

Jornada Técnica: Biotecnología Forestal



Miércoles 11 de julio de 2012
Programa Nacional de Producción Forestal – INIA Tacuarembó

Organizan



Jornadas de Biotecnología Forestal



2012

Tacuarembó - Uruguay

Tabla de Contenido

<i>Trazabilidad molecular como herramienta para asegurar la productividad esperada en plantaciones clonales.</i>	<i>3</i>
<i>Consortio de Genómica Forestal: La experiencia Chilena.</i>	<i>4</i>
<i>Herramientas moleculares para conocer mejor a los patógenos forestales.....</i>	<i>6</i>
<i>¿Por qué hacer estudios genómicos en mirtáceas nativas en Uruguay? Dos ejemplos... </i>	<i>7</i>
<i>Ecofisiología aplicada al mejoramiento genético de especies de los géneros Eucalyptus y Pinus: Avances en el INIA.....</i>	<i>9</i>
<i>"Biotecnología aplicada al mejoramiento forestal.El caso en UPM"</i>	<i>10</i>
<i>Madera, biodeterioro y preservantes.....</i>	<i>11</i>
<i>Una aproximación a la nanotecnología</i>	<i>13</i>
<i>Enzimas celulolíticas como herramientas en la utilización de recursos renovables que contienen celulosa</i>	<i>15</i>

Trazabilidad molecular como herramienta para asegurar la productividad esperada en plantaciones clonales.

Diego Torres Dini, Zohra Bennadji, Natalia Nikichuk, Roberto Scoz, Gustavo Balmelli.
Programa Nacional de Producción Forestal – INIA Tacuarembó
dtorres@tb.inia.org.uy

Las características biológicas del género *Eucalyptus* hace que sea posible la clonación de genotipos superiores, tanto por macro como por micropropagación, generando así clones de élite. Dichos clones son el producto final de la toma de decisiones de los mejoradores y son multiplicados por miles en viveros para ser posteriormente cultivados en plantaciones comerciales, logrando así una productividad diferencial. La correcta identificación de clones es la aplicación de los marcadores moleculares más demandada por los mejoradores del género *Eucalyptus* a nivel mundial.

El control de calidad de producciones clonales a gran escala es crucial desde el punto de vista operativo, adquiriendo mayor importancia en viveros donde se producen clones seleccionados por diferentes objetivos, por ejemplo, adaptados a ambientes específicos o para fines productivos distintos, como puede ser madera sólida o pulpa. Desde la planificación de la plantación forestal pasando por la multiplicación clonal, instalación a campo, hasta alcanzar el destino final en etapa industrial, transcurren varios años.

Por eso es clave contar con formas confiables de asegurar la identidad clonal garantizando la trazabilidad durante el proceso de producción. Los errores en la clasificación de materiales pueden provocar pérdidas considerables en la productividad de las plantaciones, con las consecuentes pérdidas económicas que esto conlleva. A modo de ejemplo, en una plantación de 100 hectáreas realizada con un clon (A) que produce 200 m³ de madera a la cosecha y genera un ingreso neto de 400 US\$/há se obtendrían en el total del área unos 40.000 dólares. En este caso hipotético, un error de trazabilidad en vivero, por el cual se lleve al campo un clon (B) con un 20% menos de crecimiento volumétrico, generaría una pérdida económica para la empresa de 8.000 dólares.

Desde INIA se han puesto a punto protocolos que permiten asegurar la identidad de los materiales en las sucesivas etapas de la multiplicación clonal, manteniendo así los niveles esperados de productividad. A su vez, se ha generado un banco de ADN con los principales clones empleados por el sector. Como perspectivas futuras, y mediante el trabajo en conjunto con la Unidad de Bioinformática del Instituto Pasteur Montevideo, se aspira a la generación de una base de datos con los ADN clonal del género *Eucalyptus*, con el objetivo de sistematizar y facilitar el proceso de trazabilidad asegurando los niveles óptimos de productividad a nivel nacional.

Palabras claves: PIMP 2007-2011, trazabilidad molecular, *Eucalyptus*; clonación, banco ADN, Uruguay.

Consorcio de Genómica Forestal: La experiencia Chilena.

Sofía Valenzuela Águila
Universidad de Concepción – Consorcio de Genómica Forestal.
sofvalen@udec.cl

En enero del 2006, luego de la primera convocatoria del “Concurso Nacional de Consorcios Tecnológicos Empresariales de Investigación” realizada por Innova Chile, la Universidad de Concepción, Fundación Chile, Forestal Arauco S.A., Forestal Mininco S.A. y CEFOR S.A. presentaron conjuntamente el proyecto “Consorcio Genómica Forestal”.

La investigación en genómica forestal juega un rol importante para la economía de la Región del Bío-Bío, donde la principal actividad económica es forestal, representando el 70% de las exportaciones. La alianza entre empresas y universidades consolida un modelo de I+D+i orientado a ampliar el mercado y generar nuevos negocios.

La misión de GFSA es desarrollar investigación en Genómica Forestal que contribuya a incrementar la competitividad del sector forestal, estableciendo alianzas con redes de I+D y de negocios, a nivel mundial. Estas redes incluyen a investigadores de North Carolina State University, Purdue University y University of California- Davis, entre otras.

Los principales objetivos de GFSA son:

- Generar y ejecutar programas de investigación y desarrollo en el área de genómica forestal orientados a dar respuesta a las necesidades del sector forestal.
- Promover el desarrollo de profesionales especialistas en materias prioritarias del ámbito de la genómica forestal y la biotecnología asociada a ésta.
- Promover el establecimiento de negocios tecnológicos y la transferencia tecnológica a partir de los resultados de I+D.

Genómica Forestal S.A. trabaja en áreas prioritarias para el desarrollo de una industria forestal innovadora, y a la altura de países con larga tradición en este ámbito. Contar con árboles mejor adaptados a las condiciones de nuestro territorio, se traducirá en mejores oportunidades para los pequeños, medianos y grandes productores. En una primera etapa se definieron tres áreas de I+D+i: i) Formación de madera en *Eucalyptus globulus*, ii) Tolerancia al frío en *E. globulus* y iii) Resistencia a *Fusarium circinatum* en pino radiata.

En cinco años, se ha desarrollado herramientas biotecnológicas importantes para la competitividad de la industria, se ha incorporado capital humano altamente capacitado y se han consolidado las líneas de trabajo definidas con la generación de investigación aplicada de alto nivel. Algunos de los productos obtenidos a la fecha son:

- Modelos de predicción para diferentes propiedades de la madera de *E. globulus*.
- Plataforma de genotipificación basada en marcadores microsatélites y AFLPs.
- Bibliotecas de expresión génica y análisis de secuenciación masiva.
- Caracterización de genes involucrados en los procesos de formación de madera y resistencia al frío.
- Plataforma de evaluación de genotipos resistentes a estrés biótico y abiótico.
- Mapeo genético y de QTLs.
- Plataforma de transformación para prueba de genes candidatos en *P. radiata*.
- Protocolo en cámaras de frío para test de tolerancia.

Las capacidades profesionales y de infraestructura, junto con la experiencia acumulada en Genómica Forestal S.A. permitirá enfrentar nuevos desafíos del sector forestal, ya sea el mejoramiento para nuevos productos, enfrentar cambios climáticos, o presencia de nuevas enfermedades que afecten el desarrollo de las plantaciones.

Herramientas moleculares para conocer mejor a los patógenos forestales

Guillermo Pérez
Polo de Desarrollo Universitario (PDU) Forestal, CCI-CUT, UDELAR,
guillermo.perez@cut.edu.uy

El Grupo de Investigación en Patología Forestal (GIPF) nuclea docentes del Laboratorio de Micología de la Facultad de Ciencias - Facultad de Ingeniería (UdelaR), de la Unidad de Fitopatología en la Estación Experimental Mario Casinoni (EEMAC) de la Facultad de Agronomía (UdelaR), del Polo de Desarrollo Universitario Forestal (INIA-UdelaR) e investigadores del Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA).

Si bien el GIPF fue creado en el 2005 para coordinar la investigación en patología forestal en el Uruguay, varios de los integrantes llevan más de 10 años trabajando y desarrollado distintas herramientas moleculares para la detección, identificación y el estudio de la genética poblacional de diversos patógenos forestales.

Estas herramientas incluyen técnicas derivadas de la reacción en cadena de la polimerasa (PCR) tales como PCR-RFLPs, diseño de primers específicos, PCR en tiempo real, microsatélites, secuenciación y pirosecuenciación. Al mismo tiempo se han desarrollado protocolos de inoculación artificial de distintos hongos patógenos incluyendo *Inocutis jamaicensis*, *Puccinia psidii* y especies de *Botryosphaeriaceae*.

Se presenta en esta jornada un resumen de lo actuado hasta el momento y se remarca la capacidad actual y la importancia de contar con un Centro de Inoculación de Patógenos Forestales. Este centro permitirá ofrecer al sector forestal un servicio de caracterización del comportamiento sanitario del germoplasma (mayormente clonal) que se encuentren en el proceso de mejoramiento genético o ya liberados a la producción.

¿Por qué hacer estudios genómicos en mirtáceas nativas en Uruguay? Dos ejemplos.

Quezada, M; Pritsch C.
Depto. de Biología Vegetal
Facultad de Agronomía, Universidad de la República.
Garzón 780-Montevideo, CP 12900.

La familia *Myrtaceae* comprende unas 5.650 especies en 130 a 150 géneros, con una distribución predominante en áreas tropicales y sub tropicales del hemisferio sur. Son cultivadas en todo el mundo por su fruta (*Psidium*), especies (*Pimenta*), aceites (*Melaleuca*) o como fuente de madera o fibra (*Eucalyptus*).

En Uruguay, el mayor número de especies leñosas en la flora nativa (33 especies organizadas en 14 géneros) corresponde a esta familia, siendo todas pertenecientes a la tribu *Myrteae* (fruto carnoso). Por otra parte, el género *Eucalyptus* (exótico, tribu *Eucalypteae*) es el principal representante en los sistemas de producción forestal en Uruguay. La importancia económica de esta familia ha incentivado la realización de estudios genómicos pero con nivel de desarrollo variable. Sin dudas, *Eucalyptus* es el género pilar en estudios genómicos debido a su rápida tasa de crecimiento, sus usos como fuente de madera para papel, pulpa o producción de energía, riqueza en metabolitos secundarios, incluyendo los flavonoides, terpenos y taninos, algunos de los cuales tienen actividades antimicrobianas. Esta característica es extensiva a toda la familia *Myrtaceae*.

Por otro lado, su estado diploide, el relativamente bajo y estable número cromosómico y su genoma relativamente pequeño (600 a 700 Mpb) permiten que sea un excelente modelo de estudio para análisis genómicos. En el estudio funcional del genoma de las especies del género *Eucalyptus* se ha focalizado en el estudio de los factores que participan en la formación de la madera y respuestas a estreses biótico y abiótico. En el área de la genómica estructural, el primer mapa de ligamiento completo producido en las mirtáceas, para *E. grandis* y *E. urophylla* fue también el primero producido para una especie forestal y de hecho para todas las especies leñosas. A partir de este hito, se han incrementado el número e informatividad de los marcadores desarrollados, tanto marcadores SSR, plataformas de DArT y SNP que han permitido la generación de mapas altamente saturados.

Estos mapas, junto a los programas de mejoramiento genético han permitido el estudio genético de una variedad de caracteres cuantitativos como el crecimiento y propiedades de la madera, la propagación vegetativa, el tiempo de floración, metabolismo secundario, resistencias a estrés biótico y abiótico. Este año se hará público el primer genoma de referencia completamente anotado (*E. grandis*, BRASUZ1), proceso liderado por consorcio internacional con investigadores destacados localizados la región (Brasil). El conocimiento acumulado y las plataformas de análisis

genómico desarrolladas son reconocidas por la comunidad científica como altamente valiosos para su aplicación en otras especies forestales así como en otros miembros de la familia mirtácea mediante análisis genómicos comparativos que revaloricen los recursos nativos, para sus diversos fines como alimento, fitoquímicos etc. Es más, los investigadores en *Eucalyptus* a su vez esperan que el mejor conocimiento del genoma de mirtáceas nativas que coexisten con los sistemas forestales, permita comprender mejor las complejas interacciones entre las comunidades de plantas y los agentes patógenos/benéficos e intervenir adecuadamente en las mismas. Se presentarán los avances realizados en el conocimiento del genoma de *Acca sellowiana* y *Psidium cattleianum*.

Ecofisiología aplicada al mejoramiento genético de especies de los géneros *Eucalyptus* y *Pinus*: Avances en el INIA

Zohra Bennadji, Rosario Alonso, Álvaro Otero
zbennadji@tb.inia.org.uy

Resumen:

Los programas de mejoramiento genético de *Eucalyptus* y *Pinus* del INIA se han iniciado a principio de la década de los noventa. Han incluido más de 30 especies y han involucrado una batería de actividades (introducción de recursos genéticos externos, selección de fuentes de semillas locales, establecimientos de huertos semilleros, liberación varietal y certificación) y estrategias (selección recurrente, selección temprana, y clonación). Sin embargo, se han básicamente orientado a criterios de selección de productividad, forma y características de la madera, asumidos como síntesis de la relación genotipo - ambiente en diferentes zonas ecológicas del país.

La inclusión de criterios de selección ecofisiológicos, además de afinar el conocimiento del funcionamiento ecológico propiamente dicho de las especies forestales, permitirá potenciar los programas de mejoramiento genético de cara al cambio climático y a los diferentes estreses abióticos y bióticos que conlleva. En estos escenarios, la ecofisiología se visualiza como una herramienta para el perfeccionamiento de métodos de selección temprana, de correlaciones juvenil-adulto y como un eslabón para la aplicación eficiente de técnicas avanzadas de genómica.

En este marco, se inició en el 2010 el proyecto interdisciplinario “Bases fisiológicas para la mitigación de la vulnerabilidad de los sistemas productivos agrícolas (arroz, cebada, cítricos, trigo, forestales) ante estreses abióticos causados por el cambio climático en Uruguay”. Este proyecto apunta a la creación y consolidación de capacidades y acciones de investigación pluridisciplinaria dentro como fuera de la institución para : (i) mejorar la producción en cantidad y calidad de cara a los escenarios del cambio climático, (ii) producir de manera eficiente y sustentable, (iii) asistir al mejoramiento genético vegetal a través de la identificación de rasgos morfo-fisiológicos relevantes y (iv) proveer un marco conceptual para el desarrollo de modelos para estudios holísticos de los sistemas de producción. Su componente forestal tiene como objetivo el desarrollo de protocolos de evaluación de tolerancia/resistencia a la sequía de materiales genéticos selectos de *Eucalyptus grandis* y *Pinus taeda*.

En este trabajo, se presentaran: (i) las principales actividades y resultados logrados hasta la fecha en el componente forestal y (ii) algunas perspectivas para un mayor aprovechamiento de los aportes interdisciplinarios de la ecofisiología y genómica al mejoramiento genético de *Eucalyptus* y *Pinus*.

Palabras clave: Ecofisiología, mejoramiento genético; genómica; *Eucalyptus*; *Pinus*.

"Biotecnología aplicada al mejoramiento forestal. El caso en UPM"

Pilar Gasparri
UPM, Forestal Oriental

A comienzos del año 2009 comenzó sus actividades el Laboratorio de Micropropagación de UPM - Forestal Oriental. Ubicado en el Vivero San Francisco, Paysandú. Laboratorio con fines productivos y exclusivos para el trabajo dentro del género *Eucalyptus*. Más precisamente las especies *E. grandis* y en *E. dunnii*. El impulso de este proyecto fue con el fin de cumplir tres objetivos principales. La pre multiplicación de clones promisorios en evaluación por el Programa de Mejoramiento Genético; establecimiento del banco de germoplasma de clones elite y producción de plantas madres revigorizadas y rejuvenecidas.

Los motivos por los cuales se produce la instalación de un laboratorio, son las ventajas que posee esta técnica, explotamos principalmente; el rejuvenecimiento de los tejidos, que impactará en la tasa de enraizamiento de estacas. El incremento acelerado del número de plantas por genotipo en conjunto con la producción en espacios reducidos. La posibilidad de intercambio de material genético con mayor facilidad, producción de plantas con mayor sanidad.

La metodología utilizada es el cultivo de tejido in vitro por organogénesis directa. Principalmente se utiliza medios nutritivos semi sólidos, aunque se está en las primeras fases de utilización de inmersión temporaria. Actualmente se micropropagan ocho clones de *grandis*, el desafío radica en continuar produciendo vitroplantas madres que produzcan el material necesario para cubrir las demandas anuales para realizar las plantaciones clonales de UPM-Forestal Oriental. Para las zonas frías se están desarrollando ajustes en la propagación de *E. dunnii* siendo un desafío la clonación de esta especie. En el laboratorio se trabaja actualmente con diez clones de *E. dunnii*.

El vivero San Francisco, cuenta con dos clones comerciales que sus plantas madres han sido rejuvenecidas, lográndose un aumento promedio del veinte por ciento en la tasa de enraizamiento.

Madera, biodeterioro y preservantes

Claudia Ibáñez
Facultad de Química, Universidad de la República
Gral. Flores 2124. Casilla de correo 1157 Fax. 929 19 06.
Montevideo, Uruguay
cmibanes@fq.edu.uy

La madera ha sido y es utilizada como un elemento común en diversas aplicaciones, debido a que es un material renovable, abundante y de manipulación relativamente sencilla. Sin embargo, al igual que otros materiales biológicos es susceptible a la degradación por acción de distintos agentes del medio ambiente. Ejemplo de ellos son la radiación (ultravioleta e infrarroja), la humedad y el agua de lluvia, que la degradan paulatinamente. Pero quienes causan las mayores pérdidas económicas a nivel mundial, son los agentes bióticos; organismos xilófagos como los hongos, los insectos y los perforadores marinos (moluscos y crustáceos). Ni siquiera las maderas naturalmente durables son totalmente inmunes al deterioro en ambientes naturales. Por estas razones la madera necesita ser protegida a través de algún tipo de tratamiento. La comprensión de los mecanismos involucrados en el biodeterioro y la protección de la madera, requirió la formación de un grupo de investigación interdisciplinario. Sus objetivos han sido aumentar la vida útil de la madera y sus derivados, y en algunos casos dar valor agregado a algunos productos.

El tema central de investigación ha sido el desarrollo de nuevos preservantes para madera de bajo costo, considerando el impacto que producen sobre el ambiente y la salud. Sin dejar de lado los fundamentos y aplicaciones de los procesos de impregnación para madera y los mecanismos químicos y biológicos de deterioro de la madera. El desarrollo de conocimiento se ha logrado a través de investigaciones tanto aplicadas como básicas. Para ello se pusieron a punto distintos ensayos de durabilidad natural y adquirida de maderas, basados en normas internacionalmente reconocidas, tanto a nivel de laboratorio como a nivel de campo. Se estudiaron además los análisis de retención y evaluación de penetración en la madera de los preservantes ensayados. En investigación básica se buscaron enzimas ligninolíticas en hongos descomponedores de madera a nivel bioquímico y molecular, para estudiar el efecto de los metales sobre la actividad enzimática a través de técnicas como la PCR en tiempo real.

Las líneas de investigación en curso incluyen el desarrollo de un sistema de tratamiento de los postes de las líneas de distribución de energía eléctrica, alternativo al actualmente usado. Se realiza además un relevamiento de las causas de deterioro de los mencionados postes en servicio en nuestro país, identificando los microorganismos descomponedores mediante técnicas moleculares. También se ensayan las propiedades ignífugas de los productos en estudio para su aplicación en viviendas de interés social. En colaboración con Universidades extranjeras se estudia el potencial antifúngico e insecticida de preservantes compuestos de productos naturales y las



Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria
U R U G U A Y

interacciones químicas entre los preservantes y la madera. Actualmente se están incorporando normas de investigación y desarrollo a nuestro trabajo, a las normas técnicas empleadas.

Una aproximación a la nanotecnología

Helena Pardo, Alvaro Mombrú
Polo Tecnológico de Pando – Uruguay.

La nanociencia ha sido una de las áreas de la ciencia que ha presentado uno de los mayores crecimientos de los últimos años, entendiéndose por nanociencia al área que se ocupa del estudio de los materiales cuyas dimensiones están dentro de la llamada escala nanométrica (aproximadamente entre 1 y 100 nm, y siendo un nanómetro la milésima parte de un milímetro). Mientras que a la aplicación tecnológica de los descubrimientos y desarrollos nanocientíficos es a lo que se denomina como nanotecnología.

Como datos objetivos que demuestran este crecimiento se puede mencionar que el número de publicaciones científicas relacionadas con “nano*” (datos extraídos de la base de datos SCOPUS) han aumentado desde unas 1400 en el año 1990 hasta más de 100000 en el año 2011.

A nivel mundial se canalizan grandes sumas para la investigación en nanotecnología. Unas 300 empresas tienen el término nano en su nombre y algunos gigantes del mundo informático como IBM, Hewlett - Packard (HP), NEC e Intel están invirtiendo millones de dólares al año en el tema. Los gobiernos del llamado Primer Mundo se han tomado el tema en serio, con el claro liderazgo del estadounidense con su National Nanotechnology Initiative. En esos países, tanto como en otros como China e India e incluso Brasil, la nanotecnología ha sido identificada como área prioritaria, conjuntamente con energía y biotecnología, por su potencial capacidad de revolucionar tecnológicamente a nuestra sociedad.

De hecho, la nanotecnología parece ser la base de una nueva revolución industrial. Según Mike Treder (2004), del Center for Responsible Nanotechnology, podrá ser una revolución que concentre en pocas décadas, pero a escala mundial, tantas o más transformaciones como las ocurridas desde la revolución industrial hasta ahora.

Según el reporte “Nanotechnology: A Realistic Market Assessment” de la BCC Research, Market Forecasting, en el año 2007 el mercado mundial nanotecnológico fue U\$S 11.6 billones (11.6×10^{12}), presentando una tasa de crecimiento anual de aproximadamente un 16%.

Los desarrollos nanotecnológicos abarcan una amplísima variedad de aplicaciones, de hecho dos características principales de esta área son su transversalidad y multidisciplinaredad.

La industria del papel y la celulosa, está demostrando no ser la excepción a esta tendencia, volcando una parte importante de sus esfuerzos de investigación y



Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria
U R U G U A Y

desarrollo en la incorporación de nanotecnología tanto a productos como a procesos. A modo de ejemplo se pueden citar: nuevos métodos para la producción de polímeros biodegradables basados en fibras de madera y pulpa, nuevos tipos de adhesivos y recubrimientos, productos basados en nanopartículas para el tratamiento de la madera, empleo de fibras de nanocelulosa para la fabricación de nuevos e interesante productos.

Enzimas celulolíticas como herramientas en la utilización de recursos renovables que contienen celulosa

Alicia Gardiol
Polo Tecnológico de Pando – Uruguay.

En el año 2010, se comenzó a trabajar sobre enzimas celulolíticas, como una nueva aplicación dentro de la ciencia de la sustentabilidad. La celulosa es la reserva de Carbono orgánico más abundante del planeta, como resultado de la fotosíntesis de las plantas que incorporan el CO₂ en carbohidratos. Esta fuente inagotable y sustentable de Carbono es un polímero de glucosa que para poder ser utilizada debe ser transformada previamente en glucosa por enzimas celulolíticas. La utilización de enzimas celulolíticas permitirá degradar residuos de origen vegetal, que contienen celulosa. Los productos tienen el potencial de ser utilizados con múltiples fines como la biosíntesis de etanol por *Saccharomyces cerevisiae*.

La celulosa es insoluble en agua y puede tener estructura amorfa o presentar distintos porcentajes de cristalinidad, debido a una red de puentes de Hidrógeno entre cadenas. En estado cristalino se encuentra formando fibrillas que a su vez forman fibras. Tiene distinta accesibilidad en distintos sustratos. En los sustratos naturales o residuos de origen vegetal lignocelulósicos, las fibras de celulosa se encuentran en una matriz de lignina y hemicelulosa lo que dificulta aún más su accesibilidad a las enzimas.

La hidrólisis de celulosa requiere las siguientes actividades enzimáticas:

- a) Endoglucanasa (**endo-1,4-β-glucanasa; Egl; EC 3.2.1.4**)
- b) Exoglucanasa o cellobiohidrolasa (**exo-1,4-β-glucanasa; Cbh; EC 3.2.1.91**)
- c) β glucosidasa (**β-1,4-glucosidasa; EC 3.2.1.21**)

Las enzimas celulolíticas o celulasas son glicosil hidrolasas, enzimas responsables de la hidrólisis o transglicosilación de enlaces glicosídicos. Las enzimas endoglucanasas y cellobiohidrolasas (Eg y Cbh) están descritas en la base de datos de CAZy (Carbohydrate-Active EnZymes database) (<http://www.cazy.org/index.html>)¹, que se especializa en las enzimas que sintetizan y degradan carbohidratos complejos y glicoconjugados.

Las enzimas con actividad **endoglucanasa** hidrolizan los enlaces glicosídicos interiores de las cadenas de celulosa, iniciando la hidrólisis en zonas amorfas, y tienen

¹ Cantarel, B., Coutinho, P., Rancurel, C., Bernard, T., Lombard, B. and B. Henrissat. 2008. The Carbohydrate-Active EnZymes database (CAZy): an expert resource for Glycogenomics.

como producto cadenas de celulosa con menor grado de polimerización. Las enzimas con actividad **exoglucanasa** continúan la acción de las endoglucanasas sobre la misma cadena (que tiene extremos libres como resultado de la acción de las endoglucanasas) y liberan como producto el dímero de glucosa, la celobiosa. También se unen a otras cadenas en zonas cristalinas, siendo su acción esencial en la degradación de zonas cristalinas. La **β glucosidasa** hidroliza la celobiosa en dos monómeros de glucosa.

Para degradar y utilizar la celulosa, se necesita por lo tanto, contar con todas las enzimas necesarias y que a su vez éstas sean eficientes con el sustrato celulósico a utilizar. Una solución que facilite la producción y la evaluación de enzimas en su eficiencia sobre celulosa cristalina resolvería una etapa crítica en la utilización de residuos celulósicos.

El avance del conocimiento de las relaciones estructura-función de enzimas celulolíticas microbianas y de su interacción y eficiencia con distintos sustratos celulósicos contribuirá a la utilización de recursos celulósicos renovables y por consiguiente al desarrollo sustentable en Uruguay².

² Dale, B. and L. Lynd. 2010. Global Sustainable Bioenergy Project offers a new approach to key bioenergy issues. *Biofuels, Bioprod. Biorefin.* 4:8-11.