

# SEMINARIOS Y CONFERENCIAS

## Agricultura y cambio climático: nuevas tecnologías en la mitigación y adaptación de la agricultura al cambio climático

Memoria del tercer seminario regional de agricultura  
y cambio climático, realizado en Santiago,  
27 y 28 de septiembre de 2012



# SEMINARIOS Y CONFERENCIAS

## Agricultura y cambio climático: nuevas tecnologías en la mitigación y adaptación de la agricultura al cambio climático

Memoria del tercer seminario regional de agricultura  
y cambio climático, realizado en Santiago,  
27 y 28 de septiembre de 2012



Los artículos reunidos en este documento se basan en las ponencias presentadas por los expertos que participaron en el seminario regional “Agricultura y cambio climático: nuevas tecnologías en la mitigación y adaptación de la agricultura al cambio climático”, realizado en la sede de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), en Santiago, 27 y 28 de septiembre de 2012.

El seminario fue organizado por la Unidad de Desarrollo Agrícola de la División de Desarrollo Productivo y Empresarial de la CEPAL y el Grupo de Cambio Climático y Sostenibilidad Ambiental de la Oficina Regional para América Latina de la FAO, como parte de sus actividades conjuntas de cooperación técnica para el sector agropecuario. Contó con el apoyo del Proyecto CEPAL @LIS2, un proyecto cofinanciado por la Comisión Europea y ejecutado por la División de Desarrollo Productivo y Empresarial de la CEPAL; del Gobierno de Francia por medio de su Delegación Regional de Cooperación para el Cono Sur y el Brasil; del Gobierno de Brasil, y del Programa Cooperativo para el Desarrollo Tecnológico Agroalimentario y Agroindustrial del Cono Sur (PROCISUR).

El resumen, la compilación y en algunos casos la integración de los contenidos de las diferentes ponencias estuvieron a cargo de un comité editorial compuesto por Adrián Rodríguez (CEPAL), Laura Meza y Meliza González (FAO). Las opiniones expresadas en este documento, que no ha sido sometido a revisión editorial, son de exclusiva responsabilidad de los autores y pueden no coincidir con las de las organizaciones.

---

Publicación de las Naciones Unidas

ISSN 1680-9033

LC/L.3714

Copyright © Naciones Unidas, octubre de 2013. Todos los derechos reservados

Impreso en Naciones Unidas, Santiago de Chile

---

Los Estados miembros y sus instituciones gubernamentales pueden reproducir esta obra sin autorización previa. Solo se les solicita que mencionen la fuente e informen a las Naciones Unidas de tal reproducción.

# Índice

---

|   |    |
|---|----|
| <b>Presentación</b> .....   | 7  |
| <b>Resumen</b> .....  | 9  |
| <b>I. Presentaciones magistrales</b> .....  | 13 |
| A. Río+20 y la necesidad de nuevas políticas para enfrentar el cambio climático en la agricultura: el caso de Brasil .....    | 13 |
| 1. Cambio climático, agricultura y seguridad alimentaria y nutricional .....  | 13 |
| 2. La política nacional de cambio climático de Brasil y acciones para el sector agropecuario.....                             | 15 |
| 3. Desafíos de las políticas agroambientales en el contexto de Río+20.....  | 17 |
| B. El rol cambiante de la ciencia en la adaptación y mitigación del cambio climático en el sector agrícola de Australia ..... | 18 |
| 1. Midiendo el carbono en el suelo .....  | 18 |
| 2. Reduciendo las emisiones de metano.....  | 18 |
| 3. Reducción de óxido nitroso en cultivos .....   | 19 |
| 4. Adaptación del ganado al calor .....   | 19 |
| 5. Adaptación de los viñedos .....  | 20 |
| 6. Adaptación de los sistemas de cultivos .....   | 20 |
| 7. Vulnerabilidad climática y capacidad de adaptación .....   | 20 |
| 8. Síntesis .....   | 20 |
| <b>II. Nuevas tecnologías y convergencia tecnológica en la agricultura</b> .....  | 21 |
| A. Introducción .....   | 21 |
| B. Convergencias tecnológicas en agricultura: oportunidades para la nueva agricultura .....                                   | 22 |
| 1. El actual desafío tecnológico en la agricultura.....   | 22 |
| 2. Convergencias tecnológicas ¿de qué se está hablando?.....  | 22 |
| 3. Las tecnologías bio, info y nano y sus convergencias: más y mejores oportunidades para la innovación .....                 | 23 |
| 4. Algunas convergencias relevantes para el desarrollo del sector agroalimentario .....                                       | 25 |
| 5. Consideraciones finales.....   | 27 |

|             |  |           |
|-------------|--|-----------|
| C.          | El uso actual y potencial de las tecnologías de información y comunicación en las cadenas agroalimentarias .....   | 27        |
| 1.          | La agricultura y los cambios de clima.....   | 27        |
| 2.          | El surgimiento de las TIC .....  | 29        |
| 3.          | Las TIC en la agricultura .....  | 30        |
| 4.          | Las AGROTIC en la mitigación y adaptación de la agricultura al cambio climático ....   | 31        |
| 5.          | Un comentario final .....  | 31        |
| D.          | El uso actual y potencial de la nanotecnología en el sector agroalimentario: perspectiva desde EMBRAPA .....   | 31        |
| 1.          | La nanotecnología en la agricultura .....  | 31        |
| 2.          | La nanotecnología en EMBRAPA .....   | 32        |
| 3.          | Ejemplos de desarrollos nanotecnológicos en EMBRAPA .....  | 32        |
| 4.          | Comentario final .....   | 33        |
| E.          | Agricultura de precisión en la fruticultura en Chile: situación actual y perspectivas .....  | 34        |
| <b>III.</b> | <b>Sistemas de información para la gestión ambiental de la agricultura.....</b>  | <b>37</b> |
| A.          | Introducción .....   | 37        |
| B.          | Red Nacional de Estaciones Estatales Agroclimatológicas: el rol de las Fundaciones Produce .....   | 38        |
| 1.          | Red de estaciones agroclimáticas.....  | 38        |
| 2.          | Tecnologías para la alerta temprana.....   | 40        |
| 3.          | Innovaciones institucionales .....   | 40        |
| 4.          | Comentarios finales.....   | 41        |
| C.          | La red meteorológica Agroclima.cl: un ejemplo de sistema de información para la gestión agrícola.....  | 41        |
| 1.          | Descripción .....  | 41        |
| 2.          | Aplicaciones.....  | 42        |
| 3.          | Factores de éxito .....  | 44        |
| 4.          | Conclusiones.....  | 44        |
| D.          | La Red de Cambio Climático y Seguridad Alimentaria de Colombia .....   | 45        |
| 1.          | Objetivos y organización .....   | 45        |
| 2.          | Plataforma de Información Agroclimática (AgroMVA).....   | 47        |
| 3.          | Sistemas de Alertas Agroclimáticas Tempranas Participativas (SAATP) .....  | 47        |
| 4.          | Apoyo del Programa "Adaptación al Cambio Climático en la Región Andina", CAN/GIZ, en las innovaciones en gestión de información agroclimática en la región ..... | 49        |
| E.          | AquaCrop: una herramienta para modelización del crecimiento de los cultivos y evaluar el manejo del agua para enfrentar los impactos del cambio climático .....  | 50        |
| 1.          | Modelización de uso del agua en la agricultura .....   | 50        |
| 2.          | El modelo AquaCrop .....   | 51        |
| 3.          | Conclusiones.....  | 52        |
| <b>IV.</b>  | <b>Nuevas tecnologías en la mitigación y adaptación del cambio climático en la agricultura....</b>   | <b>53</b> |
| A.          | Introducción .....   | 53        |
| B.          | Arqueas metanógenas en la mitigación del cambio climático en la agricultura.....   | 54        |
| 1.          | Metanogénesis y fuentes de emisiones de metano desde la agricultura.....   | 54        |
| 2.          | Estrategias de reducción de metano .....   | 57        |
| C.          | Cuantificación de flujos de vapor y carbono: avances en el monitoreo para la gestión de la huella hídrica y de carbono en Chile .....                            | 59        |
| D.          | Biotecnología y recursos genéticos en la mitigación y adaptación de la agricultura al cambio climático .....   | 60        |
| 1.          | Cambio climático y su impacto sobre la actividad agropecuaria .....  | 60        |
| 2.          | Biotecnología y biodiversidad para el desarrollo de la agricultura .....   | 61        |
| 3.          | Mitigación y adaptación de la agricultura al cambio climático basada en biotecnología y recursos genéticos.....  | 63        |

|            |   |           |
|------------|---|-----------|
| 4.         | Consideraciones finales.....  | 63        |
| E.         | Nanotecnología en la rehabilitación de suelos degradados y contaminados .....                             | 64        |
| 1.         | Uso de la nanotecnología para rehabilitar suelos degradados.....  | 64        |
| 2.         | Aplicación de las nanopartículas (NP).....  | 65        |
| 3.         | Conclusión .....  | 67        |
| <b>V.</b>  | <b>Promoción de las nuevas tecnologías en la agricultura.....</b>   | <b>69</b> |
| A.         | Introducción .....  | 69        |
| B.         | La plataforma de tecnologías emergentes del PROCISUR.....   | 69        |
| 1.         | Etanol de segunda generación.....   | 70        |
| 2.         | Sequía.....   | 70        |
| 3.         | Fosfatos en agricultura.....  | 70        |
| C.         | Cooperación público-privada para acelerar el desarrollo digital en el sector agrícola de Costa Rica ..... | 71        |
| 1.         | Política de Estado para el sector agroalimentario y el desarrollo rural costarricense, 2010-2021.....     | 71        |
| 2.         | Ecosistema digital “Costa Rica: Verde e Inteligente 2.0”.....   | 71        |
| 3.         | Lo agrodigital o la convergencia de lo digital y el sector agroalimentario .....                          | 72        |
| 4.         | Un Acuerdo Social Digital para una sociedad biointeligente.....   | 73        |
| 5.         | Un mensaje final .....  | 73        |
| D.         | Aspectos éticos y legales de la nanotecnología en el sector agroalimentario .....                         | 74        |
| 1.         | La nanotecnología.....  | 74        |
| 2.         | Ética y nanotecnología.....   | 75        |
| 3.         | Nanopartículas y macropolíticas.....  | 75        |
| <b>VI.</b> | <b>Resumen y conclusiones.....</b>  | <b>77</b> |
|            | <b>Bibliografía.....</b>  | <b>81</b> |
|            | <b>Anexo .....</b>  | <b>93</b> |
|            | <b>Serie Seminarios y Conferencias: números publicados.....</b>   | <b>96</b> |

### Índice de gráficos

|           |  |    |
|-----------|--|----|
| GRÁFICO 1 | VISUALIZACIÓN DE SITIO WEB DE LA RED NACIONAL DE ESTACIONES AGROCLIMÁTICAS ..... | 39 |
| GRÁFICO 2 | VISUALIZACIÓN DEL SITIO WEB DE AGROCLIMA.CL.....                                 | 42 |
| GRÁFICO 3 | ESQUEMA GENERAL DEL DISEÑO DEL SAATP EN COLOMBIA .....                           | 49 |
| GRÁFICO 4 | FUERZAS TECNOLÓGICAS REVOLUCIONARIAS .....                                       | 75 |

### Índice de cuadros

|          |   |    |
|----------|---|----|
| CUADRO 1 | CONSECUENCIAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE CULTIVOS Y MEDIDAS DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA PARA MITIGACIÓN Y ADAPTACIÓN..... | 61 |
| CUADRO 2 | ALGUNOS CONTAMINANTES INORGÁNICOS REMOVIDOS DEL AGUA USANDO DISTINTAS NANOESTRUCTURAS .....                           | 66 |
| CUADRO 3 | EJEMPLO DE ALGUNOS COMPUESTOS OXIDADOS CON NANOPARTÍCULAS....   | 67 |



## Presentación

---

La serie de seminarios regionales sobre agricultura y cambio climático surgió del creciente interés de distintos estamentos e instituciones del sector agropecuario por el cambio climático y los desafíos que éste le plantea al sector *vis-a-vis* la falta de espacios en el sector que propicien el diálogo entre científicos y tomadores de decisiones, así como entre los países. Los seminarios, por lo tanto, han buscado propiciar un espacio de diálogo e intercambio de conocimientos, herramientas y experiencias en América Latina y el Caribe (ALC), dentro del sector agropecuario.

El primer seminario se realizó en noviembre de 2010 y tuvo como foco el tema de políticas y la institucionalidad. El segundo se realizó en noviembre de 2011 y enfatizó la necesidad de llevar los temas desde la teoría a la práctica. El tercer seminario, cuya memoria se presenta en este documento, se realizó en septiembre de 2012 y se enfocó en la contribución actual y potencial de las nuevas tecnologías en la gestión ambiental dentro de la agricultura, así como en la mitigación y adaptación del cambio climático dentro del sector. En particular, el encuentro buscó:

- fomentar el diálogo de políticas en torno a la aplicación de nuevas tecnologías en la agricultura;
- analizar las implicaciones para la agricultura de la convergencia entre nuevas tecnologías;
- presentar experiencias concretas de aplicación de nuevas tecnologías en la gestión ambiental en la agricultura, la relación de esta actividad productiva con la mitigación y adaptación al cambio climático y
- potenciar la cooperación regional en temas de nuevas tecnologías, agricultura y cambio climático.

La realización de los tres primeros seminarios ha sido posible gracias al apoyo financiero de la Delegación Regional de Cooperación para el Cono Sur del Gobierno de Francia. En el tercer seminario también se contó con el apoyo del Gobierno del Brasil —a través de su programa de cooperación con la FAO— y del Proyecto CEPAL @LIS2, un proyecto cofinanciado por la Comisión Europea y ejecutado por la División de Desarrollo Productivo y Empresarial de la CEPAL, orientado a promover el diálogo en tecnologías de la información y de las comunicaciones. También se contó con el patrocinio del Programa Cooperativo para el Desarrollo Tecnológico Agroalimentario y Agroindustrial del Cono Sur (PROCISUR), que es una iniciativa de colaboración de los institutos de investigación agrícola del MERCOSUR ampliado. De esta forma, y sin que fuera un objetivo específico, el seminario fue un buen ejemplo de articulación de Cooperación Norte-Sur y Cooperación Sur-Sur.





## Resumen

---

Como ya es bien conocido, se espera que el cambio climático tenga impactos negativos en la agricultura, sobre todo en regiones tropicales y sub-tropicales. Y aún cuando un aumento moderado de la temperatura y la fertilización por CO<sub>2</sub> traigan aumentos de rendimientos de algunos cultivos —sobre todo en regiones templadas—, tales efectos disminuirían si el aumento de la temperatura sobrepasa los 3 °C. Se prevé que con el cambio climático cambie la aptitud productiva de los agro-ecosistemas, que aumente la incidencia de plagas y enfermedades y que cambie la frecuencia e intensidad de los fenómenos climáticos extremos (CEPAL, 2009). Sin embargo, incluso si los niveles de GEI en la atmósfera se estabilizaran o comenzaran a disminuir, la persistencia del stock acumulado sería suficiente para que continúe el aumento de temperatura por un período de tiempo significativo. De allí la urgencia de adaptarse.

Si bien la actividad agropecuaria y el cambio de uso del suelo son responsables de un tercio de las emisiones de GEI a escala mundial, también es cierto que la agricultura tiene un importante potencial de mitigación. Eso puede lograrse a través del ajuste y cambio de prácticas productivas y de la adopción de sistemas que protejan el suelo, en lo cual el rescate de prácticas ancestrales o tradicionales puede cumplir un rol significativo.

La adaptación de la agricultura al cambio climático y la contribución del sector a su mitigación plantea, en esencia, la necesidad de introducir cambios en la forma en que el sector se relaciona con el medio ambiente, ya sea como demandante de recursos naturales (e.g. agua, suelo, nutrientes) y servicios agro-ecosistémicos (e.g. polinización; reservorio de germoplasma *in situ*; refugio de organismos reguladores de plagas malezas y patógenos), o como usuario de servicios de procesamiento de los desechos que se generan en el proceso productivo.

Las transformaciones que se requieren para una agricultura mejora adaptada al cambio climático y sus impactos y en condiciones de contribuir a la mitigación del mismo pueden ir desde modificaciones simples en las fechas de siembra y cosecha, hasta cambios estructurales significativos, como podría ser el desarrollo de nuevas formas de hacer agricultura, por ejemplo, en ambientes controlados. Tales transformaciones requieren de apoyos desde “La Política” y Las Instituciones que generan políticas para el sector. Y también desde el ámbito de la ciencia y la tecnología. El tercer seminario abordó el tema desde este último ámbito.

El seminario se enfocó en la contribución de las denominadas nuevas tecnologías —o tecnologías emergentes. En particular, se consideraron los casos de las tecnologías de información y comunicación (TIC), la biotecnología, la nanotecnología y de la convergencia que se observa entre ellas. Las contribuciones de la biotecnología son ampliamente reconocidas; por ejemplo, en el desarrollo de variedades más resistentes al estrés hídrico y de calor. En el caso de las TIC su rol es también crecientemente reconocido; por ejemplo, por su contribución a la gestión ambiental, a través del desarrollo de herramientas integración y manejo de información agro-climática y productiva. Y en lo relativo a la nanotecnología, mucho del trabajo todavía está en una fase experimental, pero con gran potencial, con aplicaciones a lo largo de toda la cadena agroalimentaria.

El seminario se insertó también en el marco del denominado paradigma de la convergencia tecnológica, un concepto que emergió con fuerza durante la década anterior década para darle sentido a la interacción e integración creciente entre las ciencias. En la agricultura el ejemplo más notable se ha dado en el desarrollo de la agricultura de precisión, en donde confluyen conocimientos y tecnologías desarrollados en el ámbito de las ciencias agro-ambientales, ingeniería agrícola y sistemas de información geográfica.

Las principales conclusiones de seminario se resumen en los siguientes elementos:

- Para orientar las políticas de adaptación de la agricultura al cambio climático es fundamental disponer de un marco analítico de referencia, sustentado en el conocimiento de la vulnerabilidad de la agricultura de los países y en sus capacidades nacionales. Este marco es fundamental para determinar el rol de las nuevas tecnologías en el desarrollo de acciones que podrían ir desde la adaptación incremental (corto plazo), a la adaptación sistémica (mediano plazo) o transformacional (largo plazo).
- Las nuevas tecnologías permiten abordar las necesidades de mitigación y adaptación de la agricultura no solo desde una perspectiva ambiental, sino también como parte de un proceso que contribuye a la competitividad del sector y su posicionamiento frente a las nuevas demandas por parte de los consumidores.
- La mitigación y adaptación al cambio climático plantean, en esencia, la necesidad de cambios estructurales en la matriz productiva de los países. En el caso de la agricultura esto implica cambios en sus relaciones con otros sectores de la economía, que pueden ser acelerados por las decisiones de los productores relativas a la adopción de nuevas tecnologías y por las políticas públicas que buscan fomentar su desarrollo.
- La colaboración público-privada es fundamental para avanzar en el desarrollo de aplicaciones de nuevas tecnologías adecuadas a las necesidades nacionales y locales de mitigación y adaptación de la agricultura al cambio climático.
- Es esencial trabajar con los agricultores y sus organizaciones en la identificación de las especificidades (e.g. cultivos, sistemas productivos, conocimientos, capacidades) que deben considerarse en el desarrollo de aplicaciones de nuevas tecnologías que contribuyen a la mitigación y adaptación de la agricultura el cambio climático.
- La introducción de nuevas tecnologías demanda el fortalecimiento de los marcos regulatorios relativos a su uso, tanto en aspectos de seguridad con el medio ambiente y la salud humana, como en materia de derechos de propiedad y otras condiciones de acceso. Esto es particularmente importante en el caso de la nanotecnología, pues no existen todavía regulaciones de nano-seguridad equivalentes a las que se han desarrollado en el ámbito de la biotecnología.
- La introducción de nuevas tecnologías en la agricultura debe ir acompañada del desarrollo de las nuevas capacidades que se requieren de parte de los agricultores para su manejo y del desarrollo de las condiciones permiten acceder a ellas (e.g. internet, banda ancha, computación en nube) y que condicionan su adopción por parte de los productores (e.g. costo, derechos de propiedad, etc).

- Se debe mejorar la disseminación de experiencias de países de la región sobre casos de éxito en la aplicación de nuevas tecnología para la mitigación y adaptación al cambio climático en la agricultura. De manera similar, es importante fortalecer la cooperación entre países para potenciar el desarrollo de tales aplicaciones y de mecanismos que faciliten la transferencia de las nuevas tecnologías.
- En materia de tecnologías de información y comunicación se considera prioritario mejorar la capacidad de modelación y pronóstico climático en los niveles y con las especificidades relevantes para la agricultura (e.g. región, cuenca), como elemento fundamental para mejorar la toma de decisiones frente a los efectos del cambio y variabilidad climática.
- Las nuevas tecnologías son fundamentales pueden ser fundamentales en el conocimiento de dinámicas importantes para la mitigación y adaptación de la agricultura al cambio climático; por ejemplo, relación con cultivos asociados; efectos combinados en los rendimientos de la interacción entre mayores temperaturas y mayores concentraciones atmosféricas de dióxido de carbono; dinámica de servicios agro-ecosistémicos; prospectiva de cultivos futuros con potencial de consumo, a partir de productos ya consumidos —pero con usos localizados limitados— y capacidad de expansión; complementación de los conocimientos tradicionales en la adaptación de variedades a distintas condiciones de suelo, altura y temperatura; modelación de escenarios de potencial productivo actual y futuro ante diferentes escenarios que combinan información climática y edafológica (e.g. análogos climáticos); mejorar el conocimiento sobre el comportamiento de plantas, animales, plagas y enfermedades y de cómo ellas reaccionan frente al cambio climático; entre otros.



## I. Presentaciones magistrales

---

El seminario incluyó dos presentaciones magistrales realizadas durante el seminario, sobre experiencia nacionales en materia de políticas para promover la mitigación y adaptación de la agricultura al cambio climático. La primera, de Brasil, sobre la necesidad de nuevas políticas para enfrentar el cambio climático en la agricultura en contexto post Río+20, orientadas fundamentalmente por el concepto de desarrollo sostenible. Y la segunda sobre el rol de la ciencia en la adaptación y mitigación del cambio climático en el sector agropecuario de Australia.

### A. Río+20 y la necesidad de nuevas políticas para enfrentar el cambio climático en la agricultura: el caso de Brasil<sup>1</sup>

La presentación está organizada en tres secciones: i) algunas apreciaciones sobre el cambio climático y su influencia en la agricultura y seguridad alimentaria y nutricional; ii) acciones que el Gobierno de Brasil ha venido desarrollando para reducir las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI); y iii) desafíos para las políticas agroambientales en el contexto post Río+20.

#### 1. Cambio climático, agricultura y seguridad alimentaria y nutricional

El aumento global de la concentración de dióxido de carbono, principalmente debido al uso de combustibles fósiles y el cambio de uso de la tierra, así como los aumentos en la concentración de metano y óxido nítrico, debidos en su mayor parte a la agricultura, superan por mucho los valores de la era pre-industrial. En los últimos cien años la temperatura media mundial de la superficie aumentó alrededor de 0,74 °C y, en caso de que no se tomen medidas capaces de desacelerar este proceso global

---

<sup>1</sup> Charla magistral presentada por el Sr. Paulo Guilherme Cabral, Secretario de Extrativismo y Desarrollo Sustentable del Ministerio de Medio Ambiente de Brasil.

de calentamiento, es posible que se observe en este siglo un aumento del calentamiento global de entre 2°C y 5,8°C —de acuerdo con el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, IPCC por sus siglas en inglés—, aumento que tendría el potencial suficiente para causar grandes impactos sobre todas las formas de vida existentes en el planeta, con serias consecuencias para la producción de alimentos.

Para América Latina, el Cuarto Reporte de Cambio Climático del IPCC (2007) afirma que en el este de la Amazonía ocurrirá una sustitución gradual de los bosques tropicales por vegetación de sabana, y que la vegetación semi-árida tenderá a ser sustituida por vegetación de tierras áridas, con el riesgo de significativas pérdidas de biodiversidad. En las zonas más secas se producirá salinización y desertificación de tierras agrícolas. También se proyecta que la productividad de importantes cultivos disminuirá, con consecuencias adversas para la seguridad alimentaria. La disponibilidad de agua para el consumo humano, la agricultura y la generación de energía se verá afectada significativamente por el cambio de los patrones de precipitación y por la desaparición de los glaciares.

Respecto de la seguridad alimentaria y nutricional, las proyecciones de la FAO para el período 2030-2050 muestran preocupación porque el cambio climático significa mayores restricciones para la producción mundial de alimentos, pudiendo afectar negativamente las mejoras necesarias para la seguridad alimentaria, pues la mayoría de los modelos climáticos proyectan perjuicios para el potencial agrícola de los países en desarrollo.

En Brasil, las proyecciones de la Segunda Comunicación Nacional a la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (CMNUCC), del año 2010, pronostican que, con excepción de la caña de azúcar y la mandioca, todos los principales cultivos del país tendrían una variación negativa respecto de la superficie de producción actual. Se destaca el cultivo de la soja, que en un escenario moderado<sup>2</sup> como el B2 tendría una reducción de entre 21,6% y 34,9% entre los años 2020 y 2070. En un escenario severo como es el A2, para el mismo período la superficie se reduciría entre un 23,6% y un 41,4%.

De acuerdo con la Segunda Comunicación Nacional de Brasil, los resultados del inventario nacional de emisiones de GEI evidencian el aumento de un 65,2% de las emisiones antropogénicas netas de dióxido de carbono entre el período 1990 a 2005. De un total de 1.637.905 Gg CO<sub>2</sub> emitidas en 2005, el 76,8% corresponden al cambio de uso de la tierra y los bosques, que a la vez también es responsable del 100% de las capturas de este gas, especialmente el bioma del Amazonas, cuyas emisiones netas de CO<sub>2</sub> aumentaron un 83% entre 1990 y 2005, lo que contribuyó con el 51,5% de las emisiones netas totales del país. Respecto del metano (CH<sub>4</sub>), el sector agropecuario es el principal emisor, responsable del 70,5% de las emisiones al año 2005, estimándose que el 53,9% de las emisiones del país resultarían de la fermentación entérica de la ganadería bovina de corte. El sector agropecuario también es responsable de la mayoría de la mayor parte de las emisiones de óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), cuyas emisiones directas —especialmente las que resultan de los desechos de animales de pastura— e indirectas —desde suelos agrícolas— sumadas se estima representan aproximadamente el 85% de las emisiones totales nacionales.

En los países desarrollados las emisiones provenientes del sector energético representan más del 80% del total de emisiones. En el caso de Brasil la mayor parte de éstas se debe a la deforestación, seguida de la actividad agropecuaria. Los datos recopilados en el Informe de la CMNUCC del año 1994 demuestran que Brasil era responsable del 32% de las emisiones de América Latina y el Caribe, sin considerar el sector de cambio de uso de tierra y silvicultura; y del 49% de las emisiones si se considera este sector.

---

<sup>2</sup> El modelo B2 describe un mundo en el que predominan las soluciones locales para el desarrollo económico, social y ambiental. Es un mundo cuya población aumenta progresivamente a un ritmo menor que en el escenario A2, con niveles medios de desarrollo económico y un progreso tecnológico menos acelerado y más diversificado que en los modelos B1 y A1. Aunque este escenario está orientado también a la protección ambiental e igualdad social, también se enfoca en los niveles locales y regionales.

## 2. La política nacional de cambio climático de Brasil y acciones para el sector agropecuario

Durante la COP 15, realizada el año 2009 en Copenhague, Brasil ratificó su compromiso de reducción de entre 36,1% y 38,9% del total de las emisiones estimadas para el año 2020, es decir, promover una reducción de entre 1.168 millones y 1.259 millones de ton CO<sub>2</sub> eq. El mismo año publicó la Ley 12.187/2009, que instituye la Política Nacional sobre Cambio Climático (PNMC: Política Nacional sobre Mudança do Clima). Los porcentajes sectoriales de mitigación estimados en las comunicaciones de Brasil a la CMNUCC para el Acuerdo de Copenhague, en el caso de la mayor meta nacional de un 38,9%, la deforestación se reduciría en 24,7%, y el 15,2% restante sería dividido entre los sectores energético (7,7%), agropecuario (6,1%) y otros (0,4%).

Para conducir su PNMC el gobierno brasileño desarrolló un sistema de gobierno institucional que tiene como objetivo reducir las emisiones netas de GEI en el país, al mismo tiempo que busca promover el desarrollo sostenible bajo en carbono con estímulo en las tecnologías limpias, nuevas prácticas productivas y desarrollo y difusión de conocimiento. Este sistema lo integran cuatro foros de articulación institucional: i) la Comisión Interministerial de Cambio Global del Clima (CIMGC); ii) el Foro Brasileño de Cambio Climático; iii) el Comité Interministerial sobre Cambio Climático (CIM); iv) y el Grupo Ejecutivo sobre Cambio Climático (GEX), quedando los dos últimos bajo la jurisdicción de la PNMC. Los instrumentos para su ejecución son, entre otros, el Plan Nacional de Cambio Climático, el Fondo Nacional sobre Cambio Climático y las Comunicaciones de Brasil a la CMNUCC.

El Fondo Nacional sobre Cambio Climático (Fondo Clima), vinculado al Ministerio de Medio Ambiente, es gestionado por un Comité Gestor constituido por representantes de los gobiernos en todos los niveles, la comunidad científica, los sectores productivos, organizaciones no gubernamentales y la sociedad civil. Este fondo es uno de los principales instrumentos de promoción y de financiamiento de las actividades ligadas a la PNMC, y tiene por finalidad asegurar recursos para el apoyo a proyectos y estudios, así como el financiamiento para emprendimientos que tengan como objetivo la adaptación y mitigación del cambio climático. El fondo tiene diversas fuentes de recursos financieros, contando con aporte principal de hasta el 60% por parte del Ministerio de Medio Ambiente, a través de recursos provenientes de la producción de petróleo, dotaciones de la ley de presupuesto anual de la Unión y donaciones realizadas por entidades nacionales e internacionales, públicas y privadas.

Para el año 2011 los recursos disponibles fueron del orden de R\$ 238,7 millones<sup>3</sup>, siendo R\$204 millones los recursos reembolsables transferidos al Banco Nacional de Desarrollo (BNDES, Banco Nacional de Desarrollo Económico y Social) para el financiamiento de proyectos a partir de 2012, con tasas de interés anuales que varían entre 1,1% y 5%, en las áreas de energía, infraestructura, industria y combate de la desertificación. Los recursos no reembolsables (R\$ 34,7 millones) se destinaron a 23 proyectos seleccionados y aprobados a partir de un proceso competitivo. Para el 2012 se estiman cerca de R\$ 389,1 millones, suma que debe aumentar para el período 2012 a 2015, a un monto total de R\$ 1.275,5 millones.

El Decreto N° 7.390/2010 que reglamenta la PNMC proyecta que las emisiones nacionales de GEI para el año 2020 serán de 3.236 millones de ton CO<sub>2</sub> eq, siendo las principales fuentes de emisión el cambio de uso de suelo, con 1.404 millones de ton CO<sub>2</sub> eq, y la actividad agropecuaria, con 730 millones de ton CO<sub>2</sub> eq. Para cumplir la meta voluntaria de reducción de emisiones asumida por el país, el Decreto establece, entre otros, el Plan de Acción para la Prevención y Control de la Deforestación en la Amazonía Legal (PPCDAm), el Plan de Acción para la Prevención y Control de la Deforestación e Incendios en el Cerrado (PPCerrado) y el Plan para la Consolidación de una Economía de Bajas Emisiones de Carbono en la Agricultura.

---

<sup>3</sup> USD 119,35 millones (Referencia noviembre 2012, 1 USD = R\$ 2,09).



Por representar más del 70% del territorio brasileño, y por ser responsables del 90% de las emisiones antrópicas netas anuales de CO<sub>2</sub>, los biomas de Amazonía y Cerrado fueron seleccionados para la implementación de los respectivos planes de acción para la prevención y control de la deforestación. Ambos tienen como ejes temáticos los siguientes elementos: monitoreo y control; áreas protegidas y ordenamiento territorial; y fomento de actividades productivas sostenibles.

Para el cumplimiento de las metas de reducción de emisiones en el cambio de uso de la tierra, a través de decretos y leyes que refuerzan la PNMC, se establecieron metas de reducción de la deforestación del 80% de los índices anuales en la Amazonía Legal, en relación con el promedio verificado entre 1996 y 2005, y la reducción del 40% de los índices anuales de deforestación del bioma Cerrado, en relación al promedio verificado entre los años 1999 y 2008.

De acuerdo a los datos presentados en el 8° Seminario Técnico Científico de Datos de Deforestación en la Amazonía 2012 (DPCD/MMA), la meta de reducción del 80% de la deforestación en la Amazonía Legal ya fue alcanzada el 2011 en un 67,3%, principalmente gracias a acciones de monitoreo y control. Para el cumplimiento legal de la meta será necesaria una reducción del 38,8% en relación con la tasa de deforestación del 2011, la que será alcanzada necesariamente con la intensificación de acciones de fomento de actividades productivas sustentables, asociadas a acciones de ordenamiento territorial, que demandará un esfuerzo mucho mayor.

Al año 2009, el Cerrado presentaba un área de cobertura vegetal nativa remanente del 51,16% del área total del bioma, de acuerdo con el Proyecto de Monitoreo de la Deforestación en los Biomas Brasileños por Satélite, desarrollado por el Instituto Brasileño de Medio Ambiente y los Recursos Naturales Renovables (IBAMA), en cooperación con el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, PNUD.

En el Cerrado la deforestación ocurre de forma intensa debido a sus características, propicias para la agricultura y la actividad pecuaria, y por la demanda de carbono vegetal para la industria siderúrgica. El monitoreo reciente muestra que el Cerrado disminuye su superficie vegetal en un promedio anual de 18.020 km<sup>2</sup> entre 1994 y 2002, y en 14.090 km<sup>2</sup> anuales entre 2003 y 2008, resultando en una media ponderada de 15.700 km<sup>2</sup> anuales para el período 1999 a 2008, índice utilizado para el establecimiento de la proyección de deforestación para 2020. Entre 2008 y 2009, el bioma perdió 7.750 km<sup>2</sup> y entre 2009 y 2010, cerca de 6.526 km<sup>2</sup>. La meta de reducción del 40% se lograría manteniéndose la deforestación anual observada en 2009 y 2010, pero mantener este ritmo podrá causar pérdidas de importantes áreas restantes que aún no se encuentran legalmente protegidas por las Unidades de Conservación o Tierras Indígenas.

El PPCerrado, instituido el 2010, ya ejecutó su planificación de corto plazo para el período 2010-2011, con 136 acciones estratégicas en 13 macro objetivos. En la planificación a largo plazo, al año 2020, habrá acciones de recuperación de pasivos ambientales en las áreas deforestadas, y recuperación de pasturas degradadas para evitar el despeje de nuevas áreas. Para cada plazo de planificación, el Plan indicará áreas prioritarias de intervención, siendo prioritarias aquellas que mantienen más remanentes de vegetación nativa y están sufriendo elevada presión antrópica, así como las áreas de importancia para la biodiversidad y las de alta relevancia para la conservación de recursos hídricos, principalmente en las cabeceras de las principales cuencas hidrográficas.

Considerando que apenas el 8,24% del bioma Cerrado está protegido por unidades de conservación, los ecosistemas naturales en tierras particulares, representados por áreas en que las leyes brasileñas limitan su uso, denominadas reservas legales (RLs) y áreas de preservación permanente (APPs) son de gran relevancia para la conservación y uso sustentable, necesitando de un monitoreo sistemático. En ese sentido, el Catastro Ambiental Rural (CAR, instituido por la Ley 12.651/2012) es un instrumento tanto de gestión como de control ambiental, una medida que permite a los propietarios conocer la situación ambiental real de sus propiedades y favorece los procesos de regularización ambiental.

El Plan para la Consolidación de una Economía Baja en Emisiones de Carbono en la Agricultura, o el Programa de Agricultura baja en Carbono (ABC), establecido el año 2010, incentiva los procesos

tecnológicos que neutralizan o minimizan los efectos de los GEI en el campo, con énfasis en seis iniciativas básicas con metas y resultados previstos para 2020:

- *Siembra bajo labranza cero*: ampliar los actuales 25 millones de hectáreas a 33 millones de hectáreas, con la consecuente reducción de emisiones de 16 a 20 millones de ton CO<sub>2</sub> eq.
- *Recuperación de praderas degradadas*: recuperar 15 millones de ha, con la reducción de entre 83 y 104 millones de ton CO<sub>2</sub> eq.
- *Sistemas agro-silvo-pastoriles*: aumentar la utilización de sistemas integrados en 4 millones de hectáreas, reduciendo las emisiones entre 18 y 22 millones de ton CO<sub>2</sub> eq.
- *Plantaciones forestales comerciales*: aumentar el área de 6 a 9 millones de hectáreas, reduciendo las emisiones entre 8 y 10 millones de ton CO<sub>2</sub> eq.
- *Fijación biológica de nitrógeno*: incrementar el método de producción de 5,5 millones de hectáreas y reducir la emisión de 10 millones de ton CO<sub>2</sub> eq.
- *Tratamiento de residuos animales*: tratar 4,4 millones de m<sup>3</sup> de residuos de la ganadería porcina y otras actividades, dejando de emitir 6,9 millones de ton CO<sub>2</sub> eq a la atmósfera.

En la temporada 2011-2012, de un total disponible de R\$ 3.150 millones se asignaron R\$ 1.213 millones. De ese monto un 77% fue destinado a la recuperación de pastizales degradados, seguido de las plantaciones directas con un 7,3%, el FCO-Pronatureza<sup>4</sup> con un 6%, las plantaciones forestales comerciales con un 4,7% y la integración agropecuaria con un 4,2%. Para la ampliación del programa se están implementando planes estatales con grupos gestores y metas específicas de acuerdo con las realidades locales, con procesos ya iniciados en 19 de los 27 estados brasileños. Para la temporada 2012-2013, además de la reducción de la tasa de interés al 5%, también fue ampliado el abanico de incentivos financieros, como por ejemplo, la posibilidad de financiamiento de maquinaria para la generación de energía eléctrica a partir de biodigestión.

Otras iniciativas que destacan —directamente vinculadas con el combate de la deforestación— el Plan Nacional de Promoción de Cadenas de Productos de Sociobiodiversidad (PNPPS) y el Programa Bolsa Verde. El PNPPS conjuga la preservación con la producción por medio de la extracción sustentable, garantizando alternativas de generación de ingresos para las comunidades rurales, a través del acceso a las políticas de crédito, asistencia técnica y extensión rural, mercados e instrumentos de comercialización como la política de garantía de precios mínimos. El Programa Bolsa Verde, creado el año 2011, es una política de apoyo a la conservación ambiental para familias rurales que se encuentran en situación de extrema pobreza, para el que se transfirieron R\$ 300.000 por trimestre. Actualmente, este beneficio es recibido por 28.919 familias.

### 3. Desafíos de las políticas agroambientales en el contexto de Río+20

El documento final de Río+20 “El futuro que queremos”, indica la urgencia de adoptar acciones que velen por el desarrollo sostenible, indicando la necesidad de promover la agricultura sostenible, con el propósito de aumentar la seguridad alimentaria y erradicar el hambre, y que sea viable económicamente, al tiempo que preserve los recursos ambientales y amplíe la resiliencia al cambio climático y a los desastres naturales.

---

<sup>4</sup> FCO es el Fondo Constitucional de Financiamiento del Centro-Oeste. Pronatureza es el Programa de Conservación de la Naturaleza. A través de esta línea de crédito se financia ítems como manejo forestal sustentable; reforestación con fines energéticos y madereros; sistemas agroforestales; recuperación de tierras degradadas y adquisición de máquinas y equipamiento; proyectos integrados (rurales e industriales); y promoción de mercados.

Para ello, propone fortalecer la agricultura sustentable mejorando el funcionamiento de los mercados y fortaleciendo la cooperación internacional, particularmente para los países en desarrollo, ampliando el financiamiento público y privado. Conjuntamente, propone acciones para mejorar la investigación agropecuaria, los servicios de extensión, entrenamiento y educación, para aumentar la productividad agrícola y la sustentabilidad, por medio del intercambio voluntario de información y buenas prácticas.

Ya no hay instancias en que se pueda considerar el desarrollo sin una visión de integración de la visión económica con justicia social y sostenibilidad ambiental. Es urgente la adopción de medidas para la erradicación de la pobreza y la disminución de las desigualdades y la erradicación de patrones insostenibles de producción y consumo. En este contexto, no es admisible un planteamiento económico y la instauración de cualquier política pública sin considerar los aspectos sociales y ambientales, como la inclusión social y la valoración de las externalidades ambientales.

## **B. El rol cambiante de la ciencia en la adaptación y mitigación del cambio climático en el sector agrícola de Australia<sup>5</sup>**

Este documento entrega un breve panorama de la perspectiva australiana sobre nuevas tecnologías para la mitigación y la adaptación.

Australia es tanto uno de los países con mayores emisiones de GEI per cápita (ABS, 2010) y una de las naciones más vulnerables al cambio climático (Hennessy et al., 2007). El reconocimiento de esta situación ha generado investigaciones en reducción de emisiones y en adaptación al cambio climático. El Departamento de Agricultura, Forestal y Pesca ha terminado recientemente el Programa de Investigación en Cambio Climático, y aquí se presentan algunos de sus resultados<sup>6</sup>.

### **1. Midiendo el carbono en el suelo**

El Informe Especial del IPCC, de 2001, identificó potencial significativo para el secuestro de carbono en suelos bajo ciertas circunstancias, y en algunas regiones. Sin embargo, uno de los factores limitantes para una adopción a mayor escala de manejo y tecnologías que aumenten el carbono en el suelo, es que haya información disponible para verificar adecuadamente la cantidad de carbono disponible en el suelo. En particular, el costo de las mediciones efectivas del carbono en el suelo es extremadamente alto debido a la variabilidad espacial del carbono y a que los análisis tradicionales de muestras de carbono son costosos. Un nuevo método se ha establecido para medir el carbono en muestras de suelo (*mid infra-red spectroscopy*), que reduce el costo de los análisis de aproximadamente \$ 1.000 (métodos anteriores) a cerca de \$ 40. La conversión de los valores de carbono en el suelo a reservas de carbono (toneladas por hectárea) se ha hecho más fácil gracias a las nuevas técnicas de exploración de densidad demostradas en el programa. Mientras el desafío del monitoreo se encuentra en proceso de ser cubierto gracias a estos avances, aún se mantiene un desafío significativo en torno al secuestro de carbono en el suelo en el largo plazo, en el extremadamente variable clima de Australia.

### **2. Reduciendo las emisiones de metano**

En Australia, el ganado rumiante es responsable de alrededor del 14% de las emisiones de GEI nacionales; la mayoría de estas emisiones corresponde a metano (NGGC, 2012). Enfoques para reducir estas emisiones, tanto a través de métodos directos como de cambios en el manejo del ganado, se han buscado por más de 15 años (Howden and Reyenga, 1999; Hegarty, 1999; Klieve et al., 2003).

---

<sup>5</sup> Traducción del documento preparado por M. Howden, S. Crimp, R. Nelson and S. Schroeter, para la presentación de Mark Howden, CSIRO Climate Adaptation Flagship, Australia, para este Seminario.

<sup>6</sup> Revisar <http://www.daff.gov.au/climatechange/australias-farming-future/climate-change-and-productivity-research>

En base a investigaciones previas, se ha construido un programa de *screening* que busca identificar si plantas foráneas específicas son capaces de reducir las emisiones de metano del ganado rumiante. Este programa identificó que algunos arbustos tienen propiedades anti-metanogénicas y buenas características dietarias. Las pruebas *in-vitro* muestran emisiones de metano de entre un 25% y un 50%. Investigaciones adicionales muestran que aumentos en los componentes de grasas y aceites en la dieta (hasta un 6-8%) pueden reducir el metano significativamente (hasta un 15%). Evidencia preliminar en estimaciones de heredabilidad de bajos rasgos de metano en ovejas sugieren que dichos rasgos son transferibles (Wright, 2006).

### 3. Reducción de óxido nitroso en cultivos

El óxido nitroso es un potente gas de efecto invernadero, particularmente asociado con el uso de fertilizantes en sistemas de cultivo y desde las excretas del ganado. El sector agrícola produce el 72,6% de las emisiones totales de Australia de óxido nitroso, comprendiendo el 4,3% de las emisiones totales de GEI del país (DCCEE, 2012).

Una de las formas de reducir las emisiones de óxido nitroso en la agricultura es a través del uso de inhibidores de la nitrificación, que limitan la actividad microbial que emite dicho gas. Los inhibidores de la nitrificación (por ejemplo, diciandiamida: DCD) reducen las pérdidas diarias de  $N_2O$  hasta un 73% (Di *et al.*, 2007). Los efectos fueron más dramáticos en cultivos de verano y tardíos en invierno (Di *et al.*, 2007). El impacto de los DCD tiene una corta vida de duración (4-5 semanas) pues el componente químico se degrada al ir aumentando la temperatura del suelo durante la primavera. La aplicación de DCD no se tradujo en mayores rendimientos de granos, por lo que se mantiene como una medida poco económica para reducir las emisiones de  $N_2O$ . El nitrógeno proveniente de leguminosas pareciera tener las menores emisiones de  $N_2O$ .

En sistemas de cultivo, una aplicación individual de DCD al finalizar el invierno o al finalizar el otoño reduce las emisiones de óxido nitroso en un 35-45% cuando el DCD es aplicado hasta tres meses antes de la aplicación de urea, o inmediatamente después de la aplicación de ésta. Las emisiones de óxido nitroso fueron reduciéndose aún más cuando el DCD fue aplicado después de cada una de múltiples aplicaciones de urea. Sin embargo, la aplicación de DCD (con o sin fertilizantes de urea) tiene mínimos efectos en la producción de pasturas. La falta de una respuesta en la producción significa que el uso de inhibidores de  $N_2O$  son improbables.

La extensión en la adopción de técnicas de reducción de emisiones de óxido nitroso dependerá críticamente de su habilidad técnica y de su costo-efectividad. Actualmente, mientras algunas capacidades de reducir las emisiones son aparentes, es poco probable que se adopten por los productores sin ningún incentivo, pues los beneficios sobre la producción por sí solos no parecen garantizar el uso de enfoques de reducción de emisiones.

### 4. Adaptación del ganado al calor

Es largamente sabido que el estrés por calor reduce el consumo, la producción y las tasas reproductivas, y aumenta las tasas de mortalidad y los riesgos en el bienestar de los animales. Reciente trabajo experimental, como parte del programa de investigación del Departamento de Agricultura, Silvicultura y Pesca, muestra que una baja dosis de betaina (2 g/día) reduce la respiración y la frecuencia cardíaca, y la temperatura rectal y de la piel, mientras que una dosis más alta (4 g/día) aumenta estas tasas. Ovejas alimentadas con bajas dosis de cromo suplementario (200 ppb) disminuyen la temperatura rectal y la frecuencia respiratoria.

Se necesita mayor investigación para afinar el uso de estos suplementos, que permita cuantificar los beneficios en la producción y asegurar que no hay efectos colaterales no deseados. El uso potencial de Proteínas de Shock de Calor (Heat Shock Proteines, HSP) como marcadores de estrés por calor podrían ser útiles para seleccionar animales mejor adaptados a temperaturas excesivamente altas (Di Giacomo *et al.*, 2012). Se propone trabajo adicional en la evaluación de beneficios de incorporar genes específicos para resistencia de estrés al calor en las razas productoras de carne.

## 5. Adaptación de los viñedos

La industria vinífera es la tercera actividad industrial de Australia en cuanto a su valor de exportación. Como en otros países, la producción de uva de vino es altamente sensible a variaciones climáticas de una región a otra, y de un año a otro. Las altas temperaturas y las sequías están impactando cada vez más en las variedades de uvas y sistemas usados en Australia, y la industria está buscando soluciones adaptativas efectivas.

Como parte de esas iniciativas, nuevas variedades de uvas fueron probadas y algunas mostraron gran potencial para entregar vinos de alta calidad bajo las tibias y calurosas condiciones australianas. Diferencias significativas en el crecimiento y eficiencia del uso del agua fueron detectadas entre distintos injertos, indicando que la elección de éstos será importante en el manejo del cambio climático. El impacto de temperaturas más cálidas sobre las uvas viníferas depende en gran medida de la variedad utilizada; algunas de ellas mostraron vinos de calidad mejorada, mientras que otras redujeron la calidad de esta bebida (Downey et al., 2012).

Después de evaluar un rango de variedades, clones y líneas de cultivo bajo condiciones de mayor temperatura, puede identificarse que las variedades poseen:

- una estacionalidad más corta que permite mayor eficiencia en el uso del agua;
- doseles más pequeños para minimizar la transpiración y mejorar la eficiencia en el uso de agua;
- estacionalidad más larga para madurar en condiciones más frías,
- composición óptima de berries para la cosecha en menores niveles de madurez, para la producción de vinos de bajo contenido alcohólico.

## 6. Adaptación de los sistemas de cultivos

Los cultivos de granos son la principal industria en Australia, cuya producción depende en gran medida de las condiciones climáticas estacionales y tiene sistemas productivos estrechamente sincronizados con las combinaciones de suelo y clima de las diferentes regiones.

Proyectos de investigación recientes han utilizado un enfoque participativo con productores para identificar y probar el uso de modelos de simulación para conocer distintas opciones de adaptación ante el cambio climático proyectado y cambios en los extremos climáticos (Crimp et al., 2012). Estos análisis mostraron que hay un rango de opciones prácticas de adaptación que pueden ser adoptados por los productores que pueden reducir bastantes impactos negativos del cambio climático proyectado con 2 °C de aumento de la temperatura (Crimp et al., 2012). Sin embargo, sobre este nivel de cambio, se requieren acciones adicionales de adaptación, con cambios en los sistemas, o a través de adaptación transformacional (Howden et al., 2010; Rickards and Howden, 2012).

## 7. Vulnerabilidad climática y capacidad de adaptación

Investigaciones previas han desarrollado mapas de vulnerabilidad climática y de capacidad de adaptación en Australia, explorando las barreras y sinergias con la adaptación. Esto permite al gobierno y a la industria establecer con precisión objetivos para el desarrollo de capacidades, permitiendo un desarrollo más efectivo y comprensivo de la capacidad de adaptación (Nelson et al., 2010; Crimp et al., 2012).

## 8. Síntesis

Las investigaciones han mostrado que hay formas mejoradas de evaluar las emisiones de GEI provenientes de la agricultura que pueden ayudar a diseñar y decidir métodos para alimentar al mundo que sean compatibles con el cambio climático. Existen opciones para reducir las emisiones de GEI aunque no siempre son competitivas desde el punto de vista económico, o muestren reducciones modestas en las emisiones. Estudios adicionales han mostrado que se cuenta con opciones de adaptación que pueden ayudar a la agricultura australiana a manejar el cambio climático y los extremos climáticos de forma más efectiva, tanto actualmente como en el futuro. Adicionalmente, están emergiendo métodos para evaluar dónde se debe poner más atención en la construcción de capacidades, que permitan una agricultura sustentable en un clima cambiante.

## II. Nuevas tecnologías y convergencia tecnológica en la agricultura

---

### A. Introducción

El seminario se insertó también en el marco del denominado paradigma de la convergencia tecnológica, un concepto que emergió con fuerza durante la década anterior para darle sentido a la interacción e integración creciente entre las ciencias.

El concepto de convergencia tecnológica, en su acepción más reciente, se refiere a la integración en doble vía entre las ciencias de la vida, las ciencias físicas y las ingenierías. Esto es, cuando las ciencias de la vida contribuyen a avanzar el conocimiento en las ciencias físicas, por ejemplo, la contribución de la neurología y de las biociencias en el desarrollo de robots que pueden replicar acciones humanas); o en la otra dirección, por ejemplo, cuando el apoyo de la nanotecnología y de la electrónica ayuda a la neurología y a las biociencias en el desarrollo de artefactos y órganos humanos que reemplazan o aumentan funciones humanas.

Esta acepción de la convergencia tecnológica involucra la “combinación sinérgica” de cuatro grandes áreas de la ciencia y la tecnología: i) nanotecnología y nano-ciencia; ii) biotecnología, biomedicina e ingeniería genética; iii) ciencias cognitivas y neurociencia; iv) tecnologías de la información, computación avanzada y comunicaciones. Estos dominios de la ciencia y la tecnología a menudo se identifican como las ciencias y tecnologías NBIC (por las siglas de Nano, Bio, Info y Cogno).

El término NBIC emergió de un taller organizado en diciembre de 2001 con el patrocinio de la *National Science Foundation* (NSF) para evaluar el impacto de estas tecnologías “mejorando las capacidades humanas en los niveles microscópico, individual, grupal y societal”. Ese taller (Roco y Brainbridge, 2003) fue un evento transformacional, no solo porque fue el primero en abordar el tema de la convergencia entre las NBIC, sino también por el rango de disciplinas científicas y la variedad de los participantes que participaron en las discusiones (políticos, formuladores de política, educadores y sector privado). La primera de las presentaciones que se incluyen en este capítulo revisa las oportunidades que le presentan a la agricultura dichas convergencias tecnológicas.

El seminario también incluyó presentaciones sobre la contribución potencial de las nuevas tecnologías —o tecnologías emergentes— en el desarrollo de la agricultura. El potencial de las nuevas tecnologías de información y comunicación en la agricultura (las agrotics) es analizado en la segunda presentación, destacando su contribución a la mitigación y adaptación de la agricultura al cambio climático. Las restantes presentaciones se refieren al desarrollo de la nanotecnología en la Embrapa (Brasil) y al desarrollo de la agricultura de precisión en el sector frutícola (Chile).

## **B. Convergencias tecnológicas en agricultura: oportunidades para la nueva agricultura<sup>7</sup>**

### **1. El actual desafío tecnológico en la agricultura**

Como se ha sostenido en otras oportunidades, el núcleo del actual desafío tecnológico está constituido por producir más, mejores y más variados alimentos y productos agrícolas no alimentarios a través de procesos productivos que generen menos gases de efecto invernadero y otros contaminantes, usen más eficientemente el agua y la energía, ocupen básicamente la misma cantidad de tierra, respondan a nuevos estrés bióticos y abióticos provocados por el cambio climático y estén sometidos a una mayor vigilancia de la sociedad en relación a las tecnologías utilizadas (Barrera, 2011).

Las aplicaciones de las Tecnologías de Información y Comunicación (TIC), de la biotecnología, de la nanotecnología y de las convergencias entre ellas, abren inéditas oportunidades a la realización del paradigma tecnológico enunciado y están reinventando la forma de hacer agricultura. La agricultura cada vez más está siendo innovada por actores de “fuera del sector”, impulsada a partir de lógicas de precisión y con plantas intensivas en mejoramiento genético. Esta es la agricultura de la mecatrónica, de los nanobiosensores y de las “ómicas”. Esta es la nueva revolución agrícola que vive el mundo y en parte también América Latina y el Caribe, una revolución que es infonobiotecnológica y organizacional. Esta es la base a partir de la cual se debe abordar la intensificación sustentable de las actividades agroalimentarias y avanzar en el desarrollo y consolidación de una agricultura inteligente. Las aplicaciones tecnológicas mencionadas también están reinventando los alimentos. Y de todas ellas, todo indica que serían las aplicaciones nanotecnológicas las que más contribuirán en esta reinención.

### **2. Convergencias tecnológicas ¿de qué se está hablando?**

Es en el contexto de una sociedad y de una agricultura hipertecnologizadas como la actual que se desarrolla una nueva oleada de convergencias entre las tres principales tecnologías genéricas de estos tiempos. Como es obvio, estas no son las primeras convergencias tecnológicas que ocurren en el desarrollo tecnológico moderno. De hecho, las TIC, la mecatrónica y la propia nanotecnología son convergencias, sólo para mencionar algunas.

Entonces, para los efectos de este artículo, se entenderá como convergencia tecnológica a la combinación sinérgica de dos o más tecnologías genéricas en la búsqueda de objetivos comunes. En este contexto, hay un potenciamiento recíproco entre tales tecnologías pues están habilitadas unas para trabajar con las otras. Ejemplos de estas convergencias son la bioinformática y la nanobiotecnología. En este texto, en un sentido más amplio, también la agricultura de precisión será considerada como convergencia, una megaconvergencia.

En el documento “*Converging Technologies: Shaping the Future of European Societies*”, la Unión Europea considera las convergencias tecnológicas como aquellas que se dan entre la informática, la biotecnología, la nanotecnología y las ciencias de la cognición. En esta forma de entender las

---

<sup>7</sup> Texto preparado por Arturo Barrera, que cuando se realizó el Seminario era el Director del Programa Innovación para la Productividad y Competitividad del Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, IICA.

convergencias tecnológicas, la nanotecnología adquiere un rol central, pues en esta perspectiva se enfatizan las convergencias que ocurren principalmente a nivel de la nanoescala. Estas convergencias prometen transformar los más distintos ámbitos de la vida de las personas y de la sociedad (European Commission, 2004). En una similar perspectiva se inscribe el Informe de la National Science Foundation de Estados Unidos del año 2002, con un título más explícitamente referido a las transformaciones en las capacidades de las personas: “Converging technologies for improving human performance: Nanotechnology, biotechnology, information technology and cognitive science” (National Science Foundation, 2002).

Desde una perspectiva más amplia, no utilizada en este texto, una convergencia también puede referirse a la “mezcla de tecnologías, redes, servicios e industrias tradicionalmente distintas, en nuevas formas combinadas”. En la experiencia de las telecomunicaciones, por ejemplo, se entiende por convergencia a “la habilidad de una o más redes para proveer diferentes servicios, o también a la conjunción de industrias en el sector de las comunicaciones” (Naciones Unidas, 2011).

Es importante señalar que todas estas convergencias tecnológicas se dan en el contexto actual de una mayor integración entre las ciencias y cuando la separación tradicional entre ciencia y tecnología parece diluirse, haciéndose cada vez más común hablar de tecnociencia. La interdisciplinariedad de la actividad científica es una realidad observada en muchos ámbitos, especialmente en aquellos de punta. Ejemplos de esto son los casos de las ciencias de la cognición y las ciencias de la vida. El mundo científico e intelectual parece haber tomado conciencia que los complejos problemas de hoy requieren del concurso y la interacción de muchas disciplinas. Las visiones y enfoques sistémicos parecen estar contribuyendo significativamente en esta perspectiva.

### **3. Las tecnologías bio, info y nano y sus convergencias: más y mejores oportunidades para la innovación**

La biotecnología es uno de los pilares de la revolución agrícola y alimentaria en curso, y sus aplicaciones en la agricultura y en la industria de los alimentos son cada vez más amplias. La biotecnología ha intensificado su contribución en estas áreas a partir de los notables avances en genética molecular, ingeniería genética y bioinformática ocurridos en las tres últimas décadas.

Mirada la industria de los alimentos en su conjunto, desde la producción primaria al consumidor, las aplicaciones actuales y potenciales de la biotecnología pueden darse en los siguientes ámbitos: en la producción de materias primas; en la elaboración agroindustrial; en la distribución y comercialización; en el consumo; y en el desarrollo de técnicas analíticas. Dados los cuestionamientos que muchas veces manifiestan los consumidores de algunos países en relación a la transgenia, los mayores usos actuales de la biotecnología se dan en la producción de materias primas y en las técnicas analíticas. En el ámbito de la transformación industrial, mayoritariamente es utilizada en algunos procesos como la fermentación de vinos, vinagres, cervezas y quesos. Se estima que la biotecnología será cada vez más utilizada en la distribución y comercialización de los alimentos.

Desde una perspectiva agrícola, la biotecnología es cada vez más utilizada en los siguientes ámbitos: a) fito y zoomejoramiento; b) bioenriquecimiento; c) diagnóstico y tratamiento de enfermedades en plantas, ganado y peces; d) producción de “vacunas orales” para ganado y peces; e) inseminación artificial, ovulación y trasplante de embriones; f) nutrición animal; g) crecimiento más rápido de especies vegetales y animales; y h) medición y conservación de los recursos genéticos (FAO, 2004).

Las herramientas biotecnológicas actuales se usan masivamente en la producción de enzimas, probióticos, pigmentos, vitaminas, aminoácidos, potenciadores del sabor, aditivos y levaduras mejoradas. Todos estos son compuestos utilizados en los procesos de transformación industrial de los alimentos, obteniéndose con ellos una mejor calidad de los productos a través de mejores características organolépticas, químicas o fisicoquímicas (Colin et al., 2009). Un uso creciente por parte de la industria alimentaria es el de las enzimas para la producción de jugos, con el propósito de hacer más eficiente la extracción y mejorar la clarificación. También en el ámbito de la transformación agroindustrial, en estos años se ha avanzado en la investigación de bacterias lácticas transgénicas que hacen más rápida la



fermentación de los quesos, de levaduras que dan más sabor afrutado a los vinos y de levaduras y enzimas para que el pan tenga una vida útil más larga. Actualmente, la utilización de enzimas generadas en procesos biotecnológicos es ampliamente utilizada, por ejemplo, la industria panificadora utiliza enzimas para mejorar las características de industrialización de la harina y para conservar el pan en estado fresco por más tiempo, por ejemplo.

Igualmente, la biotecnología es utilizada en el ámbito de la distribución y comercialización de los alimentos a través de la bioconservación y del control de la calidad. La bioconservación es el conjunto de procedimientos orientados a “aumentar la vida útil e incrementar la calidad higiénico-sanitaria de los alimentos mediante la actividad de determinados microorganismos o sus metabolitos” (INDUALIMENTOS, 2008). Ejemplos en este ámbito son el seguimiento del perfil genético de microorganismos dañinos o potencialmente dañinos para la salud de las personas o el uso de biocontroladores sin que se afecte la calidad. Además, la biotecnología se ha convertido, crecientemente, en un potente instrumento para comprobar la autenticidad de los alimentos y de sus materias primas.

Los ámbitos de la inocuidad, del control de compras de materias primas, o del apoyo a sistemas de identidad preservada, son algunas de las áreas en que la biotecnología se puede aplicar en la distribución y comercialización de los alimentos.

En cuanto a las aplicaciones de la biotecnología en el consumo, éstas tienen el carácter de potenciales a través del desarrollo de la nutrigenómica y su uso en la alimentación a la medida. La nutrigenómica o genómica nutricional corresponde a una nueva rama de las ciencias, que estudia el efecto de la nutrición a nivel molecular y genético. Sus aplicaciones también vendrán desde la proteómica, tecnología a través de la cual se estudia la estructura, función y regulación de las proteínas codificadas en el genoma de un organismo determinado bajo condiciones específicas. Tanto la nutrigenómica como la proteómica permitirán relacionar más fuertemente los alimentos y su impacto en la salud.

Las tecnologías de la información y de la comunicación son otro de los pilares de la actual revolución agrícola y alimentaria. Al ser las TIC un conjunto de tecnologías de propósito general, sus aplicaciones en la agricultura y en la industria de los alimentos son múltiples y abordan un rango amplio de áreas en todos los eslabones de las cadenas alimentarias. Al igual que en otros sectores productivos, las TIC en las actividades agrícolas y alimentarias están transformando los procesos productivos, las estrategias empresariales, los modelos de negocios, las relaciones de las empresas con los consumidores y los patrones de organización de la producción de alimentos en el mundo.

Desde una perspectiva agrícola, el Banco Mundial señala los siguientes grandes ámbitos en que las TIC pueden contribuir al desarrollo de la agricultura, poniendo especial atención en la pequeña agricultura: mejoramiento de la productividad y de los ingresos de los productores; fortalecimiento de los mercados y de las instituciones agrícolas; mejoramiento de los servicios agrícolas; y construcción de vínculos en las cadenas de valor agrícolas, regionales y globales (Banco Mundial, 2011).

En términos más detallados, se pueden agregar las siguientes contribuciones de las TIC: a) al mejoramiento de la gestión de los negocios agrícolas; b) a la facilitación de la constitución y gestión de redes y de alianzas de diferentes naturalezas y propósitos; c) a la administración de riesgos y de los recursos naturales, especialmente del agua; d) al desarrollo de la trazabilidad e inocuidad de los alimentos; y e) al acceso oportuno a información de calidad de distinto tipo: agro meteorológica, de mercado, de políticas, entre otras. Otro uso relevante es en la profundización y ampliación de la agricultura de precisión, tema que se abordará más adelante.

Desde una perspectiva de la industria de los alimentos, un área que utiliza ampliamente las TIC es de la venta y consumo. Dichas tecnologías son cada vez más aplicadas en la gestión de las cadenas de suministro, especialmente en las grandes cadenas de distribución de alimentos; en la entrega de información (no sólo nutricional y funcional de los alimentos sino también relacionada a las formas en que estos fueron producidos); en la compra y venta, a través del comercio electrónico; en la interactividad de los productos con los consumidores mediante el desarrollo de envases inteligentes, los que pueden indicar entre otras cosas el mejor momento de consumo en productos como las frutas o las

verduras; y en el manejo del stock doméstico de los alimentos (Barrera, 2010). Internet, los sensores y los nanosensores juegan un rol muy relevante en varias de las aplicaciones mencionadas.

La utilización de la nanotecnología en la agricultura y en la industria de los alimentos está en su fase inicial. Sus aplicaciones en los tiempos que vienen podrían ser enormes en todos los eslabones de la cadena. En la producción agrícola se proyectan aplicaciones en varios ámbitos, todas las cuales fortalecerán el desarrollo de la agricultura de precisión:

- en el diagnóstico precoz y en el tratamiento de enfermedades, tanto de plantas como de animales, a través de nanosensores y nanocápsulas;
- en el manejo más eficiente de fertilizantes y agroquímicos, a través de una “liberación inteligente” de compuestos y aumentando la durabilidad y seguridad de las aplicaciones de pesticidas con el uso de nanoencapsulados;
- en el mejoramiento genético;
- en la alimentación animal;
- en el manejo reproductivo del ganado, por ejemplo, al determinar con mayor precisión los momentos óptimos para realizar la inseminación artificial;
- en la desalinización, purificación y descontaminación del agua a través de la nanofiltración,
- en la remediación de los suelos.

En la transformación industrial de los alimentos se estiman aplicaciones de la nanotecnología para obtener una mejor calidad nutritiva, funcional y organoléptica a través de nanocápsulas y nanopartículas, que les incorporan aditivos y componentes nutritivos, en este ámbito, se apuesta a lograr nuevos aromas, sabores y texturas. También se apuesta al mejoramiento de la biodisponibilidad de los componentes nutritivos. Chaudrhy et al. (2008) consignan que dos de los principales ámbitos en que la nanotecnología ya se utiliza con bastante frecuencia es en alimentos funcionales y en bebidas.

En el área del consumo, el uso de nanosensores y de nanocápsulas permitiría una utilización más eficiente de los alimentos a través de una más oportuna disponibilidad de los nutrientes en el organismo de las personas y de una mejor absorción de ellos. La nanotecnología permitirá el desarrollo de “alimentos interactivos” y de esta forma contribuirá también al avance de la nutrición a la medida.

Un ámbito amplio de utilización de la nanotecnología está siendo —y lo será más en el futuro—, el de los empaques y envases. Esto está directamente relacionado con los objetivos de la disminución de las pérdidas post cosecha y de la inocuidad de los alimentos. En estos ámbitos, por ejemplo, se pueden mencionar el desarrollo de envoltorios y empaques con nanomateriales absorbentes de etileno y el desarrollo de nanosensores que detectan tempranamente contaminación de microorganismos y superficies con capacidades biocidas (Mousavi y Rezaei, 2011).

Como se sostuvo en acápite anterior, la creciente utilización de las herramientas nanotecnológicas en la agricultura y en la industria de los alimentos, habida cuenta de las debidas medidas de su regulación para garantizar la salud de las personas y del medio ambiente, permiten aseverar que se está en los inicios de una verdadera reinención de los alimentos. En otras palabras, una parte importante de los alimentos que consumimos actualmente será muy distinta en el futuro. Otra parte, no menos importante, estará constituida con alta probabilidad por los alimentos estrictamente naturales.

## **4. Algunas convergencias relevantes para el desarrollo del sector agroalimentario**

### **a) Bioinformática**

Muchos de los progresos tecnológicos y su aplicación en el campo de lo agroalimentario analizados en este capítulo han sido posibles gracias al desarrollo de la bioinformática, una disciplina científica en que convergen la biología, las matemáticas, la estadística y la computación para analizar lo biológico.

Específicamente, la bioinformática puede ser definida como “el uso de técnicas computacionales, matemáticas y estadísticas para el análisis, interpretación y generación de datos biológicos y para entender sistemas de alta complejidad” (Restrepo, 2012). La bioinformática incluye la modelación de procesos biológicos y su desarrollo ha sido esencial para el estudio del genoma y de las secuencias de proteínas.

Desde una perspectiva de la industria alimentaria, Colin et al. (2009) mencionan algunas aplicaciones de la bioinformática, a saber: a) análisis de ADN y de proteínas para determinar la autenticidad de los alimentos; b) uso de marcadores moleculares en el mejoramiento genético de plantas, animales y peces; c) genómica nutricional; d) análisis de proteínas para una mejor comprensión de sus propiedades y sus potenciales aplicaciones en los procesos de transformación agroindustrial, y e) análisis microbiológico para una rápida identificación de patógenos y el desarrollo de especies benéficas.

### **b) Nanobiotecnología**

Desde una perspectiva amplia, la nanobiotecnología puede ser entendida como el conjunto de tecnologías originadas en la intersección o combinación de la nanotecnología y la biotecnología. En este contexto, puede ser definida como “el diseño, construcción y manipulación de entidades en el rango de 1 a 100 nanómetros empleando enfoques basados en la biología (lo que incluye las “nanobiomáquinas” y la imitación de patrones biológicos en la nanotecnología) o para el beneficio de sistemas biológicos, (que alude al uso de la nanotecnología en los sistemas biológicos)” (Shoseyov y Levy, 2008). En términos más específicos, la nanobiotecnología puede ser entendida también como nanotecnología biológica, es decir, como el conjunto de diseños, construcciones y aplicaciones que utilizan materiales biológicos a nivel de la nanoescala (Muraleedharan, 2010).

Tal como se sostiene previamente, la nano y la biotecnología son la base del emergente paradigma molecular. En este contexto, la nanobiotecnología es una expresión muy potente de ese nuevo paradigma, en que la convergencia se produce a escala de los átomos y las moléculas. La nanobiotecnología, además, podría favorecer una potencialmente alta hibridación entre lo orgánico y lo artificial, a nivel nanoscópico.

Desde una perspectiva agrícola, las actuales y potenciales aplicaciones de la nanobiotecnología contemplan ámbitos muy similares a los de la nanotecnología, aprovechándose las propiedades de los materiales a nivel de la nanoescala y las propiedades de las biomoléculas como enzimas, metabolitos, y otros. Estos ámbitos pueden ser: la entrega “inteligente” de biocidas, fertilizantes y reguladores del crecimiento; el mejoramiento genético, a través por ejemplo de la miniaturización del proceso de secuenciación del ADN (Rocha, 2012); el diagnóstico precoz y el tratamiento de enfermedades; la remediación de suelos; y la gestión del agua. La utilización de las nanobiotecnologías en varios de estos ámbitos contribuiría a la resiliencia de los sistemas en los cuales se utiliza.

Un ámbito amplio de utilización de la nanobiotecnología es a través de los nanobiosensores en base a componentes biológicos como células, enzimas o anticuerpos. Se ha comprobado que éstos muchas veces presentan una mayor sensibilidad y precisión que sensores de otra naturaleza y por lo tanto pueden ser usados en diagnósticos de enfermedades, pruebas de inocuidad, en el monitoreo de la calidad y la detección de algunas contaminaciones (Mousavi y Rezaei, 2011).

### **c) Agricultura de precisión**

En palabras generales, la agricultura de precisión es una agricultura “a la medida” en un sitio específico. En otros términos, es el uso de las TIC y de la electromecánica en la gestión de las prácticas agrícolas, teniendo en cuenta la variabilidad de los suelos y de las condiciones microclimáticas dentro de las explotaciones agropecuarias. Como lo sostiene Zazueta (2012), es, esencialmente, la gestión de la variabilidad. El objetivo de la agricultura de precisión, entonces, es sacar el máximo margen de utilidad de cada unidad de manejo o lote a través del aumento de la productividad y de la reducción de los costos de producción de cada una de estas unidades.

Así, por lo tanto, la fertilización, el riego, la aplicación de agroquímicos, las dosis de siembra, las fechas de siembra y otras prácticas agrícolas son realizadas con mayor información y precisión. Este tipo de agricultura se ha ido extendiendo en todo el mundo, siendo Estados Unidos, Australia y Argentina los países que más la realizan. Como lo señalan Chartuni et al. (2007), en términos generales, la agricultura de precisión se ha desarrollado a partir de la convergencia de tres ingenierías:

las ingenierías de sistemas y telecomunicaciones, las ingenierías electromecánicas, y la ingeniería agronómica-ambiental. Más específicamente, tal agricultura ha sido impulsada principalmente por las siguientes tecnologías: a) sistema de posicionamiento global; b) sistema de información geográfica; c) percepción remota; d) tecnologías de dosis variables; y e) análisis de datos georreferenciales (Instituto interamericano de Cooperación para la Agricultura, IICA, 2006).

En los próximos años, la agricultura de precisión irá incorporando nuevas innovaciones producto de los progresos de las tres ingenierías señaladas anteriormente y de las convergencias entre ellas. Así, con toda seguridad se podrá constatar una agricultura de precisión que utiliza crecientemente más información en tiempo real gracias al desarrollo de sensores de distinto tipo y una agricultura de precisión que permite la gestión a más fina escala, cada vez más próxima a la gestión planta a planta (Hassall, 2010). Adicionalmente, existen dos ámbitos en que los avances de la agricultura de precisión serán fortalecidos: la trazabilidad de los productos y procesos y la diferenciación por calidad al momento de la cosecha de los productos agrícolas (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, INTA-Argentina, 2012). Ambos temas son muy centrales en el posicionamiento y el desarrollo de la nueva agricultura.

Desde una perspectiva más específica, Hassall (2010) proyecta para los próximos años algunos avances que profundizarán la agricultura de precisión: el mejoramiento de la exactitud y robustez de la navegación satelital; una mayor automatización y robotización; un mejoramiento del desempeño de las bombas de aspersión; la aplicación creciente de las tecnologías de transmisión inalámbrica de datos; la intensificación de la telemetría; y la estandarización de los distintos equipos e información de agricultura de precisión. Por su parte, el INTA de Argentina (2012) señala, entre otros avances, la disponibilidad de más y mejores maquinarias intensivas en electrónica e informática, las que serán más automatizadas, sensorizadas, autoguiadas, autorregulables, con mayor desarrollo de comunicación, con transferencia de datos en tiempo real y menos complejas en su manejo.

## 5. Consideraciones finales

Sumadas a las innovaciones señaladas en el párrafo anterior, la utilización creciente de las aplicaciones nanotecnológicas y nanobiotecnológicas abrirán significativas oportunidades para el fortalecimiento y transformación de la agricultura de precisión, al punto que será posible hablar de una “agricultura de precisión 2.0” o “agricultura de precisión de segunda generación”. Así, entonces, a las tres ingenierías que han sido la base de la agricultura de precisión de primera generación se incorporará la ingeniería molecular, y la responsabilidad seguirá siendo un criterio ético indispensable a tener en cuenta.

## C. El uso actual y potencial de las tecnologías de información y comunicación en las cadenas agroalimentarias<sup>8</sup>

¿Qué relaciones existen entre agricultura y tecnología, dos de las actividades económicas más pujantes de la vida moderna, y el fenómeno conocido como “cambio climático”?

### 1. La agricultura y los cambios en el clima

Desde siempre el hombre estuvo sujeto y pendiente del clima y de sus variaciones, pero es a partir del desarrollo de la agricultura durante el Neolítico que el hombre comienza a proveerse de alimentos por vía del cultivo de plantas y la cría de animales y su preocupación se extiende a los efectos del clima sobre dichas actividades. Éstas necesitaban nuevas destrezas y conocimientos en materia de observación de los fenómenos ambientales, en la detección y registro de sus regularidades (patrones) así como de sus

---

<sup>8</sup> Texto preparado por Marcelo Bosch, Coordinador de Áreas Emergentes y Transversales en la Coordinación Nacional de Investigación y Desarrollo del INTA.

variaciones (particularidades), lo que a su turno permitiera realizar predicciones y, en definitiva, ajustar las estrategias para adaptarse o bien para migrar a otras regiones.

Poco ha cambiado desde entonces en cuanto a la problemática de la relación del hombre con la agricultura y de ésta con el clima y el ambiente, aunque una de las novedades evolutivas es que se ha desarrollado una inmensa capacidad de observar y detectar patrones climáticos incluso a escala planetaria. Esto gracias a la invención y aplicación de un conjunto de tecnologías de un amplio espectro que va desde las aeroespaciales hasta las Tecnologías de Información y Comunicación (TIC), sumado al progresivo avance de las ciencias naturales, en particular las denominadas “ciencias de la tierra” y “ciencias del espacio”. Lo mismo puede decirse del conocimiento biológico básico y de las ingenierías asociadas, en particular la capacidad de complementar la diversidad genética natural con aquella inducida artificialmente.

No obstante, a pesar de la monstruosa acumulación de datos e información climática, no se ha avanzado tanto en materia de capacidad predictiva de mediano y largo plazo por distintas razones, entre ellas, la falta de información histórica confiable, la baja densidad planetaria de observaciones y el estado actual de las ciencias atmosféricas. Así mismo, el impacto de la civilización industrial del último siglo ha inserto una variable antropogénica que altera significativamente el patrón atmosférico natural, y de una manera inédita (no hay antecedentes). Por último, el aumento de la población humana, la delimitación de fronteras, la propiedad de la tierra y la organización política marcan la imposibilidad de migración de las poblaciones en la búsqueda de mejores condiciones de vida, de manera que uno de los recursos adaptativos naturales más importantes para toda especie biológica, le está prácticamente vedado a la humanidad (y a muchas otras especies migratorias también).

El balance histórico en este sentido pareciera resumirse en lo siguiente:

- El ser humano ha alterado el clima del planeta, aunque no se tiene seguridad sobre la magnitud de la alteración ni mucho menos de todos los impactos que implica.
- La civilización moderna está basada en un patrón de producción-consumo insostenible tanto en materia de obtención de recursos como de destrucción del medio ambiente y la biosfera.
- No hay criterios globalmente consensuados acerca de cómo revertir eficazmente las causas sociales, económicas, políticas y culturales que le dieron origen histórico a esta situación.
- Desde el punto de vista tecnológico, los países hacen esfuerzos por hallar soluciones al cambio climático, en dos aspectos que se han denominado “mitigación” y “adaptación”.
- En este marco global se inscribe la temática o problemática de la producción sostenible de alimentos, centrándose la preocupación en temas como:
  - Eficiencia en el uso de recursos (energía, fertilizantes, agua, etc.);
  - Huellas (de carbono, de agua, ambiental, etc.) e impacto ambiental;
  - Adaptación a las nuevas condiciones climáticas y medio-ambientales;
  - Modificación de hábitos alimentarios y seguridad alimentaria.

Puesto en perspectiva, las ciencias e ingenierías relacionadas con la agricultura y la producción de alimentos siempre han estado preocupadas por estos temas, aunque sin duda en diferentes grados según épocas y regiones. Los agrónomos se han entrenado para producir cultivos mediante un balance “óptimo” entre rendimiento y otras variables como la utilización de insumos, la conservación del suelo, el costo total y el riesgo, por nombrar algunas.

No se puede decir lo mismo de la política y la actividad comercial, que, tradicionalmente movilizadas por intereses de “maximización” (de ganancias o rentas) y de corto plazo, han explotado el planeta con criterio minero. Por ejemplo, cualquier agrónomo y agricultor experimentado sabe que la rotación de cultivos y la alternancia con la ganadería son mejores para la salud del suelo que el

monocultivo de cualquier especie. No es la falta de conocimiento la que conduce a esa práctica agronómica indeseable, sino la emergencia cíclica de cultivos-negocios de alta rentabilidad diferencial.

## 2. El surgimiento de las TIC

Dicho esto, podemos pasar al análisis de la relación entre el fenómeno de la emergencia de las TIC en la actividad agropecuaria. Se habla de la “revolución” de las TIC, de la “era de la información”, de la sociedad del conocimiento, de la “era de Internet”, de las redes sociales como el fenómeno social más significativo de este siglo, y de tantas otras metáforas. El hecho es que las Tecnologías de Información y Comunicación, han potenciado un subconjunto de actividades humanas tales como: recopilación de datos, procesamiento de los mismos en volúmenes y a velocidades impensados, almacenamiento de información, accesibilidad y comunicación global e instantánea. Todo ello, por supuesto, ha contribuido a acelerar la generación de conocimiento a escala global.

Pero de ninguna manera se está cumpliendo la profecía de Negroponte y continúan construyéndose las casas con ladrillos y, ciertamente, la alimentación sigue siendo con fibras, proteínas, carbohidratos y grasas; más aún, los desperdicios derivados de ello no se acumulan en discos rígidos sino en basurales. La “virtualidad” sólo altera algunos de los modos de relacionamiento social y las formas en que las sociedades intentan generar conocimiento y producir bienes culturales.

La información ayuda a tomar decisiones estratégicas, tal es así que durante mucho tiempo se decía que “información es poder”. Las TIC intervienen en la fase de antecedentes y en la automatización, cuando se trata de procesos “reglados”. Sin embargo, las TIC poco pueden hacer en el acto mismo de la toma de decisiones de más alto nivel (individuales y sociales), ni tampoco para otorgar el carácter “estratégico” a la información; mucho menos para asegurar que la decisión sea la correcta. Todas ellas son actividades netamente humanas, no regladas y guiadas por valores. Piénsese, por ejemplo, en la decisión de voto, de elección de una pareja o de un socio o de un modelo socio-económico. Lo mismo sucede con un diagnóstico médico, el cual puede ser erróneo a pesar de la creciente cantidad de indicadores utilizados y la sofisticación de los instrumentales.

### *Entonces ¿Para qué sirven las TIC?*

En primer lugar, son auxiliares cognitivos de primer orden. Ayudan a conocer mejor los recursos de que disponemos y su evolución, por ejemplo, suelos, aire y aguas, a escala micro, a escala media (cuencas) o globalmente (región, planeta). Así, los sensores amplían la percepción que tiene el ser humano; las computadoras, la capacidad de cómputo; los centros de datos, la capacidad de memorizar y la conectividad, la capacidad de interacción. En suma, todo ello incrementa la capacidad potencial colectiva de generar conocimiento.

En segundo lugar, y en base a lo anterior, son auxiliares en la toma de decisiones, las cuales se complejizan cada vez más a medida que las variables en juego aumentan, los objetivos se multiplican y las dimensiones de análisis se entrecruzan. En esta etapa se conjugan las TIC con las demás ciencias naturales, sociales y formales (lógico-matemáticas), puesto que el procesamiento de datos sólo cobra sentido en un marco teórico determinado. En otras palabras, una acertada toma de decisiones dependerá de la combinación de la información disponible, del estado del arte de las ciencias y tecnologías involucradas, de los recursos disponibles, de los objetivos perseguidos y de la cuota de incertidumbre que abre paso a la subjetividad y a la creatividad.

En tercer lugar son auxiliares para la acción y el control. Por ejemplo: algunas tareas requieren cierto grado de precisión y dependen de cálculos complejos o de flujos de información en tiempo real que superan la capacidad humana. Por ello, sólo pueden llevarse a cabo en las condiciones requeridas, si son automatizadas y dotadas de mecanismos de control (interno y externo). Toda la ingeniería de automatización se basa en esta necesidad.

### 3. Las TIC en la agricultura

El amplio conjunto de ciencias y tecnologías que se agrupan bajo nombres tales como AGROTIC o AGROBOTICA tratan de los tres aspectos mencionados en sus aplicaciones a la agricultura y la producción de alimentos, así como los aspectos asociados de sustentabilidad e impacto ambiental.

Dada la ubicuidad de las TIC y su creciente penetración en el sector agroalimentario, sería interminable una lista de tecnologías, su estado del arte y sus tendencias prospectivas. Solamente se destacan aquí tres aspectos de este cruce disciplinario e ingenieril: a) su carácter evolutivo; b) su potencial impacto en la agricultura; y c) su importancia para la mitigación y adaptación al cambio climático.

El carácter evolutivo de las AGROTIC es una particularidad de un patrón general de avance científico tecnológico que se basa en un sencillo principio epistemológico: el conocimiento tiene un doble carácter individual y social (e histórico). Las revoluciones cognitivas son sólo metafóricas, puesto que no hay ruptura con el pasado ni se tira a la basura todo el conocimiento acumulado. Las pretensiones revolucionarias de las nuevas tecnologías no son más que marketing e hitos que los historiadores de la ciencia y la tecnología plantan en la línea de tiempo para resaltar algunos eventos de interés. En la agricultura, se puede trazar la línea evolutiva de muchas maneras. Por ejemplo, tomando el grado de mecanización desde la tracción a sangre hasta la maquinaria de precisión, el autoguiado o los robots autónomos. Es el carácter evolutivo de la tecnología el que permite hacer predicciones (de corto plazo) y establecer estrategias de anticipación.

El impacto de las AGROTIC en la agricultura es más difícil de establecer y debe diferenciarse según los rubros, las cadenas, los tipos de producción, los actores sociales, y otras categorías. Si bien hay abundante bibliografía, acumulación teórica y experiencia de campo, no hay consenso sobre sus verdaderos impactos (productivos, ambientales y sociales). Aún hay mucho por consensuar e investigar en la materia. Por otra parte, las condiciones económicas, geográficas y las políticas públicas que afectan a los distintos sectores industriales y comerciales son muy diferentes en cada país.

Puede decirse claramente que hay un uso creciente aunque variable de muchas tecnologías: software de gestión, sistemas de información geográfica (SIG), trazabilidad, modelado, automatización y conectividad, entre otras. Muchas de estas tecnologías se imbrican en dispositivos comerciales como por ejemplo, maquinaria de precisión, estaciones meteorológicas automáticas, invernáculos “inteligentes” y robots. Otras, simplemente, hacen posible nuevas formas de comunicación e interacción entre actores rurales, o entre estos y las comunidades urbanas. Pero además, la agricultura se nutre de tecnologías desarrolladas en otros sectores, tales como el militar, aeroespacial, la prospección geológica o la bioingeniería. Se dispone de imágenes satelitales, de cámaras multiespectrales, de aviones no tripulados, de radares meteorológicos, de inteligencia artificial, de redes inalámbricas y más. Sobre todo ello, se desarrollan cada día nuevos contenidos, aplicaciones y servicios.

No obstante, un hecho significativo es el bajo grado de articulación en la I+D en AGROTIC en todo el mundo, con muy pocas excepciones. El carácter de tecnología auxiliar que la I+D agropecuaria tradicionalmente le otorga a las TIC, la mantiene subexpresada en la mayoría de los institutos nacionales de investigación agropecuaria del mundo. El EMBRAPA es la excepción en el continente, y algunos programas del FP7 lo son en el “viejo”.

No se puede establecer un único “estado del arte” de las AGROTIC por su diversidad y complejidad intrínseca, y por el entrecruzamiento con otras tecnologías. Un rápido examen de las revistas científicas y congresos de esta interdisciplina da cuenta de ello. Lo que sí podemos decir es que la agricultura y la vida rural seguirán siendo adoptantes de mucha de la oferta tecnológica que vaya surgiendo, a pesar de que la mayoría esté pensada y diseñada “en” y “para” entornos urbanos.

Para que el impacto de las AGROTIC sea aún mayor y desate la sinergia potencial que todos esperamos, se deberá dar mayor importancia a este sector, tanto desde la órbita pública como de la privada, a la vez que la educación rural prepara a las nuevas generaciones de “nativos digitales rurales” para un uso inteligente y responsable de estas tecnologías.

## **4. Las AGROTIC en la mitigación y adaptación de la agricultura al cambio climático**

En cuanto a la importancia de las AGROTIC para la mitigación y adaptación al cambio climático es posible basar la reflexión en el carácter auxiliar ya comentado. Ayudan a conocer más y mejor los sistemas de producción. En particular, a medir la utilización de recursos y daño ambiental. Este conocimiento está pasando de ser una elección a ser una obligación, de manera que la agricultura pueda exhibir sus credenciales de actividad “amigable” con el medio ambiente, especialmente en su relación con otras actividades humanas tales como el transporte, la producción de energía o de armas. También permite comparar sistemas alternativos (de producción, transporte, almacenamiento, procesamiento, comercialización u otros). La “huella” completa de los alimentos será de creciente interés por parte de consumidores, productores y de todos los actores a lo largo de la cadena. Las TIC son imprescindibles en esta área.

Las TIC ayudan a modelar situaciones complejas, a simular escenarios en contextos de incertidumbre y a planificar estrategias tanto privadas como públicas. También a monitorear variables de muy distinto tipo: climáticas, edafológicas, geológicas, hidrológicas, ambientales, toxicológicas, uso del suelo, estado de bosques y demás ecosistemas. A nivel de finca, no sólo es posible registrar muchas de estas variables, sino que pueden utilizarse en la automatización de prácticas agronómicas tales como el riego, la aplicación de fitosanitarios o labores culturales, hasta la cosecha misma. Los beneficios de hacer más eficientes muchos de estos procesos son dobles: resultan provechosos económicamente para el productor y disminuyen, combinadamente, los recursos utilizados y los desperdicios producidos.

Por último: la importancia de las TIC en el cambio climático surge de sus aportes a otras ciencias y tecnologías, como por ejemplo, las ciencias de materiales y la nanotecnología, así como la biología (en particular la biología molecular) y la biotecnología. Se sabe, por ejemplo, que la secuenciación genómica, así como todo el resto de las “ómicas” no podrían desarrollarse sin la correspondiente capacidad de identificar, registrar, almacenar, conectar y analizar la gigantesca acumulación de información. No es posible la biotecnología moderna sin una bioinformática robusta. La biotecnología es una suerte de esperanza en la capacidad de adaptación a cambios extremos en el clima y sus consecuencias: condiciones de sequía, salinidad, patógenos emergentes, etc. Queda claro el rol de las TIC.

Lo mismo puede decirse de la nanotecnología, y la química computacional. En otras palabras, las TIC, aunque indirectamente están potenciando algunos de los procesos de descubrimiento y de ingeniería más avanzados de la actualidad.

## **5. Un comentario final**

Para finalizar, quedan en suspenso los resultados a largo plazo de la aplicación de todos los conocimientos, de todos los dispositivos y de todas las estrategias que seamos capaces de diseñar. Esos resultados ya no dependerán del portafolio tecnológico de la humanidad, sino de la capacidad colectiva de auto-organización planetaria para evitar el colapso ambiental.

## **D. El uso actual y potencial de la nanotecnología en el sector agroalimentario: perspectiva desde EMBRAPA<sup>9</sup>**

### **1. La nanotecnología en la agricultura**

Las ganancias en competitividad en el sector agroalimentario han sido constantes en las últimas décadas, debido a la incorporación de nuevas tecnologías. De hecho, el aumento de la productividad se puede mantener solamente a través de la incorporación continua de conocimiento. Por lo tanto, as nuevas

---

<sup>9</sup> Traducción del texto proporcionado, en base a su presentación, por Cauê Ribeiro, Investigador en EMBRAPA, Brasil.



demandas, como las relacionadas con la seguridad alimentaria y la producción sustentable, necesitan de la incorporación de nuevas tecnologías.

Entre los llamados temas de punta, la nanotecnología se establece como un conjunto de conocimientos altamente interdisciplinarios que tiene impacto en varias ramas industriales, así como en el área agrícola. Algunos de los principales ámbitos de aplicación en la agricultura y agroindustria incluyen la certificación de la calidad de productos agrícolas, el desarrollo de la agroenergía, el monitoreo ambiental, los nuevos usos de productos agropecuarios, la trazabilidad, la industria de insumos (fertilizantes, pesticidas), las innovaciones en medicamentos de uso veterinario, y en la conservación de alimentos. De hecho, diversos sectores vinculados a la agroindustria ya son impactados por los avances de la nanotecnología, un área portadora del futuro que tiene potencial determinante para estas necesidades.

## **2. La nanotecnología en EMBRAPA**

Para potenciar el desarrollo de la nanotecnología en la agricultura brasileña se creó en 2006 dentro de Embrapa la Red de Nanotecnología Aplicada al Agronegocio (Red AgroNano), como una propuesta innovadora para integrar los desarrollos existentes en esta área para el desarrollo de los agronegocios y de moldear un nuevo conjunto de investigación enfocado en problemas agrícolas identificados. Ello implicó una articulación inter-disciplinar, involucrando ingenieros, físicos, químicos, agrónomos, biólogos, veterinarios, entre otras disciplinas. La red cumplió con éxito su primera fase en 2010, contribuyendo las bases para el conocimiento científico y la incorporación de las nanotecnologías en las actividades de Embrapa y consiguió agregar un número significativo de socios de elevada competencia.

La segunda fase (2011-2015), además de los desafíos originales, busca el desarrollo de nuevos temas, tales como la evaluación del impacto de las nanotecnologías aplicadas al agro-negocio y el mapeo y construcción de modelos de transferencia tecnológica para el sector productivo específicos para la nanotecnología, que consideran las particularidades que plantean tecnologías disruptivas como es el caso de esta área.

Esas actividades, sumadas al intenso trabajo técnico desarrollado en la primera fase, en áreas como sensores y biosensores para el monitoreo de alimentos, suelos y aguas; filmes finos y membranas comestibles; bio-polímeros, nano-partículas de origen natural, embases inteligentes para alimentos, nuevos materiales sintéticos aplicados al agro-negocio, sistemas de liberación controlada, entre otros, han permitido la consolidación de un grupo de más de 150 investigadores brasileños haciendo ciencia y tecnología de calidad y contextualizada a las necesidades brasileñas. De ese grupo de cerca de 70 son investigadores de Embrapa y 80 investigadores de instituciones socias (universidades e institutos de pesquisa).

## **3. Ejemplos de desarrollos nanotecnológicos en EMBRAPA**

A continuación se presentan varios ejemplos que ilustran la extensión y la posibilidad de impacto de la nanotecnología en la agricultura, a partir de iniciativas desarrolladas por Embrapa.

### **a) Sensores nanoestructurados**

EMBRAPA desarrolló un sistema de sensores nanoestructurados (lenguaje electrónico) para aplicaciones específicas en jugos de frutas, café y leche. Este sistema se continúa mejorando, buscando nuevas aplicaciones, tales como el mejoramiento de la calidad de los granos de soja.

También se han desarrollado métodos voltamétricos, utilizando superficies modificadas con polímeros conductores nanoestructurados, para la detección de toxinas vegetales, como la ricina, o bien utilizándose como técnica para la detección de rutina y cisteína en granos de soja. Biosensores también

han sido estudiados, basados en nanocompuestos poliméricos, para la detección de glucosa y pesticidas organofosfatados, o bien como efecto inhibitorio de derivados hidrosolubles de quitosana<sup>10</sup>.

#### **b) Nanopartículas de quitosana**

Las nanopartículas de quitosana, que se aplican en capas o láminas comestibles, han sido sintetizadas a través de la polimerización de ácido metacrílico y solución de quitosana, y de gelatinización iónica de quitosana con tripolifosfato de sodio. Se obtuvieron láminas comestibles de hidroxipropil metilcelulosa (HPMC) con contenido de nanopartículas y trimetilquitosanas, y láminas con estructura controlada de quitosana, carboximetilcelulosa, gomas y zeínas fueron producidas a través del método de disolución en solvente y evaporación. También Ya han sido probadas diferentes formulaciones de láminas comestibles para el revestimiento de productos como caqui, mango Tommy Atkins, nuez de Macadamia, manzana, guayaba y pera<sup>11</sup>.

#### **c) Nanofibras**

Estudios de desarrollo de nuevos usos de productos agropecuarios se han convertido en un gran foco para la valoración de productos agrícolas. Nanofibras de celulosa fueron extraídas a través de hidrólisis ácida de fibras vegetales. La extracción y caracterización de nanofibras de celulosa a partir de diferentes fuentes —como algodón, rastrojo de maíz, coco y sisal—, así como la extracción nanofibras proveniente de la cáscara de arroz, fue realizada para diferentes usos, pero principalmente para la elaboración de nanocompuestos con características diferenciadas<sup>12</sup>.

#### **d) Hidrogeles**

Hidrogeles constituidos por poliacrilamida (PAAm) y metilcelulosa (MC) fueron utilizados en estudios de absorción de pesticidas y presentaron buenos resultados, incluso para el uso en sistemas de liberación controlada de pesticidas. De la misma forma, se condujeron estudios de liberación controlada de fertilizantes del grupo NPK.

Para el tratamiento de aguas contaminadas, se han estudiado nanopartículas de TiO<sub>2</sub> y ZnO, como foto oxidantes de varios contaminantes, incluyendo pesticidas y colorantes industriales. Se están realizando pruebas de inmovilización de nanopartículas, especialmente TiO<sub>2</sub>, en láminas finas y en sílica mesoporosa, para su aplicación en dispositivos. Los experimentos han permitido la caracterización de sistemas inmovilizados en forma de láminas y otras nanoestructuras, tales como las nanofibras electrohiladas con asociación de PVA<sup>13</sup>.

### **4. Comentario final**

Con esta diversidad de resultados, es posible considerar como beneficiarios potenciales de estas nuevas tecnologías a varios agentes del sector industrial vinculados a la agricultura, como por ejemplo la producción de insumos agrícolas, el procesamiento de alimentos, el desarrollo de envases y embalajes, la elaboración de nuevos materiales y la industria de sensores. De hecho, la sociedad completa puede

---

<sup>10</sup> Estos resultados son discutidos en detalle en los trabajos de: Alcantara et al. (2011a; 2011b), Cavallari et al. (2011), Correa et al. (2011), Da Silva et al. (2011), De Boni et al. (2011), Furtado et al. (2011), Galão et al. (2011), Gonçalves et al. (2011), Herrmann Junior (2011), Mizoguchi et al. (2011), Paulovich et al. (2011a; 2011b), Santos et al. (2011a; 2011b), Silva et al. (2011), Soares et al. (2011), Volpati et al. (2011) y Zanchin et al. (2011).

<sup>11</sup> Estos resultados son discutidos en detalle en los trabajos de: Assis y Britto (2011), Barbosa et al. (2011), Bemquerer et al. (2012), Britto et al. (2011a; 2011b; 2011c), Colzato et al. (2011), Farias et al. (2011), Jorge et al. (2011), Oliveira et al. (2011a; 2011b), Scramin et al. (2011), y Viana et al. (2011).

<sup>12</sup> Estos resultados son discutidos en detalle en los trabajos de: Aouada et al. (2011a; 2011b; 2011c), Araújo et al. (2011), Auad et al. (2011a; 2011b), Campos et al. (2011a; 2011b; 2011c), Cao et al. (2011), Corradini et al. (2011), De Moura et al. (2011b; 2011c), Galiani et al. (2011), Magalhães et al. (2011), Martins et al. (2011), Mattos et al. (2011), Moraes et al. (2011), Oliveira et al. (2011c; 2011d), Nascimento et al. (2011), Pereira et al. (2011), Pessoa et al. (2011), Teixeira et al. (2011a; 2011b).

<sup>13</sup> Estos resultados son discutidos en detalle en las publicaciones de: Avansi et al. (2011a; 2011b), Brandao et al. (2011), De Melo et al. (2011), Giraldo et al. (2011), Grillo et al. (2011), Lobo et al. (2011), Mendonça and Ribeiro (2011), Morales et al. (2011), Mourão et al. (2011), Soares et al. (2011), Souza et al. (2011).

considerarse como beneficiaria del conocimiento generado y de los impactos asociados, así como de las ganancias en productividad.

## **E. Agricultura de precisión en la fruticultura en Chile: situación actual y perspectivas<sup>14</sup>**

En el sector frutícola dos requisitos fundamentales para la competitividad son el incremento de la calidad, en general, y la estabilidad de la calidad de los productos frutícolas, en particular. Ello ha motivado la generación de modernos sistemas de selección de calidad en la línea de proceso (fruta y vino), con un gran desarrollo en el uso de sistemas de control de calidad (ISO9001, HACCP), así como también en el uso de modernos equipos de evaluación en la industria. Por otra parte, aunque los avances tecnológicos en los procesos de post-cosecha y empaque han experimentado grandes avances, en última instancia la calidad del producto está dada por el trabajo en el campo. En ese sentido, la gran heterogeneidad existente, producto de la variabilidad en las condiciones edafo-climáticas, puede provocar grandes costos y mermas de la calidad.

La gestión de la calidad en el campo requiere de procesos de evaluación que generalmente son caros, pues se deben abarcar grandes extensiones y las áreas productivas se encuentran dentro de variaciones de topografía, textura y profundidad de suelos, drenaje y fertilidad, entre muchos otros factores. La interacción entre esos elementos puede generar problemas de desarrollo de las plantas y, por ende, en la producción. Con el manejo estandarizado del campo estas variabilidades naturales del suelo se manifiestan en las diferencias de vigor, calidad y rendimiento.

Para abordar dicha problemática, las empresas frutícolas, en conjunto con el sector de I&D agrícola han tratado de identificar variaciones espacio-temporales con metodologías muy complejas y de alto costo, y aunque se han obtenidos buenos resultados, por lo engorroso de los procedimientos y el tiempo requerido para obtenerlos, estas metodologías finalmente no han tenido la penetración que se esperaba.

Los avances computacionales y en instrumentación electrónica han permitido desarrollar nuevas tecnologías que son normalmente aplicadas en países desarrollados, en donde sus niveles de penetración son elevados. El eje principal de esta inserción y adopción ha sido el logro de la automatización de procesos en el uso e interpretación del equipamiento asociado a “maquinaria agrícola inteligentes”. En el sector hortofrutícola la penetración de estas tecnologías está limitada por la mayor complejidad de los cultivos (sistemas perennes de producción).

Con el objetivo de incrementar el uso de esas tecnologías el Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias (INIA) de Chile ha desarrollado el Programa de Difusión de Agricultura de Precisión (PROGAP), una tecnología que permite optimizar la calidad y cantidad de un producto agrícola, minimizando el costo a través del uso de tecnologías eficientes para reducir la variabilidad de un proceso específico, de forma amigable con el medio ambiente. La agricultura de precisión permite también optimizar la cantidad de agroquímicos aplicados en suelos y cultivos, con la consecuente reducción de los costos de producción y de la contaminación ambiental, permitiendo una mejoría de las cosechas. Este método ha sido aplicado con éxito en varios países del mundo, como Estados Unidos, Canadá, Argentina, Australia, Brasil y México. Su adopción en países en vías de desarrollo es más difícil por el alto costo de inversión que involucran y el tamaño promedio de las explotaciones agrícolas, menor que en otros países (FIA, 2008).

La agricultura de precisión permite una mejor comprensión, seguimiento y control de los procesos en todas las escalas espaciales y temporales existentes a través de una aproximación multidisciplinaria. La segmentación de zonas homogéneas, monitoreo a través de sensores, control de siembra, dosificación

---

<sup>14</sup> Preparado en base a documento y presentación del Dr. Stanley Best, Director Nacional de Agricultura de Precisión, INIA Chile.

variable, modelación de rendimientos, uso de imágenes satelitales, percepción remota, pronósticos y envío de información a teléfonos móviles son otros ejemplos de sistemas automatizados y eficientes para la gestión en la agricultura.

La entrada masiva de *smartphones* en el mercado en Chile posibilita otros usos e interacciones. Por ejemplo, i) pueden utilizarse como controladores en tiempo real de equipos agrícolas; ii) permiten la conectividad entre información especial en servidor con el campo, para una evaluación fácil y dinámica; y iii) permiten capturar información directamente en el campo y otorgan rapidez en la interacción entre varios usuarios, maximizando el tiempo para la toma de decisiones, por ejemplo, a través de la distribución de alertas meteorológicas o de índices automatizados.

El desarrollo y adopción de prácticas de agricultura de precisión se divide usualmente en tres etapas: i) recolección de datos (de cultivo, de suelo, mapas de producción); ii) procesamiento e interpretación de la información (análisis); y iii) aplicación de insumos (manejo variable). En base a ello se define un ciclo de prácticas orientado a sustituir las recomendaciones habituales de insumos y medidas en función de valores promedio, por unas más precisas con manejo localizado, considerando las variaciones de rendimientos en toda el área. Esta medida permite un mejor uso de los insumos al aplicar en el terreno solo la cantidad de semillas, nutrientes y/o agua requerida, y realiza un control de malezas, plagas y enfermedades únicamente en donde se requiere dicho control

La experiencia del INIA y de sus colaboradores internacionales en este programa, en el trabajo directo con empresas, permite concluir que la posibilidad más viable de introducción tecnológica debe cumplir con dos requisitos primordiales: i) el desarrollo de un sistema de bajo costo, y ii) su utilización debe ser altamente amigable, debido al bajo nivel de conocimiento tecnológico de los usuarios finales.



### III. Sistemas de información para la gestión ambiental de la agricultura

---

#### A. Introducción

Desde los primeros informes del IPCC, se ha destacado la relevancia de contar con información para tomar decisiones en la adaptación y mitigación del cambio climático. Así, uno de los principales escollos para enfrentar apropiadamente el cambio del clima en los países en desarrollo ha sido, precisamente, contar con datos fidedignos de observaciones meteorológicas en períodos comparables de años, que indiquen efectivamente si hay cambios en los patrones del clima, cuáles son las tendencias de cambio y que permitan realizar proyecciones de mediano plazo para tomar decisiones apropiadas.

Dinshaw *et al.* (2012), refiriéndose a la información para la adaptación al cambio climático, diagnostican las siguientes barreras para el uso apropiado de la información: i) fallas en la integración de varios tipos de información en la investigación y producción de información; ii) escasez de datos (ambientales, climáticos y sociales); iii) el proceso para la producción de información es comúnmente *top-down* y en base a la oferta; y iv) un bajo valor asignado a nueva información ya que las decisiones no se basan exclusivamente en ella. Aunque el análisis de los autores se basa en el sur de Asia, hay muchas similitudes aplicables a América Latina y el Caribe.

Tan sólo en cobertura de información hidrometeorológica, por ejemplo, la región presenta diferencias notables, que se acentúan entre países y entre territorios de un mismo país.

Para abordar apropiadamente la complejidad del cambio climático se requiere no sólo de datos de clima, sino también de información biofísica y socioeconómica (edafológica, recursos hídricos, biodiversidad, infraestructura productiva, tipo de manejo, institucionalidad, niveles de vulnerabilidad de los agricultores, entre otros). En la intersección de la agricultura y el cambio climático, coexisten herramientas y opciones de análisis que necesitan ser probadas e integradas, dada la complejidad de los sistemas de producción y la necesidad de reducir la brecha entre escalas globales y locales.

La información meteorológica en los países de América Latina y El Caribe es generada por diversos actores, incluyendo los institutos de investigación, la academia y centros de investigación,

empresas proveedoras de servicios, y algunas agrupaciones de productores y gremios importantes. En muchos casos, la oferta de información está definida por los intereses de los investigadores y las instituciones que generan los datos, los cuales pueden no ser siempre útiles para los agricultores, o bien pueden ser de difícil acceso y comprensión por parte de los mismos (Dinshaw *et al.*, 2012).

Las nuevas tecnologías de información han permitido ampliar la difusión de información a un mayor número de usuarios; sin embargo, las brechas de uso todavía son muy importantes. Junto con reducir las brechas de uso, la adaptación y la mitigación del cambio climático y la agricultura hacen necesario mejorar los sistemas de producción, administración y divulgación de información para la gestión ambiental, sobre todo en los niveles regional y de finca. El desafío del sector agrícola es un cambio cultural que permita la difusión oportuna de información y de conocimiento apropiados a los productores, quienes son los que finalmente toman las decisiones que llevan a la implantación de los ajustes necesarios frente al cambio climático.

En esta sección se presentan tres ejemplos de sistemas de información para la toma de decisiones orientadas a la gestión ambiental en la agricultura. Estos sistemas ilustran la importancia de trabajar asociativamente en un contexto de la adaptación al cambio climático.

Los sistemas desarrollados en México y Chile constituyen ejemplos de trabajo colaborativo entre instituciones públicas y privadas para la generación de información agro-meteorológica. En ambos casos hay una gran simbiosis entre los agricultores y sus asociaciones y los institutos públicos de investigación agrícola para identificar las necesidades de información y la mejor forma de proveer esta. La experiencia de Colombia se refiere a un consorcio de instituciones que trabajan en temas de cambio climático y que comparten información, haciendo así un mejor uso de sus recursos y el logro de objetivos compartidos.

## **B. Red Nacional de Estaciones Estatales Agroclimatológicas: el rol de las Fundaciones Produce<sup>15</sup>**

Al aumentar la cantidad de catástrofes naturales también ha crecido el costo de los mismos. En México se están registrando modificaciones del patrón lluvioso; el ciclo otoño-invierno de 2010-2011 fue una de las peores sequías del último tiempo, que afectó a 800 mil hectáreas de cultivo. La sequía del 2011 tuvo como consecuencia 2,56 millones de hectáreas siniestradas, una pérdida de producción de seis millones de toneladas de granos y las presas y reservorios llegaron al 18% de su capacidad. Fue un evento inusualmente extremo, con un período de retorno superior a 100 años. También se registra una disminución en la acumulación de frío para la producción de manzana en el norte, como evidencia de inviernos más cálidos. Por otra parte, en febrero de 2011 se registró un record histórico de bajas temperaturas en Sinaloa, aumentando la exposición a heladas en dicha zona. Heladas tempranas del 2011 en Hidalgo, Tlaxcala, Puebla y Estado de México afectaron a 350 mil hectáreas agrícolas.

Las recomendaciones del IPCC para afrontar el cambio climático destacan la importancia de los sistemas de alerta temprana, tecnologías para el manejo del agua, mejoramiento y conservación de los recursos naturales, así como innovaciones institucionales, dentro de las cuales se mencionan el uso de seguros agropecuarios y apertura del crédito al campo.

### **1. Red de estaciones agroclimáticas**

La Red Nacional de Estaciones Agroclimáticas (INIFAP, COFUPRO, SAGARPA) nació el año 2000 con 10 equipos; actualmente cuenta con 825 estaciones. La inversión aproximada requerida ha sido superior a los 80 millones de pesos mexicanos. El objetivo de esta red es brindar información para la agricultura, por lo cual su ubicación se ha definido en torno a dichas áreas. Los sensores de las

---

<sup>15</sup> Texto preparado a partir de la presentación de Mario Tiscareño, Fundaciones Produce, A.C., México.

estaciones registran en tiempo real información sobre precipitación, temperatura, humedad relativa, radiación solar, viento (velocidad y dirección) y humedad del suelo. De ello se derivan datos tales como evapotranspiración, presión barométrica, punto de rocío, unidades calor y horas frío.

Para acceder a la información en tiempo real, 365 días al año, las 24 horas del día, se debe ingresar al sitio web <http://clima.inifap.gob.mx/redclima/>, en el cual se despliega una pantalla como la siguiente:

**GRÁFICO 1**  
**VISUALIZACIÓN DE SITIO WEB DE LA RED NACIONAL DE ESTACIONES AGROCLIMÁTICAS**

The screenshot shows the website interface for the National Agroclimatic Stations Network. At the top, there are logos for SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación), COFUPRO (Comisión Federal de Protección de Vegetación y del Suelo), and INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias). Below the logos is a navigation menu with sections: Herramientas, Aplicaciones, Pronósticos de clima, and Red Nacional de clima. The 'Herramientas' section contains a search bar with options to search by 'Nombre', 'Estado', or 'Coord.', a search button, and a 'Restaurar Estaciones' button. The 'Aplicaciones' section has checkboxes for 'Variables Agroclimáticas', 'Temáticas', and 'Aplicaciones por Estado'. The 'Pronósticos de clima' section offers options for 'Imagen de Satélite', 'Pronóstico Diario', 'Pronóstico Diario WRF', and 'Pronóstico Estacional', with a dropdown menu for 'Heladas' and a 'Cargar' button. The 'Red Nacional de clima' section includes 'Directorio' and 'Monitoreo'. The main content area is a map of Mexico with 36 numbered green circular markers representing the locations of the stations. The map includes labels for major cities and states in Mexico and neighboring countries like the USA and Central America. At the bottom of the map, there is a Google logo and a small text line: 'Map data ©2013 Google, INEGI, MapLink Imagery ©2013 TemaMetrics - Terms of Use'. Below the map, there is a small text line: 'Km. 32.5 Carretera Aguascalientes-Zacatecas, Pabellón de Arteaga, Ags. C.P.20660 Teléfono: (52) 465-9580161'.

Fuente: Presentación de Mario Tiscareño, y sitio web: <http://clima.inifap.gob.mx/redinifap/estaciones.aspx>.

Al seleccionar un punto o estación es posible acceder a información medida durante la última lectura (día y hora) sobre: i) valores promedio de temperatura, humedad relativa, velocidad y dirección del viento; ii) valores máximos y mínimos de temperatura y de velocidad del viento; y iii) radiación global máxima.

El sistema permite la visualización de datos estadísticos para el día anterior y para los últimos ocho días sobre precipitación acumulada, temperatura —mínima, media y máxima—, promedio de humedad relativa y promedio de velocidad y dirección del viento. Además, se ofrece información de precipitación mensual para el último año sobre acumulación, promedio histórico, histórico acumulado, y anomalía mensual y anual (en porcentaje). El envío de datos a los usuarios se realiza de forma automatizada, diariamente, a través de correos electrónicos.



El rol de las Fundaciones PRODUCE en este ámbito contempla acciones como las siguientes:

- proporcionan el mantenimiento y operación de las redes;
- reponen equipos dañados u obsoletos;
- capacitan al personal técnico;
- buscan apoyo económico de los gobiernos estatales,
- atienden demandas de información de distintos usuarios (gobiernos estatales, productores, el seguro agropecuario).

La red de estaciones meteorológicas a escala nacional contempla más de 5.500 estaciones confiables y de alta calidad, con información de series completas de datos meteorológicos, georreferenciadas, verificadas y clasificadas por antigüedad. Alrededor de 3.500 de estas estaciones reportan al *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) datos de precipitación y temperaturas mínimas cada día.

## 2. Tecnologías para la alerta temprana

Para alimentar el sistema de alerta temprana se utilizan modelos de clima, de cultivo, análisis probabilístico y SIG. Los pronósticos se realizan a escala estatal-municipal, en variables como precipitación esperada, pronóstico de heladas y pronóstico de cosechas.

Para elaborar pronósticos de cosecha se utiliza información de suelos, clima, paquetes tecnológicos y estadísticas oficiales, la cual es procesada utilizando SIG, que a través de modelos otorgan como archivos de entrada información de clima, suelos<sup>16</sup>, manejo, cultivos, localidades, hidrología y procesos. Dichos archivos son calibrados utilizando las bases de datos de INEGI, que otorga finalmente información de granos, biomasa, erosión y otras variables.

## 3. Innovaciones institucionales

Además del trabajo realizado con los sistemas de alerta temprana, existen innovaciones institucionales interesantes para la adaptación al cambio climático y la gestión de riesgos, tales como el seguro agropecuario, el seguro catastrófico y el seguro agrícola básico.

El seguro catastrófico inició en 2003 y consiste en un apoyo económico para atender a productores de bajos ingresos ante desastres agrícolas debidos a eventos climatológicos de gran extensión. Existe un subsidio federal a la prima del seguro de un 75-90%. Actualmente, 49% del seguro agrícola está en manos de aseguradores privados. Al año 2011 el seguro tenía cobertura en los estados de Chihuahua, Durango, Zacatecas, Aguascalientes, Tamaulipas, Veracruz, Hidalgo, Puebla, Colima, Campeche, Yucatán, Quintana Roo, Chiapas, Sinaloa, Guanajuato, Guerrero, Jalisco y Morelos.

El seguro agrícola básico tiene como fin reincorporar a las actividades productivas a los productores comerciales que fueron afectados por eventos climatológicos extremos y que enfrentan un crédito con la banca. Dentro de sus características se encuentran:

- todos los préstamos agrícolas contratados con la banca deben contar con un seguro de cultivo;
- restituye las inversiones realizadas con recursos propios;
- subsidia la prima del seguro entre un 75% y un 90%;

---

<sup>16</sup> La base de datos de suelos tienen información de más de 20,000 sitios con muestras de suelo. Cada muestra posee un código de identificación, y se registra ubicación en latitud-longitud, textura, profundidad, análisis químico, materia orgánica, humedad residual y densidad aparente. A partir de estos parámetros, se calculan, entre otros, la capacidad de campo, el punto de marchitez permanente y la conductividad hidráulica.

- permite acceder a otros apoyos,
- la expectativa de crecimiento es de 4,5 millones de hectáreas en los próximos tres años.

#### **4. Comentarios finales**

El cambio climático está obligando a la agricultura mexicana a tomar medidas de adaptación que le permitan al productor hacerle frente a eventos de orden catastrófico. Esto incluye la utilización de tecnologías de la información e instrumentos financieros que protejan las inversiones de los productores.

Actualmente se produce un cúmulo importante de información, pero su aplicación por parte de los productores es limitada. Urgen acciones de capacitación y capitalización de los pequeños productores.

### **C. La red meteorológica *Agroclima.cl*: un ejemplo de sistema de información para la gestión agrícola<sup>17</sup>**

La Fundación para el Desarrollo Frutícola (FDF) es una institución tecnológica privada chilena, sin fines de lucro, fundada en 1992 por empresas exportadoras y productoras de frutas frescas. La iniciativa surge con el propósito de solucionar problemas técnicos en forma comunitaria, con el más eficiente uso de recursos. Entre sus responsabilidades, se encuentra el administrar la red virtual Agroclima cuya dirección en la web es [www.agroclima.cl](http://www.agroclima.cl).

#### **1. Descripción**

FDF inició su trabajo en redes agro-climatológicas en 1997 con sólo 12 estaciones, mediante un proyecto FDI-CORFO. En 2009 se inicia un plan maestro de actualización y aumento de cobertura (cofinanciado por Innova CORFO y por la Fundación para la Innovación Agraria -FIA- del Ministerio de Agricultura de Chile), incorporando 185 estaciones automatizadas, lo cual permitió aumentar la cobertura al 95% del área frutícola de Chile. Las estaciones recogen cada cinco minutos la información de siete parámetros básicos: temperatura, humedad relativa, precipitación, presión atmosférica, radiación global, velocidad del viento y dirección del viento. La información se transmite en tiempo real y se actualiza cada 15 minutos, quedando disponible para los usuarios a través del sitio web [www.agroclima.cl](http://www.agroclima.cl). El gráfico 2 muestra la visualización de la página al consultar informes por estación en la Región de Valparaíso.

Esta red es un bien público, de libre acceso, que provee información de fácil interpretación y sin costo para los usuarios. La red se encuentra abierta para que agricultores individuales puedan anexar sus estaciones automáticas.

Actualmente la red Agroclima.cl funciona como un esfuerzo conjunto de FDF, el INIA-Chile y la Dirección Meteorológica de Chile y cuenta con 235 estaciones automáticas que transmiten los datos vía GPRS, de las cuales 91 son propiedad de agricultores y empresas agrícolas e instituciones que las han anexado.

La red cubre actualmente el 100% del territorio frutícola nacional, teniendo estaciones activas en 13 de las 15 regiones del país. Las únicas regiones no cubiertas son Tarapacá y Magallanes, en las cuales no hay producción frutícola comercial.

---

<sup>17</sup> Texto proporcionado por Ricardo Adonis, Gerente de Desarrollo Fundación para el Desarrollo Frutícola FDF, Chile.

## GRÁFICO 2 VISUALIZACIÓN DEL SITIO WEB DE AGROCLIMA.CL

(Informes regionales, Región de Valparaíso)

Fuente. [www.agroclima.cl](http://www.agroclima.cl), año 2013.

La existencia de esta red ha hecho posible un salto gigantesco en la utilización de la información climática en la gestión agrícola en Chile. La disponibilidad permanente de esta información —en tiempo real— ha gatillado un uso creciente de las aplicaciones que derivan del análisis de la información generada por la red. Hoy en día, la mayor parte de los productores frutícolas consultan aplicaciones relativas a la duración de las heladas (ya no solamente cuál fue la temperatura mínima), horas frío acumuladas (importantes para la ruptura de receso invernal en algunas especies) o avance de la temporada de desarrollo y madurez de la fruta en unidades caloríficas.

## 2. Aplicaciones

### a) Aplicaciones de uso individual por productores agrícolas

Siendo la evolución climática de la más alta importancia para el sector agrícola, esta red se ha transformado en una herramienta insustituible para productores, profesionales, asesores e investigadores en Chile, llegando a aproximadamente un millón de visitas por mes. La red ha generado nuevo interés por las aplicaciones de la información climática, entregando información tanto de parámetros básicos (temperatura, lluvia, humedad relativa, viento, entre otras) como procesada, en forma de indicadores validados localmente que interpretan de mejor manera el efecto del clima sobre el desarrollo de las plantas. Es el caso, entre otros, de las horas de frío bajo 7 °C (de alta importancia en cerezos, manzanos y uvas), grados día base 10 (para analizar la evolución del desarrollo del cultivo respecto a temporadas

anteriores) y modelos fenológicos que muestran el efecto de las condiciones climáticas sobre plagas (polilla de la manzana) o sobre los cultivos.

Cabe señalar que se pueden derivar usos tan simples como la velocidad del viento para decidir la aplicación de productos fitosanitarios y evitar derivas, o conocer la radiación solar para determinar la factibilidad de usar energías renovables no convencionales en algunas aplicaciones a nivel predial. Un conjunto de alarmas permiten al productor tomar oportunas medidas de prevención, ante casos como heladas, daño por sol, riesgo de enfermedades de origen fungoso, entre otras.

Finalmente, asesores y otras instituciones pueden utilizar la información disponible para sus propios análisis y estudios y para alertar sobre riesgos específicos para sus zonas y cultivos.

#### **b) Aplicaciones relacionadas con requerimientos de los mercados**

Contar con redes como agroclima.cl le permite a los productores disponer de evidencia concreta para el cumplimiento de algunas exigencias internacionales en materias relacionadas con buenas prácticas agrícolas y sostenibilidad. Es el caso, por ejemplo, de apoyarse en el uso de modelos fenológicos como criterios válidos y demostrables para la decisión de aplicar pesticidas (buenas prácticas agrícolas); o el uso de parámetros técnicos para reducir el consumo de agua de riego, mediante el uso de la evapotranspiración (sostenibilidad).

En relación a plagas y enfermedades, los modelos existentes en agroclima.cl permiten fortalecer o facilitar la aplicación de algunos de los conceptos de manejo integrado de plagas (MIP), en particular en las etapas de prevención y monitoreo. Es factible desarrollar modelos adicionales a partir de la información proporcionada por la red, como ha ocurrido en Chile con el Proyecto Vigilancia del Servicio Agrícola y Ganadero (SAG).

#### **c) Aplicaciones institucionales**

La información de la red se encuentra disponible para investigadores de instituciones, universidades y centros de investigación chileno, a fin de que puedan desarrollar nuevas aplicaciones. Los siguientes son algunos ejemplos de aplicaciones que han desarrollado y utilizan que asesores e instituciones:

- efecto de las variables climáticas sobre la calidad de fruta (por ejemplo, calor en cítricos, temperatura sobre arándanos, horas de frescor en manzanos);
- caracterización de aptitud agrícola por zonas;
- aptitud para cultivos;
- zonas de mayor incidencia de heladas;
- zonas de mayor riesgo de golpe de sol;
- zonas con falta de horas de frío;
- predicción de calidad de la entrada en receso invernal (acumulación de unidades de calor v/s unidades de frío previo a la caída de las hojas);
- predicción de estrés térmico en la fruta, que afecta su condición para el almacenaje y transporte a los mercados,
- predicción del desarrollo de la fenología, con el fin de establecer manejos diferenciados (entrada y salida de receso, raleos químicos, cosechas).

A nivel país, esta red genera métrica que permite un periódico análisis del efecto del comportamiento climático real sobre las condiciones productivas de los principales cultivos, permitiendo así que a nivel institucional se puedan coordinar medidas de prevención oportuna respecto a situaciones que afectarán la productividad o calidad de las producciones a obtener. Ello es de alta relevancia en Chile, que tiene como factor de competitividad el contar con gran diversidad de climas y con múltiples diferencias, que conducen a la generación de distintas zonas agro-climatológicas en cada región del país.

### 3. Factores de éxito

Los factores de éxito de la red se pueden resumir en cuatro aspectos principales:

- *Recursos humanos:* Una red de esta naturaleza debe contar con profesionales que acepten desafíos multitareas de larga duración, sin perder su capacidad analítica y de detalle e inclinados al servicio más que a la investigación.
- *Factores económicos:* Corresponde a la necesidad de planificar recursos para la mantención de las estaciones que permite, esencialmente, poder reemplazar aquellos componentes que se deterioren por el uso o pierdan sensibilidad. En el caso chileno, han sido críticos LOS pluviómetros, veletas y sensores de irradiación solar. El reemplazo de estos elementos requiere de personal preparado para visitas a terreno en lugares remotos.
- *Calidad y oportunidad de la información:* Es de la más alta importancia tener un buen sistema de control de calidad y reparación —cuando sea necesario— de los datos emitidos por las estaciones y de la información entregada por los distintos procesos que establecen funciones, tales como horas de frío, modelos fenológicos, alertas u otras. Datos de mala calidad o irregulares en el tiempo, conducen a que los algoritmos y cálculos que existen detrás de estos modelos entreguen información errónea, con lo cual se pierde la confianza de los usuarios en la información entregada por las redes.
- *Difusión:* Los productores agrícolas requieren conocer todas las potencialidades de uso que entrega una red como agroclima.cl. Para ello es necesario considerar y ejecutar amplios planes de difusión en todas las regiones y localidades del país donde existan estaciones, de forma tal que los productores se familiaricen con el sistema y comprendan su utilidad. Para que la difusión y uso de la red sea posible, es necesario que el despliegue de la información por internet se efectúe en forma atractiva y sea de fácil uso para los productores agrícolas. Por otra parte, ha sido de alto impacto el efectuar charlas y presentaciones de difusión en liceos y escuelas agrícolas, que permiten preparar a los estudiantes en el uso de esta herramienta durante su vida profesional.

### 4. Conclusiones

La red Agroclima es una fuente de información valiosa, especialmente para los productores de exportación sujetos a riesgos asociados al clima; de hecho, el número de visitantes de la página web aumenta considerablemente en épocas en que se presentan riesgos como heladas, plagas y golpes de sol, disminuyendo las visitas en la época de cosecha.

Aunque fue creada hace años, la red ha sido capaz de proporcionar información de interés reciente en función del cambio climático o de la variación de los productos cultivados; por ejemplo, datos de radiación solar y la medición de horas de frescor (relacionadas con la calidad final de la fruta y la fijación del color, pues a mayor diferencia entre las temperaturas del día y la noche, mejor fijación del color, por ejemplo, en tomates y uvas).

La red también ha sido capaz de proporcionar información para modelaciones de productos específicos, como las vides, manzanos y arándanos, así como también modelos de maduración de la uva, que permiten a los productores seleccionar la mejor fecha para la contratación de mano de obra de temporada.

Respecto de la certificación de la red, ese no es un objetivo en este momento, pues ello requiere importantes esfuerzos en la calibración de los equipos, casi tan relevantes como instalar una nueva estación. Actualmente, la red cumple su función de forma eficiente, por lo que los esfuerzos adicionales se concentran más bien en mejorar la calidad de los datos.

## D. La Red de Cambio Climático y Seguridad Alimentaria de Colombia<sup>18</sup>

La Red Interinstitucional de Cambio Climático y Seguridad Alimentaria de Colombia, RICCLISA, nació en noviembre de 2009 como respuesta a recomendaciones realizadas en un Taller Nacional sobre Clima y Sector Agropecuario, organizado por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Los cerca de 100 especialistas en agroclimatología de diversas entidades que asistieron al Taller señalaron la necesidad de establecer esta Red para disminuir la vulnerabilidad institucional existente, que se reflejaba en programas sobre clima y agricultura desarticulados entre sí, esfuerzos dispersos, conocimientos aislados e ineficiente uso de recursos humanos, tecnológicos y financieros.

En la reunión plenaria final del Taller en referencia, se aprobó la siguiente declaración: “La seguridad alimentaria está amenazada por el cambio climático y es una prioridad nacional que se asegure el adecuado acceso a la información climática, agropecuaria y socioeconómica, para el desarrollo sostenible y competitivo. El tema debe ser evaluado por las entidades pertinentes.”

En el taller se efectuaron las siguientes recomendaciones:

- “Consolidar una política integral de estandarización en las metodologías de procesamiento, calibración y control de calidad de la información relevante, que permita al país ser competitivo en el sector agropecuario y de seguridad alimentaria frente al cambio climático.
- Realizar un fortalecimiento institucional e interinstitucional en materia tecnológica y de formación de recursos humanos calificados y para el efecto el gobierno nacional debe adoptar las acciones necesarias.
- Consolidar una Red que facilite el desarrollo de un sistema de apoyo para la toma de decisiones en el tema de cambio climático y seguridad alimentaria.
- Es indispensable realizar un programa interinstitucional, cuyo objetivo sea reducir las incertidumbres de las proyecciones de los efectos del cambio climático sobre la seguridad alimentaria en Colombia en diferentes escalas.
- La consolidación de la Red es estratégica para la toma de decisiones y transferencia a los diferentes sectores de la vida nacional, además del agropecuario.
- El Departamento de Planeación Nacional, El Ministerio de Agricultura y el Ministerio del Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial serán el eje de la estructura coordinadora y operativa de la Red.
- El Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural y el Departamento Nacional de Ciencia y Tecnología deben contribuir a la investigación y formación de talento humano sobre las causas y efectos del cambio climático en los sistemas de producción agropecuaria del país.”

### 1. Objetivos y organización

Entre los objetivos iniciales que se asignaron a la Red, se destacan:

- “Facilitar el intercambio de información y el uso de metodologías comunes para generar escenarios de impacto del clima y evaluar sus implicaciones sobre los factores de producción y conservación ecosistémica.

---

<sup>18</sup> Texto preparado por José Francisco Boshell, Red Interinstitucional de Cambio Climático y Seguridad Alimentaria de Colombia, RICCLISA, en base a su presentación.

- Contribuir a la priorización de actividades de investigación fortaleciendo la capacidad institucional y de sus investigadores en temas de cambio climático y seguridad alimentaria.
- Desarrollar indicadores biológicos, ambientales y socioeconómicos que permitan determinar vulnerabilidad de los sistemas de producción y su relación con los sistemas naturales. Además, permitir la evaluación de las medidas de adaptación diseñadas e implementadas en el marco del cambio climático.
- Formular y ejecutar proyectos colaborativos de alta calidad que atiendan las prioridades del problema con la participación de investigadores de diferentes disciplinas localizados en diferentes instituciones.
- Desarrollar sistemas de alerta temprana para anticipar el efecto de cambios climáticos extremos e implementar medidas de adaptación”.

Acorde con lo anterior, RICCLISA se estableció inicialmente con representantes del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR), Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), Departamento Nacional de Planeación (DNP), Corporación de Investigaciones Agropecuarias de Colombia (CORPOICA), Centro Nacional de Investigaciones del Cultivo del Café (CENICAFE), Universidad Nacional de Colombia (UNAL), Universidad del Cauca (UNICAUCA) y Centro Regional de Productividad e Innovación del Cauca (CREPIC). En los meses siguientes se integraron en los trabajos de RICCLISA entidades como el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), Corporación para el Desarrollo Participativo y Sostenible de los Pequeños Productores Rurales (PBA), Federación Nacional de Cultivadores de Cereales (FENALCE), y el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), organismos perteneciente a la red internacional de centro de investigación agrícola del CGIAR. También se han establecido nodos regionales en departamentos del país como Córdoba, Caldas, Risaralda, Tolima, Nariño, Huila y se están formando nodos en otros departamentos de la geografía nacional.

RICCLISA ha contribuido a la articulación de proyectos sobre variabilidad/cambio climático y sector agropecuario en el país financiados por diversas instituciones nacionales e internacionales, en los que se han incorporado metodologías y tecnologías innovadoras de gestión de información agroclimática. Entre estos proyectos se destacan:

- Plataforma de Información Agroclimática (AgroMVA).
- Sistema de Alertas Agroclimáticas Tempranas Participativas (SAATP).
- “Análisis interinstitucional y multisectorial de la vulnerabilidad y la adaptación al cambio climático para el sector agropecuario en la parte alta de la cuenca del río Cauca impactando sobre políticas de adaptación”, proyecto que busca involucrar asociaciones agrícolas, y participación en la definición e implementación de metodologías para analizar la vulnerabilidad del sector agrícola y propiciar condiciones que garanticen la adaptación y permanencia de encadenamientos productivos en la Cuenca Alta del Río Cauca bajo escenarios de cambio climático.
- “Uso del modelo AquaCrop para estimar rendimientos agrícolas en Colombia en el marco del Estudio de Impactos Económicos del Cambio Climático (EIECC)”. Con este proyecto se busca ajustar el modelo original desarrollado por la FAO, para los cultivos de caña de azúcar, papa, maíz tecnificado y arroz bajo riego en Colombia. El proyecto es auspiciado por la FAO, el DNP y el IDEAM. Una vez calibrado localmente, el modelo permitirá determinar la producción de biomasa y el rendimiento de los cultivos mencionados.
- “Acciones de adaptación para reducir riesgo y vulnerabilidad del sector agropecuario a los impactos de variabilidad y cambio climático”. En desarrollo por CORPOICA, con financiamiento del Fondo Adaptación, tiene como propósito contribuir a la reactivación económica de zonas inundadas y adyacentes afectadas por las lluvias

intensas del año 2010, empoderando a los servicios locales de transferencia de tecnología y comunidades rurales con información agroclimática y tecnologías de manejo que les permitan mejorar la capacidad de sus sistemas de producción para enfrentar el riesgo de eventos climáticos extremos.

- Megaproyecto “Mitigación y adaptación a la variabilidad y al cambio climático del sector agropecuario colombiano”, en consideración por entes de financiación, tiene como propósito valorar la vulnerabilidad y gestionar el riesgo asociado por efecto de la variabilidad y el cambio climático sobre productores y sistemas productivos agropecuarios, como base para la construcción de medidas adecuadas y costo-efectivas de adaptación que impacten en la sostenibilidad, competitividad y rentabilidad del sector, además del suministro adecuado, oportuno e inocuo de alimentos para la población.

## **2. Plataforma de Información Agroclimática (AgroMVA)**

Los Grupos de Estudios Ambientales y de Ingeniería Telemática de la Universidad del Cauca han desarrollado, con recursos financieros del MADR y de Colciencias y con el apoyo articulador de RICCLISA, una Plataforma de Información Agroclimática (AgroMVA) para la captura, transmisión, almacenamiento, presentación y análisis de información agroclimática proveniente de estaciones agrometeorológicas existentes en el país. AgroMVA genera insumos para la transformación de datos en información para toma de decisiones de actores públicos y privados del sector agrícola. El Centro Internacional de Investigación e Innovación del Agua, CIAgua, está a cargo de la administración de la Plataforma.

La Plataforma está diseñada para integrar información satelital en línea de estaciones GOES (*Gesostationary Operational Environmental Satellite*) en espectros infrarrojo, visible y vapor de agua. Con datos de estaciones debidamente referenciadas, el sistema permite generar tablas, gráficos y mapas agroclimáticos para coordenadas que se definan, mediante análisis Kriging o Spline. Cuenta con un sistema de alertas que se programa para eventos de temperatura o precipitación extremas. Las alertas llegan al usuario vía correo electrónico y/o mensaje de texto al celular. El sistema facilita el intercambio de información entre sistemas de información y aplicaciones SIG. AgroMVA está siendo utilizada como eje articulador de la ampliación de la red agrometeorológica del sector cafetero nacional y se espera que sea utilizada de modo similar por otras instituciones nacionales.

Así mismo, es una opción tecnológica importante para el enlace de estaciones agrometeorológicas en la región andina, como ha sido analizado en eventos internacionales recientes (Taller CAN/GIZ sobre Gestión de Información Agroclimática en los países andinos, Popayán, julio de 2012). En este sentido, en la Declaración final de este Taller los delegados de Perú, Bolivia, Ecuador y Colombia, manifestaron que: “... se reconocen los avances logrados en el seno de la región en el desarrollo de herramientas de adaptación ante el cambio y la variabilidad extrema del clima, como las plataformas de colección y suministro de información agroclimática, el establecimiento de redes interinstitucionales de gestión agroclimática y los sistemas de alertas agroclimáticas tempranas participativas y se considera prioritaria la transferencia de tales experiencias dentro de todos los países andinos”.

## **3. Sistemas de Alertas Agroclimáticas Tempranas Participativas (SAATP)**

Se está desarrollando un Proyecto Piloto de Alertas Agroclimáticas Participativas en comunidades agrícolas del Departamento del Cauca, en una zona donde prevalecen productores campesinos (organizaciones de pequeños productores con bajos niveles de tecnificación, cuenca del río Piedras) e indígenas de los sectores de Paletará, Coconuco, Puracé y Quintana. Este proyecto se basa en una alianza establecida entre actores institucionales como la Fundación Procuena Río Las Piedras, Empresa de Acueducto de Popayán y comunidades rurales, teniéndose como telón de fondo una metodología innovadora generada de modo colaborativo por instituciones representadas en RICCLISA.

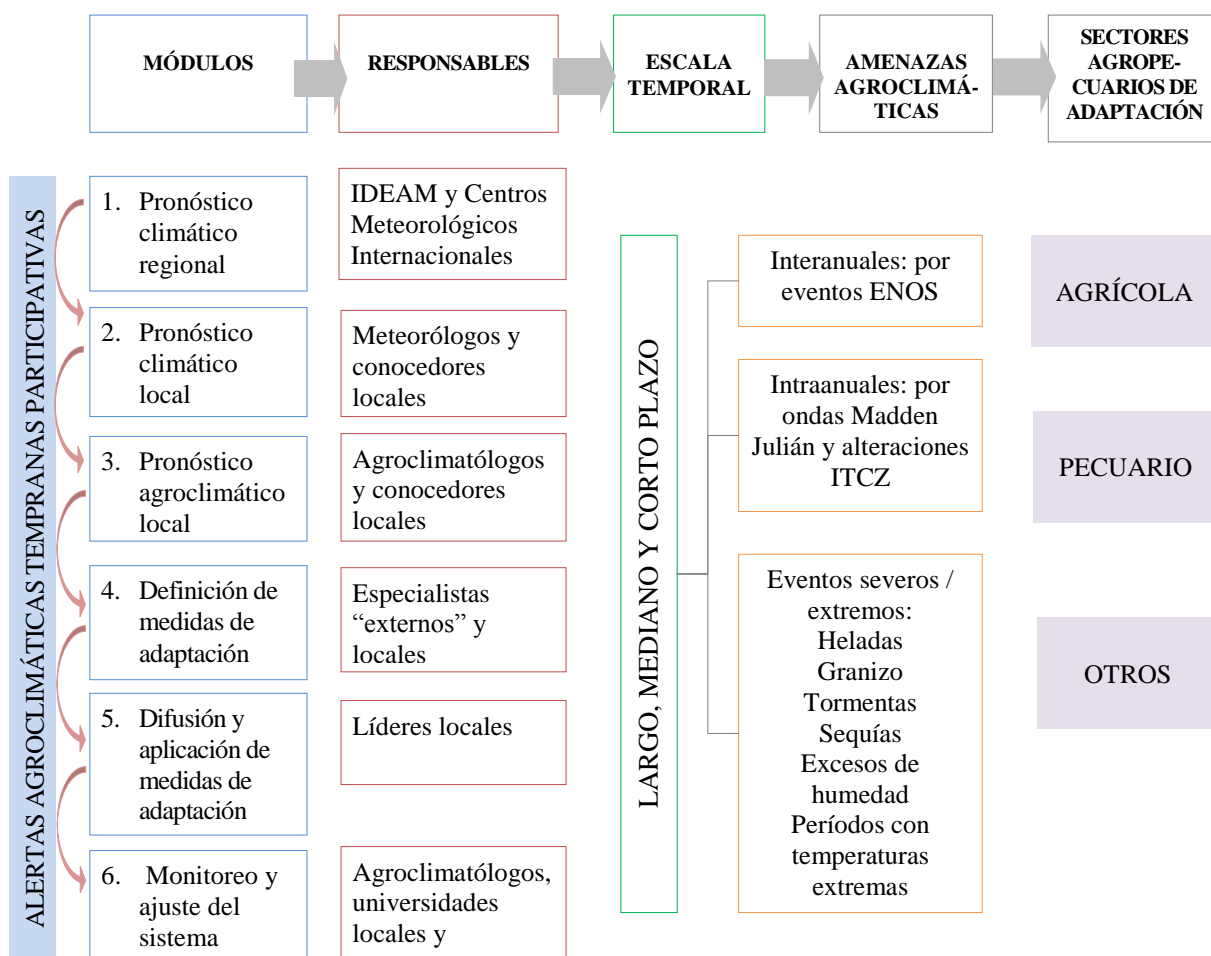


A través de este proyecto se busca integrar conocimientos ancestrales y actuales sobre el clima local, con miras a desarrollar predicciones climáticas conjuntas de corto, mediano y largo plazo que conduzcan a la identificación e implementación de medidas adaptativas basadas en enfoques sustentables. Entre estos se pueden mencionar la identificación y uso de semillas agrícolas nativas adaptadas a diversos escenarios de clima, el rescate de bioindicadores climáticos locales y el trabajo mancomunado entre investigadores formados en universidades colombianas y representantes de las comunidades rurales que poseen conocimientos ancestrales sobre la previsión del clima y manejo sostenible de cultivos.

El esquema general del sistema de alertas agroclimáticas tempranas participativas que se está desarrollando tiene las siguientes componentes (gráfico 3):

- Análisis de pronósticos meteorológicos de corto plazo y de predicciones climáticas de mediano y largo plazo para la zona en que se encuentra el proyecto (valoración de predicciones en mesoescala).
- Conversión de pronósticos meteorológicos y predicciones del clima de una escala regional a la escala local, con participación de meteorólogos universitarios y especialistas locales de las comunidades. Este punto incluye la identificación y validación previas de los indicadores climáticos ancestrales que se utilizan en las comunidades rurales de la zona.
- Aplicación conjunta entre agroclimatólogos y representantes de comunidades locales, de técnicas de manejo apropiado de suelo, agua y cultivos, según las predicciones de clima. Se utilizan técnicas como balances hídricos agrícolas, sumas o acumulados de temperatura en relación con cultivos e insectos, modelos de simulación de enfermedades fungosas y gestión agroclimática del riesgo de heladas.
- Identificación conjunta de medidas adaptativas según las alertas agroclimáticas establecidas en los puntos anteriores. Entre estas medidas adaptativas se considera la cosecha de aguas lluvias, siembras en terrazas, uso de semillas nativas según condiciones climáticas previstas, fortalecimiento de redes de custodios o guardianes de semillas nativas, cobertura de suelos con vegetación nativa especial en temporadas de temperaturas muy bajas, entre otras.
- Comunicación de las alertas tempranas y de las medidas adaptativas recomendadas a las comunidades locales, y adopción de estas medidas por las comunidades. Se están analizando técnicas viables para estos fines, como uso de señales visibles en campo, radioemisoras locales y jornadas de campo, con una importante intervención de representantes de las comunidades.

**GRÁFICO 3**  
**ESQUEMA GENERAL DEL DISEÑO DEL SAATP EN COLOMBIA**



Fuente: Presentación de Francisco Boshell.

#### 4. Apoyo del Programa “Adaptación al Cambio Climático en la Región Andina”, CAN/GIZ, en las innovaciones en gestión de información agroclimática en la región

El Programa “Adaptación al Cambio Climático, ACC, en la región Andina”, CAN/GIZ, busca contribuir al fortalecimiento de las estrategias nacionales de seguridad alimentaria en el contexto de adaptación del sector agropecuario andino al cambio climático y fortalecer la institucionalidad en el sector agropecuario de los países de la región.

En este contexto, instituciones de la Red RICCLISA en Colombia están recibiendo apoyo del Programa ACC para desarrollar nuevas fases en los proyectos detallados en las secciones 2 y 3. En el Taller andino sobre gestión de información agroclimática en Bolivia, Ecuador, Colombia y Perú, realizado en Popayán, Colombia en julio de 2012, con financiamiento y respaldo institucional del Programa citado, se analizaron las posibilidades de implementar, con los ajustes respectivos, la Plataforma AgroMVA y el SAATP en otras áreas de Colombia y en otros países andinos. De esta manera, por ejemplo, entre octubre 2012 y el primer trimestre de 2013, se ejecutará una segunda etapa en el Proyecto SAATP del Cauca en Colombia, en la cual se iniciará la sistematización de bio-indicadores locales del clima y se avanzará en la implementación de alertas agroclimáticas participativas. De igual

manera se debe resaltar el apoyo de GIZ en la realización del II Diálogo Nacional sobre Cambio Climático y Seguridad Alimentaria en Colombia, realizado en Bogotá en agosto 2102, organizado de modo conjunto entre RICCLISA y GIZ.

## **E. AquaCrop: una herramienta para modelización del crecimiento de los cultivos y evaluar el manejo del agua para enfrentar los impactos del cambio climático**<sup>19</sup>

### **1. Modelización de uso del agua en la agricultura**

Existe una urgente necesidad de aumentar la productividad del agua en los cultivos (PA), por la disminución de la disponibilidad de agua para la agricultura, el aumento constante de la población (Kijne *et al.*, 2003) y el seguro incremento de la presión sobre el agua provocado por el impacto del cambio climático. Una aplicación oportuna de riego puede incrementar sustancialmente su eficiencia y la PA (Molden, 2003; Zwartand Bastiaanssen, 2004), evitando la sobre y sub aplicación y garantizando así las condiciones óptimas de crecimiento a lo largo de la temporada (Anac *et al.*, 1999; Raas *et al.*, 2006). Adicionalmente, las condiciones ambientales atmosféricas locales de cada punto, bajo el impacto de cambio climático, requieren ser evaluadas al presente, incluso sin contar con condiciones reales sobre las que analizar dichos impactos e incluyendo varios escenarios posibles que incluyen diversas variables en muchas combinaciones de ocurrencia. Bajo estas condiciones, la evaluación del impacto del cambio climático y de posibles acciones de adaptación, se torna muy compleja y requiere de alternativas tecnológicas que respondan rápida y eficientemente ante esta complejidad.

La modelización del crecimiento de los cultivos, cuando se encuentra adecuadamente realizada, se constituye en una gran herramienta de evaluación que reduce el tiempo y el presupuesto de análisis, en general para diferentes acciones de planificación del manejo, pero en particular y en este caso, para la evaluación del impacto del cambio climático sobre la producción de cultivos y para evaluar la efectividad de la aplicación de medidas de adaptación que recién serían implementadas en un futuro cercano. La modelización apoya en la valoración de escenarios productivos y se constituye en una guía para la toma de decisiones informadas para maximizar la productividad del agua en la agricultura en condiciones de máxima presión tanto climática como productiva. En este caso específico, el contar con guías claras de manejo de agua puede ayudar en la agricultura, a incrementar la productividad del agua en los cultivos.

El problema con los modelos de crecimiento es que, muchas veces, se constituyen en instrumentos tan complejos que aíslan a los decisores y/o a los ejecutores de sus potencialidades de aplicación, ya sea por lo complejo de su sistema, su interface poco amigable, o por la complejidad de los datos requeridos. De esta manera, en general se cuenta con dos tipos de modelos de producción de cultivos:

- Modelos mecanísticos especializados y muy poderosos: son adecuados para realizar investigación fundamental que se lleva adelante, generalmente, para trabajo experimental o planta. Estos modelos requieren una alta experiencia para ser usados y una elevada cantidad y buena calidad de los datos de entrada. Sus resultados son muy precisos y de muy buena calidad cuando se cumplen los requisitos de la calidad de la información de entrada y de su manejo.
- Modelos funcionales, muy robustos, basados en ecuaciones fundamentales simples pero robustas: son fáciles de usar y requieren de una adecuada calibración y de repeticiones frecuentes para lograr resultados adecuados.

---

<sup>19</sup> Texto preparado por la Dra. Magali García, Universidad de San Andrés, Bolivia, y consultora FAO.

## 2. El modelo AquaCrop

En el segundo grupo se encuentra el modelo AquaCrop, liberado por la FAO, que trata de cubrir las deficiencias de información para la productividad de agua bajo diferentes escenarios, ofreciendo un modelo amigable y fácil de usar, pero cuyos resultados no alcanzan los niveles de precisión de los modelos mecanísticos. La ventaja de este modelo es que basa sus requerimientos en información de fácil acceso y disponibilidad y que sus requerimientos no incluyen variables que implican acciones destructivas para su obtención. Esto significa que el modelo no requiere que se coseche un número de plantas o se colecten datos edáficos de gran utilidad, pues sus parámetros funcionales muy flexibles le permiten esta ventaja.

De esta manera, AquaCrop puede ser utilizado para:

- Simular el desarrollo de un cultivo para largas series de datos climáticos históricos.
- Realizar análisis de frecuencia en diferentes niveles de biomasa simulada para diferentes etapas de crecimiento, en las cuales se puede probar el impacto de aplicar riego en diferentes etapas de crecimiento, en las cuales se puede probar el impacto de aplicar riego en diferentes frecuencias y cantidades.
- Permite simular diferentes condiciones de tiempo y pluviométricas para definir frecuencias óptimas de riego (intervalo de tiempo de una profundidad de aplicaciones para redes fijas) para evitar el estrés hídrico durante las etapas de crecimiento sensible y para garantizar la productividad máxima de agua.
- Los resultados del modelo, que pueden ser obtenidos en gran cantidad para garantizar que cubran variaciones y condiciones ambientales diversas pueden luego ser expresados en gráficos de fácil lectura, de apoyo para políticos, extensión y el uso entre los agricultores.
- Permite la elaboración de calendarios de riego en base al modelo calibrado con investigación de campo que de otra manera sería difícil y requeriría de mucho tiempo y muchas repeticiones.
- Permite la evaluación conjunta de varios factores de manejo y medio ambiente, así como la resistencia al estrés y los mecanismos de defensa o escape que afectan el rendimiento de los cultivos.
- Si se combinan con análisis de frecuencia y largas series de registros climáticos, el momento y la lámina de riego pueden ser optimizadas para varias condiciones climáticas.
- Permite una adecuada evaluación de las variaciones fenológicas que podrían tener los cultivos debido a modificaciones ambientales y conocer el impacto del manejo sobre la productividad de los cultivos.
- Si se cuenta con una base de datos futura, adecuadamente y sólidamente generada, permite realizar una evaluación muy aproximada de los rendimientos más probables bajo condiciones de cambio climático, incluso incluyendo condiciones de clima erráticas y/o de extremos.
- Con las mismas bases de datos, permite evaluar estrategias de cambios de fechas y manejo de variedades, que pueden ser promovidas como acciones de adaptación al cambio climático.
- Permite evaluar el impacto de varias estrategias de manejo de cultivo, tales como variaciones en la época de siembra, mayor o menor aplicación de agua de riego, cambio de localidades y de sistemas productivos, entre otros.
- Cuando se trabajó con cultivos no limitados por otros factores productivos como ser falta de agua y/o pobre fertilidad de los suelos, el modelo permite apreciar el impacto que tendrá la fertilización de dióxido de carbono sobre los cultivos hacia el año 2050 y hasta el 2100.

- La posibilidad de generar gran cantidad de información productiva y de consumo de agua, permite el uso de modelos econométricos a través de la incorporación del modelo validado de productividad de agua del cultivo en un modelo econométrico. Otra opción es derivar distribuciones probabilísticas de los resultados de las simulaciones.

La primera versión de AquaCrop fue publicada en enero de 2009. La actual versión es AquaCrop 4.0, liberada en 2012. Está disponible en idioma inglés y ha sido escrito en DELPHI Borland (Versión 4.0, 1998), corriendo en Microsoft Windows Versión 98 y superiores, sin requerir condiciones especiales en cuanto a software adicional o hardware. Se caracteriza por ser un software de fácil manejo y que integra muchas variables de cultivo y crecimiento especial y fuertemente relacionadas con el clima, por lo que es muy útil para evaluar acciones de adaptación en un entorno de clima cambiante.

AquaCrop permite determinar cosechas alcanzables en determinadas ubicaciones geográficas evaluando la disponibilidad de agua. Por lo tanto permite opinar sobre rendimientos a lograr en el largo plazo en determinadas condiciones hídricas. Por ejemplo, en secano con la lluvia natural de la zona o con la lluvia estimada futura ante cambios esperables en el clima. También es útil para comparar los rendimientos reales de un año determinado con lo que se hubiera debido lograr “en forma teórica”. En el mismo sentido, sirve como herramienta para diseñar sistemas de riego, estimando el aumento del rendimiento debido al agua adicional y su consecuente variación de rentabilidad en relación a la inversión requerida.

Es necesario, sin embargo, reconocer que el modelo presenta limitaciones que deben ser consideradas al momento de utilizarlo. Entre ellas, se presentan las siguientes:

- El modelo realiza evaluaciones puntuales que no incluyen movimientos laterales de agua en la zona evaluada.
- El modelo asume que los campos de cultivo son homogéneos y regulares, lo cual no siempre se cumple y afecta al movimiento del agua en el suelo.
- Todavía no cuenta con un extenso número de cultivos calibrados y validados dentro de su esquema, aunque presenta abierta la posibilidad de hacerlo, pues cuenta con módulos de cultivo genéricos.
- El módulo de evaluación de salinidad es de reciente incorporación y no contiene un módulo de plagas y enfermedades, lo que en un entorno de clima cambiante, podría significar una limitación importante.

### **3. Conclusiones**

La aplicación de modelos de crecimiento para evaluar gran cantidad de condiciones productivas posibles es una ventaja comparativa que puede y debe ser utilizada, especialmente con el fin de generar información utilizable, tanto por parte de decisores como de productores. En este resumen se intenta mostrar la necesidad y la utilidad de herramientas y guías prácticas para evaluar los impactos del cambio climático en la producción de cultivos y las opciones de adaptación.

El uso de la modelación de la productividad del agua de los cultivos en combinación con series climáticas de suficiente registro y su análisis de frecuencia permite derivar gráficos prácticos que guíen a los agricultores y a los decisores para la aplicación de diferentes estrategias productivas en caso de condiciones climáticas actuales y futuras. Traducidos los resultados en gráficos y manuales y para diferentes cultivos y regiones, AquaCrop puede apoyar las decisiones agrícolas basadas en estrategias de manejo de riego en busca de la sostenibilidad agrícola. El hecho de que AquaCrop es un modelo robusto y fácil de usar, hace que se convierta en una herramienta que permite unir a los modeladores agrícolas y los agricultores que requieren guías sostenibles de manejo de cultivos.

## IV. Nuevas tecnologías en la mitigación y adaptación del cambio climático en la agricultura

---

### A. Introducción

El aumento de emisiones de GEI en la atmósfera constituye una amenaza al sistema climático global. Alrededor de un tercio de las emisiones globales se le atribuyen a la agricultura, aunque el manejo de suelo y las prácticas productivas agrícolas constituyen tanto sumideros de carbono como emisores netos. De ahí que se busca la promoción de la mitigación de GEI en la agricultura, ya sea a través de un aumento de las reservas de carbono en el suelo y los bosques, o a través de la reducción de emisiones en base a eficiencia de las prácticas de manejo agrícola, tales como la transformación en el uso de combustibles fósiles y de los insumos agrícolas, entre otros (Paustian *et al.* 2009; FAO, 2012).

La evaluación del potencial de mitigación de la agricultura todavía se enfrenta a enormes desafíos y brechas de datos. Los vacíos de información son particularmente evidentes en los países en desarrollo. Por mencionar algunos, se necesita información sobre las emisiones a partir de abonos y fertilizantes, cuantificar las emisiones de diversos tipos de manejo —como las rotaciones de leguminosas y labranza reducida—, entender mejor la dinámica del óxido nítrico ( $N_2O$ ) y el carbono del suelo en los suelos de producción y en sistemas de rotación de cultivos (FAO, 2011), entre otros.

El metano es uno de los gases de efectos invernadero con mayor potencial de calentamiento global; es también uno de los gases más importantes emitidos por la agricultura y se origina principalmente en la producción de arroz inundado y en la actividad ganadera. Entender cómo se forma el metano por microbios —la metanogénesis— es fundamental para desarrollar estrategias orientadas a su reducción en los procesos agropecuarios en lo que éste se genera. Ese tema fue abordado en la presentación sobre arqueas metanógenas en la mitigación del cambio climático en la agricultura.

Otro tema importante en los esfuerzos para la reducción de los GEI en la agricultura es establecer parámetros que permitan el establecimiento de factores de emisión. En ese sentido, un requerimiento importante es mejorar el entendimiento de los flujos de carbono y agua en los cultivos, de modo de promover mejores prácticas agrícolas, así como alternativas innovadoras para mejorar la eficiencia de los procesos de producción agrícola. En el seminario se presentó un ejemplo de cuantificación de flujos de vapor y carbono en la agricultura de la zona mediterránea de Chile, a partir de una escala micro-

meteorológica que permite modelar en detalle el impacto que el cambio climático podría causar a nivel de cultivo.

La biotecnología es un ámbito científico de gran importancia para la adaptación y la mitigación de la agricultura al cambio climático. La biotecnología agrupa a una serie de herramientas, algunas de mucha tradición en la agricultura, como la selección e hibridación, el control biológico de plagas y el cultivo de tejidos, y algunas más recientes como la transgénesis, la genómica y bio-informática. Pese a las controversias, mediante la biotecnología la ciencia ha continuado desarrollando variedades y razas que puedan ser más resistentes a los nuevos patrones del clima (materiales resistentes a sequía y a heladas, variedades de días más cortos y con resistencia a plagas y enfermedades, entre otras).

El rol de la biotecnología y de los recursos genéticos en la mitigación y adaptación de la agricultura al cambio climático fue abordado en una de las presentaciones del seminario incluidas en este capítulo. La presentación pone énfasis tanto en los beneficios para la adaptación de las nuevas tecnologías, como en los marcos regulatorios que deben desarrollarse en los países de América Latina para enmarcar el uso de las mismas.

Otro campo científico de gran potencial frente el cambio climático en la agricultura es el de la nanotecnología, que se refiere a la manipulación de materiales a una escala nano-métrica ( $10^9$  unidades de un metro, por lo se le conoce como de nivel molecular o atómico). El advenimiento de la nanotecnología ha desatado enormes expectativas para el desarrollo de nuevos productos y aplicaciones en toda la cadena alimentaria. Las innovaciones prometen también innovaciones para la adaptación al cambio climático, pero al igual que con los transgénicos, su uso genera controversias.

La presentación sobre nanotecnología destaca aplicaciones para la recuperación de suelos contaminados y degradados, que abren oportunidades para la producción agrícola en zonas que hoy no son aptas pero que a futuro podrían serlo.

## **B. Arqueas metanógenas en la mitigación del cambio climático en la agricultura<sup>20</sup>**

Las arqueas metanógenas son microorganismos que viven en medios estrictamente anaerobios y que obtienen energía mediante la producción de metano; tienen una gran importancia ecológica, ya que interviene en la degradación de la materia orgánica en el ciclo del carbono.

### **1. Metanogénesis y fuentes de emisiones de metano desde la agricultura<sup>21</sup>**

El trabajo pionero de Carl Woese en la década de 1970, que utilizó datos secuenciados desde una pequeña subunidad ribosomal RNA (SSU rRNA) para clasificar todas las formas de vida, guió al sorprendente descubrimiento del dominio *Archaea* (Woese y Fox, 1977), una tercera línea de descendencia evolutiva, distinta de la que proviene del dominio *Bacteria* y de las que provienen de células eucarióticas del dominio *Eukarya*. El árbol del dominio *Archaea*, basado en SSU rRNA, consiste en dos phyla mayores, Crenarchaeota y Euryarchaeota, aunque se han propuesto dos otros phyla: *Korarchaeota* (Stein et al., 1996) and *Nanoarchaeota* (Huber et al., 2002).

Las *Archaea* metanogénicas pertenecen al phylum *Euryarcheota* y son los únicos microorganismos conocidos capaces de producir metano, haciéndolos de interés en la investigación de estrategias de disminución del metano. El metano (CH<sub>4</sub>) es un gas de efecto invernadero con un potencial de calentamiento global 25 veces mayor al del dióxido de carbono, y es el segundo GEI más

---

<sup>20</sup> Traducción del texto preparado por Dra. Flávia Talarico Saia, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho - UNESP - Campus de Araraquara – PROCISUR, Brasil.

<sup>21</sup> Metanogénesis es la formación de metano por microbios. En la mayoría de los entornos es el paso final de la descomposición de la biomasa.

importante después de éste, contribuyendo con aproximadamente el 20% del calentamiento global (IPCC, 2009). Los GEI como el metano, el dióxido de carbono y el óxido nitroso contribuyen al cambio climático debido a que absorben la radiación infrarroja en la atmósfera. La concentración de metano en la atmósfera ha estado aumentando desde el siglo XVIII y se necesitan estrategias para su mitigación. Además, el metano es una fuente de energía limpia, que puede generarse en el tratamiento anaeróbico de residuos. Tanto para el control de las emisiones de metano como para la recuperación de metano a través de la digestión anaeróbica de desechos, es crucial entender la fisiología y ecología de los metanógenos.

Subsectores agrícolas tales como la ganadería, el cultivo de arroz y el manejo del estiércol son fuentes globales de emisión de metano. Globalmente, la agricultura contribuye con el 50% de las emisiones de metano. El ganado, específicamente, los rumiantes, son la fuente principal, con el 59,84% de las emisiones de metano, seguidos por el cultivo de arroz, el manejo del estiércol y otras actividades agrícolas (Karakurt *et al.*, 2012; Yusuf *et al.*, 2012).

#### **a) Ganadería**

En Brasil, en lo que concierne a actividades agrícolas, la fermentación entérica representa la fuente más importante del metano emitido a la atmósfera, seguido del cultivo de arroz y el manejo del estiércol. Después de China, Brasil es el segundo país del mundo con mayores emisiones de metano debido a fermentación entérica (Cerri *et al.*, 2009; Yusuf *et al.*, 2012). La producción de metano desde la fermentación entérica es una preocupación mundial, no sólo por su contribución a la acumulación de GEI en la atmósfera, sino también por un desperdicio de la energía consumida por los animales (Hook *et al.*, 2010).

La fermentación entérica es un proceso en el cual los microbios presentes en el sistema digestivo del animal provocan la fermentación del alimento consumido. Este proceso se desarrolla en el rumen de animales rumiantes como vacunos, búfalos, ovejas y cabras. Como resultado de este proceso, el metano es liberado a través de la exhalación de los animales como subproducto (Hook *et al.*, 2010; Yusuf *et al.*, 2012). Metanógenos hidrogenotróficos pertenecientes a los órdenes *Methanobacteriales*, *Methanomicrobiales* y *Methanosarcinales* son identificados frecuentemente, pero metilotróficos y metanógenos acetoclásticos pertenecientes al orden *Methanosarcinales* también pueden encontrarse. Los metanógenos se encuentran en asociación sintrófica con bacterias y protozoos, que soportan metanógenos con sustratos simples generados durante la descomposición anaeróbica de materia orgánica compleja. Todas las emisiones de metano debidas a fermentación entérica están relacionadas con la población ganadera, así como su cantidad, calidad y tipo de alimentación (Hook *et al.*, 2010).

#### **b) Cultivo de arroz**

El metano proveniente de los campos de arroz se produce por la descomposición anaeróbica de materia orgánica del suelo, y la cantidad producida depende de las prácticas de manejo del agua y de la cantidad de materia orgánica disponible para la descomposición (Yusuf *et al.*, 2012). Particularmente, el metano es un problema mayor en los campos inundados de cultivos de arroz (*Oryza sativa* L), en que esta fuente es responsable por 10% a 40% de las emisiones globales de metano (Le Mer y Roger, 2001). Cuando los campos de arroz se inundan, la descomposición de la materia orgánica va consumiendo gradualmente el oxígeno, nitratos, manganeso, hierro y sulfatos, que sirven como aceptores de electrones<sup>22</sup>. Una vez que estos aceptores de electrones en el ambiente son consumidos, las arqueas metanógenas liberan metano, principalmente a partir de hidrógeno y acetatos (Dubey, 2005; IPCC, 2009; Karakurt *et al.*, 2012).

De acuerdo con Dubey (2005), se ha demostrado con estudios que el metano no sólo es producido en los suelos anóxicos en los campos de cultivo de arroz, sino también directamente por las raíces de las plantas de arroz. Aunque la metanogénesis en campos de arroz en todo el mundo ha sido investigada en detalle, la información que se refiere a la población metanogénica es limitada (Dubey, *op cit*). *Methanosarcina*, *Methanobacterium*, *Methanobrevibacter* y *Methanococcus* son ejemplos de metanógenos aislados en campos de arroz. Recientemente, nuevas cepas han sido identificadas y aisladas, tales como el metanógeno hidrogenotrófico *Methanocella paludicola* SANA E (Sakai *et al.*,

<sup>22</sup> Los aceptores de electrones son agentes oxidantes.



2007), *Methanocella arvoryzae* sp. nov (Sakai et al., 2010), *Methanobacterium kanagiense* sp. nov (Kitamura et al., 2011) y *Methanocella conradii* sp. nov (Liu y Lu, 2012). Estudios han mostrado que el orden *Methanocellales* juega un rol clave en la producción de metano desde los suelos, especialmente en campos de arroz, ya que tienen una amplia distribución y sobreviven en ambientes microaerófilos (Lu y Lu, 2012).

Es importante señalar que una parte del metano producido en capas anaeróbicas se oxida antes de que llegue a la atmósfera, no obstante, las emisiones netas de metano son el resultado de dos procesos opuestos: producción de metano por arqueas metanógenas, y oxidación de metano por bacterias metanotróficas. Los oxidantes del metano lo utilizan como suela de carbono y fuente de energía, y tienen un metabolismo aeróbico obligado; así, dependen del acceso a oxígeno. Las tasas de difusión del metano y del oxígeno son factores clave en el control de la actividad de metanotróficos (Phillipot et al., 2009).

China y el Sur y Este Asiático son las principales fuentes de emisión de metano a partir de cultivos de arroz (Yusuf et al., 2012). En Brasil, la contribución de emisiones de metano de esta fuente es baja, con un 3% de las emisiones totales de metano (MCT, 2008, citado por Zschornack et al., 2011). Sin embargo, en el sur, la región donde se encuentra la mayoría de los cultivos de arroz en Brasil, los campos inundados contribuyen con un 12% del total de emisiones de metano y su contribución relativa alcanza el 18% en el Estado de Rio Grande do Sul, el principal productor de este alimento en el país, donde el arroz de verano se cultiva en más de 1,1 millones de hectáreas (Conab, 2010 citado por Zschornack et al., 2011).

### **c) Manejo de estiércol**

De acuerdo con Karakurt et al. (2012) and Yusuf et al. (2012), la descomposición anaeróbica de estiércol lleva a la producción de metano y su producción aumenta cuando el estiércol es almacenado o tratado en sistemas líquidos como lagunas, estanques o pozos, dado que se desarrollarán condiciones anaeróbicas cuyo resultado en las emisiones de metano por miembros de *Archaea*.

Las condiciones ambientales y la composición del estiércol también afectan la emisión de metano. Altas temperaturas y el contenido de humedad favorecen la producción de metano. La composición del estiércol se relaciona directamente con los tipos de animales y sus dietas. Por ejemplo, la producción de leche en vacas lecheras está asociada con altos consumos de alimento, y por ello, con tasas de excreción más altas que el ganado no lechero. En algunas instancias, alimentos altos en energía son más digestibles que otros forrajes de menor cantidad, lo que puede resultar en menor cantidad de excretas. En consecuencia, una combinación de todos estos factores afectará las emisiones actuales de los sistemas de manejo de estiércol.

De acuerdo con la USEPA (2006), los principales países emisores de metano provenientes del manejo de estiércol son Estados Unidos, Alemania, India, China, Francia, Rusia, Turquía y Brasil. Según los datos del Ministerio de Ciencia y Tecnología (MCT, 2010), en Brasil las emisiones de metano de dicha fuente ocurren principalmente debido a la producción de cerdos (44%), ganado lechero y de carne (36% y 5%, respectivamente) y aves de corral (12%).

### **d) Uso de vinazas**

Otra fuente de emisión GEI a la atmósfera, especialmente CO<sub>2</sub> and N<sub>2</sub>O, es el uso de vinazas como fertilizante para campos de caña de azúcar (Carmo et al., 2012; Oliveira, 2011). Oliveria (2011) demostró que los canales de distribución de vinaza son una importante fuente de emisión de metano a la atmósfera. La vinaza es el desecho de la producción de etanol a partir de caña de azúcar. De acuerdo a los autores, es posible que la aplicación de este producto disminuya la aireación del suelo y aumenta la disponibilidad de carbón orgánico disuelto frágil para microorganismos, causando micrositios de anaerobiosis.

Brasil es el principal productor de etanol de caña de azúcar del mundo, y enormes volúmenes de vinazas se generan, ya que por cada litro de etanol producido se generan aproximadamente diez litros de vinaza (Mutton et al., 2010). En 2006/2007, se produjeron 190 billones de litros de vinaza en Brasil (Girardi, 2009). Se requiere el desarrollo de mejores prácticas para minimizar los efectos negativos que la aplicación de vinaza tiene sobre las emisiones de GEI. Este producto, rico en carbono y nitrógeno, puede ser tratado bajo condiciones anaeróbicas para la producción de hidrógeno y metano con fines energéticos.

## 2. Estrategias de reducción de metano

### a) Fermentación entérica

Mucha de la investigación se ha dirigido a estrategias de abatimiento de metano implementadas en los rumiantes (Hook et al., 2010 y Alluwong et al., 2011). Estas estrategias usualmente incluyen intervenciones en las dietas y alimentos, en las condiciones de manejo del hato, en el estado fisiológico y propósito del animal, así como también a regulaciones gubernamentales. Es evidente que no es posible aplicar un enfoque único para abordar el problema de la mitigación del metano entérico; sin embargo, la mitigación de las emisiones de metano es efectiva en alguna de dos alternativas: directamente por efecto de los metanógenos, o indirectamente por el sustrato disponible para la metanogénesis, usualmente a través de los microbios del rumen.

Un ejemplo es la composición de la dieta. Estudios han mostrado que el tipo de carbohidratos, almidón y celulosa, se relacionan con las emisiones de metano. Los carbohidratos de fácil degradación, y el tipo y cantidad de almidón pueden reducir los niveles de pH en el rumen, llevando a un descenso en la metanogénesis. Sin embargo, pueden acumularse ácidos orgánicos que provocan una acidosis ruminal semi aguada (SARA) y la disrupción de la microbiota del rumen (Plaizier et al., 2008). Los suplementos alimenticios con lípidos, por ejemplo, en la forma de semillas oleaginosas procesadas (como la semilla de canola) pueden reducir las emisiones de metano sin afectar la digestibilidad de la dieta.

Los mecanismos para la reducción del metano están pensados en la inhibición de protozoos, aumentando la producción de ácido propiónico y la biohidrogenación de ácidos grasos insaturados (Johnson and Johnson, 1995). Además, se cree que los ácidos grasos inhiben a los metanógenos directamente, a través de la unión con la membrana celular y la interrupción del transporte de membranas (Dohme et al., 2001 citado por Hook et al., 2010). La defaunación, que consiste en el uso de cobre, sulfatos, ácidos, químicos superficialmente activos, triazinas, lípidos taninos, ionosforos, saponinos o monensinos, para disminuir la población de protozoos, también ha sido estudiada. Los protozoos del rumen comparten una relación simbiótica con los metanógenos proveyéndoles de hidrógeno, de modo que los tratamientos que disminuyen la población de metanógenos, también disminuyen los metanógenos. Es importante notar que, independiente de los lípidos usados para suplementar las dietas y de los tratamientos aplicados para la defaunación, se debe examinar a las especies rumiantes y su dieta, ya que la reducción de metano puede variar dependiendo de los componentes presentes en la alimentación (Martin et al., 2010 citado por Hook et al., 2010).

Además, los experimentos en vivo de largo plazo de suplementación de la alimentación deben conducirse a través de la medición de la eficacia de la suplementación con lípidos como una estrategia de abatimiento. Fumaratos y maleatos (ácidos dicarboxílicos) estimulan el uso de hidrógeno para la síntesis de propionatos, a expensas del metano en el rumen. Estos productos, que se encuentran naturalmente en plantas, abren promisorias perspectivas que debieran ser exploradas por fabricantes de alimentos y productores ganaderos. El metabolismo de algunas plantas secundarias podría actuar como un inhibidor selectivo de metanógenos (Alluwong et al., 2011).

También se han realizado investigaciones en vacunas, y algunos buenos resultados se han obtenido en experimentos *in vitro* con una vacuna reciente que utiliza fracciones subcelulares de *Methanobrevibacter ruminantium* M1, pero no se han realizado test *in vitro* que prueben la eficacia de la vacuna en metanógenos (Wedlock et al., 2010). Otras estrategias de mitigación son: selección de pastos de alta calidad, incremento de los niveles de granos en la alimentación e incremento de la eficiencia de conversión de los alimentos (Yusuf et al., 2012). En Brasil se han realizado estudios, por ejemplo, en diversidad de metanógenos en dietas con diferentes proporciones de heno (Neves et al., 2010) y mejoramiento de la producción de carne, relacionada con la alimentación con caña de azúcar en la temporada seca (Primavesi et al., 2003).

### b) Campos de arroz

De acuerdo a las estimaciones actuales, la producción de arroz necesitará expandirse en un 70% en los próximos 25 años para sostener a la creciente población humana (Dubey, 2001). Se ha proyectado que las emisiones de metano desde el cultivo de arroz podrían incrementar de 97 Ton/año (en 1990) a 145 Ton/año al año 2050 (Anastasi et al., 1992). Así, son necesarias estrategias de mitigación que

disminuyan las emisiones netas de metano de los campos de arroz, como incrementar la oxidación del metano, y disminuir el transporte de metano a través de la planta (Phillipot et al., 2009).

La mitigación de emisiones de metano de la producción de arroz puede alcanzarse a través de la selección apropiada de cultivos, cambios en el régimen de riego y uso de fertilizantes (Yusuf et al., 2012). Como lo indica Dubey (2005) los cultivos influyen las emisiones de metano al entregarle al suelo los exudados de las raíces, la descomposición de las raíces y la caída de las hojas. De acuerdo con Smith et al. (2008) y Phillipot et al. (2009), los cultivos de arroz con bajas tasas de exudación pueden ser una opción relevante para la mitigación del metano. Fuera de la temporada de arroz, las emisiones de metano pueden reducirse manteniendo los suelos lo más secos posible y evitando los anegamientos. Estudios han demostrado que las enmiendas de materia orgánica (estiércol, purines y gallinaza) en un campo de arroz inundado, incrementan la producción de metano, reducen el potencial redox del suelo y proveen de carbono a los metanógenos.

Respecto del uso de los fertilizantes, Wang et al. (1992) citado por Dubey (2005) muestra que la urea permite flujos de carbono al aumentar el pH del suelo, siguiéndole la hidrólisis de urea y la caída del potencial redox, que simulan actividades metanógenas. Por otro lado, el nitrato de amonio y los fertilizantes basados en sulfatos disminuyen las emisiones de metano. La oxidación del metano por bacterias metanotróficas —el único sumidero biológico conocido para el metano atmosférico— puede contribuir entre 10% y 20% del total de destrucción del metano. Según Dubey (2005), muchos trabajos reportan que la oxidación del metano ocurre en el microcosmos, terrenos inundados, y campos secos de arroz y la oxidación del metano en suelos rizosféricos es considerada un importante sumidero para el metano.

Mientras las arqueas metanógenas y las bacterias metanotróficas son cruciales para el ciclo del metano, la información actual es insuficiente para desarrollar tecnologías y estrategias para la reducción de las emisiones de metano desde los campos de arroz. Por ejemplo, en Brasil, hay una falta de estudios que se enfoquen en los microorganismos metanógenos y metanotróficos en los campos de arroz. De acuerdo a lo observado por Dubey (2005), herramientas moleculares y de aislamiento contribuyen a descifrar la población, estructura y los mecanismos de las emisiones de metano en campos de arroz.

### c) Bioenergía de estiércol y vinaza

De acuerdo con Karakurt et al. (2012), el único método posible para reducir emisiones en el manejo de estiércol es recuperar el metano antes de que sea emitido al aire. Esto podría también aplicarse para la vinaza. El metano tiene un alto valor energético ( $\Delta H^{\circ} = 816 \text{ kJ/mol}$  ó  $102 \text{ kJ/e}^{-} \text{ eq}$ ) que puede capturarse a través de la combustión. El calor liberado en la combustión puede ser usado para procesos o calefacción locales, o puede convertirse en electricidad gracias a turbinas convencionales de vapor (Rego and Hernández, 2006). Por lo tanto, la generación eléctrica para una granja puede ser una forma costoeficiente para reducir sus costos de operación y a la vez reducir sus emisiones de metano.

Tanto para el estiércol como para la vinaza, se han desarrollado estudios para comprender mejor y controlar los procesos anaeróbicos, con el objetivo de alcanzar rendimientos óptimos de biogás. El efecto de sustancias inhibitorias frecuentemente encontradas en el estiércol, tales como antibióticos, amonios, sulfatos y contenido de sal, puede disminuir la producción de metano y la eficiencia de los tratamientos anaeróbicos estudiados, así como la descomposición del estiércol, y la suplementación con nutrientes y desechos orgánicos. Amon et al. (2006) indica un aumento en la producción de metano cuando los purines son suplementados con glicerina y maíz ensilado. Estos autores también demostraron que la dieta de vacas lecheras interfiere con la producción de metano en la digestión anaeróbica del estiércol.

La investigación microbiana de los metanógenos puede ayudar en la clasificación y optimización de sistemas de digestión anaeróbicos; sin embargo, los consorcios microbianos que participan en la generación de biogás, especialmente en la formación de metano, aún son limitados, con pocas apariciones en la literatura (Nettmann et al., 2010). Karakashev et al. (2005) mostraron que miembros de la familia *Methanosarcinaceae* dominaban en los digestores de estiércol con altos contenidos de amonio y de ácidos grasos volátiles y se detectaron también miembros de *Methanobacteriales*. Netman et al. (2012) mostraron que los *Methanomicrobiales* hidrogenotróficos dominaban en cinco de seis plantas de biogás de gran escala, suplementados con diferentes estiércoles líquidos y material grueso renovable.

Dentro de este orden, *Methanoculleus* fue el género dominante. Sólo en uno de los bioreactores de biogás la familia de acetoclásticos fue determinada como dominante en el grupo de metanógenos. Estos resultados apuntan a la metanogénesis hidrogenotrófica como un camino para la síntesis de metano, y que la ausencia de *Methanosaetaceae* en los reactores de biogás está correlacionada con altas concentraciones de amonio total y ácidos volátiles grasos, como fue observado también por Karakashev et al. (2005). Como fue revisado por Kunz et al. (2009), la producción de cerdos puede tener beneficios adicionales con la digestión anaeróbica de sus purines utilizando efluentes digeridos y lodos como fertilizantes del suelo, así como también la ganancia de créditos de carbono, que puede ser gestionada a través de certificados de sociedades intermediarias e instituciones financieras.

En Brasil, se han desarrollado investigaciones sobre el tratamiento anaeróbico de vinaza para bioenergía (metano e hidrógeno). Experimentos en laboratorio con bioreactores han estudiado, por ejemplo, el efecto de los tiempos de retención hidráulica y celular, la configuración de reactores, medios de soporte para el crecimiento de biomasa, fuente de inóculos y temperatura en la producción de metano, entre otros (Ribas, 2006; Souza, 2008; Tonello y Ribas, 2009). La vinaza es producida a altas temperaturas (80 °C - 90 °C), favoreciendo los procesos termofílicos anaeróbicos. Según lo observado por Souza et al. (1992) y Viana (2006), la vinaza de caña de azúcar puede ser tratada con digestión termofílica anaeróbica en reactores UASB. Estudios relacionados con la microbiología del proceso han mostrado la presencia de *Methanosaeta* y *Methanosarcina* en bioreactores metanogénicos (Vazoller, 1997; Ribas et al., 2009). Una co-cultura de *Methanobacterium* sp y del oxidador de propionato *Desulfotomaculum* sp fue identificada en un bioreactor UASB de gran escala (Vazoller, 1997). Recientemente, Peixoto et al. (2012) demostraron que la producción de metano e hidrógeno a partir de vinaza en un proceso de fermentación de dos etapas, sugiere que los efluentes ricos en compuestos orgánicos pueden desplegarse para la recuperación de energía con generación secuencial de hidrógeno y metano, abriendo nuevas perspectivas para el tratamiento anaeróbico de vinaza con recuperación de bioenergía.

### **C. Cuantificación de flujos de vapor y carbono: avances en el monitoreo para la gestión de la huella hídrica y de carbono en Chile<sup>23</sup>**

El uso eficiente de los recursos hídricos en zonas afectadas por una gran variabilidad climática representa uno de los mayores desafíos de la sociedad moderna.

Es sabido que el sector agrícola representa uno de los sectores que exhibe mayor consumo de recursos hídricos. Los cultivos agrícolas capturan la radiación solar, dióxido de carbono, agua y nutrientes, transformándolos en compuestos orgánicos que finalmente resultan en un producto cosechable. En este proceso, la satisfacción de la demanda de agua por parte de las plantas es fundamental en la economía de la producción, puesto que la magnitud de la cosecha guarda estrecha relación con la cantidad de agua transpirada.

Los requerimientos de agua a nivel de cultivo se identifican cuantitativamente con la evapotranspiración. La magnitud de este fenómeno está dictada por las características meteorológicas que determinan el poder de desecación de la atmósfera, tales como radiación solar, déficit de presión de vapor, temperatura y velocidad del viento, por las características del suelo y la superficie vegetal que intervienen en los balances energéticos y por características morfológicas de los cultivos que condicionan los intercambios de energía y materia entre el suelo, cultivo y atmósfera.

Debido a su relevancia en hidrología y en la agricultura numerosos autores han propuesto métodos para estimar su magnitud o desarrollado instrumental específico que permita medir la evapotranspiración.

---

<sup>23</sup> Texto proporcionado por Francisco Meza, Director del Centro de Cambio Global de la Pontificia Universidad Católica de Chile. Esta investigación ha sido financiada a través de los proyectos FONDECYT N° 1090393 y N° 1060544, además del proyecto CORFO N° 09CN14-5704: Fortalecimiento de Capacidades para enfrentar el Cambio Global en Chile.

Los métodos de balance hídrico, si bien conceptualmente correctos, requieren un completo conocimiento de los demás componentes que intervienen (drenaje, escurrimiento superficial, infiltración, cambio del contenido volumétrico de agua en el suelo). Al no contar con mediciones específicas de ellos, los modelos imponen condiciones de borde o supuestos que limitan su aplicación a regiones de mayor tamaño y complejidad (Brutsaert, 1982).

La micro-meteorología estudia el comportamiento y los procesos de la meteorología a pequeña escala, tanto espacial como temporal en la capa superficial de la atmósfera. El énfasis de esta disciplina está en el intercambio gaseoso atmósfera-biósfera para el estudio de los flujos de carbón, agua, y calor entre otras sustancias relevantes. Conocer estas interacciones permite ajustar modelos de pronóstico para determinar la variabilidad espacial y temporal de las condiciones atmosféricas.

La metodología de Eddy covariance se ha utilizado ampliamente para la medición de flujos de gas y energía en la capa límite y su método se basa en la generación de flujos turbulentos que ocurren en la atmósfera, determinados por la rugosidad del territorio y la concentración de una sustancia en particular.

Este método evalúa las covarianzas entre flujos verticales de “eddies o torbellinos” correspondientes a pequeños paquetes de aire que contienen una sustancia en particular. La evaluación de los flujos es realizada en la capa límite de la atmósfera (*Atmospheric Boundary Layer*), que corresponde a la capa inferior de la atmósfera que está en contacto directo con la superficie terrestre, donde ocurren procesos y reacciones en períodos menores a una hora y tienen efecto en una distancia menor a 100 km desde donde se originó la reacción. Debido a que las reacciones en la capa límite atmosférica son continuas, y a que presentan una gran variabilidad temporal, es que las mediciones de los eddies deben registrar la frecuencia de estos intercambios. Y es por eso que los instrumentos de medición, registran estas variaciones a alta frecuencia (5-20 Hz). El instrumental básico de una estación de Eddy Covariance, está compuesto por un anemómetro sónico tridimensional, un medidor de concentraciones de gas, medidor de concentración de vapor de agua y por una termocupla.

La importancia de cuantificar los flujos de CO<sub>2</sub> resulta vital para entender las dinámicas de estos flujos en zonas donde la escasez de recursos hídricos es un factor limitante para los procesos biológicos. Por otro lado, comprender las respuestas de este ecosistema a los factores ambientales de la zona mediterránea, entrega valiosa información para modelar el efecto que tendrá el cambio climático sobre estos ecosistemas, pues como es bien sabido, las proyecciones hacia el año 2100 indican un aumento de la temperatura media de aproximadamente 2 °C y una reducción del 20% de la precipitación anual.

## **D. Biotecnología y recursos genéticos en la mitigación y adaptación de la agricultura al cambio climático<sup>24</sup>**

El cambio climático afecta a toda las actividades humanas, en particular a la agricultura y a la ganadería. Ante los retos planteados, la tecnología es considerada como la principal opción para mitigar y adaptar al sector agropecuario al cambio climático. Paradójicamente, estas actividades —vitales para la humanidad— impactan negativamente al medio ambiente y son, en parte, responsables de las causas asociadas al cambio climático global.

### **1. Cambio climático y su impacto sobre la actividad agropecuaria**

El cambio climático global es una realidad (IPCC, 2001; Sternberg, 2011) representada, por ejemplo, por la alteración de los regímenes de sequía y precipitación, el incremento de las temperaturas, la presencia de fenómenos climáticos extremos, más erráticos y de mayor duración (por ejemplo, los fenómenos de El Niño y La Niña, los huracanes y otros). Estos cambios en los patrones conocidos afectan de manera directa a la agricultura y a la ganadería y, en consecuencia, atentan contra la seguridad alimentaria (FAO, 2011), la

---

<sup>24</sup> Texto preparado por Pedro Rocha, Encargado de Biotecnología, IICA.

economía (Cristaldo, 2012) y la estabilidad de los países (Catarious y Espach, 2009). Paradójicamente, estas actividades —que son vitales para el sostenimiento de la humanidad— impactan de manera negativa al medio ambiente y son, en parte, responsables de las causas asociadas con el cambio climático global.

Algunos de los retos planteados a la agricultura por el cambio climático global incluyen la disminución de áreas de cultivo, cambios inesperados de los períodos de siembra y cosecha, efectos sobre la fisiología de las especies, alteraciones en la dinámica de plagas y enfermedades, incremento en los costos de labores, cambios en la productividad y desincentivos para la inversión y para el trabajo en el campo. Ante tales problemas, se considera que la ciencia, la tecnología, la innovación y la institucionalidad permitirán generar soluciones concretas de manera eficiente y oportuna. Sin embargo, para el cumplimiento de algunas de tales acciones es necesario contar con los marcos regulatorios pertinentes (por ejemplo, los de bioseguridad).

## 2. Biotecnología y biodiversidad para el desarrollo de la agricultura

La biotecnología es una “caja” de múltiples herramientas técnicas, dentro de las cuales se incluyen algunas de utilización rutinaria como la hibridación, la fermentación, el control biológico de plagas y enfermedades; otras más especializadas como el cultivo de tejidos, los marcadores moleculares, la modificación genética y algunas más recientes y poderosas como la genómica y la bioinformática (Rocha, 2011).

**CUADRO 1**  
**CONSECUENCIAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE CULTIVOS Y MEDIDAS DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA PARA MITIGACIÓN Y ADAPTACIÓN**

| Efectos del CC   | Consecuencias sobre el cultivo   | Medidas de CT&I  | Ingenierías: Agronómica, Civil, Mecánica, Electrónica, Sistemas – mecanización, SIG, sensores remotos, observación satelital | Fitomejoramiento: Genética, Fisiología & Fitopatología | Biotecnología: cultivo de tejidos, marcadores moleculares, biorreactores, genómica, bioinformática, transgénesis |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| Disminución de áreas de cultivo (por inundaciones, sequías, vivienda, entre otros)                                 | Incremento en costos (insumo tierra)   | Incremento en densidades de siembra.   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  | Generación de materiales “compactos”.  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Adecuación de tierras  | Incremento de costos (insumos, mano de obra)<br>Posible aumento de emisiones GEI                               | Mecanización eficiente.  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  | Uso de métodos de adecuación eficientes.   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Disponibilidad de agua dulce   | Incremento en costos de adecuación (insumo agua, mano de obra, seguridad física)<br>Conflicto por uso de agua. | Generación de materiales tolerantes a sequía.  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  | Uso eficiente del agua (evaluación de sistemas de riego)   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  | Planes de conservación de cuencas hídricas.<br>Desalinización de agua marina   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Alteración de condiciones medioambientales: humedad, luz (calidad y cantidad), precipitación, vientos, temperatura | Aumento de costos de producción (insumos, semillas, mano de obra)  | Implementación eficiente de tecnificación  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  | Alteraciones fisiológicas (floración, polinización, crecimiento vegetativo, fructificación, contenido y calidad de aceite) |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | Pérdidas de biodiversidad  | Establecimiento de bancos de germoplasma   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | Aumento de plagas y enfermedades conocidas y aparición de nuevas   | Generación de materiales tolerantes o resistentes<br>Desarrollo de sistemas eficientes de diagnóstico                      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Alteración de la calidad del aire (contenido de CH <sub>4</sub> y CO <sub>2</sub> )                                | Implementación obligatoria de políticas de cero quemas   | Desarrollo de sistemas eficientes de preparación de áreas, control de enfermedades, erradicación, entre otras              |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | Reevaluación de sistemas animales en labores de cosecha  | Desarrollo de sistemas mecanizados de cosecha  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

Una de las herramientas de mayor debate e impacto real ha sido la de modificación genética conocida como transgénesis, técnica que permite introducir características (genes) de una especie a otra sin importar su afinidad biológica. Con esta tecnología se han generado cultivos genéticamente modificados (OGM), los cuales, se reporta, ocuparon cerca de 160 millones de hectáreas en el año 2011 (James, 2011). Paralelo a la transgénesis, se ha consolidado el concepto de bioseguridad con el fin de garantizar la integridad biológica.

Por las posibilidades que brindan las herramientas biotecnológicas, el IICA ha fundamentado sus acciones en esta área en cuatro pilares (Rocha, 2011):

- El primero, la biotecnología es una caja de múltiples herramientas (dicho de otro modo, la biotecnología es mucho más que solo transgénesis).
- El segundo, el IICA no toma posición a favor o en contra de una técnica particular, la misión del IICA es entregar —al público en general, a hacedores de política y a tomadores de decisiones— información científicamente validada, generada por los centros de investigación y universidades, para apoyar la toma de decisiones informada en hechos científicos.
- El tercer pilar se refiere a la importancia de que los países establezcan sus marcos regulatorios de bioseguridad independientemente de la posición de aceptación o rechazo a esta tecnología.
- El cuarto pilar establece que la biotecnología es fundamento y complemento de todas las formas de agricultura.

Los objetos de estudio y de uso de la biotecnología son los recursos biológicos (“Individuos, organismos o partes de estos, poblaciones o cualquier componente biótico de valor o utilidad real o potencial que contiene el recurso genético o sus productos derivados”; CDB, 1992) y los recursos genéticos (“Todo material de naturaleza biológica que contenga información genética de valor o de utilidad real o potencial”; CDB, 1992). Los recursos genéticos y biológicos constituyen lo que se conoce como biodiversidad e incluyen genes, proteínas, metabolitos, células, tejidos, órganos, individuos, especies, poblaciones y ecosistemas. En consecuencia, la biodiversidad representa un potencial enorme para el desarrollo de nuevos productos y servicios de interés agrícola, pecuario, industrial y comercial. Sin embargo, el aprovechamiento de este potencial, y particularmente, para los países mega-biodiversos de América Latina, depende del conocimiento acelerado de la biodiversidad y de la capacidad de transformar dichos elementos y el conocimiento asociado a ellos en productos de interés comercial.

Así, la biotecnología es una alternativa para el aprovechamiento sostenible de la biodiversidad (CONPES 2011), entre otras, por las siguientes razones:

- La biotecnología es un conjunto de herramientas altamente eficientes que permiten realizar análisis de un número enorme de muestras (miles) en un tiempo mínimo (de horas). Esto permite tener economías de escala y responder casi en tiempo real.
- Las técnicas biotecnológicas pueden realizar análisis que no son destructivos, ni extractivos.
- Es inocua para el ambiente, se realiza bajo condiciones controladas y requiere intervención mínima sobre el ecosistema, aunque sus efectos finales generan impactos positivos, tales como uso más eficiente del agua, disminución en la utilización de insumos químicos (biocidas, fertilizantes), selección eficiente de materiales, conservación, entre otros.
- Permite analizar todo tipo de recursos genéticos y de sus productos derivados (metabolitos, proteínas).
- Permite identificar el potencial de la biodiversidad y convierte al recurso genético en un bien o servicio tangible, aprovechable y protegible.
- Conduce a un conocimiento más profundo de los elementos de la diversidad dimensionando su valor real.

### 3. Mitigación y adaptación de la agricultura al cambio climático basada en biotecnología y recursos genéticos

De la relación de la biotecnología con los recursos genéticos surge el potencial para adaptar a la agricultura al cambio climático a través de los programas de fitomejoramiento. La biodiversidad es una fuente de genes y de especies para características de interés, por ejemplo, la mejor eficiencia fotosintética y la tolerancia a sequía, salinidad, plagas y enfermedades. La identificación, el aislamiento y el conocimiento de tales genes se hace de manera eficiente mediante técnicas biotecnológicas. Con los genes aislados, el potencial que brinda la modificación genética es el de generar cultivos genéticamente modificados que contengan las características anteriormente mencionadas.

La selección de los materiales que expresan la característica introducida se hace mediante técnicas de marcadores moleculares. Dichos materiales seleccionados pueden ser llevados a producción de semilla o pueden ser clonados mediante técnicas de cultivo *in vitro*. Adicionalmente, la biotecnología permite hacer conservación de germoplasma y la construcción y mantenimiento de bancos de genes. Ejemplos concretos de modificación genética para adaptación al cambio climático incluyen maíz y soja genéticamente modificadas con tolerancia a la sequía (APHIS, 2011; Chan et al., 2010). Ejemplos de conservación son materiales crioconservados en los bancos de germoplasma de las Instituciones Nacionales de Investigación Agrícola (INIAs) de los países. Otro ejemplo importante está relacionado con el potencial de generación de biocombustibles de tercera generación (basado en micro OGM).

Un aspecto que ha sido motivo de controversia en el empleo de la modificación genética es su alto costo. En un estudio de McDougal (2011) se estima en 136 millones de dólares el costo de generación de un cultivo o evento transgénico. Sin embargo, Embrapa reportó en 3,5 millones de dólares el costo de generar su fríjol con resistencia al virus del mosaico dorado cumpliendo todas las fases experimentales y pruebas requeridas por el estricto sistema de bioseguridad de Brasil, con lo cual es evidente que esta tecnología puede ser desarrollada por muchos países.

De otro lado, la nanobiotecnología presenta el potencial de generar sistemas de entrega eficientes de biocidas y nutrientes con lo cual se puede disminuir el impacto negativo que sobre el ambiente tienen estas actividades propias de la agricultura.

Para mitigar los impactos del cambio climático sobre la agricultura, se pueden incluir además técnicas biotecnológicas empleadas por la agricultura orgánica tales como el control biológico de algunas plagas y enfermedades mediante la utilización de bacterias, hongos y extractos de plantas con lo cual se puede disminuir (o racionalizar), en algunos casos, el uso de insumos químicos que contaminan el ambiente y tienen una importante huella de carbono, como por ejemplo, el compostaje para generar biofertilizantes que permiten disminuir el impacto de fertilización química nitrogenada sobre fuentes de agua. Si bien la eficiencia de tales metodologías no es absoluta ni de amplio espectro, ciertamente entre mayor investigación y desarrollo se haga sobre bioproductos, mejores serían las perspectivas para la mitigación.

### 4. Consideraciones finales

El cambio climático global es una realidad, se deben implementar acciones de mitigación y adaptación que involucren a los recursos genéticos existentes y a la biotecnología. Ciertamente, la tecnología y la innovación son importantes, pero no exclusivas, para tales propósitos. Sin embargo, también es indispensable incluir a la institucionalidad.

La biotecnología impulsa el aprovechamiento sostenible y productivo de la biodiversidad, los recursos biológicos, genéticos y sus derivados. Así, la biotecnología es un vehículo para el aprovechamiento sostenible de la biodiversidad y una manera de enfrentar las consecuencias del cambio climático.

Para adaptar la agricultura al cambio climático, los recursos genéticos deben salir de su entorno natural, pasar por los centros experimentales (investigación) y llegar a la empresa y a los consumidores (innovación). Esto implica promover la inversión en la creación de empresas y en el desarrollo de productos y servicios de base biotecnológica a partir de la biodiversidad. Adicionalmente, habrá que



desarrollar las medidas y los mecanismos institucionales que faciliten la interacción de los diferentes agentes que intervienen en el desarrollo proyectos y negocios biotecnológicos.

## **E. Nanotecnología en la rehabilitación de suelos degradados y contaminados<sup>25</sup>**

La aplicación de la nanotecnología para la rehabilitación de suelos degradados y contaminados involucra, al menos, tres estrategias. La primera consiste en la incorporación de mejoradores del suelo o nutrientes protegidos para evitar su reacción con los componentes del suelo sobre los cuales pueden ser fijados; esto puede incrementar la eficiencia en la absorción por las plantas. La segunda es la introducción de componentes nanoestructurados capaces de degradar contaminantes orgánicos o cambiar el estado de oxidación de contaminantes inorgánicos, como los elementos traza. La última estrategia es la captura de tóxicos en nanopartículas para remover los contaminantes por lavado.

La nanociencia es el estudio de fenómenos y la manipulación de materiales a escala nanométrica, es decir,  $10^{-9}$  unidades de metro. Originalmente, la Fundación Nacional para la Ciencia de los Estados Unidos consideró que los materiales cuyo tamaño (al menos en una dimensión) varía de uno a cien nanómetros son considerados nanomateriales y nanopartículas (con dos dimensiones menores de 100 nm). Por tanto, la producción y aplicación de materiales —que pueden ser estructuras macromoleculares, ensambladas, cristales o conglomerados— que contengan partes manipuladas o estructuras a nivel nanométrico, es considerada nanotecnología (Tomalia, 2008). Las estructuras básicas de la nanotecnología incluyen nanopartículas, nanocristales, nanocapas y nanotubos, entre otras (Masciaglioli y Zhang, 2003). Estas partículas pueden ser ensambladas sobre superficies o integradas en materiales porosos para su uso práctico.

La aplicación de la nanotecnología se ha extendido a diversos campos y disciplinas, en sector salud (18%), química (12%), energía, comunicación e información (8%-9%), construcción y defensa (1%-6%; Sánchez et al., 2011), aparentemente, por la alta tasa de retorno del capital invertido en investigación y escalamiento de la tecnología a nivel comercial. En contraste, la aplicación en la agricultura y en el ambiente es aún incipiente; sin embargo, se piensa que su incorporación a la producción agrícola de alimentos, a cualquier nivel de la escala productiva, puede tener efectos muy importantes. Esto ha sido señalado por varios autores en los últimos años (Carrillo-González y González-Chávez, 2009; 2011; Baruah and Dutta, 2009; Liu y Lal, 2012).

Debido a su alta reactividad, las nanoestructuras pueden servir para mejorar la calidad del suelo, mitigar la contaminación e, incluso, controlar la erosión. Respecto a la conservación de los recursos, el uso de la nanotecnología en la rehabilitación de suelos puede ayudar a reducir sus costos, pero el beneficio potencial debe estar en balance con el riesgo de su uso, lo cual involucra estudios de costo-beneficio e implicaciones ambientales. Bajo este contexto, es necesario establecer los factores de riesgo que subyacen a la exposición a nanopartículas sintéticas, pues además de la exposición al uso directo están los procesos derivados, como es la dispersión y el desecho de nanopartículas. También se requiere estudiar la dinámica de las partículas en el ambiente.

### **1. Uso de la nanotecnología para rehabilitar suelos degradados**

La degradación física es uno de los procesos que más afecta a los suelos en América Latina, según Harden and Hyman (2007). El 14,5% de la superficie de Sudamérica está severamente degradado por erosión. La nanotecnología puede ayudar en la rehabilitación de estos suelos, considerado que la pérdida de la capa arable del suelo deja al descubierto las capas subyacentes, pobres en materia orgánica y poco

---

<sup>25</sup> Preparado a partir del texto proporcionado por Rogelio Carrillo y M. del C. González-Chávez, para la presentación del Programa de Edafología, Colegio de Postgraduados, México, a cargo de Rogelio Carrillo.

fértiles, y que la inversión económica para rehabilitar estos suelos es alta y requiere mucho tiempo, pues la formación de la capa arable del suelo, en forma natural, requiere de miles de años.

El uso combinado de la nanotecnología con los procedimientos convencionales de recuperación de suelos puede ser útil para reducir el costo en tiempo y recursos, al menos bajo dos posibilidades: la aplicación de nanocompuestos para mejorar las condiciones del suelo y suministrar nutrientes; y la descontaminación de suelos contaminados.

Usar nanocompuestos como enmiendas para mejorar las condiciones donde se establezcan plantas. Las zeolitas con una densidad hasta 0,8 g/mL, pueden mejorar las condiciones físicas de los suelos degradados (Githinji et al., 2012). Las zeolitas tienen alta superficie específica (105 m<sup>2</sup>/g), alta capacidad de retención de agua, alta capacidad de intercambio de iones y de hidratación; pueden adsorber tóxicos como el arsénico y, por lo tanto, bajan su disponibilidad. En consecuencia, pueden mejorar la calidad de los suelos contaminados al aplicar materiales nanoporosos o introducir nutrientes protegidos. Por ejemplo, cuando los suelos de origen volcánico pierden la materia orgánica por erosión o mineralización, debido al uso intensivo, tienen alta capacidad de fijación de fósforo y alta toxicidad de aluminio.

Para suministrar nutrientes como el fósforo y reducir las reacciones de fijación e inmovilización en el suelo se pueden aplicar nanocompuestos en forma protegida, para que al contacto con la raíz sea liberado y pueda ser adsorbido por las plantas. Ya se han diseñado algunos fertilizantes de lenta liberación protegidos con poliestireno o con capas de caolinita en sistemas mesoporosos (Liu et al., 2006), que pueden hacer más eficiente su uso. Ledezma (2012) produjo nanoesferas portadoras de nitrógeno y las aplicó a lechugas creciendo en hidroponía, en dosis 10 veces menores que la fertilización comercial, obteniendo la mitad de biomasa. Aparentemente, se podrá reducir la dosis de fertilización al mejorar la eficiencia de absorción de nutrientes, lo que ayudaría a reducir volúmenes de aplicación. Respecto a los micronutrientes (como hierro, zinc y cobre), la posibilidad de optimizar su uso es también posible usando materiales nanoestructurados como protectores de nutrientes de su fijación. También está el uso de vitaminas (Baruah y Dutta, 2009) y hormonas de crecimiento aplicadas en estructuras protectoras.

La degradación química del suelo y el agua se debe a la presencia de contaminantes orgánicos e inorgánicos, incluyendo nutrientes en concentraciones altas. Como alternativa para descontaminar, se ha propuesto el uso de la nanotecnología, con ciertas ventajas como la reducción del tiempo de reacción.

## 2. Aplicación de las nanopartículas (NP)

El uso de la nanotecnología para la protección ambiental puede ser directo o indirecto. De manera indirecta, la nanotecnología puede contribuir a prevenir la contaminación como resultado de la construcción de bienes de consumo más pequeños (miniaturización), lo que resulta en la disminución de la producción de contaminantes. La aplicación de la nanotecnología en diversas áreas tecnológicas reduce la demanda del volumen de insumos y la producción de basura, por lo que ayuda a prevenir la contaminación. El uso directo ocurre, al menos, en dos niveles: en la descontaminación de agua residual destinada al uso en la agricultura y en la aplicación directa al suelo, para degradar contaminantes o cambiar su forma química.

Dentro de las ventajas que se tienen por usar nanotecnología para descontaminar agua, está el incremento en la eficiencia del proceso y la reducción del tiempo necesario para la descontaminación (Xu y Zhao, 2007), ya que muchas de las reacciones ocurren en unas cuantas horas. Su eficiencia y reactividad se debe a que, al reducir el tamaño de las partículas, se incrementa la superficie de contacto.

En el agua se ha probado la capacidad y eficiencia de las NP con distintos materiales (quitosano, celulosa) para adsorber contaminantes como cationes metálicos (plata, cromo, níquel, cadmio) y algunas moléculas orgánicas (Maliyekkal et al., 2010). La remoción de metales es lo que más se ha estudiado, incluso para capturar metales del agua destinada a uso potable (cuadro 1).

Las nanopartículas adsorbentes, reductoras o fotocatalíticas pueden ser fijadas sobre otras estructuras para facilitar su manipulación (Sreepasad et al., 2011; Mayo et al., 2011). La ventaja de usar estos materiales en solución es su rápida interacción con otros componentes debido al movimiento browniano y a que penetran cavidades pequeñas donde los productos a granel no pueden hacerlo

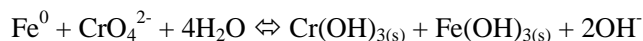
(Tratnyek y Johnson, 2006). Una opción es emplear óxido de hierro nanoestructurado para adsorber arsénico (Yavuz et al., 2010) y después remover el complejo de adsorción con un campo magnético. Otro ejemplo es usar NP de oro soportados sobre alumina para capturar y remover mercurio del agua (Yen Fei, 2012). También se pueden usar algunas NP para oxidar metales y moléculas orgánicas, aprovechando sus propiedades fotocatalíticas (Baruah y Dutta, 2009). Así mismo, se ha ensayado la recuperación de compuestos de los sedimentos de aguas residuales como el amonio, usando NP (Allhoff y Linn, 2008), lo que permitiría reciclar nutrientes y reducir costos energéticos.

**CUADRO 2**  
**ALGUNOS CONTAMINANTES INORGÁNICOS REMOVIDOS DEL AGUA USANDO DISTINTAS NANOESTRUCTURAS**

| Metal removido                     | Nano partícula                          | Mecanismo               | Fuente   |
|------------------------------------|---|-------------------------|--|
| As <sup>(III), (V)</sup>           | Fe <sup>(III)</sup> -Zn óxidos binarios | Adsorción               | Gupta <i>et al.</i> (2009)                           |
| As <sup>(V)</sup>                  | Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>          | Adsorción               | Akin <i>et al.</i> (2012)                            |
| Mo <sup>(VI)</sup>                 | Magnetita                               | Adsorción               | Afkhai y Noroozasi (2009)                            |
| Cr <sup>(VI)</sup>                 | TiO-Ag                                  | Adsorción/<br>Reducción | Liu <i>et al.</i> (2011)                             |
|                                    | Fe/ Pd/ Cu/ Ag/ Al/ Mg/ Co              | Reducción               | Rivero-Huguet and Marshall (2009)                    |
| Pb                                 | Nanotubos de Ti-                        | Adsorción               | Xiong <i>et al.</i> (2011)                           |
| Pb <sup>(II)</sup>                 | Carbón                                  | Adsorción               | Keun-Young <i>et al.</i> (2011)                      |
| Cr <sup>(VI)</sup>                 | Fe <sup>0</sup>                         | Reducción               | Xu y Zhao (2007)                                     |
| U <sup>(IV), U<sup>(V)</sup></sup> | Fe <sup>0</sup>                         | Reducción               | Dickinson y Scott (2010)                             |
| Hg <sup>(II)</sup>                 | Citrato de Au                           | Adsorción               | Ojea-Jiménez <i>et al.</i> (2012)                    |
| Co <sup>(II)</sup>                 | Fe <sup>0</sup>                         | Adsorción               | Uzum <i>et al.</i> (2008)                            |
| Ni <sup>(II)</sup>                 | Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> quitosan | Adsorción               |  |
| Au, Ag, Pt, Pd                     | Varios                                  | Adsorción               | Sánchez <i>et al.</i> (2011), Yang and Gordon (2009) |

La reducción de contaminantes orgánicos se ha investigado a través de la adsorción, su transformación o degradación por oxidación catalítica, e incluso por adsorción (cuadro 2). En varios casos, la transformación es rápida. El carácter oxidante de NP de óxidos de zinc puede ayudar a la oxidación de los compuestos orgánicos, en el tratamiento de lodos residuales (Mu et al., 2012). Sin embargo, para usar estas alternativas aún es necesario usar las técnicas y la producción de NP en forma segura para el ambiente y la salud humana.

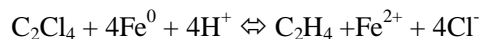
La disminución de la actividad de iones tóxicos y la remoción de contaminantes en suelo usando NP *in situ* son procesos complejos y difíciles de estudiar. Pero *ex situ* se han realizado algunos experimentos en columnas de suelo, las cuales son lavadas con soluciones que contengan NP para remover o inmovilizar contaminantes. Esto se ha probado para reducir cromato de Cr<sup>(VI)</sup> a Cr<sup>(III)</sup>, como lo muestra la ecuación siguiente, para posteriormente removerlo por lixiviación (Xu and Zhao, 2007):



De manera similar, otras especies químicas de alta carga, solubilidad y toxicidad como U<sup>6+</sup> y Se<sup>6+</sup>, son reducidas a U<sup>4+</sup> y Se<sup>4+</sup>, de menor solubilidad y toxicidad. Las NP a base de fósforo pueden ser usadas para estabilizar algunos metales (plomo, cobre, zinc, cadmio, cobalto) en forma de fosfatos. Los sulfuros (S<sup>2-</sup>) pueden ser útiles para atrapar mercurio y arsénico y reducir su disponibilidad o la formación de formas orgánicas móviles (Liu y Lal, 2012).

Los contaminantes orgánicos, principalmente no polares, pueden ser secuestrados en nanotubos de carbono de distinta arquitectura (Liu y Lal, 2012). El tolueno (Larsen, 2007) y benzaldehído se pueden remover con zeolitas nanoestructuradas. Este último, con un 85% de eficiencia en comparación con el 35% usando zeolitas convencionales (Masciangioli and Zhang, 2003). La atrazina se ha adsorbido sobre NP de óxido de silicio (SiO<sub>2</sub>) recubiertas con ácidos húmicos, en sistemas acuosos (Lu et al.,

2009). Otras moléculas —como los hidrocarburos poliaromáticos recalcitrantes, los cuales son típicamente encontrados en petróleo, carbón, creosote y varios residuos industriales, y que normalmente son fuertemente adsorbidos en el suelo— han sido exitosamente removidos con partículas de poliuretano en solución (Tungittiplakorn et al., 2004). Se demostró la degradación de tricloroetileno por oxidación con NP de Fe<sup>0</sup> (Zhang et al., 2011), al igual que otros compuestos como bromoformo, cloroformo, tetraclorobenceno, cloruro de vinilo y tetracloroetano cuya reacción ocurre como sigue:



Sin embargo, hay factores que influyen en la degradación, como son la sorción, el contenido de materia orgánica y de surfactantes, los cuales se deben estudiar.

**CUADRO 3**  
**EJEMPLO DE ALGUNOS COMPUESTOS OXIDADOS CON NANOPARTÍCULAS**

| Nanopartícula                 | Compuesto transformado                                    | Comentario               | Fuente  |
|-------------------------------|---|--------------------------|---|
| TiO <sub>2</sub>              | Colorante rojo 195<br>Ácido 3,6 dicloro 2 metioxibenzoico | Adsorción/ Fotocatálisis | Belessi <i>et al.</i> (2009), Prevot <i>et al.</i> (2001) |
| SiO <sub>2</sub> - A. húmicos | Atrazina  | Adsorción                | Lu <i>et al.</i> (2009)                                   |
| Mn-Ce-Co complejo             | 4,4 dibromobifenil  | Oxidación catalítica     | Chen <i>et al.</i> (2012)                                 |
| FeS                           | Tetracloroetano   | Adsorción/ Reducción     | Amir y Lee (2012)   |
| ZnO                           | Azul de metileno  | Fotocatálisis            | Baruah y Dutta (2009)                                     |
| ZnO - TiO <sub>2</sub>        | 2,2 dicloroetano dimetil fosfato                          | Fotocatálisis            | Baruah y Dutta (2009)                                     |

Por otra parte, está el uso de sensores ambientales, entre los cuales se incluyen sustancias químicas y materiales biológicos nanoestructurados más sensibles para la detección de compuestos o elementos tóxicos. Por ejemplo, la construcción de NP de núcleo magnético cubierto con óxido t-butilfenil-N,N-di-isobutil-carbamoil-metil-fosfina para la detección de uranio (Barnerjee et al., 2010), mercurio y moléculas orgánicas como plaguicidas y compuestos aromáticos. Estos pueden servir para el control de la contaminación y detección anticipada.

Entre los riesgos de usar la nanotecnología para la remediación de suelos están:

- que la interacción entre contaminantes y NP genere productos más tóxicos que los mismos contaminantes;
- las NP usadas se introduzcan a la cadena trófica a través de las plantas;
- que sean tóxicas para las plantas y otros organismos benéficos y con vida media larga;
- que cause degradación de componentes naturales del suelo o alteración de procesos;
- Los derivados de la síntesis de nanopartículas.

### 3. Conclusión

La nanotecnología es una alternativa para ayudar a rehabilitar suelos contaminados, ya sea por reducción química, adsorción y secuestro de contaminantes inorgánicos o por degradación y adsorción de compuestos orgánicos; sin embargo, es necesario escalar los procedimientos a casos reales y hacer el rastreo del destino de las NP usadas en el procedimiento.

Los mayores avances se han dado en la captura y descomposición de contaminantes en solución, pero algunos experimentos demuestran que la nanotecnología se puede aplicar a suelos para remover tóxicos, lo que implica la necesidad de invertir en el desarrollo de esta tecnología, por ejemplo, en el diseño de sensores ambientales que pueden ser usados en combinación con los métodos convencionales de prevención o detección de la contaminación.

Las implicaciones de la aplicación de la nanotecnología no han sido estudiadas, por lo que han surgido especulaciones tanto a favor como en contra de la transferencia de esta tecnología. Lo que es claro, es la necesidad de incursionar aún más sobre la dinámica de los materiales nanoestructurados vertidos al ambiente y sus posibles efectos en los organismos, como principio de precaución.

## V. Promoción de las nuevas tecnologías en la agricultura

---

### A. Introducción

Se incluyen en este capítulo dos presentaciones sobre la promoción de las nuevas tecnologías en la agricultura. La primera es una iniciativa regional, desarrollada por el Programa Cooperativo para el Desarrollo Tecnológico Agroalimentario y Agroindustrial del Cono Sur (Procisur), a través de su programa de plataformas regionales. La segunda es una iniciativa nacional, desarrollada en Costa Rica, para la promoción de las tecnologías de información y comunicación en la agricultura, en la que convergen los intereses de los sectores público (a través del Ministerio de Agricultura y Ganadería) y privado (a través de la Cámara de Tecnologías de Información y Comunicación). También se incluye una presentación sobre aspectos éticos y legales de la aplicación de la nanotecnología en la agricultura.

### B. La plataforma de tecnologías emergentes del PROCISUR<sup>26</sup>

El PROCISUR, creado en 1980, es una iniciativa conjunta de los institutos nacionales de investigación agropecuaria del Cono Sur.

El PROCISUR tiene como misión promover la cooperación entre los INIA, para contribuir a mejorar la productividad, competitividad, sostenibilidad de los recursos naturales, seguridad alimentaria, desarrollo territorial rural y equidad social de la agricultura regional. Su principal objetivo es contribuir a la construcción de un sistema regional de innovación —focalizado en la generación de tecnologías apropiadas y conocimientos de frontera— para atender las demandas de los sistemas agroalimentario y agroindustrial en sus países miembros.

---

<sup>26</sup> Texto preparado por Itamar Soares de Mello, Coordinador de la Plataforma de Nuevas Tecnologías, PROCISUR. Embrapa Environment, Jaguariúna, Brasil.

Uno de los principales instrumentos del Procisur son las plataformas regionales, ámbitos de coordinación que sirven para articular e integrar a los diferentes actores públicos y privados de un sector específico en emprendimientos cooperativos para promover el desarrollo tecnológico y la innovación en un área de interés común. Las plataformas regionales permiten crear alianzas, mecanismos de intercambio y cooperación, alternativas de negocios, y fundamentalmente, identificar posibilidades para articular y consolidar redes de innovación.

La plataforma tecnologías emergentes tiene como objetivos: i) intercambiar conocimientos y establecer consensos sobre las áreas prioritarias de las tecnologías emergentes en los países del PROCISUR; ii) evaluar la participación de las tecnologías emergentes en la competitividad y sustentabilidad de la agricultura regional; y iii) establecer un núcleo de conocimiento, que se sustente en los aportes del equipo técnico e integre otras fuentes, para brindar asesoramiento y capacitación a las instituciones de la región. Con ello se busca concretar avances tecnológicos para la competitividad de la agricultura en los mercados, aprovechando los desarrollos en biotecnología, nanotecnología, agricultura de precisión y TIC.

Las líneas de investigación de la plataforma de tecnologías emergentes relacionadas con la mitigación del cambio climático en la agricultura incluyen las tecnologías genómica y metano-génicas para el desarrollo de plantas eficientes en el uso del agua, el etanol de segunda generación, la sequía y la solubilización de los fosfatos.

## 1. Etanol de segunda generación

El etanol de segunda generación (2G) (etanol celulósico) se basa en el uso de las partes (ligno-celulósicas) no utilizadas de las plantas, como el bagazo<sup>27</sup> de la caña de azúcar, paja o mazorcas de maíz. Brasil ha liderado investigación intensiva en procesos 2G, usando diferentes materiales, dado que el rango potencial para producir alcohol líquido a partir de materias primas lignocelulósicas es amplio. Sin embargo, el bagazo de la caña de azúcar provee de los azúcares necesarios para producir alcohol líquido a través de un proceso de fermentación. Este etanol 2G puede ser producido con menores impactos para el ambiente. Embrapa se ha especializado en explorar microorganismos en dos ámbitos: usando microorganismos cultivados de la biomasa de la Amazonía y el Bosque Seco Tropical (Caatinga), y usando una aproximación metagenómica.

## 2. Sequía

Uno de los limitantes más serios de la producción agrícola es la sequía, que deshidrata los tejidos de las plantas y causa daños celulares irreversibles. Sin embargo, las bacterias anhidrobióticas pueden resistir largos períodos en un estado seco. Algunas de estas cepas bacterianas son benéficas para el crecimiento de las plantas, aún bajo estrés hídrico. Estos organismos tienen la capacidad de sintetizar y acumular altas concentraciones de trehalosa, betaína y prolina<sup>28</sup>. Así, bacterias inoculantes pueden formularse para ser utilizadas en el tratamiento de semillas. Además, algunas plantas han sido intervenidas con ingeniería genética para expresar las enzimas que catalizan la síntesis de varias soluciones compatibles.

## 3. Fosfatos en agricultura

Los fosfatos son los principales macronutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas. No obstante, la concentración de P soluble en suelos es usualmente muy baja, y las mayores proporciones se encuentran en rocas insolubles. Estas fuentes constituyen grandes reservorios de P en muchos países, y bajo las condiciones apropiadas, como el uso de microorganismos, pueden ser solubilizados. El uso de rizobacterias solubilizadoras de fosfato como biofertilizantes se ha vuelto un área interesante en algunos países. En este sentido, es importante para los investigadores identificar minas de rocas para explorar, así

---

<sup>27</sup> Bagazo corresponde a los residuos que quedan al extraer el jugo de frutas o vegetales.

<sup>28</sup> La trehalosa es un tipo de azúcar doble; la betaína es un sólido incoloro, derivado del ácido N,N-dimetilaminoacético con la fórmula (H3C)3N(+)-CH2-CO2(-); la prolina es un tipo de aminoácido.

evitar los altos costos de importarlas. En este contexto, PROCISUR puede generar apoyo estratégico para implementar proyectos colaborativos en todas estas áreas estratégicas para los países del Cono Sur.

## **C. Cooperación público-privada para acelerar el desarrollo digital en el sector agrícola de Costa Rica<sup>29</sup>**

A continuación se presenta el ejemplo de la implementación de las tecnologías digitales en el sector agroalimentario y rural de Costa Rica, con un vistazo general de las acciones y políticas público-privadas desarrolladas para alcanzar un diálogo agrodigital, así como la puesta en ejecución de propuestas para lograr un desarrollo del sector agroalimentario mediante el apoyo de las TIC.

### **1. Política de Estado para el sector agroalimentario y el desarrollo rural costarricense, 2010-2021**

La política para el sector agroalimentario y desarrollo rural nacional ha sido planteada por el Ministerio de Agricultura y Ganadería de Costa Rica como un plan de acción a corto, mediano y largo plazo, con la finalidad de preparar al país hacia el bicentenario de la Independencia en 1921, año en el que el país espera alcanzar la meta de “Carbono neutralidad”.

La puesta en marcha de la política ha implicado un proceso de consulta, negociación y concertación con los sectores público, privado y académico, así como con la sociedad civil. Este proceso de consulta ha implicado la realización de varias mesas de diálogo que han versado sobre temas específicos, tales como TIC, cambio climático, agua, innovación e institucionalidad, entre otros.

Estas acciones tienden a alcanzar un sector agroalimentario posicionado como motor del desarrollo costarricense que sea inclusivo, moderno, competitivo y ambientalmente responsable. En este sentido, se busca desarrollar las condiciones técnicas y de servicios accesibles para alcanzar una producción moderna y competitiva. Es por esta razón que se debe procurar que la producción del sector agroalimentario y rural tienda a la armonía con la naturaleza y esté orientada a las condiciones de mercado. Con ello se lograrán mayores beneficios económicos y sociales, y especialmente, podrá convertirse en un motor del desarrollo de los territorios rurales.

En general, la política propuesta, se apoya en una articulación eficiente y eficaz de la institucionalidad pública y privada, centrada en cuatro pilares fundamentales: i) competitividad; ii) innovación y desarrollo tecnológico; iii) gestión para el desarrollo equilibrado de los territorios rurales; y iv) medidas de adaptación y mitigación del cambio climático y de gestión agroambiental.

### **2. Ecosistema digital “Costa Rica: Verde e Inteligente 2.0”**

La estrategia “Costa Rica: Verde e Inteligente 2.0” (CRVI), es la segunda versión de una propuesta quinquenal que ha planteado el sector privado de las tecnologías digitales, mediante la Cámara de Tecnologías de Información y Comunicación (CAMTIC), como una forma de articular y fomentar el crecimiento del ecosistema digital costarricense. Cabe indicar que el sector de tecnologías digitales de Costa Rica es uno de los de mayor desarrollo en ese país y aporta aproximadamente el 14% del PIB, cerca del 30% del total de las exportaciones de Costa Rica y corresponde a alrededor del 4% de la población económicamente activa.

El Foro Económico Mundial ha calificado a Costa Rica como uno de los países más preparados en el tema digital y, según el Banco Mundial, es uno de los principales países con mayor capacidad de exportación de bienes y servicios de alta tecnología. El ecosistema digital, según la clasificación

---

<sup>29</sup> Texto preparado por Otto Rivera Valle, Director Ejecutivo de la Cámara de Tecnologías de Información y Comunicación de Costa Rica (CAMTIC).



utilizada por CAMTIC, está conformado por nueve subsectores, así como varios grupos de aliados y grupos de apoyo. Esos subsectores son los siguientes:

- desarrolladores de software;
- multimedia digital;
- e-commerce;
- e-learning;
- tecnología de la información;
- telecomunicaciones y redes;
- comercialización de tecnologías;
- servicios habilitados por las tecnologías digitales;
- manufactura de componentes digitales.

Entre los grupos de aliados se consideran: el Estado, las instituciones públicas y privadas que trabajan alrededor del sector de las tecnologías digitales (TD), organizaciones financieras públicas y privadas, la academia, el sector educativo y finalmente, los usuarios de las TD.

Uno de los objetivos principales de esta estrategia es la consolidación del ecosistema digital (ETD) y por ello se pretende alcanzar el bienestar del mayor número de los actores de este ecosistema. También resulta fundamental el desarrollo de un mercado de bienes y servicios digitales, sostenibles y competitivos, así como la convergencia de actores (locales y extranjeros) y la búsqueda de múltiples procesos y modelos de negocio, todo esto impulsado por la innovación, la excelencia, el emprendimiento y la alta productividad.

Otro de los objetivos de la CRVI 2.0 es acelerar el desarrollo de capacidades individuales y colectivas —empresariales y gubernamentales— en lo digital. Por ese motivo, la estrategia propuesta por CAMTIC centra su actividad tanto en los actores del sector digital, como en el resto de los sectores sociales y económicos del país, incluyendo al Estado. Por ello se promueva y se participa en el desarrollo de instrumentos de política pública y de acción privada.

Una de las prioridades de la estrategia CRVI 2.0 es la denominada "transversalidad tecnológica". Este concepto fundamentalmente considera a las empresas TIC no como componentes de un sector económico en sí mismo, sino como generadoras de herramientas habilitadoras de los diferentes sectores económicos, incluyendo entre ellos a la agricultura. Esto lo hace especialmente a partir de la incorporación de los sistemas de información, la computación en la nube, la administración de datos, y la bioprospección y accesibilidad de comunicaciones, tan sólo por mencionar algunas acciones de convergencia.

### **3. Lo agrodigital o la convergencia de lo digital y el sector agroalimentario**

La "Política de Estado para el sector agroalimentario y el Desarrollo Rural Costarricense 2010-2021" y la estrategia "Costa Rica: Verde e Inteligente 2.0" coinciden en la necesidad de lograr un eficaz y eficiente ecosistema que potencie el desarrollo costarricense de manera inclusiva, moderna, competitiva y ambientalmente responsable.

Dicha coincidencia encuentra su manifestación práctica especialmente en el primero de los pilares de la política estatal, es decir, la relacionada con la competitividad. Desde esta óptica, es importante que se realice un adecuado análisis de áreas prioritarias como las siguientes:

- gestión del conocimiento con las TIC;
- planes de competitividad por agrocadena;

- gestión eficiente y eficaz de los mercados;
- facilitación para agronegocios;
- infraestructura de apoyo a la producción;
- financiamiento y seguros;
- sanidad agroproductiva.

Es mediante la gestión del conocimiento con las TIC que se logrará cerrar brechas tecnológicas, mejorar los procesos de tomas de decisión y aprovechar las ventajas comparativas y competitivas de los productos y servicios. Esto facilitará la inserción exitosa en diferentes mercados. Precisamente, esta visión ha permitido desarrollar acciones conjuntas entre el sector público y el sector privado, no sólo en la generación de políticas, sino también en procesos de diálogo. La intención es determinar acciones a seguir en favor de una adecuada incorporación de las tecnologías digitales al sector agroalimentario. Para ello se han utilizado una serie de instrumentos como:

- foros de discusión sobre uso potencial de las TIC en el sector agroalimentario y rural;
- agromensajes vía telefonía móvil (SMS);
- marco regulatorio para la gestión del conocimiento;
- sistemas de información del sector agroalimentario costarricense;
- comunidades de práctica científica y técnica del agro costarricense (REDNIA);
- puntos de acceso público (Centros Comunitarios Inteligentes, CECI, y bibliotecas públicas).

#### **4. Un Acuerdo Social Digital para una sociedad biointeligente**

La posibilidad de lograr esa alianza público-privada en favor del desarrollo de una apuesta agrodigital no puede lograrse si no se cuenta con un apoyo de la política gubernamental y la planificación del Estado. En este sentido, cabe mencionar que el Gobierno de La República de Costa Rica ha propuesto el establecimiento de un Acuerdo Social Digital, sustentado en una alianza público-privada. Este acuerdo propone tres ejes básicos:

- un Plan Nacional de Banda Ancha;
- una política de gobierno digital;
- una política de accesibilidad y convergencia, denominado Solidaridad.

El acuerdo pretende establecer políticas sobre qué y cómo interiorizar las tecnologías digitales en las diferentes áreas productivas e institucionales. Por ello, establece roles claros entre actores: academia, industria, gobierno y sociedad civil. Además, enfatiza fuertemente los temas de educación y productividad, así como en el establecimiento de objetivos cuantificables y medibles, mediante metas de corto y largo plazo.

Con respecto a la banda ancha, el Acuerdo Social Digital propone el acceso a infraestructura que garantice el acceso a las comunicaciones, así como a contenidos, información y educación. En cuanto al Gobierno Digital, el Acuerdo deberá fortalecer acciones institucionales tendientes a promover la transparencia y a facilitar la tramitación y la relación administración-administrado. En este sentido, se busca también la sistematización de los servicios del Estado y la puesta en línea de estos servicios. Finalmente, en lo relativo a la solidaridad, el acuerdo pretende un acceso universal a las tecnologías digitales como una forma de alcanzar la solidaridad, que permita el acceso a la información y servicios más eficaces y eficientes. Con ello, el derecho a la información, educación y comercialización de los sectores agroalimentarios pueden ser garantizados y se podrá lograr una mejor producción y desarrollo.

#### **5. Un mensaje final**

Para finalizar, una breve cita:

“Ay de los países que no utilicen a la ciencia como guía en sus empresas, se quedarán postergados y estarán supeditados al desarrollo de los demás, porque en las sociedades actuales, aquéllos que utilicen mayor conocimiento y sagacidad, serán los que logren ventajas sobre los otros...” *José María Castro Madriz, Presidente de Costa Rica, Discurso en la inauguración de la Universidad de Santo Tomás, 15 de Setiembre de 1844.*

## D. Aspectos éticos y legales de la nanotecnología en el sector agroalimentario<sup>30</sup>

### 1. La nanotecnología

Una reflexión sobre los aspectos éticos y legales de las nanotecnologías en el sector agroalimentario parte de una cita del Profesor Dr. Edgar Morín, quien establece las condiciones en que hoy día se mueve la nave tierra “*La nave espacial Tierra es movida por cuatro motores asociados, y al mismo tiempo, en descontrol: ciencia, técnica, industria y capitalismo (o lucro)*”. El problema se da en establecer un control sobre estos motores: los poderes de la ciencia, de la técnica y de la industria deben ser controlados por la ética, que puede imponer su control por medio de la política.

La nanotecnología puede ser descrita como la habilidad para trabajar a nivel molecular, átomo a átomo, para crear estructuras con funciones fundamentalmente nuevas. El término nano alimentos, describe alimentos que han sido cultivados, producidos, procesados o embalados usando herramientas o técnicas nanotecnológicas, o aquellos que tienen materiales nano-manufacturados adicionados a ellos (Jouseph y Morrison, 2006).

La importancia de estas nuevas tecnologías puede demostrarse mediante el presupuesto público de los Estados Unidos de América: USD 1.847,3 billones en 2011; USD 1.696,9 billones en 2012; USD 1.767 billones en 2013 (U.S. Government, 2012). Y también por el potencial de mercado estimado para el año 2015 por sectores industriales, sobre todo en nuevos materiales (340 mil millones de dólares), electrónica (300 mil millones de dólares), farmacéutica (180 mil millones de dólares) y en químicos (100 mil millones de dólares).

La nanotecnología es la Quinta Revolución Industrial y tiene nuevas implicaciones sociales que no pueden ignorarse: nuevas industrias, compañías, habilidades profesionales, cambios en los empleos, nuevos estados de salud, nuevos desafíos en la distribución de salud, soluciones a problemas de desarrollo y nuevas nociones de seguridad personal y nacional.

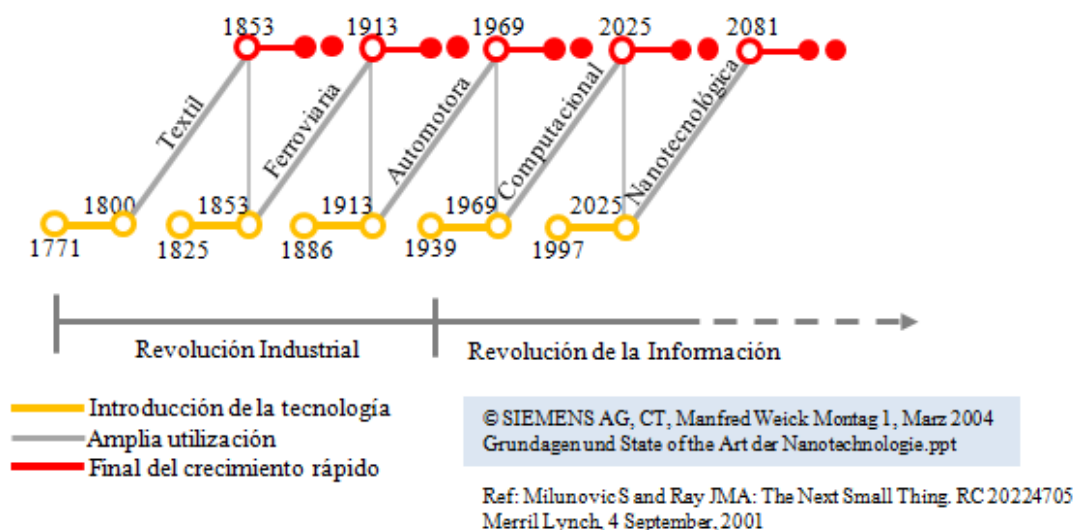
En las cadenas agroalimentarias, existen diversas áreas donde las nanotecnologías podrían o están presentes, como por ejemplo:

- Agricultura: Nuevos pesticidas, ingeniería genética específica, preservación de identidad, entrega de agroquímicos, y sensores para monitorear las condiciones del suelo.
- Procesamiento: Nano-encapsulación de sabores y aromas, agentes gelatinizantes y viscosificantes, nanoemulsiones, sanitización de equipamientos.
- Productos: Protección UV, antimicrobianos, monitoreo, barreras plásticas, seguridad, antifalsificación, sensores de contaminación.
- Nutrición: Nutricéuticos, entrega de nutrientes, fortificación mineral y vitamínica, purificación de agua para bebida, suplementos de características sensoriales.

---

<sup>30</sup> Elaborado a partir de la presentación del Dr. Paulo Roberto Martins, Red Brasileña de Investigación en Nanotecnología, Sociedad y Medio Ambiente, RENANOSOMA.

**GRÁFICO 4**  
**FUERZAS TECNOLÓGICAS REVOLUCIONARIAS**



Fuente: Presentación de Paulo R. Martins.

## 2. Ética y nanotecnología

La ética tiene que ver con la moral, con lo que es correcto o errado y con la forma en que descubrimos qué es correcto o errado. Así, las relaciones entre tecnología y la sociedad son mucho más complejas que una posible “nano-gobernanza”. El proceso de regulación es entendido como político, no técnico. La regulación es un acuerdo político entre los diversos actores sociales interesados en un tema, aunque no necesariamente es un tema público. No existe una auto regulación capaz de construir un acuerdo político que haga que todos los actores se sientan involucrados.

Necesariamente ocurre una confrontación social de esta nueva tecnología. Es necesario aprender del pasado, con el caso de los transgénicos, romper con los ciclos de propaganda, segregación, falta de transparencia, miedo y conflictos, y tener en consideración desde un inicio las preocupaciones sociales, ambientales y éticas. Así, es fundamental la participación pública en el proceso de producción y adopción de esta nueva tecnología.

## 3. Nanopartículas y macropolíticas

¿Cómo puede conducirse un debate público sobre la nanotecnología? Se requiere extraer lecciones aprendidas de las discusiones que se han tenido sobre los transgénicos, u organismos genéticamente modificados. Es necesario que haya transparencia desde el inicio (por ejemplo, en Brasil, desde el inicio de la constitución del “Proyecto NanoBrasil”), que se explicita la forma en que se aumentará la ‘inteligencia social’ sobre nanotecnología y cómo esto enriquecerá el proceso de toma de decisiones con visión y valores públicos.

El debate debe permitir que el público se forma o revierta posiciones sobre la nanotecnología. Varios métodos son conocidos para lograr este objetivo. El debate debe informar las prioridades de investigación, y debe estar sujeto a una revisión permanente en función de desarrollo de la nanotecnología, de acuerdo al debate público que se realice previamente. Algunos elementos que deben ser puntualizados en este debate público son los siguientes:

- ¿Para qué sirve esta nanotecnología?
- ¿Quién será propietario o podrá apropiarse de ella?

- ¿Quién se responsabilizará si las cosas no van bien?
- ¿En quién podemos confiar?
- ¿Quiénes están incluidos y quiénes están excluidos?

Es interesante plantear estas preguntas porque hay responsabilidades que deben acotarse. Una nano-partícula no es responsable de la exclusión de la sociedad de los procesos e instituciones de decisión en torno al desarrollo de la nano-ciencia y la nanotecnología. No es responsable por la idea de que una sociedad sirve para recoger impuestos, pero no para participar en los procesos de toma de decisiones sobre cómo y en qué serán aplicados los recursos en nanotecnología. No es responsable de que solamente el gobierno, representantes de empresas o asociaciones de empresas y ‘expertos’ deban decidir los rumbos de la nanotecnología, excluyendo la participación de, por ejemplo, entidades de defensa de intereses difusos de la sociedad, representaciones de trabajadores y del parlamento. No es responsable de no se tome en cuenta la experiencia de la “exclusión digital”, ni por estarse constituyendo como “nano excluidos”. Una nano partícula no es responsable por el aumento de la controversia sobre la nanotecnología. Debe permitirse la participación social en este proceso.

## VI. Resumen y conclusiones

---

La agricultura enfrenta el desafío de proveer alimentos en cantidad y calidad para satisfacer la demanda de una población que seguirá creciendo y cuyo poder de compra seguirá incrementándose, sobre todo en países en emergentes. Este desafío debe ser enfrentado ahora en un contexto de cambio climático y de mayor conciencia de los consumidores por cómo se gestiona la producción agrícola desde el punto de vista ambiental, así como por la calidad e inocuidad de los alimentos que consumen.

Enfrentar el cambio climático en la agricultura demanda acciones en tres ámbitos complementarios: a) la necesidad de adaptarse, pues aunque el flujo de emisiones de GEI se redujera a cero, el efecto del stock acumulado seguirá influyendo en el clima por un tiempo considerable; b) la reducción de las emisiones de GEI en los procesos productivos y evitando cambio de uso del suelo que impliquen pérdida de cobertura forestal; y c) la captura de carbono tanto en el suelo como a través de la fotosíntesis en sistemas de producción agrícola sostenibles (e.g. sistemas agro-silvo-pastoriles) como en plantaciones forestales. Y a ello podría agregarse una cuarta acción, de naturaleza más transversal, que es la buena gestión ambiental a lo largo de toda la cadena productiva agropecuaria.

Las nuevas tecnologías sin duda están llamadas a cumplir roles importantes en todos esos ámbitos, tal como fue evidente en el seminario. En el caso de la biotecnología esa contribución ya es evidente, por ejemplo en el desarrollo de variedades resistentes a la sequía. La contribución de las TIC es creciente y se hace cada vez más evidente, por ejemplo en el desarrollo de sistemas de información que cumplen múltiples funciones, al integrar datos bio-físicos y socio-económicos. Y en el caso de la nanotecnologías las posibilidades parecen ser muy amplias.

El ámbito de aplicación de las biotecnologías es amplio, tanto en el ámbito de la adaptación como en el de la mitigación. En materia de adaptación se incluye el desarrollo de variedades mejoradas adaptadas a situaciones de estrés hídrico y de calor y el desarrollo de las denominadas “super-variedades”, en las cuales se logra incrementar tanto la productividad biológica como la resiliencia a un clima más variable. En el ámbito de la mitigación la biotecnología puede contribuir con el desarrollo de variedades capaces de utilizar mejor el dióxido de carbono, así como en la reducción de las pérdidas de energía que se generan en procesos metano-génicos vinculados con la agricultura (e.g. descomposición anaeróbica de materia orgánica del suelo) y la ganadería (e.g. fermentación entérica en la digestión de rumiantes y descomposición anaeróbica del estiércol). El uso de la biotecnología, sin embargo, no está

exento de controversia, especialmente en lo relativo al desarrollo de aplicaciones transgénicas y de modificación genética.

Las TIC pueden ser utilizadas en prácticamente todos los ámbitos de la producción agropecuaria. El uso de estas tecnologías puede contribuir a mejorar la gestión de las explotaciones, a hacer más eficientes los procesos de producción y comercialización y a incrementar los flujos de información y conocimiento en las cadenas agropecuarias. Asimismo, pueden contribuir a reducir el riesgo de pérdidas en gracias a las alertas tempranas, la posibilidad de reacción en tiempo real y la difusión de buenas prácticas, más amigables con el medio ambiente. Frente a un clima más variable el rol de las TIC es central para generar, integrar, sistematizar y diseminar información que permita tomar decisiones productivas (e.g. cuándo y dónde sembrar, cuando cosechar, cuando aplicar agua o nutrientes suplementarios, cuando intervenir frente a la posibilidad de una plaga, etc.) mejor adaptadas a la variabilidad climática.

Dada su ubicuidad, el uso de las TIC no está sujeto a las controversias que enfrentan la biotecnología y la nanotecnología. Por el contrario, la discusión está centrada en torno a cómo incrementar su adopción y lograr que ello contribuya a la reducción de las asimetrías al interior del sector agropecuario. Se trata de evitar que su difusión, al reproducir divergencias históricas del sector, contribuye a generar nuevas brechas. Por ejemplo, muchas instituciones públicas producen información meteorológica de alto valor como boletines de pronósticos climáticos de mediano plazo; pero si esa información se encuentra disponible sólo en internet puede quedar fuera del alcance de productores que no tienen acceso a internet o a un computador. Además, los productores más vulnerables a eventos climáticos extremos generalmente tienen bajos niveles de escolaridad y no han sido entrenados en la interpretación de información climática. Por lo tanto, provechar estas tecnologías para revertir el patrón de desarrollo desigual y para promover la sostenibilidad ambiental de la agricultura exige la implementación de políticas para superar las barreras a su adopción en los segmentos más rezagados.

El caso de la nanotecnología es un nuevo capítulo que recién se empieza a escribir, sobre todo en América Latina y el Caribe. Las oportunidades para apoyar la adaptación de la agricultura y para contribuir en la reducción de los GEI que genera la actividad son muy prometedoras. Ejemplos en materia de adaptación incluyen el desarrollo de sensores para monitorear requerimientos de agua y nutrientes y anticipar el brote de plagas y enfermedades; y el desarrollo de fertilizantes o pesticidas nano-encapsulados en materiales que permiten su liberación paulatina o cuando se sobrepasa un nivel crítico en la variable indicativa de que se requiere su uso. Y en el ámbito de la mitigación, se puede mencionar el desarrollo de nano-materiales para acelerar procesos de descontaminación de aguas y para degradar contaminantes en los suelos. Eric Drexler —quien es considerado el padre de la nanotecnología y ha contribuido a popularizar su potencial— ha ido tan lejos como sugerir que *“la manufactura a nivel molecular basada en la nanotecnología hará posible reducir las concentraciones de CO<sub>2</sub> al nivel pre-industrial en un período corto de tiempo”*<sup>31</sup>.

La nanotecnología está expuesta al mismo tipo de controversias que suscitan la transgénesis y la regénesis (modificación genética). Y más aún, considerando que no se han desarrollado protocolos de nano-seguridad o nano-riesgo equivalentes a lo que se han desarrollado en el ámbito de la biotecnología; por ejemplo, se conoce poco sobre los riesgos derivados para la salud o el ambiente de la exposición a nano-partículas sintéticas y sobre la dinámica de estas partículas en el ambiente.

A partir de los antecedentes técnicos y conceptuales presentados y de las discusiones desarrolladas en el marco del seminario, se reconoce i) el potencial de las nuevas tecnologías, apoyado en marcos analíticos adecuados, especialmente a partir de ii) su contribución al desarrollo de una agricultura más competitiva y de iii) su aporte al cambio estructural que demanda la adaptación y mitigación del cambio climático en la agricultura, aspectos que requieren iv) del trabajo mancomunado entre los sectores público y privado y v) junto a los agricultores. También se reconoce la necesidad de

<sup>31</sup> <http://metamodern.com/2009/01/01/greenhouse-gases-and-advanced-nanotechnology/>.

vi) fortalecer marcos regulatorios y vii) capacidades para manejar estas nuevas tecnologías, sobre todo en el caso de aquellas más intrusivas, así como de viii) fortalecer la cooperación y la diseminación de buenas prácticas en todos los ámbitos anteriores. Finalmente, se reconoce la contribución que las nuevas tecnologías pueden hacer a ix) mejorar las capacidades de modelación y pronóstico, así como x) en el mejor conocimiento de dinámicas que son fundamentales para enfrentar mejor el cambio climático en la agricultura. En particular, se concluye que:

- **La aplicación de nuevas tecnologías se potencia al disponer de un marco analítico.** Para orientar las políticas de adaptación de la agricultura al cambio climático es fundamental disponer de un marco analítico de referencia, sustentado en el conocimiento de la vulnerabilidad de la agricultura del país y en las capacidades nacionales. Este marco es fundamental para determinar el rol de las nuevas tecnologías en el desarrollo de acciones que podrían ir desde la adaptación incremental (corto plazo), a la adaptación sistémica (mediano plazo) o transformacional (largo plazo). El enfoque de adaptación desarrollado en Australia es ilustrativo cómo dicho marco analítico puede ser utilizado para orientar el rol de la ciencia en la adaptación de la agricultura al cambio climático.
- **Las nuevas tecnologías deben promoverse no solo desde la perspectiva ambiental.** Las nuevas tecnologías permiten abordar las necesidades de mitigación y adaptación de la agricultura no solo desde una perspectiva ambiental, sino también como parte de un proceso que contribuye a la competitividad del sector y su posicionamiento frente a las nuevas demandas por parte de los consumidores.
- **Las nuevas tecnologías contribuyen a fomentar el cambio estructural en la agricultura.** La mitigación y adaptación al cambio climático plantean, en esencia, la necesidad de cambios estructurales en la matriz productiva de los países. En el caso de la agricultura, esto implica cambios en sus relaciones con sectores de la economía, que pueden ser acelerados por las decisiones de los productores relativas a la adopción de nuevas tecnologías y por las políticas públicas que buscan fomentar su desarrollo.
- **La introducción de nuevas tecnologías en la agricultura requiere de la colaboración público-privada.** La colaboración público-privada es fundamental para avanzar en el desarrollo de aplicaciones de nuevas tecnologías adecuadas a las necesidades nacionales y locales de mitigación y adaptación de la agricultura al cambio climático. En el seminario se presentaron varias iniciativas de colaboración público-privada, sobre todo en materia de desarrollo de sistemas de información para la gestión ambiental en la agricultura.
- **La introducción de nuevas tecnologías requiere trabajar con los agricultores.** Es esencial trabajar con los agricultores y sus organizaciones en la identificación de las especificidades (e.g. cultivos, sistemas productivos, conocimientos, capacidades) que deben considerarse en el desarrollo de aplicaciones de nuevas tecnologías que contribuyen a la mitigación y adaptación de la agricultura al cambio climático.
- **Las nuevas tecnologías demandan el fortalecimiento de marcos regulatorios.** La introducción de nuevas tecnologías demanda el fortalecimiento de los marcos regulatorios relativos a su uso, tanto en aspectos de seguridad con el medio ambiente y la salud humana como en materia de derechos de propiedad y otras condiciones de acceso. Esto es particularmente importante en el caso de la nanotecnología, pues no existen todavía regulaciones de nano-seguridad equivalentes a las que se han desarrollado en el ámbito de la biotecnología.
- **Las nuevas tecnologías requieren fortalecer capacidades para su uso.** La introducción de nuevas tecnologías en la agricultura debe ir acompañada del desarrollo de las nuevas capacidades que se requieren de parte de los agricultores para su manejo y del desarrollo de las condiciones que permiten acceder a ellas (e.g. internet, banda ancha, computación en nube) y que condicionan su adopción por parte de los productores (e.g. costo, derechos de propiedad, etc).



- **Las buenas prácticas en la aplicación de nuevas tecnologías en la agricultura deben potenciarse.** Se debe mejorar la diseminación de experiencias de países de la región sobre casos de éxito en la aplicación de nuevas tecnologías para la mitigación y adaptación al cambio climático en la agricultura. De manera similar, es importante fortalecer la cooperación entre países para potenciar el desarrollo de tales aplicaciones y de mecanismos que faciliten la transferencia de las nuevas tecnologías.
- **Las nuevas tecnologías deben contribuir a mejorar capacidades de modelación y pronóstico.** En materia de tecnologías de información y comunicación, se considera prioritario mejorar la capacidad de modelación y pronóstico climático en los niveles y con las especificidades relevantes para la agricultura (e.g. región, cuenca), como elemento fundamental para mejorar la toma de decisiones frente a los efectos del cambio y variabilidad climática.
- **Las nuevas tecnologías ayudan a mejorar conocimiento de dinámicas relevantes.** Las nuevas tecnologías pueden ser fundamentales en el conocimiento de dinámicas importantes para la mitigación y adaptación de la agricultura al cambio climático; por ejemplo, la relación con cultivos asociados; efectos combinados en los rendimientos de la interacción entre mayores temperaturas y mayores concentraciones atmosféricas de dióxido de carbono; dinámica de servicios agro-eco-sistémicos; prospectiva de cultivos futuros con potencial de consumo, a partir de productos ya consumidos —pero con usos localizados limitados— y capacidad de expansión; complementación de los conocimientos tradicionales en la adaptación de variedades a distintas condiciones de suelo, altura y temperatura; modelación de escenarios de potencial productivo actual y futuro ante diferentes escenarios que combinan información climática y edafológica (e.g. análogos climáticos); mejorar el conocimiento sobre el comportamiento de plantas, animales, plagas y enfermedades y de cómo ellas reaccionan frente al cambio climático; entre otros.

## Bibliografía

---

### Referencias generales, cambio climático

- ABS (2010). Australia's Environment: Issues and trends 2010. Australian Bureau of Statistics. [www.abs.gov.au](http://www.abs.gov.au).
- Aluwong, T., P.A. Wuyep and L. Allam, L. 2011. Livestock-environment interactions: Methane.
- Catarious, D. y R.H. Espach. 2009. Impactos de cambio climático en la Seguridad Nacional de Colombia. CNA.
- Cerri, C.C., S.M.F. Maia, M.V. Galdos, C.E.P. Cerri, B.J. Feigl and M. Bernoux. 2009 Brazilian greenhouse gas emissions: The importance of agriculture and livestock. *Sci. Agric.*, 66:831-843.
- Crimp, S.J., Laing, A., Alexander, B., Anwar, M., Bridle, K., Brown, P., Cashen, M., Cox, H., Crean, J., deVoil, P., Hayman, P., Kokic, P., Lu, D., Lisson, S., Lorimer-Ward, K., Masters, L., McLeod, N., Mudge, B., Parsons, D., Power, B., Robertson, M., Rodriguez, D., Smith, J., M., van Rees, H., van Wensveen, M., Wurst, M. (2012). Developing climate change resilient cropping and mixed cropping/grazing businesses in Australia. A report prepared for DAFF as part of the Australia's Farming Future Program.
- Cristaldo, D. 2012. Sequía recorta producción de soja en Paraguay, amenaza economía 2012. Escrito por Desantis D. Reuters América Latina 10 de enero de 2012.
- DCCEE (2012), Australian National Greenhouse Accounts: National Inventory Report 2010 Volume 1. The Australian Government Submission to the United Nations Framework Convention on Climate Change. Department of Climate Change and Energy Efficiency, April 2012. <http://www.climatechange.gov.au/emissions>.
- Di, H.J., Cameron, K.C., Sherlock, R.R. (2007), Comparison of the effectiveness of a nitrification inhibitor, dicyandiamide, in reducing nitrous oxide emissions in four different soils under different climatic and management conditions. *Soil Use and Management*, 23, 1475-2743.
- Dinshaw, A., A. Dixit and H. McGray. 2012. Information for climate change adaptation: Lessons and needs in South Asia. Working Paper. World Resources Institute, Washington DC. Disponible en: [http://pdf.wri.org/climate\\_change\\_adaptation\\_lessons\\_south\\_asia.pdf](http://pdf.wri.org/climate_change_adaptation_lessons_south_asia.pdf)
- Downey, M., Sommer, K.J., Edwards, E., Unwin, D., and Mazza, M. (2012). Strategies to maintain productivity and quality in a changing environment-Impacts of global warming on grape and wine production. GWRDC Final Report DPI09/01.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2011. Análisis del estado de la seguridad alimentaria y nutricional en América Latina y el Caribe. Boletín Trimestral (Enero-Marzo) No.1. 11p.

- \_\_\_\_\_. 2011. Climate smart agriculture: Smallholder adoption and implications for climate change adaptation and mitigation. *Mitigation of Climate Change in Agriculture Series 4*, 25 p. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/015/i2575e/i2575e00.pdf>
- Hennessy, K., Fitzharris, B., Bates, B., Harvey, N., Howden, M., Hughes, L., Salinger, J., Warrick, R. (2007). Australia and New Zealand. Chapter 11 In *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. The IPCC Fourth Assessment Report, Working Group II*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 507-540.
- Howden, S.M. and Reyenga, P.J. (1999), Methane emissions from Australian livestock: implications of the Kyoto Protocol. *Australian J. Agric. Research*, 50: 1285-91.
- Howden, S.M., Crimp, S.J. and Nelson, R.N. (2010) Australian agriculture in a climate of change. In Jubb I, Holper P and Cai W (Eds) *Managing Climate Change: Papers from the GREENHOUSE 2009 Conference*. CSIRO Publishing, Melbourne. pp 101-111.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2001. *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Eds. JT Houghton; Y Ding; DJ Griggs; M Noguer; PJ Van der Linden; X. Dai; K Maskell; CA Johnson. UK y Nueva York, Universidad de Cambridge. 881p.
- IPCC, 2007. *Cambio climático 2007. Informe de síntesis*. Disponible en: [http://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/ar4/syr/es/contents.html](http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/syr/es/contents.html)
- IPCC. 2009. Methane emissions from rice cultivation: flooded rice fields. Available at: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/guidelin/ch4ref5.pdf>.
- Klieve, A. et al. (2003) Smarter livestock production: reducing greenhouse gas emissions from Queensland's beef, dairy and sheep industries. *Proceedings of the 2nd Joint Australia and New Zealand Forum on Non-CO2 Greenhouse Emissions from Agriculture*.
- MCT. 2010. Segundo Inventário brasileiro das emissões e remoções antrópicas de gases de efeito estufa. Relatório de Referência. Emissões de metano por fermentação entérica e manejo de dejetos de animais. Disponible en: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/921485/1/2011MZ02.pdf> Leído el 3 de septiembre de 2012.
- Morgan, J.A., R.F. Follet, L.H. Allen Jr., S. del Grosso, J.D. Derner, F. Dijkstra, A. Franzluebbers, R. Fry, K. paustian and M.M. Schoeneberger. 2010. Carbon sequestration in agricultural lands of United States. *Journal of Soil and Water Conservation*, 65(1): 6A-13A.
- Nelson, R., Kokic, P., Crimp, S., Martin, P., Meinke, H., and Howden, M. (2010) The vulnerability of Australian agriculture to climate variability & change: Part I -Reconciling the supply and demand for integrated assessments. *Environmental Science & Policy*, 13: 8-17.
- NGGI (2012), Australian National Greenhouse Accounts: Quarterly Update of Australia's National Greenhouse Gas Inventory – September Quarter 2011. National Greenhouse Gas Inventory. [www.climatechange.gov.au](http://www.climatechange.gov.au)
- Pinto, H.S. and E.D. Assad. 2008. Global warming and the new geography of agricultural production in Brazil. CAMPINAS: Embrapa, UNICAMP, 81 p. Disponible en: [http://www.cpa.unicamp.br/aquecimento\\_agricola\\_en.html](http://www.cpa.unicamp.br/aquecimento_agricola_en.html)
- Rickards, L., Howden, S.M. (2012), Transformational adaptation: agriculture and climate change. *Crop and Pasture Science* 63(3): 240-250.
- Sternberg, T. 2011. Regional drought has a global impact. *Nature*, 472:169.
- USEPA. 2006. Global anthropogenic nono CO2 greenhouse gas emissions: 1990-2020. Office of Atmospheric Programs, Climate Change Division. Washington D.C., U.S. Environment Protection Agency, EPA.
- West, T.O. and G. Marland. 2003. Net carbon flux from agriculture: Carbon emissions, carbon sequestration, crop yield, and land-use c. *Biochemistry* 63: 73-83.

## Referencias generales, nuevas tecnologías

- Barrera, A. 2010. El contexto mundial de la nueva revolución alimentaria. En: *La agricultura chilena en la nueva revolución alimentaria*. Editorial Universitaria, Santiago, pág. 343.
- Barrera, A. 2011. Nuevas realidades, nuevos paradigmas. *La nueva revolución agrícola*. Revista COMUNIICA, IICA, enero-julio: 10-21.
- APHIS (Animal and Plant Health Inspection Service). 2011. Questions and answers: Monsanto drought tolerant corn— MON 87460 Determination of nonregulated status, Factsheet December 2011. 1p.
- Colin, D., J.M. Aguilera and M. Satin. 2009. Technologies shaping the future. pp. 92-135. FAO and UNIDO (Eds.) *Agro-industries for development*. 278 p.

- European Commission. 2004. *Converging technologies: Shaping the future of European societies*. Bruselas, 68 p.
- Naciones Unidas. 2011. *Un modelo institucional para la regulación en materia de convergencia tecnológica en América Latina*. Santiago, 194 p.
- National Science Foundation. 2002. *Converging technologies for improving human performance: Nanotechnology, biotechnology, information technology and cognitive science*. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht.
- Paustian, K., J. Brenner, M. Easter, K. Killian, S. Ogle, C. Olson, J. Schuler, R. Vining and S. Williams. 2009. Counting carbon on the farm: Reaping the benefits of carbon offset programs. *Journal of Soil and Water Conservation*, 61(1): 36A-40A.
- World Bank. 2011. *ICT in agriculture. Connecting smallholders to knowledge, networks and institutions*. Washington, D.C., 406 p. Disponible en: [http://www.ictinagriculture.org/sites/ictinagriculture.org/files/ICT\\_in\\_Agriculture\\_light.pdf](http://www.ictinagriculture.org/sites/ictinagriculture.org/files/ICT_in_Agriculture_light.pdf).
- Zazueta, F.S. 2012. Agricultura de precisión: biotecnología, nanotecnología, y TIC. Presentación realizada en el Foro Técnico “Convergencias tecnológicas como las nuevas oportunidades para la innovación en la agricultura”, 21 de septiembre de 2012, IICA. Disponible en: <http://www.iica.int/Esp/Programas/Innovacion/Documentos%20de%20Tecnologia%20e%20Innovacin/21-092012%20Agricultura%20de%20Precision.pdf>.

## Tecnologías de información y comunicación y sistemas de información

- Restrepo, S. 2012. Aplicaciones de la bioinformática al desarrollo tecnológico de la agricultura. Presentación realizada en el Foro Técnico “Convergencias tecnológicas como las nuevas oportunidades para la innovación en la agricultura”, 21 de septiembre de 2012, IICA.
- FAO. 2012. Soil carbon monitoring using surveys and modeling. General description and application in the United Republic of Tanzania. *FAO Forestry Paper 168*, Roma, 46 p. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/015/i2793e/i2793e00.htm>.

## Biotecnología

- CDB (Convención de Diversidad Biológica). 1992. *Convenio sobre la Diversidad Biológica*.
- Chan, L.R., D.H. González, C.A. Dezar and G.M. Gago. 2010. Transcription factor gene induced by water deficit conditions and abscisic acid from *Helianthus annuus*, promoter and transgenic plants. *US Patent No. 7.674.955 B2*, Date of issue: March 9, 2010.
- CONPES, 2011. Política para el desarrollo comercial de la biotecnología a partir del uso sostenible de la biodiversidad. Documento Conpes 3697. Colombia. 36p.
- FAO. 2004. *The state of food and agriculture 2003-04. Agricultural Biotechnology. Meeting the needs of the poor?*. Rome, 208 p.
- INDUALIMENTOS, 2008. *Biotecnología en la industria de los Alimentos*. N 53. EXE Ltda. Santiago.
- James, C. 2011. Executive summary. *Global status of commercialized biotech/GM crops:2011. Brief 43*.
- McDougall, P. 2011. The cost and times involved in the discovery, development and authorization of a new plant biotechnology derived trait. Consultancy study for Crop Life International. September 2011, 24p.
- Naciones Unidas. 2004. *Los transgénicos en América Latina y el Caribe: un debate abierto*. Libros de la CEPAL, 38. Santiago, 396 p.
- Rocha, P.J. 2011. Agro-bio-tecnologías: herramientas bio-lógicas al servicio de la agricultura. *ComuniICA*, 8(Enero-Julio): 22-31.

## Agricultura de precisión

- Chartuni, E., F. de Carvalho, D. Marçal y E. Ruiz. 2007. Agricultura de precisión. Nuevas herramientas para mejorar la gestión tecnológica en la empresa agropecuaria. *Revista COMUNIICA*, Edición 1, II Etapa, Enero-abril: 24-31.
- Hassall, J. 2010. Future trends in precision agriculture. A look into the future of agricultural equipment. *Nuffield Australia Farming Scholars. GRDC, Grains Research & Development Corporation*, 36 p.
- IICA. 2006. *Agricultura de precisión: Integrando conocimientos para una agricultura moderna y sustentable*. IICA y PROCISUR, Montevideo, 238 p.
- INTA Argentina. 2012. *Agricultura de Precisión y Máquinas Precisas*. Disponible en: <http://inta.gov.ar/proyectos/aeai-273001> Leído el 10 de noviembre de 2012.

## Nanotecnología

- Afkhami, A. y R. Norooz-asi. 2009. Removal, preconcentration and determination of Mo (VI) from wáter and wastewater samples using maghemite nanoparticles. *Colloid and Surfaces A: Pshysicochemical and Engineering Aspects*, 346: 1-3.
- Akin, L., G. Arsian, A. Tor, M. Ersoz and Y. Cengeloglu. 2012. Arsenic (IV) removal from underground water by magnetic nanoparticles synthetized from waste red mud. *J. Hazar Mater.*, 235: 62-68.
- Alcantara, G.B. ; Paterno, L.G. ; Fonseca, F.J. ; Morais, P.C. and M.A.G. Soler. 2011a. Morphology of cobalt ferrite nanoparticle polyelectrolyte multilayered nanocomposites. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 323: 1372-1377.
- Alcantara, G.B., L. G. Paterno, A.S. Afonso, R.C. Faria, M.A. Pereira-da-Silva, P.C. Morais and M.A. Soler. 2011b. Adsorption of cobalt ferrite nanoparticles within layer-by-layer films: a kinetic study carried out using quartz crystal microbalance. *PCCP. Physical Chemistry Chemical Physics (Print)*, 13: 21233-21242.
- Allhoff, F. and P. Linn. 2008. *Nanotechnology and society. Current and emerging ethical issues.* Springer science. USA, 300 p.
- Amir, A. and W. Lee. 2012. Enhanced reductive dechlorination of tetrachloroetheno during reduction of cobalamina (III) by nano-mackinawite. *J Hazar Mater.*, 235: 359-366.
- Aouada, F.A., M.R. de Moura, W.J. Orts and L.H.C. Mattoso. 2011b. Preparation and Characterization of Novel Micro- and Nanocomposite Hydrogels Containing Cellulosic Fibrils. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59: 9433-9442.
- Aouada, F.A., M.R. de Moura, W.T.L. da Silva, E.C. Muniz and L.H.C. Mattoso. 2011c. Preparation and Characterization of Hydrophilic, Spectroscopic, and Kinetic Properties of Hydrogels Based on Polyacrylamide and Methylcellulose Polysaccharide. *Journal of Applied Polymer Science (Print)*, 120: 3004-3013.
- Aouada, F.A., L.H.C. Mattoso and E. Longo. 2011a. New strategies in the preparation of exfoliated thermoplastic starch-montmorillonite nanocomposites. *Industrial Crops and Products (Print)*, 34: 1502-1508.
- Assis, O.B.G. and D. Britto. 2011. Evaluation of the antifungal properties of chitosan coating on cut apples using a non-invasive image analysis technique. *Polymer International*, 60: 932-936.
- Auad, M. L., T. Richardson, W.J. Orts, E.S. Medeiros, L.H.C. Mattoso, M. Mosiewicki, N. Marcovich and M. Aranguren. 2011a. Polyaniline-modified cellulose nanofibrils as reinforcement of a smart polyurethane. *Polymer International*, 60: 743-750.
- Auad, M.L., T. Richardson, W.J. Orts, E.S. Medeiros, L.H.C. Mattoso, M.A. Mosiewicki, N.E. Marcovich and M.I. Aranguren. 2011b. Polyaniline-modified cellulose nanofibrils as reinforcement of a smart polyurethane. *Polymer Internationale*, 60: 743-750.
- Avansi, W., C. Ribeiro, E.R. Leite and V.R. Mastelaro. 2011a. An efficient synthesis route of Na<sub>2</sub>V<sub>6</sub>O<sub>16</sub> nH<sub>2</sub>O nanowires in hydrothermal conditions. *Materials Chemistry and Physics*, 56-61.
- Avansi, W., L.J.Q. Maia, C. Ribeiro, E.R. Leite and V.R. Mastelaro. 2011b. Local structure study of vanadium pentoxide 1D-nanostructures. *Journal of Nanoparticle Research*, 13: 4937-4946.
- Banerjee, R., Y. Katsenivich, L. Lagos, M. Senn, M. Naja, V. Balsamo, K.H. Pannel and C.Z. Li 2010. Functional magnetic nanoshells integrated nanosensor for trace analysis of environmental uranium contamination. *Emerging Trends Challenges Electrochemistry*, 30: 7897-7902.
- Barbosa, H.R., D.P.R. Ascheri, J.L.R. Ascheri e C.W.P. Carvalho. 2011. Permeabilidade, estabilidade e funcionalidade de filmes biodegradáveis de amido de caroço de jaca (*Artocarpus heterophyllus*). *Revista Agrotecnologia*, 2: 73-88.
- Baruah, S. and J. Dutta. 2009. Nanotechnology applications in solution sensing and degradation on agriculture: a review. *Environ Chem Lett.*, 7: 191-204.
- Baruah, S. and J. Dutta. 2009. Nanotechnology applications in solution sensing and degradation in agriculture: a review. *Environ Chem Lett.*, 7: 191-204
- Brandao, H.M., J.C. Gern, N.V. Vicentini, M.M. Pereira and P.V.D. Andrade. 2011. Nanotecnologia: a próxima revolução na Agropecuária. *Revista CFMV (Brasília)*, 53: 61-67.
- Britto, D., F.R. Frederico and O.B.G. Assis. 2011b. Optimization of N,N,N-trimethylchitosan synthesis by factorial design. *Polymer International*, 60: 910-915.
- Britto, D., R.C. Goy, S.P. Campana Filho and O.B.G. Assis. 2011c. Quaternary salts of chitosan: History, antimicrobial features, and Prospects. *International Journal of Carbohydrate Chemistry*, 2011: 1-11.
- Britto, D., S.P. Campana Filho and O.B.G. Assis. 2011a. Role of the alkyl moiety and counter ions on the thermal stability of chitosan derivatives. *Journal of Applied Polymer Science (Print)*, 121: 815-822.

- Campos, A., J.M. Marconcini, S.M. Martins-Franchetti and L.H.C. Mattoso. 2011c. The influence of UV-C irradiation on the properties of thermoplastic starch and polycaprolactone biocomposite with sisal bleached fibers. *Polymer Degradation and Stability*.
- Campos, T.E.M., J.M. Marconcini, B. Chiou, W.J. Orts, D. Wood, L.H.C. Mattoso and S.H. Imam. 2011b. Starch/polycaprolactone-containing composites reinforced with pre-treated sisal fibers. *Current Trends in Polymer Science*, 15: 89-99.
- Campos, T.K.B.R., J.M. Marconcini, L.H.C. Mattoso and S.M. Martins-Franchetti. 2011a. Effect of fiber treatments on properties of thermoplastic starch/polycaprolactone/sisal biocomposites. *Polímeros (São Carlos. Impreso)*, 21: 217-222.
- Carrillo-González, R. y M.C.A. González-Chávez. 2009. La nanotecnología en la agricultura y rehabilitación de suelos contaminados. *Mundo Nano*, 2: 50-63.
- \_\_\_\_\_. (2011), Aplicaciones de la nanotecnología en la agricultura, ganadería y alimentación en México. In: *Nanociencia y nanotecnología: Panorama actual en México*. Noboru, T. (Ed.). Universidad Nacional Autónoma de México. ISBN: 978-607-02-2480-5.
- Cavallari, M.R., C. Amorim, G. Santos, S. Mergulhão, F.J. Fonseca and A.M. Andrade. 2011. Methodology of semiconductor selection for polymer thin-transistors based on charge carrier mobility. *Journal of Materials Science and Engineering with Advanced Technology*, 4: 33-56.
- Cao, X., Y. Habib, W.L.E. Magalhaes, O.J. Rojas and L.A. Lucia. 2011. Cellulose nanocrystals-based nanocomposites: fruits of novel biomass research and teaching platform. *Tappi Journal (Cessou em 2001. Fundiu-se com ISSN 1093-670X PIMA's Papermaker e ISSN 1537-0275 Solutions! (Norcross, Ga.))*, 100: 1172-1176.
- Chaudhry, Q., M. Scotter, J. Blackburn, B. Ross, A. Boxell, L. Castle, R. Aitken and R. Watkins. 2008. Applications and implications of nanotechnologies for the food sector. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 25(3): 241-258.
- Colzato, M., J.A. Scramin, L.A. Forato, L.A. Colnago and O.B.G. Assis. 2011. <sup>1</sup>H NMR Investigation of oil oxidation in macadamia nuts coated with zein-based films. *Journal of Food Processing and Preservation*, 35(6): 790-796.
- Corradini, E., J.M. Marconcini, J.A.M. Agnelli and L.H.C. Mattoso. 2011. Thermoplastic blends of corn gluten meal/starch (CGM /Starch) and corn gluten meal/polyvinyl alcohol and corn gluten meal/poly(hydroxybutyrate-co-hydroxyvalerate) (CGM/PHB-V) I. *Carbohydrate Polymers*, 83: 959-965.
- Correa, D.S., V. Tribuzi, M.R. Cardoso, L. Misoguti and C.R. Mendonca. 2011. Selective excitation through tapered silica fibers of fluorescent two-photon polymerized structures. *Applied Physics. A, Materials Science & Processing (Print)*, 102: 435-439.
- Chen, J., T. Xu, J. Ding, Y. Ji, P. Ni and Z. Li. 2012. Mn-ce-Co complex oxide nanoparticles: hydrothermal synthesis and their catalytic subcritical oxidation of 4,4 dibromobiphenyl. *J Hazard Mater.*, 235: 85-91.
- Da Silva, W.T.L., C. Thobiegautier, N. Elmurr and M.O.O. Rezende. 2011. Humic acid-metal ions affinity through modified carbon paste electrode. Study by anodic stripping voltammetry. *Brazilian Journal of Analytical Chemistry*, 1: 104-109.
- De Boni, L., D.S. Correa, D. L. Silva, P.J. Goncalves, S.C. Zilio, G.G. Parra, I.E. Borissevitch, S. Canuto and C.R. Mendonca. 2011. Experimental and theoretical study of two-photon absorption in nitrofurán derivatives: Promising compounds for photochemotherapy. *The Journal of Chemical Physics*, 134: 014509.
- De Melo, N.F.S., R. Grillo, V.A. Guilherme, D.R. de Araujo, E. Paula, A.H. Rosa and L.F. Fraceto. 2011. Poly(Lactide-co-Glycolide) nanocapsules containing benzocaine: influence of the composition of the oily nucleus on physico-chemical properties and anesthetic activity. *Pharmaceutical Research*, 28: 1984-1994.
- De Moura, M.R., F.A. Aouada, V. Zucolotto and L.H.C. Mattoso. 2011b. Barrier and Mechanical Properties of Clay-Reinforced Polymeric Nanocomposites. *Polymer-Plastics Technology and Engineering (Softcover ed.)*, 50: 1323-1328.
- De Moura, M.R., M.V. Lorevice, L.H.C. Mattoso and V. Zucolotto. 2011c. Highly Stable, Edible Cellulose Films Incorporating Chitosan Nanoparticles. *Journal of Food Science*, 76: S25-S29.
- De Moura, M.R., R.J. Avena-Bustillos, T.H. Mchugh, D.F. Wood, C.G. Otoni and L.H.C. Mattoso. 2011a. Miniaturization of cellulose fibers and effect of addition on the mechanical and barrier properties of hydroxypropyl methylcellulose films. *Journal of Food Engineering*, 104: 154-160.
- Dickinson, M. and T.B. Scott. 2010. The application of zero-valent iron nanoparticle for the remediation of a uranium-contaminated waste effluent. *J Hazard Mater*, 178: 171-179.
- Farias, M.G., F.M. Fakhouri, C.W.P. Carvalho and J.L.R. Ascheri. 2011. Physicochemical characterization of edible starch films added of Barbados cherry (*Malpighia emarginata* D.C.). *Química Nova (Impreso)*, xy: 1-7.

- Furtado, R.F., M.I.F. Guedes, C.R. Alves, A.C.O.M. Moreira, W.P. Félix and R.A.F. Dutra. 2011. Produção de anticorpos policlonais anti-ricina. *Ciência e Agrotecnologia (UFLA)*, 35: 124-130.
- Galão, O.F., D. Borsato, J.P. Pinto, M.V.R. Pina, J. Visentainer, M.C. Carrão-Panizzi and R.S. Leite. 2011. Artificial neural networks in the classification and identification of soybean cultivars by planting region. *Journal of the Brazilian Chemical Society (Impresso)*, 22: 142-147.
- Galiani, P.D., M.A. Martins, P.S. Gonçalves, C.M. McMahan and L.H.C. Mattoso. 2011. Seasonal and clonal variations in technological and thermal properties of raw hevea rubber. *Journal of Applied Polymer Science (Print)*, 122: 2749-2755.
- Giraldi, T.R., G.V.F. Santos, V.R. Mendonça, C. Ribeiro and I.T. Weber. 2011. Annealing effects on the photocatalytic activity of ZnO nanoparticles. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology (Print)*, 11: 3635-3640.
- Githinji, L.J.M., J.H. Dane and R.H. Walker. 2012. Physical and hydraulic properties of inorganic amendment and modeling their effect on water movement in sand-based root zones. *Irrigation Sci*, 29: 65-77.
- Gonçalves, P.J., P.L. Franzen, D.S. Correa, L.M. Almeida, M. Takara, A.S. Ito, S.C. Zílio and I.E. Borisvitch. 2011. Effects of environment on the photophysical characteristics of mesotetakis methylpyridiniumyl porphyrin (TMPyP). *Spectrochimica Acta. Part A, Molecular and Biomolecular Spectroscopy (Print)*, 79:1532-1539.
- Grillo, R., A.E.S. Pereira, N.F.S. de Melo, R.M. Porto, L.O. Feitosa, P.S. Tonello, N.L.D. Filho, A.H. Rosa, R. Lima and L.F. Fraceto. 2011. Controlled release system for ametryn using polymer microspheres: Preparation, characterization and release kinetics in water. *Journal of Hazardous Materials (Print)*, 186: 1645-1651.
- Gupta, K., T. Basu and U.C. Ghosh. 2009. Sorption characteristics of arsenic (V) for removal water using agglomerated nanostructure iron (III)- zirconium (IV) bimetal mixed oxide. *J Chemical Engineering Data*, 54: 2222-2228.
- Harden, C.P. and G.G. Hyman. 2007. Agriculture and soil erosion. pp. 289-304. In: Veblen, T.T., K.R. Young and A.R. Orme (Eds.). *The physical geography of South America*. Oxford University Press. UK.
- Herrmann Junior, P.S. 2011. Nanosensors applied to water quality: developing a low-cost pH sensor for natural water, and application of other techniques. *International Journal of Nuclear Desalination*, 4: 218-229.
- Jorge, P.C.S., M. Nucci, J.S. Rizzo, O.B.G. Assis e M. Monteiro. 2011. Maçã Royal Gala revestida com quitosana estocada à temperatura ambiente. *Boletim do Centro de Pesquisa e Processamento de Alimentos (Impresso)*, 29: 253-2011.
- Keun-Young, S., H. Jin-Yoong and J. Jyongsik. 2011. Heavy metals ion adsorption behavior in nitrogen doped magnetic carbon nanoparticles: isotherms and kinetic study. *J Hazar Mater.*, 190: 36-44.
- Larsen, S.C. 2007. Nanocrystalline zeolites and zeolite structures: synthesis, characterization and applications. *J Phys Chem C.*, 111: 18464-18474.
- Ledezma, A. 2012. Síntesis y efecto de nanoesferas que contienen urea en cultivo hidropónico de lechuga (*Lactuca sativa*). Tesis Maestría en Tecnología. CICATA-IPN. México.
- Liu, R. and R. Lal. 2012. Nanoenhanced materials for reclamation of mine lands and other degraded soils. A review. *J. Nanotech*. Doi: 10.1155/2012/461468.
- Liu, S.S., Y.Z. Chen, L.D. Zhang, G.M. Hua, W. Xu, N. Li and Y. Zhang. 2011. Enhanced removal of trace Cr (VI) ions from aqueous solution by titanium oxide-Ad composite adsorbents. *J Hazar Mater.*, 190: 723-728.
- Liu, X., Z. Feng, F. Zhang, S. Zhang and H.E. Xu-Sheng. 2006. Preparation and testing of cementing and coating nano-subnanocomposites for slow/ controlled-release fertilizer. *Agricultural Sci China*, 5: 700-706.
- Lobo, F.A., C.L. Aguirre, M.S. Silva, R. Grillo, N.F.S. Melo, L.K. Oliveira, L.C. Morais, V. Campos, A.H. Rosa and L.F. Fraceto. 2011. Poly(hydroxybutyrate-co-hydroxyvalerate) microspheres loaded with atrazine herbicide: screening of conditions for preparation, physico-chemical characterization, and in vitro release studies. *Polymer Bulletin (Berlin. Print)*, 479-495.
- Lu, J., Y. Li, X. Yan, B. Shi, D. Wand and H. Tang. 2009. Sorption of atrazine onto humic acids (Has) coated nanoparticles. *Colloids Surfaces a: Physicochem Eng Aspects*, 347: 90-96.
- Magalhães, W.L.E., X. Cao, M.A. Ramires and L.A. Lucia. 2011. Novel all-cellulose composite displaying aligned cellulose nanofibers reinforced with cellulose nanocrystals. *Tappi Journal (Cessou em 2001. Fundiu-se com ISSN 1093-670X PIMA's Papermaker e ISSN 1537-0275 Solutions (Norcross, Ga.))*, 10: 19-25.
- Maliyekkal, S.M., K.P. Lisha and T. Pradeep. 2010. A novel cellulose-manganese oxide hybrid material by in situ chemical synthesis and its application for the removal of Pb(II) from water. *J Hazar Mater.*, 181(1-3): 986-995.
- Martins, M. A., E.M. Teixeira, A.C. Correa, M. Ferreira and L.H.C. Mattoso. 2011. Extraction and characterization of cellulose whiskers from commercial cotton fibers. *Journal of Materials Science*, 46: 7858-7864.

- Masciangioli, T. and W.X. Zhang. 2003. Environmental technologies at the nanoscale. *Environ Sci Tech*, 37: 102-108.
- Mattos, A.L., M.F. Rosa, L.A. Crisóstomo, M.C.B. Figueirêdo e L.deG.C. Veras. 2011. Processamento da casca de coco verde para a produção de pó e fibra. *Proceedings of the Tropical Region - American Society for Horticultural Science*, 53: 85-88.
- Mayo, J.T., S.S. Lee, C.T. Yavuz, W.W. Yu, A. Prakash, J.C. Falkner and V.L. Colvin. 2011. A multiplexed separation of iron oxide nanocrystals using variable magnetic fields. *Nanoscale*, 3(11): 4560-4563.
- Mendonça, V.R. and C. Ribeiro. 2011. Influence of TiO<sub>2</sub> morphological parameters in dye photodegradation: a comparative study in peroxo-based synthesis. *Applied Catalysis. B, Environmental (Print)*, 105: 298-305.
- Mizoguchi, S. K., G. Santos, A.M. Andrade, F.J. Fonseca, L. Pereira, I. Murakami and Y. Neyde. 2011. Luminous efficiency enhancement of PVK based OLEDs with fac-[ClRe(CO)<sub>3</sub>(bpy)]. *Synthetic Metals*, 161: 1972-1975.
- Moraes J.P.S., A.K.M. Norões, N.F. Souza, M.F. Rosa, M.S.M. Souza Filho, C. Rapôso and A.K.S. Nunes. 2011 Morphological characterisation of cellulose nanocrystals from palm oil and cotton. *Proceedings of the Tropical Region - American Society for Horticultural Science*, 53: 162-164.
- Moraes, E.A. J.E. Oliveira, E.S. Medeiros and L.H.C. Mattoso. 2011. Interactions and Miscibility in Polymer Blends Obtained by Solution Blow Spinning. *Journal of Applied Polymer Science (Print)*, 4: 113-113.
- Morales, C.M. , A.P. Matos, R. Grillo, N.F.S. Melo, E. Paula, N.L. Diaz Filho, A.H. Rosa and L.F. Fraceto. 2011. Screening of formulation variables for the preparation of poly(epsilon-caprolactone) nanocapsules containing the local anesthetic benzocaine. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology (Print)*, 11: 2450-2457.
- Mourão, H.A.J.L. and C. Ribeiro. TiO<sub>2</sub> and SnO<sub>2</sub> magnetic nanocomposites: influence of semiconductors and synthetic methods on photoactivity. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology (Print)*, 11: 7876-7883.
- Mousavi, S.R. and M. Rezaei. 2011. Nanotechnology in agriculture and food production. *J. Appl. Environ. Biol. Sci.*, 1(10): 414 – 419.
- Mu, H., X. Zheng, Y. Chen and K. Liu. 2012. Response of anaerobic granular sludge to a chock load of zinc oxide nanoparticles during biological wastewater treatment. *Environ Sci Tech.*, 46: 5997-6003.
- Muraleedharan, H. 2010. Nanobiotechnology: BioInspired Devices and Materials of de Future. *J. Biosci. Res.*, 1(2): 108-117.
- Nascimento, E.S.P.do, C.R.de Oliveira, P.S. Gonçalves, L.H.C. Mattoso and A.G. Ferreira. 2011. Effect of rootstock on the scion of Hevea brasiliensis through metabolic analysis of latex samples by (1)H NMR. *Crop Breeding and Applied Biotechnology (Impresso)*, 11: 82-88.
- Ojea-Jiménez, I., X. López, J. Arbiol and V. Puentes. 2012. Citrate coated gold nanoparticles as smart scavengers for mercury (II) removal from polluted waters. *ACS Nano*, 6: 2253-2260.
- Oliveira, J.E., E.A. Moraes, G.F. Costa, A.S. Afonso, L.H.C. Mattoso, W.J. Orts and E.S. Medeiros. 2011c. Nano and Submicrometric Fibers of Poly(D,L-Lactide) Obtained by Solution Blow Spinning: Process and Obtained by Solution Blow Spinning: Process and Solution Variables. *Journal of Applied Polymer Science (Online)*, 1: 1-10.
- Oliveira, J.E., V. Zucolotto, L.H.C. Mattoso and E.S. Medeiros. 2011d. Multi-walled carbon nanotubes and poly(lactic acid) nanocomposite fibrous membranes prepared by solution blow spinning. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology (Print)*, 11: 1-9.
- Oliveira, L.F.de, D.P.R. Ascheri e J.L.R. Ascheri. 2011b. Desenvolvimento, caracterização de filmes comestíveis de fécula de mangarito (*Xanthosoma mafaffa* Schott) e sua aplicação em frutos de jabuticaba. *Boletim do Centro de Pesquisa e Processamento de Alimentos (Impresso)*, 29: 265-280.
- Oliveira, T.P, D.P.R. Ascheri, J.L.R. Ascheri e C.W.P. Carvalho. 2011a. Efeito do sorbitol e das misturas de amidos de milho e de lírio-do-brejo (*Hedychium coronarium*) no tempo de secagem das soluções filmogênicas e nas características dos filmes biodegradáveis.. *Revista Agrotecnologia*, 1: 111-126.
- Paulovich, F.V., M.L. Moraes, R.M. Maki, M. Ferreira, O.N. Oliveira Jr. and M.C.F. de Oliveira. 2011a. Information visualization techniques for sensing and biosensing. *Analyst (London. 1877. Print)*, p. 1344-1350.
- Paulovich, F.V., R.M. Maki, M.C.F. Oliveira, M.C. Colhone, F.R. Santos, V. Migliaccio, P. Ciancaglini, K.R. Pérez, R.G. Stabelli, A.C. Perinoto, O.N. Oliveira Jr. and V. Zucolotto. 2011b. Using multidimensional projection techniques for reaching a high distinguishing ability in biosensing. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 400: 1153-1159.



- Pereira A.L.S., D.M. Nascimento, E.M.S. Cordeiro, J.P.S. Morais, M.S.M. Souza Filho, L.C. Alexandre and M.F. Rosa. 2011. Lignocelulosic Characterisation of Materials from Banana Tree Pseudostem. *Proceedings of the Tropical Region - American Society for Horticultural Science*, 53: 89-93.
- Pessoa, W.W.B., G. Ferraz, L.H.C. Mattoso and E.S. Medeiros. 2011. Studies of polymer micro and nanofibers obtained by Solution Blow Spinning. *Journal of Applied Polymer Science (Print)*, 1: 1-1.
- Prevot, A.B., D. Fabbri, E. Pramauro, A.M. Rubio and M. de la Guardia. 2001. Continuous monitoring of photocatalytic treatment by flow injection. Degradations of dicamba in aqueous TiO<sub>2</sub> dispersions. *Chemosphere*, 44: 249-255.
- Rivero-Huguet, M. and M.D. Marshall. 2009. Reduction of hexavalent chromium by micro and nano sized mixed metallic particles. *J Hazard Mater.*, 169: 1081-1087.
- Rocha, P. 2012. Investigación en nanobiotecnología y sus potenciales aplicaciones en agricultura. Presentación realizada en el Foro Técnico “Convergencias tecnológicas como las nuevas oportunidades para la innovación en la agricultura”, 21 de septiembre de 2012, IICA. Disponible en: <http://www.iica.int/Esp/Programas/Innovacion/Documentos%20de%20Tecnologia%20e%20Innovacin/2012-09-21%20Nanobiotecnolog%C3%ADa.pdf>
- Sánchez, A., S. Recillas, X. Font, E. Casals, E. González and V. Puentes. 2011. Ecotoxicity of, and remediation with, engineered inorganic nanoparticles in the environment. *Trends Analytical Chem.*, 30: 507-516.
- Santos, G., F.J. Fonseca and A.M. Andrade. 2011b. The dependence of OLED external efficiency on the mass concentration of europium(III) dispersed in PVK. *ECS transactions*, 39: 475-480, 2011.
- Santos, G., L.G. Paterno, F.J. Fonseca, A.M. Andrade and L. Pereira. 2011a. Enhancement of light emission from an Europium(III) complex based-OLED by using layer-by-layer assembled hole-transport films. *ECS Transactions*, 39: 307-313.
- Scramin, J.A., D. Britto, L.A. Forato, R. Bernardes Filho, L.A. Colnago and O.B.G. Assis. 2011. Characterisation of zein oleic acid films and applications in fruit coating. *International Journal of Food Science & Technology (Print)*, 46(10): 2145-2152.
- Shoseyov, O. and I. Levy. 2008. Nanobiotechnology overview. In: *Nanobiotechnology: Bioinspired devices and materials of the future*. Humana Press Inc., New Jersey, 485 p.
- Silva, V.de P.A., R.A.F. Dutra, C.R. Alves, J.E. Oliveira, D. Rondina and R.F. Furtado. 2011. Biossensor amperométrico para detecção de peróxido de hidrogênio em leite. *Eclética Química (UNESP. Araraquara. Impresso)*, 36: 143-157.
- Soares, G.B., B. Bravin, C.M.P. Vaz and C. Ribeiro. 2011. Facile synthesis of N-doped TiO<sub>2</sub> nanoparticles by a modified polymeric precursor method and its photocatalytic properties. *Applied Catalysis. B, Environmental (Print)*, 106: 287-294.
- Soares, G.B., W.T.L. Silva and C.M.P. Vaz. 2011. Graphite-polyurethane composite electrode for the electroanalytical determination of herbicide diuron in soil solutions. *Sensor Letters (print)*, 9: 1786-1793.
- Souza, L.K.C., J.R. Pardaui, J.R. Zamian, G.N. da Rocha and C.E.F. da Costa. 2011. Influence of the incorporated metal on template removal from MCM-41 type mesoporous materials. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 02.
- Sreepasad, T.S., S.M. Maliyekkal, K.P. Lisha and T. Pradeep. 2011. Reduced graphene oxide-metal/ metal oxide composites: facile synthesis and application in water purification. *J Hazard Mater.*, 186(1): 921-931.
- Teixeira, E.M., C. Lotti, A.C. Correa, K.B.R. Teodoro, J.M. Marconcini and L.H.C. Mattoso. 2011b. Thermoplastic corn starch reinforced with cotton cellulose nanofibers. *Journal of Applied Polymer Science (Print)*, 120: 2428-2433.
- Teixeira, E.M., T.J. Bondancia, K.B.R. Teodoro, A.C. Correa, J.M. Marconcini and L.H.C. Mattoso. 2011a. Sugarcane bagasse whiskers: Extraction and characterizations. *Industrial Crops and Products (Print)*, 1: 63-66.
- Tomalia, D.A. 2008. Periodic patterns, relationships and categories of well-defined nanoscale building blocks. National Science Foundation. Final Workshop Report, pp 1-156. Disponible en: [http://www.nsf.gov/crssprgm/nano/GC\\_Charact08\\_Tomalia\\_nsf9\\_29\\_08.pdf](http://www.nsf.gov/crssprgm/nano/GC_Charact08_Tomalia_nsf9_29_08.pdf)
- Tratnyek, P.G. and R.L. Johnson. 2006. Nanotechnologies for environmental cleanup. *Nano today*, 1: 44-48.
- Tungtittiplakorn, W., L.W. Lion, C. Cohen and J.Y. Kim. 2004. Engineered polymeric nanoparticles for soil remediation. *Environ Sci Tech.*, 38: 1605-1610.
- U.S. Government. 2012. The National Nanotechnology Initiative. Research and Development Leading to a Revolution in Technology and Industry. Supplement to the President’s Budget for Fiscal Year 2013. Disponible en: [http://www.nano.gov/sites/default/files/pub\\_resource/nni\\_2013\\_budget\\_supplement.pdf](http://www.nano.gov/sites/default/files/pub_resource/nni_2013_budget_supplement.pdf) Leído el 20 de noviembre de 2012.

- Uzum, C., T. Shahwan, A. Eroglu, L. Lieberwirth, T.B. Scott and K.R. Hallam. 2008. Application of zero valent iron nanoparticles for the removal of aqueous Co under various experimental conditions. *Chem Engin. J.*, 144: 213-220.
- Viana, P.A., S.T. Rezende, A.A. Alves, R. Magalhães, R.J. Alves, M.P. Bemquerer, M.M. Santoro and V.M. Guimaraes. 2011. Activity of *Debaryomyces hansenii* UFV-1  $\alpha$ -galactosidases against  $\alpha$ -D-galactopyranoside derivatives. *Carbohydrate Research (Chicago, Ill. Print)*: 602-605.
- Volpati, D., P.H.B. Aoki, C.A.R. Dantas, F.V. Paulovich, M.C.F. de Oliveira, O.N. Oliveira, A. Riul, R.F. Aroca and C.J.L. Constantino. 2011. Toward the Optimization of an e-Tongue System Using Information Visualization: A Case Study with Perylene Tetracarboxylic Derivative Films in the Sensing Units. *Langmuir*, 28: 1029-1040.
- Xiong, L., C. Chen, Q. Chen and J. Ni. 2011. Adsorption of Pb and Cd from aqueous solution using titanate nanotubes prepared via hydrothermal method. *J Hazard Mat.*, 189: 741-748.
- Xu, Y. and D. Zhao. 2007. Reductive immobilization of chromate in water and soil using stabilized iron nanoparticles. *Water Res.*, 41: 2101-2108.
- Yang, C. and C. Gordon. 2009. Electrokinetically enhanced removal and degradation of surface pollutants using nanosized Pd/Fe slurry. In: *Environmental Applications of Nanoscale and Microscale reactive metal particles*. ACS series. pp: 203-216.
- Yavuz, C.T., J.T. Mayo, C. Suchecki, J. Wang, A.Z. Ellsworth, H. D' Couto and E. Quevedo. 2010. Pollution magnet: nano-magnetite for arsenic removal from drinking water. *Environmental Geochemistry Health*, 32(4): 327-334.
- Yen Fei, L. 2012. Detection and removal of mercury and lead ions by using gold nanoparticles-based gel membrane. *Analytical Methods*, 6:1709-1717.
- Zanchin, V.R., M.R. Cavallari, F.J. Fonseca, K.F. Albertin, I. Pereyra and A.M. Andrade. 2011. Low voltage organic devices with High-k TiOxNy and PMMA dielectrics for future application on flexible electronics. *ECS transactions*, 39: 455-460.
- Zhang, M., F. He, F. Zhao and D.Y. Hao. 2011. Degradation of soil trichloroethylene by stabilized zero valent iron nanoparticles: Effects of sorption, surfactants and natural organic matter. *Water Res.*, 45: 2401-2414.

## Metanogénesis y arqueas metanogénicas

- Amon, Th., B. Amon, V. Kryvoruchko, V. Bodiroza, E. Potsch and W. Zollitsch. 2006. Optimising methane yield from anaerobic digestion of manure: Effects of dairy systems and of glycerine supplementation. *International Congress Series*, 1293: 217– 220.
- Anastasi, C., M. Dowding and V.J. Simpson. 1992. Future CH<sub>4</sub> emissions from rice production. – *Journal of Geophysical Research*, 97: 7521-7525.
- Araújo, A.M., A.I.S. Brígida, M.F. Rosa, L.A. Crisóstomo, M.C.B. Figueirêdo and M.S.M. Souza Filho. 2011. Potencial de aproveitamento do líquido da casca de coco verde. *Proceedings of the Tropical Region - American Society for Horticultural Science*, 53: 82-84.
- Belessi, V., G. Romanos, N. Boukos, D. Lambropoulou and C. Trapalis. 2009. Removal of reactive red 195 from aqueous solution by adsorption on the surface of TiO<sub>2</sub> nanoparticles. *J Hazard Mater.*, 161: 836-844.
- Bemquerer, M.P., J.K.A. Macedo, A.C.J. Ribeiro, A.C. Carvalho, D.O.C. Silva, J.M. Braz, K.A. Medeiros, L.A.P. Sallet, P.F. Campos, M.V. Prates and L.P. Silva. 2012. Partial characterization of a novel amphibian hemoglobin as a model for graduate student investigation on peptide chemistry, mass spectrometry, and atomic force microscopy. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 40: 121-129.
- Brutsaert, W. 1982. *Evaporation into atmosphere*. Reidel, Dordrecht, 299 p.
- Carmo, J.B.d., S. Filoso, L.C. Zotelli, E.R. de Neto, L.M. Pitombo, P.J. Duarte-Neto, V.P. Vargas, C.A. Andrade, G.J.C. Gava, R. Rossetto, H. Cantarella, A.E. Neto and L.A. Martinelli. 2012. Infield greenhouse gas emissions from sugarcane soils in Brazil: effects from synthetic and organic fertilizer application and crop trash accumulation. *GCB Bioenergy*, doi: 10.1111/j.1757-1707.2012.01199.x.
- Di Giacomo, K. (2011) *The physiological and metabolic responses to heat in ruminants*. PhD thesis, Melbourne School of Land and Environment – Agriculture and Food Systems. University of Melbourne.
- Dubey, S.K. 2001. Methane emission and rice agriculture. *Current Science*, 81: 345-346.
- Dubey, S.K. 2005. Microbial ecology of methane emission in rice agroecosystem: A review. *Applied ecology and environmental research*, 3: 1-27.
- Emissions from ruminants. *African Journal of Biotechnology*, 10:1265-1269.

- García, J.L., B.K.C. Patel, B. Ollivier. 2000. Taxonomic, phylogenetic and ecological diversity of methanogenic archaea. *Anaerobe*, 6: 205-206.
- Girardi, F. 2009. Tratamento de vinhaça utilizando coagulantes naturais. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Estadual de Maringá.
- Hegarty, R.S. (1999) Reducing rumen methane emissions through elimination of rumen protozoa. *Australian J. Agric. Research*, 50: 1321-1328.
- Hook, S.E., A.D.G. Wright and B. McBride. 2010. Methanogens: methane producers of the rumen and mitigation strategies. *Archaea*, 1-11p.
- Huber, H., M.J. Hohn, R. Rachel, T. Fuchs, V.C. Wimmer and K.O. Stetter. 2002. A new phylum of Archaea represented by a nanosized hyperthermophilic symbiont. *Nature*, 417: 63-7.
- Johnson, K.A. and D.E. Johnson. 1995. Methane emissions from cattle. *Journal of Animal Science*, 73: 2483–2492.
- Karakashev, D., D.J. Batstone and I. Angelidaki. 2005. Influence of environmental conditions on methanogenic compositions in anaerobic biogas reactors. *Appl Environ Microbiol.*, 71: 331–338.
- Karakurt, I., G. Aydin and K. Aydiner. 2012. Sources and mitigation of methane emissions by sectors: A critical review. *Renewable Energy*, 39: 40-48.
- Kitamura, K., T. Fujita, S. akada and A. Tonouchi. 2011. *Methanobacterium kanagiense* sp. nov., a hydrogenotrophic methanogen, isolate from rice-field soil. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.*, 61(6): 1246-1252.
- Kunz, A., M. Miele, R.L.R. Steinmetz. 2009. Advanced swine manure treatment and utilization in Brazil. *Bioresource Technology*, 100: 5485-5489.
- Le Mer, J. and P. Roger. 2001. Production, oxidation, emission and consumption of methane by soils: A review. *Eur. J. Soil Biol.*, 37: 25-50.
- Lüu, Z. and Y. Lu. 2012. *Methanocella conradii* sp. nov., a Thermophilic, Obligate Hydrogenotrophic Methanogen, Isolated from Chinese Rice Field Soil. *PLoS One*. 7: e35279.
- Mutton, M.A., R. Rossetto and M.J.R. Mutton. 2010. Agricultural use of stillage. In: *Sugarcane Bioethanol. R&D for Productivity and Sustainability, Vol 1* (ed. Cortez LAB), pp. 423–440. São Paulo, Blucher.
- Nettmann, E., I. Bernmann, S. Pramschüfer, K. Mundt, V. Plogsties, C. Herrmann and M. Klocke. 2010. Polyphasic analyses of methanogenic archaeal communities in agricultural biogas plants. *Applied and Environmental Microbiology*, 76(8): 2540-2548.
- Neves, M.C., L.T. Kishi, E.C.C. Alves, E.C.C., J.M.B ezequiel and M.V.F. Lemos. 2010. Phylogenetic diversity of methanogenic archae in diets with different hay proportions. *Rev. de Ciências Agrárias*, 33:160-169.
- Oliveira, B.G. 2011. Vinhaça da cana-de-açúcar: fluxo de gases do efeito estufa e comunidades de archaea presente no sedimento do canal de distribuição. Dissertação (Mestrado). Universidade de São Paulo - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba. 97p.
- Peixoto, G., J.L.R. Pantoja-Filho, J.A.B. Agnelli, M. Barboza and M. Zaiat. 2012. Hydrogen and methane production, energy recovery, and organic matter removal from effluents in a two-stage fermentative process. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 168: 651-671.
- Philippot, L., S. Hallin, G. Börjesson and E.M. Baggs. 2009. Biochemical cycling in the rhizosphere having an impact on global change. *Plant Soil*, 321:61–81.
- Plaizier, J.C., D.O. Krause, G.N. Gozho and B.W. McBride. 2008. Subacute ruminal acidosis in dairy cows: the physiological causes, incidence and consequences. *The Veterinary Journal*, 176: 21–31.
- Primavesi, O., R.T.S. Frighetto, M.S. Pedreira, M.A. Lima, T.T. Berchielli and A.de A. Rodrigues. 2003. Low fiber sugarcane to improve meat production with less methane emission in tropical dry season. In: *International Methane & Nitrous Oxide Mitigation, 3, 2003, Beijing, China. Proceedings. Beijing: China Coal Information Institute: US ERG Inc., 2003.*
- Rego, E.E. e F.D.M. Hernandez. 2006. Eletricidade por digestão anaeróbia da vinhaça de cana-de-açúcar: contornos técnicos, econômicos e ambientais de uma opção. In *Proceedings of the 6. Encontro de Energia no Meio Rural, 2006, Campinas (SP, Brazil).*
- Ribas, M.M.F. 2006. Tratamento de vinhaça em reator anaeróbio operado em batelada seqüencial contendo biomassa imobilizada sob condições termofílicas e mesofílicas. 2006. 175 p. Tese (Doutorado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2006.
- Sakai, S., H. Imachi, Y. Sekiguchi, A. Ohashi, H. Harada and Y. Kamagata. 2007. Isolation of key methanogens for global methane emission from rice paddy fields: a novel isolate affiliated with the clone cluster rice cluster I. *Appl Environ Microbiol.*, 73(13):4326-31.
- Sakai, S., R. Conrad, W. Liesack and H. Imachi. 2010. *Methanocella arvoryzae* sp. nov., a hydrogenotrophic methanogen isolated from rice field soil. *Int J Syst Evol Microbiol.*, 60: 2918-2923.

- Smith, P., D. Martino, Z. Cai, D. Gwary, H. Janzen, P. Kumar, B. McCarl, S. Ogle, F. O'Mara, C. Rice, B. Schjoles, O. Sirotenko, M. Howden, T. McAllister, G. Pan, V. Romanenkov, U. Schneider, S. Towprayoon, M. Wattenbach and J. Smith. 2008. Greenhouse gas mitigation in agriculture. *Phil. Trans. R. Soc. B*, 363: 789–813.
- Souza, A.J.Q. 2008. Tratamento anaeróbio de vinhaça em RALHF acidogênico e metanogênico. 2008. 41 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Agrícola), Universidade Estadual de Maringá, Cidade Gaúcha.
- Souza, M.E., G. Fuzaro, A.R. Polegato. 1992. Thermophilic Anaerobic Digestion of Vinasse in Pilot Plant UASB Reactor. *Water Science & Technology*, 25: 213-222.
- Stein, J.L., T.L. Marsh, K.Y. Wu, H. Shizuya, E.F. DeLong. 1996. Characterization of uncultivated prokaryotes: isolation and analysis of a 40-kilobase-pair genome fragment from a planktonic marine archaeon. *J Bacteriol*, 178: 591-9.
- Tonello, A.N. and M.M.F. Ribas. 2009. Desempenho de reatores anaróbios horizontais de leito fixo e fases separadas tratando vinhaça. OLAM: Ciência & Tecnologia, IV Semanda do meio ambiente e da universidade tecnológica federal do Paraná, Campus Campo Mourão, p.344-361.
- Vazoller, R.F. 1997. Microbiological aspects of thermophilic anaerobic biodigestion of vinasse. *Novel Trends in Biological Wastewater*, 527-532.
- Viana, A.B. 2006. Tratamento termofílico de vinhaça em reator UASB. Dissertação (Mestrado). Universidade de São Paulo - Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos. 102p.
- Wedlock, D.N., G. Pedersen, M. Denis, D. Dey, P.H. Janssen and B.M. Buddle. 2010. Development of a vaccine to mitigate greenhouse gas emissions in agriculture: vaccination of sheep with methanogen fractions induces antibodies that block methane production in vitro. *New Zealand Veterinary Journal*, 58: 29–36.
- Woese, C.R. and G.E. Fox. 1977. Phylogenetic structure of the prokaryotic domain: the primary kingdoms (1977). *Proc Natl Acad Sci U S A*, 74:5088-90.
- Wright, A.D.G., Toovey, A.F., Pimm, C.L. (2006) Molecular identification of methanogenic archaea from sheep in Queensland, Australia reveal more uncultured novel archaea. *Anaerobe* 12, 134-139.
- Yusuf, R.O., Z.Z. Noor, A.H. Abba, M.A.A. Hasssan and M.F.M. Din. 2012. Methane emission by sectors: A comprehensive review of emission sources and mitigation methods. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16: 5059–5070.
- Zschornack, T., C. Bayer, J.Á. Zanatta, F.C.B. Vieira and I. Anghinoni. 2011. Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from flooded-irrigated rice by no incorporation of winter crop residues into the soil. *R. Bras. Ci. Solo*, 35:623-634.



## **Anexo**

---

## Programa

Jueves 27 de septiembre

|               |  |   |
|---------------|--|---|
| 8:30 – 9:00   | Registro   | Secretaría  |
| 9:00 – 9:30   | Inauguración   | Adrián Rodríguez, Jefe de la Unidad de Desarrollo Agrícola, DDPE/CEPAL.<br>Paulo Guilherme Cabral, Secretario de Extrativismo y Desarrollo Sustentable, Ministerio de Medio Ambiente de Brasil.<br>Pascal Delisle, Jefe de la Cooperación Internacional para el Cono Sur y Brasil de la Embajada de Francia.<br>Raúl O. Benítez, Subdirector General, Representante Regional de la FAO para América Latina y el Caribe.   |
|               |  | Firma de acuerdo de Cooperación entre la FAO y el Ministerio de Medio Ambiente de Brasil para el “Fortalecimiento de políticas agro-ambientales en países de América Latina y El Caribe a través del diálogo e intercambio de experiencias nacionales”  |
| 9:30 – 10:00  | Presentación magistral   | Río + 20 y la necesidad de nuevas políticas para enfrentar el cambio climático en la agricultura. Paulo Guilherme Cabral, Secretario de Extrativismo y Desarrollo Sustentable, Ministerio de Medio Ambiente de Brasil.  |
| 10:00 – 11:00 | Nuevas tecnologías y convergencia tecnológica en la agricultura            | Convergencias tecnológicas en agricultura: sus aportes a la nueva revolución agrícola. Arturo Barrera, Director de Innovación, IICA.<br>El uso actual y potencial de las TIC en las cadenas agroalimentarias. Marcelo Bosch, INTA, Argentina.   |
| 11:00 – 11:30 | Café   |   |
| 11:30 – 13:30 | Nuevas tecnologías y convergencia tecnológica en la agricultura (cont.)    | El uso actual y potencial de la nanotecnología en el sector agroalimentario. Cauê Ribeiro, Embrapa, Brasil.<br>Agricultura de precisión: situación actual y perspectivas. Stanley Best, INIA, Chile.<br>Preguntas y comentarios. Modera: Adrián Rodríguez, CEPAL.   |
| 13:30 – 14:30 | Almuerzo   |   |
| 14:45 – 16:15 | Sistemas de información para la gestión ambiental en la agricultura        | Red de Estaciones Estatales Agroclimáticas: el rol de las Fundaciones Produce. Mario Tiscareño, Fundaciones Produce, A.C., México.<br>Red Interinstitucional de Cambio climático y Seguridad Alimentaria de Colombia, RICCLISA. José Francisco Boshell, RICCLISA.<br>La red meteorológica Agroclima. Ricardo Adonis, Fundación para el Desarrollo Frutícola, Chile.<br>Preguntas y comentarios. Modera: Laura Meza, FAO.  |
| 16:00 – 16:30 | Café   |   |
| 16:30 – 17:30 | Nuevas tecnologías en la mitigación del cambio climático en la agricultura | Arqueas metanógenas en la mitigación del cambio climático en la agricultura. Flávia Talarico Saia, Universidade do Sao Paulo, Brasil.<br>Cuantificación de flujos de vapor y carbono: avances en el monitoreo para la gestión de la huella hídrica y de carbono. Francisco Meza, Centro de Cambio Global, PUC.<br><br>Preguntas y comentarios. Modera: Octavio Sotomayor<br>Agriculture and climate change: an Australian perspective on new technologies for mitigation and adaptation (Videoconferencia, en inglés). Mark Howden, CSIRO, Australia.<br>Preguntas y comentarios. |

---

Viernes 28 de septiembre

---

|               |  |   |
|---------------|--|---|
| 9:00 – 10:00  | Charla magistral   | Embrapa Informática Agropecuaria: una visión integral de la gestión ambiental, la gestión del riesgo y la adaptación en la agricultura. Eduardo Delgado Assad, Embrapa Informática Agropecuaria, Brasil.  |
| 10:00 – 11:30 | Nuevas tecnologías en la adaptación de la agricultura al cambio climático                              | Nanotecnología en la rehabilitación de suelos degradados y contaminados. Rogelio Carrillo González, Colegio de Postgraduados, México.<br>Biotecnología y recursos genéticos en la adaptación de la agricultura al cambio climático. Pedro Rocha, Encargado de Biotecnología, IICA.<br>AquaCrop. Una herramienta para la gestión del agua en la agricultura en un contexto de cambio climático. Magali García, Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia, Consultora FAO.<br>Preguntas y comentarios. Modera: Adrián Rodríguez.   |
| 11:30 – 12:00 | Café   |   |
| 12:00 – 13:45 | Mesa Redonda:<br>Incentivos y precauciones en la promoción de las nuevas tecnologías en la agricultura | Iniciativas con enfoque regional: la Plataforma de Nuevas Tecnologías del PROCISUR. Itamar Soares de Mello, PROCISUR.<br>Iniciativa nacional. La Mesa TIC-Agricultura de Costa Rica. Otto Rivera Valle, Director Ejecutivo de la Cámara de Tecnologías de Información y Comunicación de Costa Rica, CAMTIC.<br>Reconversión de las agendas de investigación, desarrollo e innovación en el SNCTA colombiano. Rubén Valencia, Director de Investigación y Transferencia Tecnológica CORPOICA, Colombia.<br>Aspectos éticos y legales de la nanotecnología en el sector agroalimentario. Paulo Roberto Martins, red Brasileña de Investigación en Nanotecnología, Sociedad y Medio Ambiente, RENANOSOMA.<br>Preguntas y comentarios. Modera: Mónica Rodríguez (CEPAL) |
| 13:45 – 14:00 | Clausura   | Pascal Delisle, Cooperación Regional para el Cono Sur y Brasil, Embajada de Francia.<br>Paulo Guilherme Martins, Ministerio de Medio Ambiente de Brasil.<br>Agradecimientos: Adrián Rodríguez, CEPAL.   |
| 14:00         | Vino de honor  |   |

---





NACIONES UNIDAS

**Serie****CEPAL****Seminarios y Conferencias****Números publicados****Un listado completo así como los archivos pdf están disponibles en****[www.cepal.org/publicaciones](http://www.cepal.org/publicaciones)**

75. Agricultura y cambio climático: nuevas tecnologías en la mitigación y adaptación de la agricultura al cambio climático. Memoria del tercer seminario regional de agricultura y cambio climático, realizado en Santiago, 27 y 28 de septiembre de 2012 (LC/L.3714), 2013.
74. Las tecnologías de la información y de las comunicaciones (TIC) y el desarrollo sostenible en América Latina y el Caribe: experiencias e iniciativas de política. Memoria del seminario realizado en la CEPAL Santiago, 22 y 23 de octubre de 2012 (LC/L.3679), 2013.
73. Políticas para la agricultura en América Latina y el Caribe: competitividad, sostenibilidad e inclusión social, Memoria del seminario internacional sobre políticas agrícolas en América Latina y el Caribe, realizado en Santiago los días 6 y 7 de diciembre de 2011 (LC/L.3646), 2013.
72. Rentas de recursos naturales no renovables en América Latina y el Caribe: Evolución 1990-2010, Jean Acquatella, Hugo Altomonte, Andrés Arroyo, Jeannette Lardé, Memoria del seminario de gobernanza, realizado en Santiago, los días 24 y 25 de abril de 2012 (LC/L.3645), 2013.
71. Agricultura y cambio climático: Del diagnóstico a la práctica, Adrián Rodríguez (compilador), Memoria del segundo seminario regional Agricultura y cambio climático, realizado en Santiago, los días 23 y 24 de noviembre de 2011 (LC/L.3532), 2012.
70. Desarrollo regional en América Latina: El lugar importa, Instituto Latinoamericano y del Caribe de Planificación Económica y Social (ILPES) (LC/L.3454), 2012.
69. Políticas sobre desarrollo institucional e innovación en biocombustibles en América Latina y el Caribe, División de Desarrollo Productivo y Empresarial (LC/L.3453), 2012.
68. Investigación y desarrollo e innovación para el desarrollo de los biocombustibles en América Latina y el Caribe, Adrián Rodríguez (compilador) (LC/L.3394), 2011.
67. De la evanescencia a la mira: el cuidado como eje de políticas y de actores en América Latina, División de Desarrollo Social (LC/L.3393), 2011.
66. El desafío de un sistema nacional de cuidados para el Uruguay, División de Desarrollo Social, (LC/L.3359), 2011.
65. Agricultura y cambio climático: instituciones, políticas e innovación, Memorias del seminario internacional realizado en Santiago los días 10 y 11 de noviembre de 2010 (LC/L.3355), 2011.
64. Determinantes de las tasas de reemplazo de pensiones de capitalización individual: escenarios latinoamericanos comparados, División de Desarrollo Social (LC/L.3329-P), N° de venta: S.11.II.G.45 (US\$ 20.00), 2011.