



RIDAA
Repositorio Institucional
Digital de Acceso Abierto de la
Universidad Nacional de Quilmes



Universidad
Nacional
de Quilmes

Abeledo, Carlos R.

Programas de investigación orientados a la resolución de problemas : el caso de la mesa de la cebada de Uruguay



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Argentina.
Atribución - No Comercial - Sin Obra Derivada 2.5
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.5/ar/>

Documento descargado de RIDAA-UNQ Repositorio Institucional Digital de Acceso Abierto de la Universidad Nacional de Quilmes de la Universidad Nacional de Quilmes

Cita recomendada:

Abeledo, C. R. (2006). *Programas de investigación orientados a la resolución de problemas: el caso de la mesa de la cebada de Uruguay*. *Redes*, 12(23), 129-150. Disponible en RIDAA-UNQ Repositorio Institucional Digital de Acceso Abierto de la Universidad Nacional de Quilmes <http://ridaa.unq.edu.ar/handle/20.500.11807/609>

Puede encontrar éste y otros documentos en: <https://ridaa.unq.edu.ar>

PROGRAMAS DE INVESTIGACIÓN ORIENTADOS A LA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS: EL CASO DE LA MESA DE LA CEBADA DE URUGUAY

CARLOS R. ABELEDO*

RESUMEN

En este artículo se describe la gestión y se analizan los resultados de un programa cooperativo de I+D implementado para aumentar la calidad y la competitividad de la cebada cervecera producida en Uruguay. Este programa nació en 1992 a partir de un acuerdo entre cuatro empresas malteras y/o cerveceras, la Facultad de Agronomía de la Universidad de la República, el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIA) y el Laboratorio Tecnológico de Uruguay (LATU).

Según el análisis de los resultados, esta experiencia constituye un buen ejemplo de un programa de I+D concebido “en el contexto de una aplicación”, con elementos comparables a los que Gibbons atribuye a una nueva modalidad de organizar la creación de conocimientos (Modalidad 2).

PALABRAS CLAVE: MESA DE LA CEBADA – MODALIDAD 2 – CONTEXTO DE APLICACIÓN

INTRODUCCIÓN

En muchos países latinoamericanos existe un antiguo debate sobre los méritos relativos de la investigación básica y la aplicada y sobre los motivos para la baja proporción de investigaciones orientadas a temas de relevancia socioeconómica.

Algunos críticos señalan que, tradicionalmente, las agendas de investigación están sesgadas por los vínculos naturales que existen entre los científicos

* Programa de Posgrado en Política y Gestión de Ciencia y Tecnología, Universidad de Buenos Aires.

Agradecimientos: en primer lugar, agradezco las valiosas reuniones con Enrique Estramil y Julio Iza, quienes brindaron una amplia y generosa información sobre los orígenes, las metas, las actividades y los resultados de la Mesa de la Cebada. Asimismo, mantuve reuniones muy informativas con Pinkus Felder, Elina Ordoqui y Julio Elizondo. Deseo agradecer, al mismo tiempo, numerosas discusiones sobre la gestión de programas de investigación orientados a la resolución de problemas con James Mullin y Luis Javier Jaramillo, quienes también contribuyeron con sus comentarios a las primeras versiones de este trabajo.

cos latinoamericanos y sus colegas de Europa y Estados Unidos,¹ mientras que los esfuerzos de los organismos nacionales de ciencia y tecnología para promover una orientación de las investigaciones hacia temas de mayor relevancia social no han sido siempre exitosos. Frecuentemente, las políticas concebidas para priorizar y orientar investigaciones hacia temas de mayor relevancia sólo han logrado una redefinición cosmética de los títulos de las investigaciones que ya se realizaban, sin que aporten contribuciones significativas a la solución o la comprensión de problemas socialmente relevantes.

A fines de la década de 1990, el Banco Interamericano de Desarrollo —una institución que ha contribuido significativamente en el diseño y financiamiento de programas de desarrollo científico y tecnológico en América Latina (Mayorga, 1997)— realizó una evaluación global de los programas de ciencia y tecnología que había financiado en varios países de la región entre 1962 y 1996. Esta evaluación, que incluyó cinco estudios de caso en Brasil, Colombia, Costa Rica, Chile y Uruguay, encontró que los intentos para promover una vinculación entre las investigaciones que se desarrollan en universidades e institutos de investigación y las necesidades de la sociedad no habían tenido tanto éxito como se esperaba (Goscinski *et al.*, 1998; BID, 1999a; Abeledo, 2000). En los programas evaluados, los mecanismos más satisfactorios fueron los que incluían un enfoque cooperativo en el diseño de los proyectos de investigación.

Las conclusiones de la evaluación del BID indican que para lograr una mayor relevancia en las investigaciones financiadas con recursos públicos se necesitan políticas proactivas que promuevan la cooperación entre las instituciones de investigación y la sociedad de manera más sistemática y vigorosa. Para promover este tipo de investigaciones se necesita un mayor esfuerzo de gestión y organización por parte de las agencias de política y gestión de ciencia y tecnología. Los resultados demuestran que este mayor esfuerzo organizativo conduce a una relación más fluida y provechosa de las actividades de investigación con la sociedad que se beneficia por sus resultados. En América Latina existen algunos buenos ejemplos de programas administrados por agencias gubernamentales que han promovido con éxito proyectos de investigación de relevancia social. Tal es el caso de los programas del FONDEF administrado por el CONICYT de Chile (Mullin, 1998), las Agendas de Investigación del CONICIT de Venezuela (Ávalos, 2002; Ávalos y Rengifo, 2003) y la línea de financiamiento para proyectos de investigación científica y tecnológica orientados (PICTOS) de la ANPCYT de Argentina.²

¹ Véase por ejemplo Dagnino (2002).

² Véase la página web de la Agencia Nacional de Promoción de la Investigación Científica

En el presente trabajo se describen la gestión y los resultados de un programa cooperativo de investigación y desarrollo para mejorar la calidad y la competitividad de la cebada cervecera producida en Uruguay (Díaz Rosello, 1996). Este programa fue creado en 1992 mediante un acuerdo entre cuatro empresas malteras y/o cerveceras, la Facultad de Agronomía de la Universidad de la República, el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIA) y el Laboratorio Tecnológico de Uruguay (LATU). Posteriormente, estas instituciones crearon de manera formal la Mesa Nacional de Entidades de Cebada Cervecera (más conocida como Mesa de la Cebada). La Mesa de la Cebada es un buen ejemplo de un programa de investigación y desarrollo concebido “en el contexto de una aplicación”, con muchas de las características que Gibbons *et al.* (1994) atribuyen a una nueva modalidad de organizar la creación de conocimientos, bautizado por esos autores como *Modalidad 2* para distinguirla de las modalidades clásicas de creación de conocimientos que caracterizan la investigación en las distintas disciplinas científicas.

Para la realización de este trabajo se mantuvieron entrevistas con representantes en la Mesa de la Cebada por la Facultad de Agronomía, el LATU y una de las empresas participantes. Todos ellos suministraron generosamente información sobre el proceso de creación, las líneas de acción, los procedimientos de gestión y los principales logros de la Mesa. Además, se consultaron publicaciones técnicas con informes de investigaciones realizadas y se analizaron las estadísticas anuales sobre áreas sembradas, producción, rendimientos y exportaciones de cebada.

En la parte siguiente del trabajo describimos, de manera general, las características generales y la importancia económica del complejo cebada-malta en Uruguay y los problemas y desafíos que condujeron a la creación de la Mesa Nacional de la Cebada. En la tercera parte se describen la organización y los procedimientos de gestión adoptados por la Mesa de la Cebada para ejecutar sus programas de investigación y en la parte siguiente se da cuenta de los programas que se desarrollaron y sus resultados más significativos. Finalmente, en la última parte se presentan las enseñanzas del modelo de gestión de la Mesa de la Cebada y las conclusiones que podrían tener validez general para aplicarse para la organización de otros programas cooperativos orientados a la resolución de problemas.

En el Apéndice se incluye una breve descripción del proceso de fabricación de cerveza.

y Tecnológica (ANPCYT): <http://www.agencia.secyt.gov.ar/foncyt_instrumentos_ventana4.php>.

LA PRODUCCIÓN DE CEBADA Y MALTA EN URUGUAY

A pesar de que Uruguay no es un país importante como productor de cereales, en la actualidad es el principal exportador de malta de cebada de América del Sur. El cultivo de cebada, que ocupa el tercer lugar entre los granos cultivados en Uruguay, se destina en su casi totalidad a la producción de malta para la fabricación de cerveza. Aproximadamente el 95% de la malta de cebada producida en Uruguay se exporta, principalmente, al Brasil.

El proceso de “malteo” de la cebada consiste en una conversión enzimática de los almidones que componen el endosperma de las semillas en azúcares fermentables, principalmente maltosa. Después de unos pocos días, cuando la mayor parte del almidón ha sido convertido en azúcar, se somete la malta a un horneado para interrumpir la germinación y secar los granos. Todo el proceso de malteo se debe realizar bajo condiciones controladas, ya que de éstas dependen las propiedades de la malta que luego se utilizará en la fabricación de cerveza.

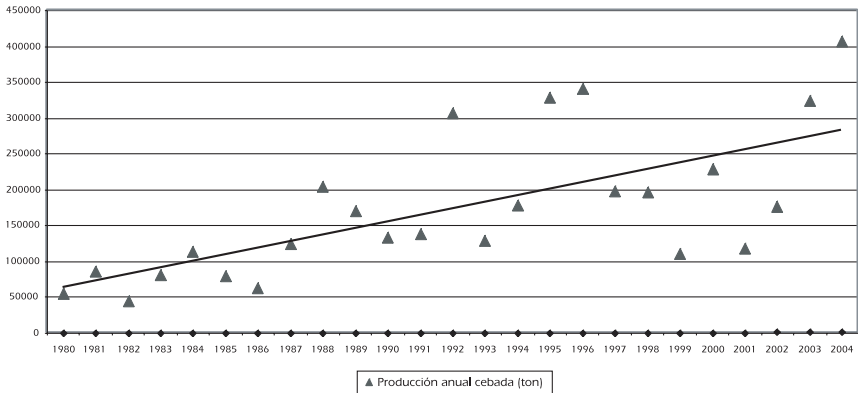
Los fabricantes de cerveza compran la malta según exigentes requisitos de calidad, que incluyen la especificación de más de veinte parámetros, entre los que se destacan el rendimiento de extracto –el porcentaje de la malta que se podrá convertir en un extracto fermentable–, el porcentaje de proteínas, el contenido de ciertas enzimas, la viscosidad y la turbidez del mosto producido en condiciones estándar, y las condiciones sanitarias de los granos (Arias, 1991).

Los valores de los parámetros que definen la calidad de la cebada malteada dependen de factores genéticos de la cebada utilizada, del manejo agrícola empleado para su cultivo, de factores ambientales y de las condiciones del proceso de malteado. Para mantener su competitividad, los productores de cebada malteada deben poder influir en todos los eslabones de la cadena productiva, desde la selección de las semillas y las técnicas de cultivo hasta el ajuste de las condiciones de malteado a las características de cada lote de cebada que procesan. Los agricultores tienen contratos con las empresas malteras, que les dan asistencia técnica, les proveen de semillas elegidas de acuerdo con el tipo de malta a producir y se comprometen a comprarles su producción. Existe así una integración vertical del complejo agroindustrial cebada-malta que facilita una gestión integral de la calidad del producto y la programación de las campañas agrícolas en función de las demandas estimadas.

En la figura 1 se muestra la evolución de la producción de cebada en Uruguay desde 1980 hasta 2004. Independientemente de las fluctuaciones estacionales, se puede observar una neta tendencia creciente desde poco más de cincuenta mil toneladas anuales a principio de la década de 1980 hasta alrededor de trescientas mil toneladas anuales que se cosechan actualmente. Los

datos están tomados de las estadísticas de la Oficina de Programación y Política Agropecuaria (OPYPA) del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de Uruguay.³ Como se analizará más adelante, tanto el aumento del área sembrada como los aumentos de rendimientos contribuyeron al aumento de la producción total de cebada.

FIGURA 1. PRODUCCIÓN ANUAL DE CEBADA



LA SITUACIÓN DEL COMPLEJO CEBADA-MALTA DE URUGUAY A PRINCIPIO DE LOS AÑOS NOVENTA

A principios de la década de 1990 en Uruguay había cuatro empresas productoras de cerveza y malta de cebada: Cervecería y Maltería Paysandú S.A. (CIMPAY), Maltería Uruguay S.A. (MUSA), Fabrica Nacional de Cerveza S.A. (FNC) y Compañía SALUS S.A.⁴

La Facultad de Agronomía desarrollaba proyectos de investigación sobre mejoramiento genético y control fitosanitario de cebada, y el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA) tenía sus propios programas de desarrollo de nuevas variedades de cebada. Por su parte, tres de las empresas malteras también tenían programas de mejoramiento genético y algunas relaciones aisladas de colaboración con la Facultad de Agronomía y con el

³ Véase <<http://www.mgap.gub.uy/SeriesHistoricas/hshistoricas.aspx>>.

⁴ FNC dividió posteriormente su actividad en dos empresas: Maltería Oriental S.A. (MOSA) y FNC, dedicada a la fabricación de cerveza. Posteriormente, MOSA se transformó en una empresa maltera independiente. Entre 2001 y 2002 la empresa brasileña AMBEV adquirió la mayoría accionaria de CIMPAY, MUSA y SALUS. Consecuentemente, la participación del sector privado en la Mesa de la Cebada está representada por dos empresas independientes: AMBEV y Maltería Oriental (MOSA).

INIA. Las Jornadas Norteña de Cebada Cervecera –organizadas por la empresa CIMPAY en 1984 y 1986– en las que participaron expertos internacionales, profesionales de las empresas e investigadores de la Facultad de Agronomía y del INIA, fueron eventos precursores de los posteriores programas de cooperación. Sin embargo, estos esfuerzos no coordinados no permitían abordar los principales desafíos que limitaban el desarrollo del complejo cebada-malta de Uruguay: a) necesidad de aumentar la productividad agrícola para que la cebada fuese un cultivo económicamente atractivo para los mejores agricultores del país; b) optimizar la selección de cebadas de características genéticas que permitieran mejorar la calidad de la malta para poder cumplir con las crecientes exigencias de los mercados internacionales; c) controlar los principales problemas de sanidad vegetal; d) optimizar las condiciones del proceso de malteo, adaptándolas a las características de las variedades de cebada utilizadas en el país.

La complejidad de los problemas del complejo cebada-malta es tal que frecuentemente las soluciones de cada problema compiten entre sí. Por ejemplo, el uso de fertilizantes para aumentar la productividad de los cultivos puede estar en competencia con las exigencias de calidad de la malta que obligan a mantener los contenidos totales de nitrógeno por debajo de ciertos límites, ya que las especificaciones técnicas de las empresas cerveceras que compran la malta exigen mantener su contenido total de proteínas entre el 10 y el 12%.

A fines de la década de 1980, la necesidad de resolver los problemas que limitaban la competitividad internacional de las empresas las condujeron a iniciar tratativas que, superando las naturales desconfianzas entre empresas que compiten entre sí, terminaron en la concertación de un programa de cooperación para desarrollar conjuntamente las bases para asegurar la continuidad del acceso a mercados externos. Teniendo en cuenta la magnitud reducida del mercado interno uruguayo, la pérdida de acceso a mercados externos podía poner en peligro la viabilidad económica de las malterías uruguayas.

La asociación entre las empresas y las instituciones públicas permitió sumar esfuerzos y evitar duplicaciones, abriendo así la posibilidad de emprender trabajos de mayor envergadura. En 1991 se firmó una carta de intención entre las cuatro empresas, la Facultad de Agronomía, INIA y LATU para establecer un programa de cooperación conjunto de investigación y mejoramiento tecnológico de la cebada cervecera. En función de este primer acuerdo las empresas hicieron sus aportes iniciales para financiar trabajos de investigación que habían sido discutidos en conjunto. Esta carta de intención fue el primer paso formal de un proceso que culminaría al año siguiente con un acuerdo para constituir la Mesa Nacional de la Cebada de Uruguay. La estrategia general de los acuerdos estaba dirigida a: a) mejorar los rendimientos y el

comportamiento agronómico de la cebada para estimular el interés de los agricultores por el cultivo, y b) asegurar la calidad de la malta producida para cumplir con las crecientes exigencias que demandaban los mercados internacionales.

ORGANIZACIÓN DE LA MESA DE LA CEBADA

CONSTITUCIÓN DE LA MESA DE LA CEBADA

El 24 de setiembre de 1992, en un acto celebrado en la Universidad de la República, se firmó un convenio entre la Facultad de Agronomía de la Universidad de la República, INIA, LATU y las cuatro empresas malteras que operaban en Uruguay (CIMPAY, MUSA, MOSA Y SALUS) para iniciar la ejecución de un Programa Nacional de Investigación y Mejoramiento Tecnológico del Cultivo de la Cebada Cervecera. Posteriormente, a este convenio se le dio el nombre de Mesa Nacional de Entidades de Cebada Cervecera (popularmente conocida como Mesa de la Cebada). Para administrar las actividades que se realizarían en el marco del convenio, se estableció un Comité Ejecutivo integrado por un representante de cada una de las empresas participantes y un representante por cada una de las instituciones públicas.

GESTIÓN DE LA MESA DE LA CEBADA

El financiamiento de las actividades del Programa tiene dos componentes: las empresas realizan aportes financieros para cubrir los gastos operativos del programa y las instituciones públicas contribuyen con los salarios de su personal y con el uso de su equipamiento e infraestructura. En 1991, antes de la firma del convenio, las empresas hicieron aportes por 22 mil dólares. A partir del convenio este aporte aumentó hasta llegar a sobrepasar los 100 mil dólares anuales. La contribución de cada una de las empresas se calculó proporcionalmente según su capacidad industrial para maltar cebada. El aporte financiero total de las empresas desde 1992 hasta el año 2000 sobrepasó los 850 mil dólares. Por su parte, las contrapartes aportadas por la Facultad de Agronomía, INIA y LATU, durante el mismo período, sumaron alrededor de 2,5 millones de dólares.⁵

Para la gestión de sus actividades, la Mesa se organizó en cuatro comisiones: I. Manejo de cultivos y fisiología; II. Mejoramiento genético; III. Sanidad; IV. Calidad industrial.

⁵ Las contrapartes incluyen los sueldos de investigadores y técnicos y la inversión en una planta piloto de micromalteo por parte de LATU. Las contrapartes de las propias empresas en actividades vinculadas con la Mesa de la Cebada fueron de alrededor de u\$s 600.000.

En cada una de estas comisiones, coordinada por un representante de las empresas, se identificaron los principales problemas y se acordaron los proyectos que se encararían en el marco de una planificación con objetivos y metas de corto, mediano y largo plazos. A principios de año, cada comisión aprueba un plan de trabajo y el presupuesto necesario para realizarlo. El Comité Ejecutivo de la Mesa aprueba los presupuestos y el destino que se dará a los fondos aportados por las empresas. Tanto el Comité Ejecutivo como cada una de las comisiones mantienen varias reuniones durante el año para dar seguimiento a los trabajos que se realizan. De acuerdo con los resultados e informes de avance, cada comisión puede decidir ajustes y cambios en la orientación de sus actividades.

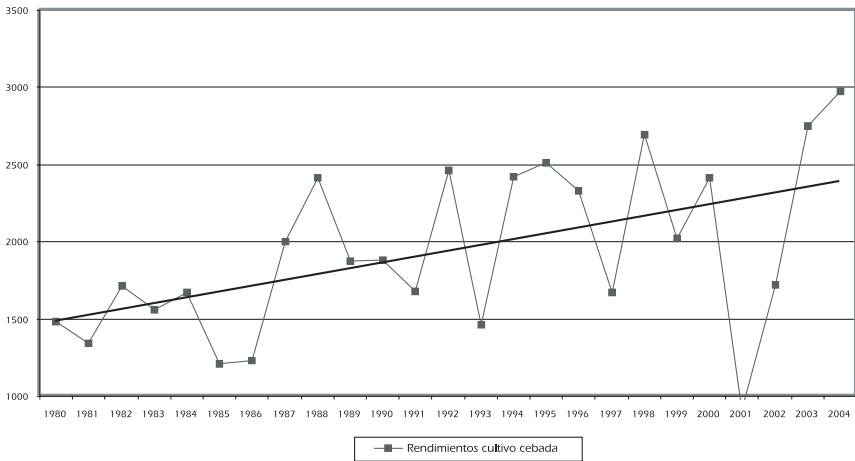
EL PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN DE LA MESA DE LA CEBADA

Se resumen a continuación los principales temas de trabajo acordados en cada área.

Manejo de cultivos y fisiología. Tradicionalmente, la mayor parte de la investigación agraria del INIA y de la Facultad de Agronomía estaba orientada a mejorar el cultivo de trigo, el principal cultivo de invierno en Uruguay. En consecuencia, el asesoramiento técnico que se ofrecía a los agricultores estaba basado en la experiencia acumulada sobre ese cereal.

Desde la década de 1970, las innovaciones y prácticas de cultivo que se fueron incorporando produjeron aumentos de productividad con una tasa promedio del 3% anual hasta llegar a los rendimientos actuales que superan los dos mil trescientos kilos por hectárea. En la figura 2 se muestra la evolución del rendimiento medio anual para el total de la cosecha de cebada en Uruguay. Por supuesto, hay variaciones significativas entre temporadas consecutivas, debido a las condiciones climáticas de cada año, pero la recta con valores medios que se ha incluido en el gráfico muestra claramente la tendencia ascendente.

En Uruguay, las chacras cultivadas con trigo y cebada se rotan con praderas de gramíneas y leguminosas para forraje, una característica de los sistemas mixtos de producción agrícola-ganadera. Esta rotación permite mantener la fertilidad de los suelos y es también uno de los factores que contribuyen a los aumentos de rendimiento de los cultivos. Sin embargo, esta práctica puede generar excesos de disponibilidad de nitrógeno que perjudican la calidad del cereal como insumo para la industria cervecera. La Facultad de Agronomía y el INIA trabajaron en el desarrollo de índices de disponibilidad de nitrógeno en diferentes momentos del desarrollo del cultivo para poder ajustar las dosis y la oportunidad del empleo de fertilizantes (Hoffman *et al.*, 2001).

FIGURA 2. RENDIMIENTOS DEL CULTIVO DE CEBADA

Los trabajos programados por esta comisión se dirigieron, asimismo, a la elaboración de un modelo integral que permitiría maximizar rendimientos y calidades, para cada una de las variedades, en las distintas condiciones ambientales que se pueden presentar en las zonas de cultivo de la cebada (Ernst y Hoffman, 1995).

Mejoramiento genético. El objetivo de los programas de mejoramiento genético es la obtención de líneas y cultivares adaptados a las condiciones ambientales de Uruguay, con buenos rendimientos de cultivo, resistencia a las principales enfermedades y calidad que cumpla con los requisitos de la industria cervecera (Germán *et al.*, 1999; Malosetti *et al.*, 2000).

Sanidad. Como todo cultivo, la cebada es vulnerable a diversas enfermedades. Los principales problemas sanitarios incluyen las manchas foliares (mancha borrosa, mancha en red), la fusariosis de la espiga y la roya de la hoja. El control de enfermedades incluye el uso de funguicidas, las técnicas de manejo y el desarrollo de cultivares con resistencia genética a las enfermedades más frecuentes.

El desarrollo de enfermedades fúngicas como la fusariosis tiene efectos sobre la calidad de la malta porque pueden generar niveles inaceptables de micotoxinas que afectan la calidad de la malta y podrían dar lugar a su rechazo por los compradores (Stewart y Piñero, 1995).

El programa de la Comisión de Sanidad fue paulatinamente estableciendo la necesidad de orientarse al desarrollo de cultivares con resistencia genética a las principales enfermedades que afectan a la cebada.

Calidad industrial. El programa de trabajo de la Comisión de Calidad incluyó la instalación de una planta piloto de micromalteo en el LATU que permite realizar análisis de calidad de las maltas producidas con los distintos cultivares de cebada y encontrar las condiciones de malteo óptimas para cada caso. El trabajo de esta comisión condujo al desarrollo de un Índice Nacional de Calidad que permite calificar las maltas producidas para orientar tanto el trabajo de las empresas malteras como la de los grupos de investigación que trabajan en las áreas de manejo, mejoramiento genético y sanidad (Maianti, 1999; Ordoqui, 1995).

INTEGRACIÓN ENTRE LAS CUATRO COMISIONES

Las formas de organización de la Mesa de la Cebada promueven la cooperación y el trabajo en equipo. Los programas de trabajo de las comisiones están íntimamente relacionados y sus objetivos no son independientes; el progreso en cada área de trabajo depende del éxito en las demás. Cada año se realiza un análisis conjunto de los problemas a resolver y, durante la ejecución del trabajo, los investigadores de los distintos grupos mantienen un intercambio continuo de informaciones y resultados. Periódicamente, se analizan en conjunto los resultados de las distintas áreas y, de esta manera, se logra que todos los participantes del programa de la Mesa de la Cebada compartan una visión integral de los problemas a encarar.

Además de los intercambios informales permanentes, desde la creación de la Mesa, se organizan Reuniones Anuales de Investigadores de Cebada en las que cada grupo expone formalmente los resultados de sus investigaciones.

La estrecha relación con los representantes de las empresas permite la identificación temprana de los problemas y la posibilidad de ajustar los programas de trabajo en función de los requerimientos. A su vez, esta relación también permite la introducción de mejoras tecnológicas en plazos menores.

En las actividades de investigación de la Mesa de la Cebada participaron alrededor de treinta investigadores que incluyeron las siguientes disciplinas: agrónomos de la Facultad de Agronomía; agrónomos, químicos y biólogos del INIA; químicos, bioquímicos y microbiólogos del LATU.

LOS IMPACTOS DE LA MESA DE LA CEBADA

El trabajo de los grupos de investigación vinculados a la Mesa de la Cebada permitió adquirir los conocimientos necesarios para desarrollar modelos que permiten ajustar el manejo del cultivo de la cebada a las condiciones genéticas de las variedades utilizadas y a las condiciones ambientales que incluyen las características del suelo, la historia de la utilización previa de los terrenos y las con-

diciones climáticas. Estos trabajos revirtieron la situación tradicional, cuando el manejo de los cultivos de cebada se apoyaba en la información desarrollada para el cultivo de trigo. La aplicación del modelo resultó en una optimización de la época de siembra, una disminución de la densidad de siembra, optimización de uso de fertilizantes y mejor control de malezas. Los principales impactos derivados de los modelos desarrollados por la Mesa fueron un mejor control de la calidad de la cebada y la malta resultante, y una reducción de costos de cultivo como consecuencia de la optimización de semillas y fertilizantes.

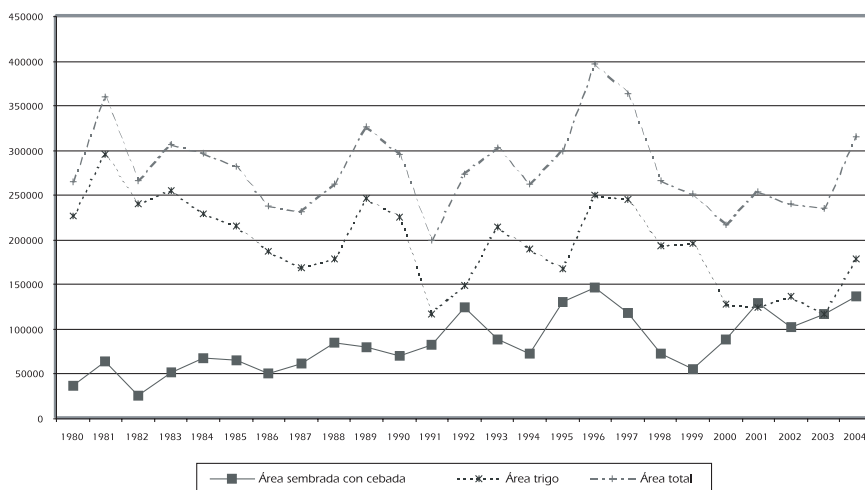
Desde la creación de la Mesa, la Facultad de Agronomía y el INIA trabajaron en el desarrollo de nuevas líneas de cebada. Entre las nuevas líneas introducidas se destaca el cultivo de *Estanzuela Quebracho*, que fue adoptado por las empresas malteras y llegó a ser utilizado en el 31% del área sembrada en 1998. Esta variedad, que tiene una alta productividad, permitió que el cultivo de cebada compitiera con éxito con los de trigo en el área de siembra de cultivos de invierno. Por otra parte, después de más de diez años de continuidad en el programa de mejoramiento genético, la Facultad de Agronomía y el INIA tienen –en etapas de evaluación final– materiales genéticos con rendimientos similares o superiores al *Estanzuela Quebracho*, comportamiento sanitario aceptable y calidad maltera superior. En 2004 la participación de la variedad *Ceibo Estanzuela* alcanzó un área cercana al 25% del total (Díaz y Germán, 2005).

Los avances en el mejoramiento de la calidad de la malta se debieron en parte a los aportes del grupo del LATU que ensaya continuamente las variedades en su planta piloto de micromaltería. En este laboratorio se ensayaron más de cinco mil líneas experimentales y cultivares comerciales. Los resultados de este grupo ayudaron a decidir sobre la utilización comercial de nuevos cultivares y a ajustar las condiciones de malteo para cada variedad.

IMPACTOS ECONÓMICOS

El impacto económico de los resultados obtenidos a través de la Mesa de la Cebada se refleja en el aumento de la producción de cebada y de las exportaciones de malta, según se muestra en las figuras 1 y 5, respectivamente.

El aumento de la producción de cebada se debe a la contribución de dos factores: las mayores áreas sembradas con cebada y el aumento de la productividad. Ambos factores están relacionados, porque el aumento de productividad y las disminuciones de costos de producción derivadas de las mejoras introducidas en el manejo del cultivo de la cebada generan un mayor incentivo para sembrar este cereal, a expensas del trigo que era el principal cultivo de invierno en Uruguay. En la figura 3 se muestra la evolución del área sembrada con cebada desde 1980. Como comparación se incluye asimismo la evolu-

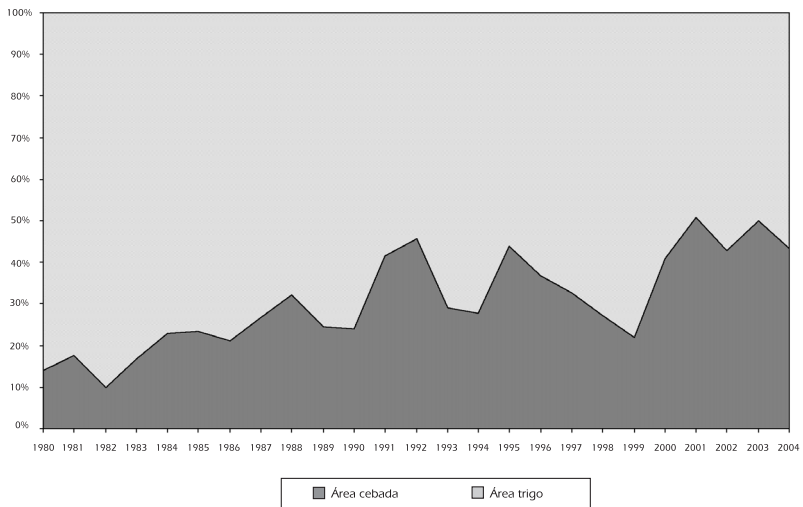
FIGURA 3. EVOLUCIÓN DE ÁREAS SEMBRADAS DE CEBADA Y TRIGO

ción de las áreas sembradas con trigo. En la figura 4, que muestra la evolución de la proporción relativa de las áreas sembradas con cebada y trigo, se puede apreciar claramente la tendencia crecientemente favorable a la cebada hasta que en los últimos años ambas áreas tienden a igualarse.

El otro factor que incide en la producción total de cebada es el aumento de productividad, producto de las mejoras introducidas en el manejo agronómico del cereal y de la introducción de nuevas variedades. El aumento de la productividad mantiene la tendencia general que se registra en todos los cereales de invierno desde la década de 1970. Sin embargo, como se señaló anteriormente, es importante destacar que para la cebada cervecera el uso de fertilizantes y la rotación de cultivos debe complementarse con un manejo adecuado para evitar que el cereal producido tenga contenidos de proteínas superiores a los admisibles. Haber logrado mantener las tendencias crecientes de productividad sin perjudicar la calidad de la cebada es un mérito destacable del trabajo de la Mesa de la Cebada.

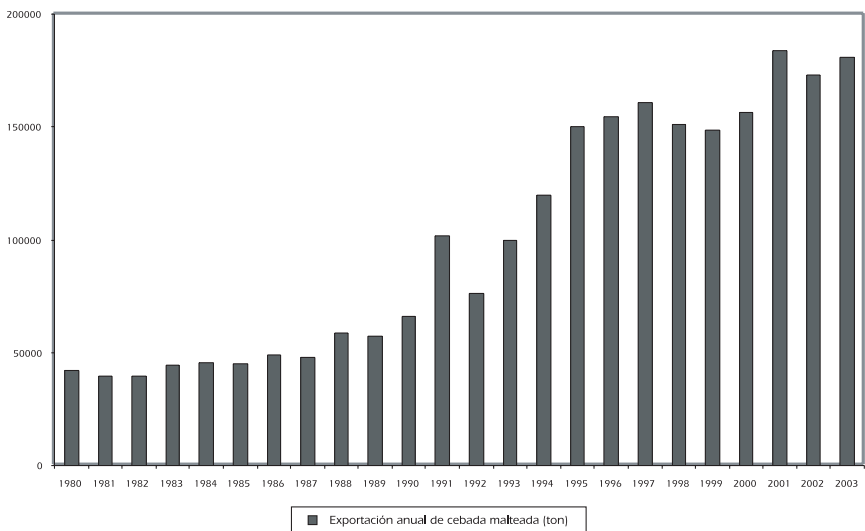
El aumento de las áreas sembradas y la mayor producción total de cebada indujo nuevas inversiones de las empresas malteras para ampliar su capacidad industrial de malteo y aumentar la producción y las exportaciones de malta. En la figura 5 se muestra la evolución de las exportaciones de cebada malteada desde 1980 hasta 2004 que pasaron de aproximadamente 50 mil a 180 mil toneladas anuales. En el período 1980 a 2003, el valor de las exportaciones de cebada malteada pasó de 23,6 millones de dólares en 1990 a 54 millones de dólares en 2003, con un máximo de 65 millones de dólares en 1996.

FIGURA 4. RELACIÓN ENTRE LAS ÁREAS SEMBRADAS CON CEBADA Y TRIGO



Como el valor de la cebada malteada es 2,5 veces mayor que el del cereal, la factibilidad de ampliar el mercado de exportación de cebada malteada significa para Uruguay un crecimiento económico neto como resultado del mayor valor agregado.

FIGURA 5. EXPORTACIONES ANUALES DE CEBADA MALTEADA



LECCIONES DE LA EXPERIENCIA Y CONCLUSIONES

LA MESA DE LA CEBADA COMO MODELO DE GESTIÓN DE I+D

Los resultados de más de diez años de experiencia de la Mesa de la Cebada de Uruguay pueden servir para un análisis comparativo de los modelos de gestión de proyectos de I+D y otras experiencias de asociación tecnológica entre empresas e instituciones de investigación. En particular, vale la pena comparar la experiencia de la Mesa de la Cebada con la descripción de las nuevas formas de producción de conocimientos descrita por Gibbons y con las conclusiones de la Evaluación de Programas de Ciencia y Tecnología del Banco Interamericano de Desarrollo.

Las relaciones entre las empresas y las instituciones que participan en la Mesa de la Cebada pueden compararse con el tipo de relaciones de los distintos actores que participan en las nuevas formas de generación de conocimientos, que Gibbons y colaboradores bautizaron como Modalidad 2 (Gibbons *et al.*, 1994; Gibbons, 1999, 2000; Nowotny, Scott y Gibbons, 2001). En esta modalidad, caracterizada por realizarse en el contexto de una aplicación, los nuevos conocimientos se producen en un marco de negociación continua entre actores con distintos intereses, desde el inicio mismo de un proceso de búsqueda de los conocimientos necesarios para satisfacer los requisitos de una aplicación. En esta negociación están principalmente representados la oferta y la demanda por los nuevos conocimientos.

Según Gibbons, la Modalidad 2 tiene un conjunto de atributos distintivos que la diferencia de la modalidad tradicional. Por sus características y tipo de organización, la Mesa de la Cebada comparte muchos de los atributos de esa modalidad. En primer lugar, la Mesa de la Cebada fue concebida como un programa de investigaciones en el *contexto de una aplicación*, atributo principal de la Modalidad 2. La definición del programa de trabajo y su seguimiento involucra a investigadores y representantes de las empresas en un proceso de negociación continua. La integración de distintos grupos de trabajo –incluyendo agrónomos, biólogos, químicos, bioquímicos, ingenieros y economistas– que convergen para producir los conocimientos necesarios para lograr el objetivo principal de la Mesa confiere a ésta una naturaleza de carácter *multidisciplinario*. La *comunicación de resultados* tiene como principales destinatarios a las empresas productoras de malta y el conjunto de los investigadores que participan en los distintos proyectos que componen el programa de la Mesa. Indirectamente, los resultados y los aprendizajes que resultan de los avances en el programa de la Mesa de la Cebada se trasladan a todos los productores agropecuarios a través de los programas de extensión del INIA y de la Facultad de Agronomía, a la vez que se incorpo-

ran a la formación de futuros profesionales a través de los talleres para estudiantes de la Facultad de Agronomía.

El control de calidad de los trabajos se ejerce a través de las reuniones de las cuatro comisiones técnicas y el Comité Ejecutivo de la Mesa, integrados por representantes de las empresas y los grupos de investigación.

**LA VINCULACIÓN ENTRE LAS INSTITUCIONES DE INVESTIGACIÓN CON LA SOCIEDAD.
CONCLUSIONES DE LA EVALUACIÓN DE PROGRAMAS DE CYT DEL BID**

En 1996, la Oficina de Evaluación del Banco Interamericano de Desarrollo inició una evaluación global de los programas de ciencia y tecnología que se había financiado el Banco. Esta evaluación se integraba con otras acciones que contribuirían a una revisión de su política y sus estrategias en este campo. Esta evaluación estuvo sustentada por un análisis de cinco estudios de casos, seleccionados entre los programas más recientes financiados por el Banco en Brasil, Chile, Colombia, Costa Rica y Uruguay. Cuatro de los programas seleccionados para los estudios de caso de la evaluación habían incluido entre sus objetivos la promoción de la vinculación entre la investigación y los “usuarios potenciales” de sus resultados. Estos objetivos estaban expresados como: “aplicar los resultados de las investigaciones para fines prácticos de desarrollo”; “establecer vínculos más estrechos entre los centros de investigación que desarrollan conocimientos con los usuarios potenciales”; “vincular los centros que generan tecnologías con los usuarios”; “desarrollar interacciones, cooperaciones y proyectos conjuntos entre centros de I+D con las empresas del país”.

La evaluación encontró que los programas financiados por el BID habían fortalecido las capacidades para desarrollar actividades de I+D de relevancia socioeconómica, pero señaló que no se habían desarrollado vínculos con la sociedad de manera explícita y sistemática. Aunque se encontraron ejemplos efectivos en los distintos países, la cooperación seguía siendo limitada. Una de las explicaciones para el lento avance para establecer vínculos puede encontrarse en el “nivel conceptual”. A menudo, en el diseño de políticas y programas, se concibe Ciencia y Tecnología como un *sector* y los resultados de las investigaciones se conciben como los componentes principales de los vínculos entre el “sector Ciencia y Tecnología” con otros sectores de la sociedad que serían los *usuarios* que se vinculan con las instituciones de investigación. Como consecuencia de esta concepción lineal, las dificultades para concretar “vínculos” y “transferencias” la capacidad científica y tecnológica que había sido desarrollada mediante los programas evaluados se mantiene aislada de la sociedad. Algunos de los evaluadores externos sugirieron que en programas futuros se debería utilizar un marco conceptual sistémico que

prestara más atención a los *procesos* de cooperación que al *sector Ciencia y Tecnología* (Goscinski *et al.*, 1998). Los vínculos de las instituciones de investigación con la sociedad se pueden desarrollar mejor cuando existe una interacción que involucre un flujo de ideas y personas en ambos sentidos. En otras palabras, hay necesidad de establecer una cooperación entre ambos. La sociedad no se “vincula” con los investigadores ni debe ser considerada como un mero “usuario”: es necesario concebir relaciones de asociación. La esencia de esta relación no es la transferencia de resultados de investigación o de tecnología sino más bien una interacción virtuosa.

Las relaciones entre oferta y demanda descritas por Gibbons como características de la Modalidad 2 son similares al tipo de cooperación recomendada por la evaluación de los programas de Ciencia y Tecnología del BID para establecer una relación virtuosa entre los científicos y los distintos sectores de la sociedad.

Aunque la Mesa de la Cebada no había recibido financiamiento del primer Programa de Ciencia y Tecnología que se ejecutó en Uruguay con apoyo del BID, la evaluación de este programa tomó conocimiento de su existencia y sus realizaciones y la mencionó como una de las experiencias positivas para establecer una cooperación virtuosa entre empresas e institutos de investigación (Goscinski *et al.*, 1998; BID, 1999a).

CONSECUENCIAS DE LA EXPERIENCIA DE LA MESA DE LA CEBADA

Los resultados exitosos de la Mesa de la Cebada indujeron tratativas en otros sectores productivos de Uruguay para promover asociaciones similares entre grupos de empresas e instituciones de investigación en aquellas áreas en que existen problemas comunes que se prestan para ser abordados de manera cooperativa. Actualmente, se encuentran formalmente constituidas “mesas” de cebada, trigo, oleaginosas y forestal y se han iniciado tratativas para constituir mesas de carne vacuna y ovina, lana, citrus, arroz, frutales de hoja caduca, horticultura y cerdos.

LA “REPLICABILIDAD” DEL MODELO DE LA MESA DE LA CEBADA

La posibilidad de extender el modelo de gestión de la Mesa de la Cebada a otros sectores o grupos de empresas dependerá de las circunstancias particulares que enfrenten esas empresas. En el caso de la Mesa de la Cebada, su creación se originó en la necesidad de mantener la competitividad de un sector industrial exportador en una coyuntura crítica. En esa particular circunstancia histórica, las empresas decidieron que varios de los desafíos técnicos que enfrentaban podrían ser resueltos a través de una cooperación con instituciones de investigación.

Aunque no se puede esperar que el modelo adoptado por la Mesa de la Cebada pueda replicarse directamente en otros sectores como una “receta mágica”, vale la pena adelantar algunas consideraciones sobre las condiciones que podrían favorecer asociaciones similares.

En primer lugar, vale la pena tener en cuenta que uno de los factores que incidió en la creación de la mesa fue la existencia de problemas comunes a varias empresas en aspectos que no afectaban directamente la competencia comercial entre ellas. En el caso de la cebada, la cooperación se dirigió principalmente al mejoramiento de la materia prima que utilizan las empresas para su proceso industrial.

Otro factor importante está relacionado con la escala de las actividades de cada empresa. Cuando se creó la Mesa, ninguna de ellas tenía un volumen de actividades suficientemente grande como para encarar en forma individual un programa de la magnitud que tuvo el que se realizó a través de esa instancia.

La participación en la Mesa de tres instituciones públicas de investigación merece algunos comentarios especiales porque en América Latina es habitual que existan barreras culturales para establecer relaciones regulares de este tipo. En el caso que analizamos, desde varios años antes a la creación de la Mesa de la Cebada se habían desarrollado trabajos de cooperación en los que participaron algunas de las empresas con investigadores de la Facultad de Agronomía y del Instituto de Investigaciones Agropecuarias. A partir de estos trabajos se fue construyendo gradualmente una relación de trabajo que contribuyó a superar las barreras entre las empresas y los investigadores de organismos públicos y universidades. Estos primeros contactos entre las empresas y los investigadores se pueden interpretar como etapas necesarias para el desarrollo de relaciones de confianza mutua que sustentaron los éxitos posteriores. Además, la participación de las empresas en la Mesa de la Cebada contribuyó a fomentar mejores relaciones entre el personal técnico de las instituciones de investigación.

EL PAPEL DEL ESTADO EN LA GESTIÓN Y FINANCIAMIENTO DE INVESTIGACIONES ORIENTADAS A LA SOLUCIÓN DE PROBLEMAS

En el caso de la creación de la Mesa de la Cebada no hubo una participación directa del Estado ni de los organismos gubernamentales responsables de la política científica y la promoción de la I+D. Por su parte, las empresas desconocían la existencia de los instrumentos de apoyo a la innovación que se habían creado a través del Programa de Ciencia y Tecnología financiado por el BID.

En otros países de América Latina, el Estado ha desempeñado un papel más activo como promotor de mecanismos de investigación orientada a la re-

solución de problemas. En el caso de Chile, el FONDEF promovió, mediante subsidios a proyectos de investigación seleccionados mediante convocatorias competitivas, la asociación de universidades e institutos de investigación con empresas. FONDEF financia los proyectos que ejecutan los institutos de investigación con la condición de que los interesados en los resultados de los proyectos aporten un cofinanciamiento minoritario. La cooperación entre investigadores e interesados se plantea desde la concepción misma del proyecto que se presenta a las convocatorias de FONDEF.

En el caso de las Agendas de Venezuela, el Estado desempeña un rol activo convocando a instituciones públicas y privadas interesadas en buscar soluciones para una “agenda de problemas”. El conjunto de instituciones define mediante consenso el programa de la agenda, sus fuentes de financiamiento y los procedimientos de gestión. Posteriormente realiza una convocatoria competitiva para seleccionar los proyectos que se financian.

Tanto los proyectos del FONDEF como las Agendas de Venezuela tienen algunos elementos comunes con la Mesa de la Cebada. La principal característica de similitud, de la que depende el éxito de los emprendimientos, es el requisito imprescindible de un espíritu de cooperación.

Un proyecto cooperativo se puede construir como respuesta a una convocatoria promovida por el Estado, como es el caso en algunos proyectos de FONDEF. En otros casos las relaciones de cooperación son preexistentes y una convocatoria o un instrumento financiero actúan como catalizador para terminar de concretar una relación más estructurada.

La promoción de programas de investigación orientados a la resolución de problemas puede ser un componente significativo de las políticas científicas públicas destinadas a promover una mayor relevancia en las investigaciones que se realizan en instituciones públicas y en universidades. Esto es especialmente importante para la mayoría de los países de América Latina, donde los intentos para orientar las investigaciones hacia objetivos de relevancia económica y social no han tenido todo el éxito deseable. Aunque en el caso de la Mesa de la Cebada no hubo una participación activa del Estado para promover su creación, las enseñanzas de este caso dejan lecciones que podrían ser aprovechadas para promover experiencias similares. Para ello, los organismos de política científica y de promoción de la investigación científica y tecnológica deberían contemplar acciones que creen las condiciones para fomentar la cooperación entre las instituciones de investigación y distintos sectores de la sociedad. Además, es necesario crear las condiciones para fomentar un mayor acercamiento, creando instancias que faciliten el diálogo y el conocimiento mutuo, además de incentivos económicos que promuevan este tipo de asociaciones.

Para promover investigaciones orientadas a la resolución de problemas se necesita un mayor esfuerzo de gestión y organización por parte de las agencias de política y gestión de ciencia y tecnología. Los resultados demuestran que este mayor esfuerzo organizativo conduce a una relación más fluida y provechosa entre las actividades de investigación y la sociedad que se beneficia por sus resultados.

APÉNDICE

BREVE DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN DE CERVEZA

La cerveza es una bebida alcohólica muy antigua que se produce por fermentación de cereales. Para la mayor parte de la cerveza que se consume actualmente se utiliza cebada, pero también se la produce a partir de otros cereales como trigo, maíz, arroz o avena. Aunque no se sabe con exactitud la fecha y el lugar de sus orígenes, existen evidencias sobre el conocimiento de la cerveza por las antiguas civilizaciones de Medio Oriente varios milenios antes de Cristo.

El proceso de producción de la cerveza consta de cuatro etapas bien diferenciadas: malteo de la cebada; molienda de la malta; maceración; fermentación.

Se incluye a continuación una breve descripción de las distintas etapas del proceso para poder luego analizar la relevancia de los controles de calidad de la cebada que se utiliza como materia prima para la fabricación de cerveza.

Malteo. En esta etapa el cereal se remoja para iniciar su germinación. En este proceso las enzimas del cereal convierten los almidones que están contenidos en el endosperma de la semilla en azúcares fermentables, principalmente maltosas. Después de pocos días, cuando la mayor parte del almidón ha sido convertido en azúcar, se somete la malta a un horneado para secarla e interrumpir la germinación.

Molienda. La malta se muele para romper las cáscaras del grano y permitir la extracción de los azúcares solubles.

Maceración. La malta molida se macera con agua para producir un mosto que contiene los azúcares disueltos.

Fermentación. En la elaboración de la cerveza los azúcares disueltos en el mosto se fermentan mediante el agregado de levaduras.

Las características distintivas y la calidad de la cerveza dependen de las propiedades de la cebada que se usa como materia prima inicial, así como de las

condiciones de cada una de las etapas del proceso de su fabricación. El control de cada uno de estos factores conduce a la diversidad de cervezas que se encuentran actualmente en el mercado. Por otra parte, la necesidad de controlar la calidad del producto final demanda un alto grado de integración vertical en la cadena cebada-malta-cerveza.

BIBLIOGRAFÍA

- Abeledo, C. R. (2000), “Análisis del financiamiento del Banco Interamericano de Desarrollo para Ciencia y Tecnología”, *Taller de Innovación Tecnológica para el Desarrollo Económico de la Región*, México, CONACYT, pp. 56-68.
- (2003), “Investigación orientada a la solución de problemas: relevancia y desafíos para países en desarrollo”, *Interciencia*, N° 28, p. 565.
- (2004), “Investigación orientada a la resolución de problemas: relevancia y desafíos para países en desarrollo”, en Pugliese, J. C. (ed.), *Universidad, sociedad y producción*, Buenos Aires, Secretaría de Políticas Universitaria, pp. 27-31.
- Arias, G. (1991), *Calidad industrial de la cebada cervecera*, Serie Técnica N° 18, Montevideo, Unidad de Difusión e Información Tecnológica del INIA.
- Arocena, R. y J. Sutz (2001), “Changing knowledge production and Latin American universities”, *Research Policy*, 30, pp. 1221-1234.
- Ávalos, I. (2002), “El programa de agendas como intento de asociar a los tres sectores. Experiencia de Venezuela”, ponencia presentada en el Seminario del BID sobre Educación Superior y Ciencia y Tecnología en Latinoamérica y el Caribe, realizado en Fortaleza, Brasil, marzo. Disponible en <http://www.iadb.org/sds/sci/publication/gen_98_2841_e.htm>.
- Ávalos, I. y R. Rengifo (2003), “From sector to networks: the Venezuelan research agendas”, *Technology in Society*, 25, pp. 183-192.
- BID (1999), *Science and Technology Program Evaluation*, Documento N° RE 227, Oficina de Evaluación, Washington.
- Castro, A. et al. (1996), “Characterization through growth cycle and growth pattern, yield and yield components and grain quality of the barley germplasm in Uruguay”, VII Internationals Barley Genetics Symposium, Saskatoon, Canadá.
- Dagnino, R. (2002), “A relação pesquisa-produção: em busca de un enfoque alternativo”, *Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología, Sociedad e Información*, 3. Disponible en <<http://www.campus-oei.org/revistactsi/numero3/art01.htm>>.
- Díaz, J. y S. Germán (2005), “Cebadas INIA: primera variedades de un joven programa de mejoramiento genético”, *Revista INIA*, 3.
- Díaz Rossello, R. (1996), “La integración tecnológica de las cadenas industriales: el

- caso líder de la cebada malteada”, *Ciencia y Tecnología para el Desarrollo del Uruguay*, 10, Montevideo, Uruguay, CONICYT.
- Ernst, O. y E. Hoffman (1995), “Efecto de las prácticas de manejo sobre el rendimiento y calidad de cebada cervecera”, VI Reunión Nacional de Investigadores de Cebada, Montevideo.
- Germán, S. *et al.* (1999), “Mejoramiento de cebada cervecera en Uruguay”, III Congreso Latinoamericano de Cebada, Colonia, Uruguay.
- Gibbons, M. (1999), “Innovation and the Developing System of Knowledge Production”, en <<http://edie.cprost.sfu.ca/summer/papers/Michael.Gibbons.html>>.
- (2000), “Mode 2 society and the emergence of context sensitive science”, *Science and Public Policy*, N° 27, pp. 159-163.
- Gibbons, M. *et al.* (1994), *The New Production of Knowledge*, Londres, Sage [edición en castellano: (1997) *La nueva producción del conocimiento. La dinámica de la ciencia y la investigación en las sociedades contemporáneas*, Barcelona, Ediciones Pomares-Corredor].
- Goscinski, O. *et al.* (1998), “Evaluation of IDB’s S&T programs in Chile, Costa Rica, and Uruguay – Final Report”, Working Paper WP-6/98, Oficina de Evaluación, Banco Interamericano de Desarrollo.
- Hoffman, E. *et al.* (2001), “Respuesta al agregado de nitrógeno en Cebada Cervecera y su relación con los modelos de ajuste propuestos a Z 2.2 y Z 3.0 para Uruguay, dos situaciones de alto aporte potencial de N del suelo”, XXI Reunión Anual de Pesquisa de Cevada, Guarapuava, Paraná, Brasil.
- INIA (1995), *Programa de mejoramiento genético de cebada cervecera*, Montevideo, INIA.
- Maiantti, D. (1999), “Cambios en los parámetros de calidad de malta”, IV Congreso Latinoamericano de Cebada, Colonia, Uruguay.
- Malosetti, M., T. Abadie, y S. Germán, (2000), “Comparing strategies for selecting a core subset for Uruguayan barley collection”, *Plant Genetic Resources Newsletter*.
- Mayorga, R. (1997), “Cerrando la Brecha”, Documento de trabajo SOC97-101, Washington, BID, Departamento de Programas Sociales y Desarrollo Sostenible.
- Mullin, J. (2001), “Changing Patterns of Research Funding (1960-2000)”, *International Social Science Journal*, N° 168, pp. 249-270.
- Nowotny, H., P. Scott y M. Gibbons (2001), *Re-thinking Science: Knowledge Production in an Age of Uncertainty*, Polity Press.
- Ordoqui, E. (1995), “ β Glucanos: su influencia en la modificación del endosperma y en la elaboración de cerveza”, VII Reunión Nacional de Investigadores de Cebada, Minas, Uruguay.

- Perdomo, C. *et al.* (1999), "Indicadores de manejo de la fertilización nitrogenada en cebada cervecera", XIX Reunião Anual de Pesquisa de Cevada, Passo Fundo, Brasil.
- Perdomo, C. *et al.* (1999), "Relación entre la concentración de NO_3^- del suelo en siembra y z-22 y la respuesta al N en Cebada Cervecera", III Congreso Latinoamericano de Cebada, Colonia, Uruguay.
- Stewart, S. y M. Piñeiro (1995), "Micotoxinas en la cebada: estabilidad de la toxina DON en el proceso de malteo", VI Reunión Nacional de Investigadores de Cebada, Montevideo.
- Stokes, D. (1997), *Pasteur's Quadrant: Basic Science and Technological Innovation*, Washington, Brookings Institution Press.