoría de la complejidad (Leff, 2005).



Figura 1. Rag chair. Tajo Remy. Materia prima: desecho de tela



Figura 2. Silla vermelha-Edra. Hermanos Campana. Materia prima: reutilización de sogas (aluminio, algodón y acero)



Figura 3. Placas textiles de denim. Antonella Mangialardi. Desarrolladas como soporte señalético para el edificio Raúl R. Alfonsín dentro de la beca doctoral CIC, “Técnicas sustentables aplicadas a la producción de placas utilizando desechos de la industria de la confección en la región NoBA”. Materia prima: desechos de los talleres confeccionistas de la ciudad de Pergamino.

Sin embargo, muchos diseñadores contemporáneos ven en el *ecodiseño* una respuesta posible a la sustentabilidad.

El *ecodiseño* es el eslabón clave hacia la sostenibilidad y el consumo responsable al incorporar nuevos conceptos como: la visión de producto-sistema, el concepto de ciclo de vida y la integración de todos los actores implicados en la mejora de los aspectos ambientales de los productos con la ampliación de las acciones parciales en términos ambientales con el tratamiento, el reciclaje y la producción neta, y en el camino de la integración de los aspectos económicos, como la ecoeficiencia, y económico-sociales, como el *ecodiseño sostenible* (Rieradevall i Pons, 2011).

Por lo tanto, “el diseñador debe conocer el ciclo de vida de lo que produce y tomar decisiones de diseño en relación con el impacto en cada fase del proceso”, como expresa la diseñadora Petz Scholtus (2001), con una mirada optimista que considera el *ecodiseño* como sinónimo del *diseño sustentable*.

Posiciones aún más “verde claro” proponen que es suficiente con “procurar que el diseño, mediante la creación e innovación de la comunicación de significados, ayude a informar y convencer al público de la importancia del desarrollo sustentable, de que todos los que habitamos el planeta nos involucremos en la causa (Pedraza Mena, 2013)”. Y así podemos llegar a posturas complacientes con el funcionamiento del mercado —no demasiado infrecuentes en los foros más populares de diseño— de apropiación del discurso ecologista para producir más dinero. De acuerdo con Clara Durán (2013):

Los diseñadores, creativos, publicistas, mercadólogos, etc., intervenimos para guiar a nuestros pequeños, medianos y grandes clientes en la convicción de que ser ecológico no generará pérdidas sino ganancias; que quizá usando un papel reciclado para sus empaques, agregarán valor a la imagen de su producto; que haciendo piezas publicitarias que promuevan el cuidado del ambiente también van a conseguir un aumento en sus *fans* y potenciales clientes; que tener un proceso productivo amigable con la naturaleza puede ser un punto a destacar en la promoción de sus productos o servicios.

Retomando la idea del verde medio, García Parra propone que el *ecodiseño* presenta varias ventajas como etapa factible de transición hacia el *diseño sustentable*, porque a través de sus estrategias se podrían impulsar innovaciones en los productos basadas en nuevos criterios de evaluación de diseño: la selección de materiales, técnicas de producción, métodos para optimización del *packaging*, etc. El diseño sostenible o sustentable implica un reto que va más allá: reinventar la disciplina para que sus ejes principales ya no sean la producción y el consumo y de este modo se abarquen nuevas prioridades.

La sustentabilidad, la provisión de las necesidades de hoy preservando los recursos para las generaciones futuras, incluye no solo el manejo racional del ambiente, sino que implica “un proceso de desenvolvimiento social basado en la interacción constructiva y sinérgica de las dimensiones: ambiental, económica, productiva, socio-cultural y política (Gabaldón, 2006)”. “El *diseño sustentable* representa una ampliación sostenida del espectro teórico y práctico y, en cierta medida, una perspectiva cada vez más crítica de la ecología y el diseño”, dice Pauline Madge (1997), porque se basa en sistemas, sus objetivos son a largo plazo, y porque se sostiene en la reinención de los comportamientos sociales.

Una perspectiva profunda de *diseño sustentable*, que crea en la necesidad de esa “reinención social”, se construye sobre el concepto de complejidad ambiental:

La *complejidad ambiental* emerge como la construcción de una nueva racionalidad desde el potencial del ser de las cosas (la naturaleza, la cultura, la tecnología), de la hibridación de sus procesos materiales y simbólicos que abren la vía hacia un mundo interrelacionado e interdependiente que ya no tiene un eje central y un solo polo de atracción, sino que se constituye en la convivencia de singularidades, de diversidades culturales, de racionalidades diferenciadas (Leff, 2010).

A la complejidad ambiental corresponde un *saber ambiental* que la comprenda. Podríamos pensar que el diseño debería ser partícipe de este saber entramado en esta complejidad que desborda el campo del logos científico y abre un diálogo de saberes que confrontan distintas racionalidades e imaginarios culturales. El *saber ambiental* emerge fuera de la ciencia, asume la incertidumbre, la indeterminación, la irracionalidad, el caos y el riesgo como condición intrínseca de la vida. Pone en cuestión la lógica del desarrollo científico, su relación con lo real, su pretensión de control de lo real. Genera lo inédito en el encuentro con *lo otro*, en el enlazamiento de seres diferentes y la diversificación de sus identidades.

Leff (2006) sintetiza el concepto de *saber ambiental* en las siguientes expresiones:

Pensar lo *por pensar*.

Dar curso a lo inédito.

Cuestionar la ciencia y deconstruir la racionalidad moderna. Refundamentar el saber sobre el mundo en que vivimos, sostenidos en la incertidumbre, porque el *saber ambiental* se construye en el encuentro de saberes constituidos por matrices diferentes, distintas formas de apropiación del mundo y de la naturaleza.

## LA INNOVACIÓN SOCIAL COMO FUENTE DE SUSTENTABILIDAD

Nos proponemos a continuación analizar y apropiarnos de los conceptos y enfoques de algunos diseñadores significativos del campo del diseño para poder tratar la cuestión de la sustentabilidad desde una perspectiva social, que nos obliga considerar la dimensión humana de un mundo más consciente de las complejidades que enfrenta —y de las que enfrentará— conforme los recursos naturales no puedan renovarse y las condiciones que garantizan la vida como la conocemos se encuentre en riesgo para todos.

Pedro García (2013) sostiene:

Para que un diseño sea eco-sustentable debería de cumplir con todos estos requerimientos: su materia prima debe ser local, idealmente con cero energía destinada en fabricación o producción, mínimo transporte, que emplee mano de obra del lugar (que genere empleos y que no salga de un mágico contenedor), sea biodegradable, respete tradiciones locales, que muchos ganen con su elaboración (comercio justo), no contagie modas exóticas, fácil de reparar y mantener, sin ningún componente tóxico, y que sea útil (algo ya difícil de encontrar).

Este listado, de difícil cumplimentación, es sin embargo cumplido al 100 % por las personas que diseñan y hacen los chinchorros Pemones en el Amazonas, el miche andino en los páramos de Mérida, los tapices Wayuu en la Sierra de Perijá, las Alpargatas de Ocumare del Tuy, los platos de barro en los Guáimaras, la cestería Mikiritare en Bolívar, o los muebles de madera en Guadalupe, más todos los diseños hechos en piedras, conchas de mar y lanas, todos estos absolutamente sustentables por donde se los analice. Pero la gente no lo ve así, les llaman “artesanía”, casi con desprecio, siendo lo más sustentable logrado por el hombre.

Adherimos a la idea de resignificar esas “artesanías” como un proceso sustentable y que compromete la cultura de un grupo social, ya que es de suma importancia para cambiar los modos de percibir esas producciones. Aunque las particularidades locales (léase continentales, nacionales, regionales) evidencian diferencias ideológicas significativas, las propuestas más audaces y transformadoras respecto del papel del diseño en la construcción de sostenibilidad hoy están atravesadas por un eje conceptual en común: el cambio es posible a través de la *innovación social*. Conceptos humanistas como comunidad, cooperación, participación, colaboración, solidaridad, localismo, identidad recorren los textos recientes acerca de diseño sostenible e innovación social; sin embargo, muy disímiles son las posiciones subyacentes, sobre todo al contrastar los proyectos del mundo desarrollado con la realidad de los países del Tercer Mundo y de nuestra realidad regional.

Innovación social implica lo que Victor Margolin (2002) denomina *reinventar el diseño*. El autor señala que nos encontramos en un desplazamiento hacia una sociedad de “posproductos”, caracterizada por una administración social más explícita de las relaciones hombre-medioambiente, que recupera este sentido histórico de la significación del diseño como planeación: el diseño como medio para ordenar el mundo, más que actividad consistente en dar forma a las mercancías. Señala con énfasis que los diseñadores no han denunciado suficientemente, ni con la fuerza necesaria, el papel poco relevante que les deja la cultura capitalista hegemónica, y que limita su aporte profesional a completar otras actividades productivas. El cambio de objetivo para los diseñadores requiere enfocar el desarrollo económico y social desde una perspectiva global, y atender las graves inequidades que existen entre las personas que viven en los países industrializados y aquellas que pertenecen al mundo en vías de desarrollo. Si existe la determinación entre los diseñadores, seguramente es posible reinventar el diseño.

En el mismo sentido hacia una sociedad de de posproductos, Ezio Manzini (2008) —uno de los diseñadores más relevantes de los últimos treinta años en la investigación sobre innovación social y sostenibilidad— plantea que repensar el diseño es repensar el concepto de calidad de vida, de *bienestar*. Bienestar, ya no sustentado en la posesión de objetos (productos), sino en *experiencias significativas*.

El diseñador en este nuevo rol sería un facilitador en la creación de condiciones para que la creatividad emerja *a través de sistemas y procesos* más que a partir de la creación de objetos. Y si la

estética materializa los valores de una sociedad, deduce que, para alcanzar una sociedad sustentable, “hay que darle forma”. Los diseñadores tenemos la responsabilidad de dar forma a una sociedad sustentable. Ofrecer alternativas, es decir, nuevos estilos de vida acordes con el concepto de “calidad social de vida”.

Con esta misma orientación John Thackara publicó en el 2005 una obra de fuerte influencia en los discursos posteriores sobre la sustentabilidad, *In the Bubble: Designing in a Complex World (En la burbuja: Diseñar en un mundo complejo, 2007)*. Desde una perspectiva de aceptación del modelo capitalista, Thackara propone ideas “sencillas” para salir de una situación a la que llegamos y que debemos empezar a abandonar. Un camino posible para empezar a reconvertir estos procesos consiste en recuperar las prácticas sociales premodernas y anteriores a la Revolución Industrial, como premisa para afrontar los problemas concretos de las comunidades. Estas prácticas están cobrando cada vez más relevancia en las últimas décadas en todo el mundo, y las personas se agrupan para resolver sus problemas inmediatos organizando el trabajo colectivo, a partir de la fuerza social.

Thackara plantea que un ochenta por ciento del impacto ambiental de los productos, servicios e infraestructuras que nos rodean se define en su etapa del diseño. Entonces el diseño cobra un protagonismo ineludible y tiene mucho que hacer. Las decisiones que toman los diseñadores dan forma a los procesos ocultos tras los productos que usamos, los materiales y la energía que se requieren para fabricarlos, la manera en que operamos con ellos en nuestra vida cotidiana, y qué les ocurre una vez que ya no los necesitamos. Formula el concepto de *diseño consciente*, un modo de diseñar apoyado en la idea de que la ética y la responsabilidad pueden informar las decisiones de diseño sin constreñir la *innovación social* y el desarrollo tecnológico que necesitamos llevar a cabo. El *diseño consciente* implica pensar en las consecuencias de las acciones de diseño antes de ponerlas en marcha prestando especial atención a los sistemas naturales, industriales y culturales que se encuentran en el contexto donde dichas acciones tienen lugar.

*We Think*, de Charles Leadbeater (2008), es otro de los textos contemporáneos en los que se promueve la participación en lugar del consumo o la producción, como idea clave de la organización de la sociedad futura. En “The Beach Ethic” (2007), describe la playa como metonimia del espacio social, donde encontramos un modelo de equilibrio —fundado en la participación y colaboración— para una sociedad sostenible:

(en la playa) nadie está a cargo, las playas son modelo del espacio cívico: tolerante, juguetón, autoregulado, democrático en espíritu, ligeramente carnavalesco. Subyace en la playa una idea simple: es un bien común donde la gente se puede autoorganizar en juego (...). No existe un reglamento de zonificación, cercas ni líneas blancas que le digan a dónde ir.

Otro de los términos acuñados para el diseño por Leadbeater es *Pro-Am*. Una contracción de *profesional-amateur* que nos coloca ante una nueva posición del diseñador en relación con el usuario. Estamos ante la revolución Pro-Am: aficionados entusiastas que realizan actividades a nivel profesional y que tendrán un papel cada vez más importante en nuestra sociedad y economía, afirma Leadbeater. Para Pro-Am el placer no es consumismo pasivo, sino activo y participativo, que involucra el despliegue de conocimiento y habilidades a menudo construidas a través de la vida y la experiencia cotidianas. En el siglo XX los aficionados y sus organizaciones fueron despreciados y marginados por los profesionales, por las personas que “sabían lo que estaban haciendo y que tenían certificados para probarlo”. Pro-Am Revolution argumenta que esto se está invirtiendo. Somos testigos de la autoorganización de abajo hacia arriba.

## ALTERNATIVAS PARA PENSAR UN CAMBIO POSIBLE

Algunas propuestas desde el ámbito del diseño han estado ofreciendo modos posibles de abordar el diseño sustentable y vamos a intentar presentarlas, muy sintéticamente, en un cuadro. A sabiendas de que se trata de un recorte parcial, y que todavía, y un poco a nuestro pesar, responde a una tendencia que observamos en otros países y que comienza a legitimarse en Latinoamérica. Somos conscientes de que tenemos que redefinirnos desde nuestra propia idiosincrasia, con principios que emanen de nuestros propios intereses, para mejorar las condiciones de vida de nuestra propia sociedad.

Movimiento	Principales referentes	Contexto de origen	Principios básicos
<b>SOSTENISMO</b> (Un nombre derivado del verbo sostener; un movimiento cultural mundial del siglo XXI)	Michiel Schwarz, Diana Krabbendam	EE. UU. desde 2011	<b>Proporción:</b> propone un cambio en las categorías de tamaño y velocidad, acordes con la escala humana. <b>Conectividad:</b> la metáfora es la web. La cultura de la conectividad: redes, la colaboración y el intercambio abierto. <b>Localismo:</b> "local" ya no es solo un marcador geográfico, sino que se ha convertido en una cualidad, un valor en sí mismo. Hoy en día, global y local ya no están en la oposición. <b>Compartir:</b> Compartir se está convirtiendo en uno de los "principios" esenciales para hacer negocios y para la interacción social.
<b>DISEÑO LENTO</b> (SLOW DESIGN)	Anne Cline, Ezio Manzini	EE. UU. y Europa desde 2003	Ralentizar los metabolismos de uso humano, económico y de recursos. Celebrar la lentitud, la diversidad y el pluralismo. Fomentar una visión a largo plazo. Diseñar tratando con el "presente continuo". Diseñar contra la rapidez (velocidad) del actual paradigma del diseño consumista.
<b>SOSTENIBLE Y COTIDIANO</b>	Ezio Manzini, François Jégou	SDS es una consultora especializada en la construcción de escenarios y la investigación de usuario en el campo del desarrollo sostenible. Su director es François Jégou. Junto con el departamento de DIS-INDACO del Politécnico di Milano, SDS es el iniciador y promotor del proyecto Sustainable Everyday.	Se hace especial referencia al medio ambiente urbano (ya sean ciudades históricas o los <i>up-and-coming</i> , nuevas urbanizaciones). Tiene que ver con el futuro de nuestra vida doméstica desde una perspectiva en la que el foco no está en la tecnología y cómo se adecuaría a nuevas funciones tradicionales, sino más bien en "estrategias de vida", que se están convirtiendo en posibles y, al menos para algunos, deseables. Formas emergentes de vida que surgen más de la innovación social y sistémica que del desarrollo tecnológico.
<b>DESIS/LAB – DESIS RED</b> (Esta red tomó el nombre de DESIS: Diseño para la Innovación Social hacia la Sostenibilidad). DESIS pública y colaborativa es una iniciativa que reúne a las agencias gubernamentales y la red DESIS Labs, laboratorios de investigación académica, acerca de la relación entre innovación en diseño, sociedad y políticas públicas.	Son grupos de profesores, investigadores y estudiantes que orientan el diseño y las actividades de investigación hacia la innovación social. Funcionan a escala local con socios locales y, en colaboración con otros Desis Labs; también pueden participar en los proyectos y programas a gran escala regional y mundial.	Se origina en tres principales actividades a nivel internacional en el período 2006-2008. En el período 2009-2011, la red DESIS se extendió en varias regiones del mundo. Con sede en las escuelas de diseño, y en otras universidades orientadas al diseño. Actualmente, hay redes regionales Desis en África, Brasil, China, Europa y Estados Unidos. Y en formación en Australia, Colombia, India, Japón y Oriente Medio.	Su objetivo general es utilizar el pensamiento y el conocimiento del diseño para co-crear, con socios locales, regionales y globales, escenarios de relevancia social, soluciones y programas de comunicación. Se funda en un enlace original entre los nuevos comportamientos y nuevas tecnologías, que está produciendo formas inéditas de organización en los ámbitos de la vida económica, política y cotidiana. Estas innovaciones sociales generan son codiseñadas con participación de los usuarios finales: el conocimiento del usuario y la creatividad en su concepción, el tiempo, la energía y la experiencia del mismo. Estos nuevos fenómenos necesitan expandirse y durar, por lo que su valor debe ser reconocido y apoyado. Necesitan una acción pública dirigida: una nueva generación de servicios públicos capaces de facilitar su funcionamiento, para que sean más eficaces y para promover su difusión en otros contextos.

Consideramos que estos ejemplos trazan, posiblemente, el horizonte hacia donde deben dirigirse las distintas especialidades del diseño en la actualidad y con el criterio con que deben trabajar los futuros egresados de estas carreras. Especialmente la Universidad debe pensar sus trayectos formativos con programas que se encaminen a ofrecer, a estos potenciales profesionales del diseño, una mirada crítica e innovadora para abordar los problemas medioambientales y sociales que sirvan de manera concreta para que, diseñar el porvenir, sea un objetivo central —no solo desde el punto de vista laboral— sino como perspectiva de una vida mejor para el conjunto de la sociedad. Sin perder de vista que todavía deberemos avanzar en la configuración de una manera diferente de generar diseño, pero que fundamentalmente ofrezca soluciones para los problemas concretos de nuestra región y cuidando nuestros recursos materiales y humanos. En definitiva, no se trata de copiar las experiencias sintetizadas en el cuadro, sino de tomarlas como inspiración para producir nuestras propias experiencias, en nuestros contextos territoriales, políticos, económicos y sociales.

## REFERENCIAS

- Argentina (2011). *Aportes para ser incluidos en el documento de compilación que servirá de base para la preparación del documento de la conferencia de desarrollo sostenible (rio + 20)*.
- Braungart, M. y McDonough, W. (2005). *De la cuna a la cuna: Rediseñando la forma en que hacemos las cosas*. Madrid: McGraw-Hill.
- Durán, C. (2013). "Ecología productiva y el diseño de lo sustentablemente lucrativo". Recuperado de <https://foroalfa.org/articulos/ecologia-productiva-y-el-diseno-de-lo-sustentablemente-lucrativo>.
- Fernández, R. (2012). *Mundo diseñado. Para una teoría crítica del proyecto total*. Buenos aires: Ediciones UNL.
- Gabaldón, A. (2006) *Desarrollo Sustentable. La Salida de América Latina*. Caracas: Editorial Grijalbo.
- Galeano, E. (2004/2009). *Úselo y tírelo*. Buenos Aires: Grupo Editorial Planeta.
- García, P. (2013) "Eco del diseño". Recuperado de <http://foroalfa.org/articulos/eco-del-diseno>.
- García Parra, B. (2008) *Ecodiseño. Nueva herramienta para la sustentabilidad*. México: Designio.
- Gonçalves Porto, C. W. (2001). *Geo-grafías. Movimientos sociales, nuevas territorialidades y sustentabilidad*. México: Siglo XXI.
- Leadbeater, C. (2007). "The Beach Ethic". En D. García, Ferran, B. y Brickwood, C. (eds.), *(Un)common Ground: Creative Encounters across Sectors and Disciplines*. Ámsterdam: BIS Publishers.
- Leadbeater, C. (2008). *We-Think. Mass Innovation Not Mass Production*. Londres: Profile Books.
- Leff, E. (2004). *Racionalidad ambiental. La reapropiación social de la naturaleza*. Buenos Aires: Siglo XXI.
- Leff, E. (2005). "La Geopolítica de la Biodiversidad y el Desarrollo Sustentable: economización del mundo, racionalidad ambiental y reapropiación social de la naturaleza". En: *Seminário Internacional REG GEN: Alternativas Globalização*, Río de Janeiro, Brasil UNESCO. Recuperado de <http://bibliotecavirtual.clacso.org.ar/ar/libros/reggen/pp12.pdf>.
- Leff, E. (2007). *Saber ambiental. Sustentabilidad, racionalidad, complejidad, poder*. México: Siglo XXI.
- Leff, E. (2010). *Discursos sustentables*. México: Siglo XXI.
- Madge, P. "Ecological Design: A New Critique". *Design Issues* 13(2), pp. 44-54.
- Maldonado, T. (1999). *Hacia una racionalidad ecológica*. Buenos Aires: Ediciones Infinito.
- Manzini, E. (2008). *La innovación social y el diseño para la sostenibilidad*. Milano: Polidesign.
- Margolin, V. (2002). "Diseño para un mundo sustentable". En: *Las políticas de lo artificial*. México: Designio.
- Morin, E. (2005). *Introducción al pensamiento complejo*. Barcelona: Gedisa.
- Papanek, V. (1977). *Diseñar para el mundo real. Ecología humana y cambio social*. Madrid: Hermann Blume Ediciones.
- Pedraza Mena, R. (2013). "Diseño gráfico y sustentabilidad". Recuperado de <http://foroalfa.org/articulos/diseno-grafico-y-sustentabilidad>.
- Pelta, R. (2011a). *De verde a sostenible. Monográfica.org. Revista temática de diseño*, n.º 01. Recuperado de <http://www.monografica.org/01/Art%C3%ADculo/1236>.
- Pelta, R. (2011b). "Nuestro futuro común". *Monográfica.org. Revista temática de diseño*, n.º 01. Recuperado de [www.monografica.org/01/Opini%C3%B3n/1569](http://www.monografica.org/01/Opini%C3%B3n/1569).

- Petz, S. (2001). "Debemos dejar de comprar cosas para el momento" (entrevista). *Monográfica.org. Revista temática de diseño*, n.º 01. Recuperado de <http://www.monografica.org/01/Entrevista/1142>.
- Rieradevall i Pons, J. (2011). "Ecodiseño en el marco del consumo

sostenible". *Monográfica.org. Revista temática de diseño*, n.º 01. Recuperado de <http://www.monografica.org/01/Art%C3%ADculo/1867>.

- Thackara, J. (2007). *En la burbuja. Diseñando en un mundo complejo* (Introducción). *Ramona*, 79 (abril de 2008).

*María de las Mercedes Filpe tiene una maestría en Diseño orientado a la Gestión Estratégica de la Innovación en la Universidad Nacional del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires (UNNOBA) y es diseñadora en Comunicación Visual (UNLP). Es directora del Instituto de Diseño e Investigación (IDI) de la UNNOBA, donde ejerce como profesora titular ordinaria en Talleres de Diseño, Área Comunicación y Tesina de grado. Además es docente en universidades nacionales (UNNOBA, UNLP), investigadora categoría 2 del programa de incentivos, con especial interés en temas de sustentabilidad y diseño en entornos de enseñanza-aprendizaje. Es directora del Centro de Edición y Diseño (CEDI) de la UNNOBA.*

# EL CEREBRO, LAS PALABRAS Y LOS RAZONAMIENTOS

## INTRODUCCIÓN

El incesante esfuerzo de la humanidad para comprender el universo en que habita nos suministra hoy en día una imagen plausible de cómo el universo se generó, de la época en que ocurrió este nacimiento, y nos delinea, a partir de un refinado apoyo observacional y teórico, los aspectos esenciales de su evolución. En esta evolución, los vastos ciclos de vida y muerte de las estrellas fueron construyendo toda la escala de la complejidad química que las diversas formas de materia manifiestan.

La aparición de nuestro sistema solar, con el Sol, nuestra estrella madre, y su cortejo de planetas, es un evento reciente en la escala cósmica (unos 4600 millones de años frente a los 13 800 millones de años estimados para la antigüedad del universo). Esta “juventud” relativa de nuestro Sol implica que su nacimiento fue precedido de múltiples ciclos de nacimiento y muerte de estrellas. Como consecuencia, los planetas del sistema solar se engendraron en ambientes químicamente ricos, con una muy buena parte de la población de elementos de la tabla periódica ya presentes en las nubes de moléculas que los generaron.

Nuestra Tierra, tercer planeta del sistema solar, mostró condiciones que permitieron la retención de una atmósfera, la aparición de ambientes acuosos y la evolución de complicadas estructuras moleculares con la capacidad de usar la energía irradiada por el Sol para mantener su complejidad y propagarla sobre la Tierra. Esta complejidad a la vez que se propagó mediante la reproducción de sus individuos, también evolucionó hacia formas en las que dicha complejidad aumentaba (y también aumentaba su consumo de energía). La vida que conocemos hoy en día es la consecuencia de esta evolución de las estructuras moleculares hacia niveles crecientes de complejidad. Los detalles de la evolución prebiótica son todavía ambiguos, pero esta etapa derivó rápidamente en la aparición de estructuras celulares que, desde su aparición (con un origen estimado en unos 3800 millones de años atrás), fueron construyendo maquinarias moleculares de creciente sofisticación y eficacia, que aseguraron a la vez su estabilidad y su capacidad de reproducción. Pero estos organismos celulares, además de ser físicamente estables, tenían en su material genético la capacidad de variar y generar organismos con capacidades novedosas. Tras un largo período de imperio de los organismos unicelulares, aparecieron los primeros pluricelulares complejos (hace unos 500 millones de años) y su rica y rápida diversificación condujo a las variadas formas de vida que habitan la Tierra contemporánea, y a las millones de especies que se extinguieron durante esta trayectoria evolutiva. En el mundo vegetal, tanto los unicelulares fotosintetizadores como los pluricelulares refinaron su capacidad de utilizar la energía de los fotones solares para generar moléculas orgánicas (es decir, basadas en la química del carbono). El mundo animal fue (y es) completamente dependiente de esta habilidad bioquímica del mundo vegetal. En el mundo animal, ya los primeros pluricelulares tenían células nerviosas que les permitieron transmitir señales desde sus receptores sensoriales hacia los efectores protomusculares o ya propiamente musculares. Así surgieron las habilidades motoras aptas para la captura de presas o la huida de depredadores (Gould, 1994; Ghysen, 2003).

Nuestra especie, el *Homo sapiens*, casi seguramente apareció en la costa oriental de África hace solo unos 200 000 años. Su equipamiento anatómico y fisiológico heredó los extraordinarios refinamientos logrados durante millones de años de evolución. Pero, en relación con otros homínidos que lo precedieron, poseyó novedades de consecuencias notables. Señalemos, entre otras, un cerebro muy voluminoso, una laringe capaz de articular finamente sonidos asociados a la actividad del sistema nervioso y la capacidad de poseer una posición erguida y una marcha bípeda. La marcha erguida y bípeda implicó

la pérdida de las capacidades prensiles de los pies (poseídas por muchos de nuestros ancestros inmediatos) y la reducción del diámetro de la pelvis femenina. Algunos antropólogos consideran este último hecho un evento capital en la evolución humana, pues condujo a que el parto tuviese necesariamente que ocurrir cuando el feto era aún pequeño e inmaduro. Este hecho, que podría parecer evolutivamente negativo, sin embargo produjo que el recién nacido por un largo tiempo dependiese de la asociación con su madre para su supervivencia. Y esta asociación se transformó en un período crucial para complejos y sutiles procesos de transmisión cultural, entre los cuales el lenguaje constituye uno de los elementos clave (Leakey y Lewin, 1994).

La posibilidad de poseer ideas sobre la naturaleza del universo en que habitamos, y de nuestro lugar y nuestro tiempo en ese universo, es el resultado de las riquísimas construcciones conceptuales a las que nos condujo la evolución cultural de la especie humana. Esa evolución cultural tiene como protagonistas básicos 1) al cerebro, que nos dotó de la capacidad de incorporar el mundo exterior a construcciones conceptuales guiadas por experiencias y pensamientos; 2) al lenguaje, que nos capacitó para codificar experiencias en sistemas simbólicos y ser capaces de transmitir las a los congéneres y 3) al razonamiento, que nos proveyó de la capacidad de poseer un pensamiento realista.

## EL CEREBRO

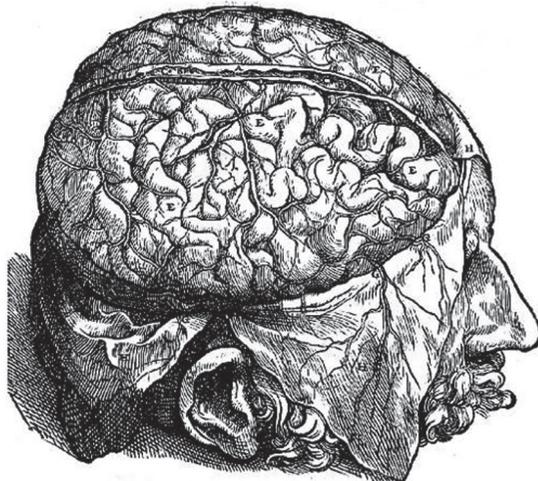
Seguiremos adoptando el singular coloquial para referirnos al cerebro humano. Sin embargo, en un marco anatómico más riguroso habría que hablar de al menos tres cerebros: el cerebro posterior, el cerebro medio y el cerebro anterior. La razón de esto es que nuestro cerebro surge de una estructura cilíndrica llamada tubo neural, que aparece tempranamente en el embrión humano.

La región posterior de este tubo neural dará lugar a la médula espinal, ubicada dentro del canal raquídeo de la columna vertebral, que es fundamental para la organización y ejecución de actividades motoras (v.g., la marcha o la prensión manual) y para la recepción de información sensorial (en especial la procedente de la superficie del cuerpo).

El sector anterior del tubo neural, a medida que evoluciona el embrión, desarrolla tres dilataciones consecutivas que darán lugar a los tres cerebros mencionados antes. Ese sector anterior del tubo neural se pliega complicadamente y la dilatación anterior genera a su vez dilataciones laterales que darán lugar a los futuros hemisferios cerebrales. En este proceso aparecen múltiples estructuras, como el cerebelo, el bulbo raquídeo o el hipotálamo, que integran una estructura anatómica de topología muy compleja, donde quedan adyacentes estructuras originalmente lejanas. El “cerebro” en singular, del que hablamos en general, es el resultado de estos complejos procesos en los que los tres cerebros quedan intrincadamente relacionados (Levi Montalcini, 2000; Sagan, 1982; Sarnat y Netsky, 1976; Nauta y Feirtag, 1986).

El comienzo de esta epopeya del conocimiento del cerebro humano debe todo a los heroicos anatomistas del Renacimiento, que con audacia y método crearon las refinadas técnicas de disección que comenzaron a fundamentar científicamente el conocimiento del interior del cuerpo humano y con ello iniciaron el nacimiento de la medicina científica.

### ·SECVNDA SEPTIMI LIBRI FIGVRA·



**Figura 1.** El cerebro humano, según la obra de 1543 *De humani corporis fabrica libri septem* (*De la estructura del cuerpo humano en siete libros*) de Andrés Vesalio.

Las distintas estructuras del cerebro maduro exhiben muy diferentes categorías de funciones. Algunas se especializan en controlar la fineza y el ajuste de las acciones motoras. Otras se especializan en procesar diferentes categorías de estímulos sensoriales. Cada uno de nuestros cinco sentidos tiene en el cerebro su sistema analizador y la información que estos sentidos suministran es complejamente integrada. Algunos anatomistas les asignan a los órganos de los sentidos que captan información remota (el olfato, la visión y la audición) especial importancia como promotores de la cognición avanzada de los animales más complejos, incluyendo a los humanos. Su argumento es interesante y se basa en lo siguiente. El tacto y el gusto se relacionan con estímulos adyacentes al cuerpo y condicionan respuestas inmediatas (la retirada de una mano ante una superficie quemante). En cambio, la olfacción, la visión y la audición perciben eventos lejanos que dan tiempo para ensayar comportamientos variados con resultados que pueden ser retenidos en memorias neurales (una huida oportuna o la captura de una presa). Según este enfoque, la retroalimentación positiva (en la escala evolutiva) entre los sensores remotos y las memorias neurales puede haber sido un factor relevante en la emergencia de cerebros sumamente complicados como el del *Homo sapiens* (Sarnat y Netsky, 1976).

A esta complejidad anatómica del cerebro humano subyace una desmesurada complejidad microscópica. Presumiblemente, un cerebro adulto esté compuesto por  $10^{11}$  células nerviosas, llamadas neuronas, y cada neurona recibe información de 1000 a 10 000 otras neuronas. Las neuronas son una variedad extensa de células que comprenden distintos tipos y tamaños, de los que no nos ocuparemos aquí. Cada una de estas neuronas se caracteriza por poseer dos categorías de prolongaciones: las dendritas (en general muchas) y un único axón. Estas células nerviosas se especializan en la generación, transmisión y procesamiento de señales electroquímicas. Estas señales son las que codifican la información que el sistema nervioso intercambia con el mundo exterior. De estas señales electroquímicas se destaca el llamado “potencial de acción”, un pulso eléctrico de unos 100 milivoltios de intensidad y de alrededor de 1 milisegundo de duración. Esta señal se propaga por un axón a velocidades del orden de los metros por segundo y la comunicación entre una neurona y otra suele ocurrir mediante la intermediación de neurotransmisores químicos. Estos neurotransmisores a su vez promueven nuevas señales electroquímicas en las células receptoras. La zona de unión entre las neuronas conectadas se llama “sinapsis” y allí es donde ocurren múltiples eventos asociados a las actividades cognitivas. Aparte de las neuronas, existen otras células, las neuroglías, cuya cantidad excede al número de neuronas y que tienen funciones fundamentales en la fisiología del sistema nervioso. A esto hay que añadir el notable sistema vascular que posee el cerebro y que asegura el suministro continuo de los metabolitos (en particular, el oxígeno y la glucosa) requerido para sustentar su elevadísimo consumo energético. Se calcula que en un humano adulto de 70 kg tiene un cerebro de alrededor de 1,5 kg que consume, por unidad de tiempo, aproximadamente el 25 % del total de la energía consumida por el cuerpo (Nauta y Feirtag, 1986; Kandel y Schwartz, 1985).

En cualquier animal el sistema nervioso integra los variados mecanismos de regulación responsables de la adaptación al medio ambiente; adaptación crucial para la sobrevivencia del individuo y, por ende, de la especie. El incremento de la complejidad orgánica y de los requerimientos energéticos fue paralelo al incremento de la complejidad del sistema nervioso. En nuestra especie, esta elevada complejidad incluyó cambios anatómicos, mencionados antes, que capacitaron al ser humano para desarrollar múltiples habilidades cognitivas. Por un lado, lo capacitaron para continuar con el desarrollo de instrumentos (comenzado hace unos dos millones de años por otros homínidos como el *Homo habilis*), una actividad fundamental en la que la comprensión del mundo exterior se manifiesta en acciones manuales e instrumentos eficaces. Pero este desarrollo instrumental se acompañó de la creación de habilidades lingüísticas que le permitieron codificar y transmitir experiencias con un nivel de refinamiento no evidenciado por otras especies. Señalemos que el lenguaje articulado que posee el ser humano no tiene paralelo en nuestro planeta, a pesar de la eficiencia que manifiestan los diversos medios de codificación de otras especies animales, por aromas, gestos o sonidos. A la creación de un refinado lenguaje articulado el ser humano sumó una creciente capacidad para codificar razonamientos formales, una de las bases —junto con su poder de conceptualización— de sus desarrollos científicos y tecnológicos.

## LAS PALABRAS

Es ya casi un lugar común señalar que nuestra especie debe su “humanización” a su lenguaje. Humanización en este marco se refiere a la vastísima cantidad de contribuciones que nuestra especie ha creado a partir del poder de su pensamiento y que tanto nos han separado de otras especies animales. Voy adherir aquí al siguiente lugar común: *el componente “humano” del ser humano lo creó su lenguaje*. Con casi todos los animales complejos el humano comparte la posesión de instintos, afectos, crueldades y violencias. Con ninguno comparte la vida intelectual que supo adquirir y las consecuencias culturales y tecnológicas que supo crear. Su vida intelectual y sus códigos conductuales muchas veces se han establecido sobre, e incluso

contra, sus instintos, como ocurre con la sabiduría ética codificada en preceptos y leyes. Los mitos y las religiones han sido unos de los instrumentos iniciales de creación de estos preceptos y leyes. Y se señala esto con consciencia de las desviaciones socialmente patológicas que los sistemas de creencias pueden sufrir, con su corrimiento hacia la intolerancia y el fanatismo.

En todo este proceso constructivo que generó nuestra “humanización”, el lenguaje fue el compañero de ruta que codificó el mundo en símbolos que fuimos atesorando en nuestros cerebros, a la vez que nos suministró un medio para transmitir y recibir experiencias. Y con el advenimiento de la escritura el lenguaje permitió crear una memoria externa mediante la cual las experiencias, las técnicas, los conceptos y también las fantasías pudieron persistir más allá de la vida de sus creadores.

A la vez que es producido por el cerebro humano, el lenguaje también promueve la calidad del pensamiento del cerebro que lo genera. Este pensamiento poslingüístico que permite el lenguaje refina la estructura y el alcance de nuestro diálogo interior. Sin embargo, es importante señalar que este tipo de diálogo interior no ha sustituido el complejo y rico repertorio de estructuras de pensamiento no verbal que los humanos podemos usar (por ejemplo, las imágenes y relaciones visuales en el planteo y la resolución de problemas científicos), aunque luego debamos verbalizarlas para comunicar algunas de sus conclusiones.

¿Cuándo se originó el lenguaje? El debate incesante a que está sujeta esta pregunta es un buen indicador de que ignoramos la respuesta. El lector puede encontrar la variedad de puntos de vista sobre este tema en el excelente artículo de la *Wikipedia* “Origin of language” (2016).

En un extremo, se sitúa la idea de que el lenguaje apareció hace unos 200 000 años, al aparecer el *Homo sapiens*, y que sus estructuras rudimentarias fueron paulatinamente evolucionando y ramificándose en las diversas lenguas que los humanos hablaron. De estas diversas lenguas muchas se han extinguido y otras sobreviven, siguiendo una ramificación evolutiva que permite rastrear sus orígenes (Esto da pie a otra subpolémica referida al carácter innato o adquirido de las estructuras sintácticas que organizan el lenguaje). En el otro extremo, está la opinión de antropólogos para quienes nada prueba que haya existido un lenguaje refinado hasta la aparición de objetos simbólicos, sin utilidad instrumental, que indicarían la necesidad de una comunicación abstracta de su significado. Este evento puede situarse hace unos 40 000 años. A la vez que sugestiva, resulta curiosa (y polémica) la idea de que los humanos hayan pasado cerca de dos tercios de su existencia como especie sin “activar” su latente potencialidad lingüística. Un apoyo a esta opción procede de la socialización forzada que el último período glacial (que estaba instalado hace unos 40 000 años) quizá haya impuesto. Así, extensas comunidades humanas albergadas en cavernas dieron nacimiento a interacciones sociales y cognitivas novedosas que tal vez refinaron y enriquecieron la comunicación verbal. Para usar una metáfora algo sibilina, los defensores de esta última posición podrían argumentar que nadie usaba el cálculo diferencial e integral antes de Leibniz y Newton, y que nadie usó el HTML antes de Berners-Lee; actividades estas que representan formas de lenguaje.

En el humano contemporáneo, el cerebro y su lenguaje están complejamente interrelacionados. Las palabras condensan conceptos y a la vez su fonética acompaña a su semántica en la transferencia de significados y experiencias emocionales. Por otra parte, es notable la capacidad del lenguaje para desplegar complejos escenarios en el cerebro de un oyente o un lector. Sobre el lenguaje escrito, una vez Bertrand Russell escribió: “La mente de Shakespeare puede haber sido maravillosa, pero nuestra evidencia sobre sus méritos se deriva plenamente de unas formas negras sobre un fondo blanco” (1940/1992). Pero esas formas negras sobre un fondo blanco nos transportan a Escocia o a Dinamarca o a Roma, y nos ponen en el centro de complejos y profundos dramas humanos. La observación de Russell sobre el lenguaje escrito también vale para el lenguaje oral: maravillosas historias (quizá todo Homero) se transferían como sucesiones temporales de sonidos. Esa maravillosa capacidad del cerebro de codificar un universo imaginario en un simple universo unidimensional generado con un puñado de símbolos básicos es tan extraordinaria como la capacidad recíproca de convertir esa estructura unidimensional en los más complejos e intrincados escenarios.

En cuanto al emplazamiento físico del lenguaje en el cerebro, desde el siglo XIX se conocen dos áreas relevantes que en los diestros están claramente emplazadas en el hemisferio cerebral izquierdo, el área de Broca, situada en una de las circunvoluciones del lóbulo frontal, y el área de Wernicke, ubicada en una de las circunvoluciones del lóbulo temporal. El área de Broca es responsable de la ejecución motora del lenguaje hablado, mientras que el área de Wernicke está asociada a la decodificación auditiva del lenguaje. Actualmente, las imágenes funcionales del cerebro (por ejemplo, las imágenes por la resonancia magnética funcional, referidas en la literatura técnica con la sigla fMRI) están ampliando considerablemente este esquema y actualizando los vínculos anatómicos y funcionales entre el lenguaje y el cerebro que lo sustenta.

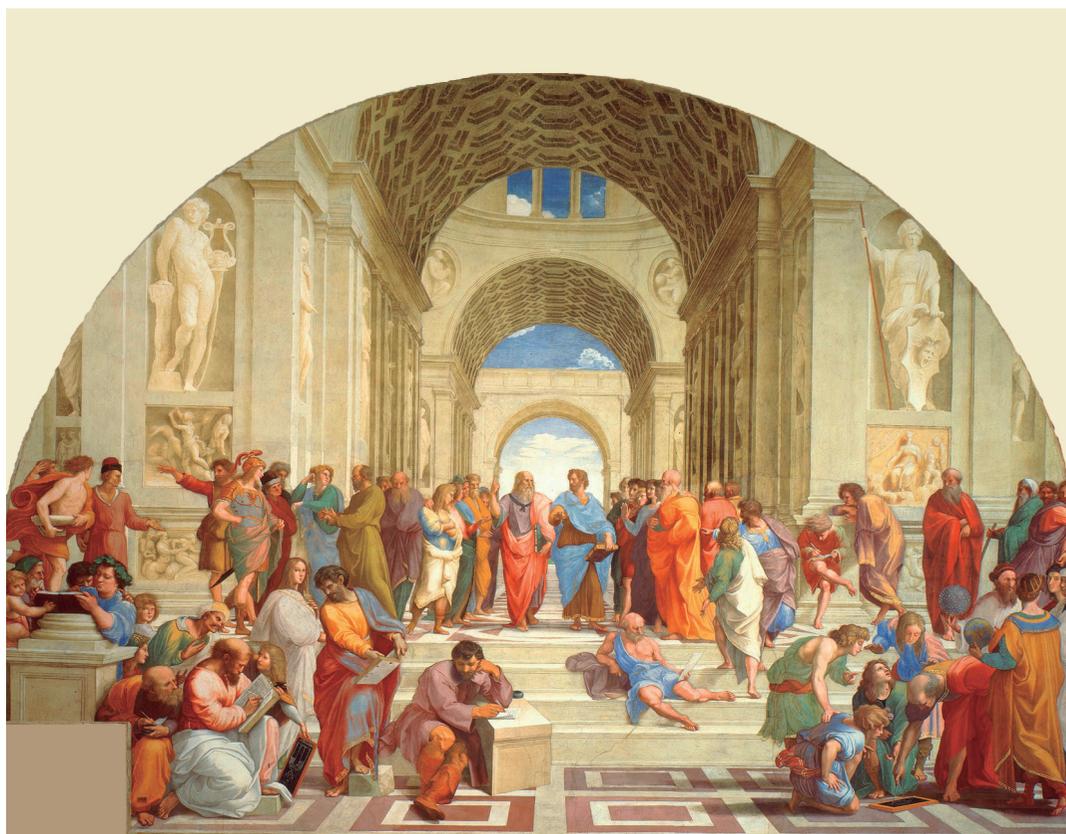
## LOS RAZONAMIENTOS

Cuando François Jacob escribió su famoso libro *La lógica de lo viviente* (1970), usó la palabra “lógica” en el sentido profundo que le da un biólogo evolucionista. Esta “lógica” se refiere a las estrategias que permiten la supervivencia de los individuos en sus ambientes naturales; dichas estrategias dependen de diseños anatómicos y fisiológicos generados a través de millones de años de evolución. Asimismo, esa “lógica” alude a la capacidad de la herencia de asegurar la preservación de esas estrategias en los descendientes y también generar innovaciones. Para un biólogo contemporáneo, esa es la lógica de la vida y en esa lógica se enmarca el cerebro de un humano y todas sus potencialidades.

Es indudable que el razonamiento y la lógica cognitiva, que fundamenta los razonamientos, son actividades cardinales del ser humano. La “lógica” del razonamiento parece en primera instancia referirse a un asunto distinto del que plantea la “lógica” de lo viviente a la que alude Jacob. Sin embargo, el cerebro de los humanos es uno de los integrantes, junto con otros sistemas, como el endócrino, de la maquinaria de regulación fisiológica que contribuye a su adaptación a situaciones variables y frecuentemente agresivas. En este contexto, la cognición y las habilidades lógicas pueden ser consideradas como integrantes de esa maquinaria de regulación. Esto ha sido expresado de modo muy preciso por Alfred Lotka en su libro originalmente llamado *Elements of Physical Biology*,<sup>1</sup> de 1924. Allí Lotka establece un sugestivo paralelismo entre la ética y la lógica en el que ambas se asumen como actividades que contribuyen a la adaptación y, por consiguiente, a la supervivencia de los individuos de nuestra especie. Luego de señalar que la ética es una normativa de la conducta, Lotka describe la lógica como una normativa que propende a generar un pensamiento realista. Es interesante (y en mi opinión importante) la definición de Lotka (1956) respecto al razonamiento: “El razonamiento es el ejercicio de la imaginación constructiva dentro de los límites prescritos por la lógica”.

Al igual que ocurre con las estructuras sintácticas del lenguaje, también las ideas sobre el origen de la lógica cognitiva oponen a “innatistas” y a “empiristas”. Desde la Grecia clásica hasta este 2016 en que escribo este texto, estas controversias sobre el origen de las capacidades lógicas siguen en sostenido debate. Es notable que la célebre pintura de Rafael *La escuela de Atenas*, finalizada hacia el 1512, ya contuviera un claro simbolismo de esta disputa filosófica.

Figura 2. *La escuela de Atenas*, de Rafael.



En el centro de la pintura se destacan las figuras fundamentales de la Escuela de Atenas, el maestro Platón y el alumno Aristóteles. El detalle de la pintura muestra a Platón con su índice señalando el cielo y a Aristóteles con la palma de su mano vuelta hacia el suelo.



Figura2. Platón y Aristóteles.

Con perspicacia, múltiples escritores han señalado el carácter psicológicamente (quizá más que filosóficamente) insoluble de esta disputa. William James incluyó en su libro póstumo de 1911<sup>2</sup> una reflexión que atribuye a Coleridge y que luego Jorge Luis Borges expandió y describió hermosamente. La frase de Borges (que, con variaciones, incorporó en diversos lugares de su obra) es la siguiente:

Observa Coleridge que todos los hombres nacen, aristotélicos o platónicos. Los últimos sienten que las clases, los órdenes y los géneros son realidades; los primeros, que son generalizaciones; para éstos, el lenguaje no es otra cosa que un aproximativo juego de símbolos; para aquéllos es el mapa del universo. El platónico sabe que el universo es de algún modo un cosmos, un orden; ese orden, para el aristotélico, puede ser un error o una ficción de nuestro conocimiento parcial. A través de las latitudes y de las épocas, los dos antagonistas inmortales cambian de dialecto y de nombre: uno es Parménides, Platón, Spinoza, Kant, Francis Bradley; el otro, Heráclito, Aristóteles, Locke, Hume, William James (1974: 718).

El lector puede evaluar sobre sí mismo si él es platónico o aristotélico. En el campo matemático es quizá donde la dicotomía se vuelve más elocuente: ¿El matemático *descubre* propiedades formales que preexisten, o construye corolarios que estaban implícitos en los postulados de una teoría *inventada* por personas?

Dilemas similares remiten al pensamiento lógico, donde se trata de saber si las operaciones lógicas (que entre otras cosas sustentan muchas de las pruebas matemáticas) son necesarias o contingentes. Una aproximación a la resolución de estos problemas puede proceder de la historia de la lógica. En un breve y célebre texto, el lógico polaco Jan Lukasiewicz (1970) reportó la evolución a lo largo de la historia de algunas de las operaciones lógicas básicas. Esta es una vía prometedora para decidir qué sector de la lógica formal puede ser innato (si es que algo lo es) y qué puede haber sido adquirido y entrenado por la educación a los largo de los siglos. Historiadores y psicólogos se abocan a estas investigaciones desde hace largo tiempo, pero, hasta donde estoy informado, el problema sigue abierto.

## PERSPECTIVAS

Las perspectivas inmediatas de la investigación sobre la función del cerebro se proyectan en primer lugar al campo de las ciencias biomédicas. Se está buscando complementar los grandes avances técnicos y conceptuales de las últimas décadas con investigaciones que nos permitan acceder a una mayor comprensión de ciertas enfermedades psiquiátricas sumamente invalidantes y peligrosas

(v.g., formas graves de las afecciones bipolares y de las esquizofrenias). Es también una urgencia de nuestra época tratar de acceder a las bases fisiopatológicas de una de las más serias situaciones a las que se enfrenta hoy la medicina: el enorme aumento de la prevalencia de enfermedades neurodegenerativas y variadas formas de demencia, como la enfermedad de Alzheimer. Estas afecciones están emergiendo en forma casi epidémica por la extensión de la duración media de la vida humana. Esta es la fase negativa de un hecho sumamente positivo: la mejora de la calidad de vida que los avances de las ciencias médicas y las normas higiénicas han logrado producir sobre una buena parte de la población humana. Por lo tanto, las investigaciones en el campo de las enfermedades neurodegenerativas son esenciales y urgentes. En general, en medicina, comprender las causas de las afecciones es un primer paso para diseñar tratamientos eficaces.

Pero hay también múltiples preguntas que pertenecen a una órbita mucho más abstracta y especulativa y que conciernen a la naturaleza de nuestro conocimiento del mundo exterior. Estas son las preguntas que los filósofos se vienen haciendo desde la Antigüedad y que cada época actualiza y adapta a los avances de las ciencias. Enunciemos algunas de estas preguntas: ¿Cuál es la naturaleza de los conceptos? ¿Cómo evolucionan estos conceptos? ¿Hay categorías innatas en las que enmarcamos nuestra comprensión del mundo exterior? ¿Es la lógica un universal que cualquier ser racional debe necesariamente obtener para, precisamente, ser racional?

Actualicemos algunas de estas preguntas: ¿Las estructuras lógico-matemáticas que sustentan nuestra racionalidad preexisten en un universo extrahumano o son una indirecta y abstracta consecuencia de nuestra evolución y de las escalas de espacio y tiempo a que nuestros organismos están sometidos? ¿Es la matemática una generadora de conceptos inmutables (v.g., los números y sus relaciones) capaces de generar códigos de comunicación con eventuales inteligencias pertenecientes a otras especies racionales? ¿Cuál sería la lógica y la matemática de hipotéticos organismos que hubiesen evolucionado en la escala de los fenómenos cuánticos, regidos por la mecánica ondulatoria y el principio de incertidumbre? ¿Coincidiría esta lógica directamente microscópica con la lógica cuántica desarrollada por los físicos de escala humana? ¿Y cuál sería la ciencia de organismos que, en lugar de tener cerebros como los nuestros, tuviesen cerebros con  $10^{100}$  neuronas,  $10^{1000}$  sinapsis y velocidades de transmisión de señales, no de metros por segundo, sino de miles de kilómetros por segundo?

Estamos poco instrumentados para dar respuesta a estos dilemas y la falta de instrumentación se acompaña de las propensiones platónica o aristotélica mencionadas antes. Sin embargo, desde el flanco de las ingenierías, donde en general la pragmática se impone sobre las epistemologías, es posible esperar algunas respuestas a estos problemas (Mizraji, 2013). La construcción de robots neuromiméticos es un área donde las estrategias usadas por los cerebros cognitivos de los animales complejos son implementadas con materiales electrónicos. Es posible que estas estructuras neuromiméticas puedan en pocos años superar las limitaciones físicas de las neuronas biológicas. Si los cerebros son computadores celulares, cuya función se basa en la electroquímica y en señales moleculares, entonces, una vez comprendida plenamente la mecánica de su función puede no haber obstáculos para la creación de robots conceptualizadores y racionales. Quizá los robots de Isaac Asimov —que era también bioquímico, además del autor famoso que conocemos— no son realmente una fantasía sino una proyección. Señalemos que el astrónomo Carl Sagan (1981) publicó un interesante ensayo en el que argumenta las razones por las cuales la exploración mediante sondas de regiones lejanas del sistema solar debía ser precedida de la creación de robots con cierto grado de inteligencia.

Quizá en un futuro no demasiado lejano, robots con cerebros con  $10^{100}$  neuronas,  $10^{1000}$  sinapsis y velocidades de transmisión de señales de miles de kilómetros por segundo (como comentábamos en una pregunta previa) sí puedan ser construidos. Y quizá los humanos podamos experimentar con estos seres e indagar qué tipo de mundo conceptual construirían, qué lógica desarrollarían y cuál sería su matemática. Para prevenir un mundo de pesadilla como el mostrado en las películas *Terminator*, Asimov impuso en sus robots las célebres tres leyes de la robótica. Estas tres leyes (dejamos al lector que no las conozca el placer de descubrirlas) creaban una ética inteligente impuesta a los robots, de modo que protegiesen a sus creadores humanos. Y desde luego la mente chispeante de Asimov juega con esas tres leyes y con sus retorcidas formas de transgredirlas. Esto parece una especulación excesivamente fantástica, pero este tipo de fantasía se materializa con asombrosa rapidez. En una novela de Julio Verne de 1886, *Robur, el conquistador*, se abogaba respecto a la fuerte conveniencia de vehículos aéreos más pesados que el aire; pocos años después esos aviones fantásticos con los que Verne especulaba se construyeron y desencadenaron la espectacular evolución de la aviación durante el siglo XX. Más próximo a nuestra época, el ciberespacio imaginado y bautizado por William Gibson en su novela *Neuromante* de 1984 es hoy un mundo en el que pasamos buena parte de nuestras vidas.

Para terminar, posterguemos estas exploraciones fantasiosas. En cambio, enfatizamos que desde hace décadas los científicos tienen en la simulación computacional un instrumento para interactuar con las observaciones empíricas relativas a la creación de conceptos, la generación del lenguaje y la emergencia de razonamientos. Estos enfoques tuvieron sus aportes pioneros en las investigaciones en la inteligencia artificial “clásica” de las décadas de 1950 y 1960. Hoy en día, estos enfoques se complementan con las investigaciones sobre las redes neuronales artificiales (Wedemann y Plastino, 2016). Nada nos asegura la inmutabilidad de nuestros paradigmas científicos y es muy probable que en poco tiempo algunas de las afirmaciones del presente texto resulten erróneas. Sin embargo, podemos terminar con una certeza: cualesquiera sean las novedades que aporte la investigación sobre el cerebro humano, estas resultarán útiles, importantes y sorprendentes.

## NOTAS

1. Lotka, A. J. (1924). *Elements of Physical Biology*. Reimpreso por Dover en 1956 como *Elements of Mathematical Biology*.
2. *Some Problems of Philosophy: A Beginning of an Introduction to Philosophy*, editada en Nueva York por Longmans, Green and Co.

## REFERENCIAS

- Borges, J. L. (1974). “El ruiseñor de Keats”, en *Obras completas 1923-1972*. Buenos Aires: Emecé.
- Ghysen, A. (2003). “The origin and evolution of the nervous system”. *International Journal of Developmental Biology*, 47, pp. 555-562.
- Gould, S. J. (diciembre de 1994). “La evolución de la vida en la Tierra”. *Investigación y Ciencia*, 219.
- Jacob, F. (1970). *La Logique du Vivant*. París: Gallimard.
- James, W. (1911). *Some Problems of Philosophy*. Nueva York: Longmans and Green.
- James, W. (1945). *Pragmatismo, un nuevo nombre para algunos viejos modos de pensar*; conferencias de divulgación filosófica (Traducción de Vicente P. Quintero, con una nota preliminar de Jorge Luis Borges). Buenos Aires: Emecé.
- Kandel, E. R. y Schwartz, J. H. (1981). *Principles of Neural Science*. Nueva York: Elsevier.
- Leakey R. y Lewin R. (1994). *Nuestros orígenes. En busca de lo que nos hace humanos*. Barcelona: Crítica.
- Levi Montalcini, R. (2000). *La galaxia mente*. Barcelona: Crítica.
- Lotka, A. (1956). *Elements of Mathematical Biology*. Nueva York: Dover.
- Lukasiewicz, J. (1970). “On the History of the Logic of Propositions”. En L. Borkowski (ed.): *Jan Lukasiewicz: Selected Works*. Ámsterdam: North Holland.
- Mizraji, E. (2013). *En busca de las leyes del pensamiento* (segunda edición). Montevideo: Trilce-Dirac.
- Nauta, W. J. H. y Feirtag, M. (1986). *Fundamental Neuroanatomy*. Nueva York: W. H. Freeman.
- “Origin of language” (1 de octubre de 2016). En *Wikipedia, la enciclopedia libre*. Recuperado el 1 de octubre de 2016 a las 20.23 de [https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Origin\\_of\\_language&oldid=742116431](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Origin_of_language&oldid=742116431)
- Russell, B. (1992). *An Inquiry into Meaning and Truth*. Londres: Routledge (Primera edición de 1940).
- Sagan, C. (1981). “En defensa de los robots”, en *El cerebro de Broca*. Barcelona: Grijalbo.
- Sagan, C. (1982). *Los dragones del Edén*. Buenos Aires: Grijalbo.
- Sarnat H. B. y Netsky M. G. (1976). *La evolución del sistema nervioso*. Madrid: Blume.
- Wedemann R. S y Plastino, A. R. (marzo de 2016). “Física estadística, redes neuronales y Freud”, *NÚCLEOS*, 3, pp. 4-10.

Eduardo Mizraji (Montevideo, 1948) es doctor en Medicina de la Universidad de la República, realizó estudios de posgrado en Matemáticas (Universidad de París V) y es profesor titular de Biofísica en la Facultad de Ciencias de la Universidad de la República. Es investigador Grado 5 del PEDECIBA e investigador Nivel III del Sistema Nacional de Investigadores. Sus trabajos de investigación se han centrado en los modelos de redes neuronales y el procesamiento de la información por parte de los sistemas biológicos.

