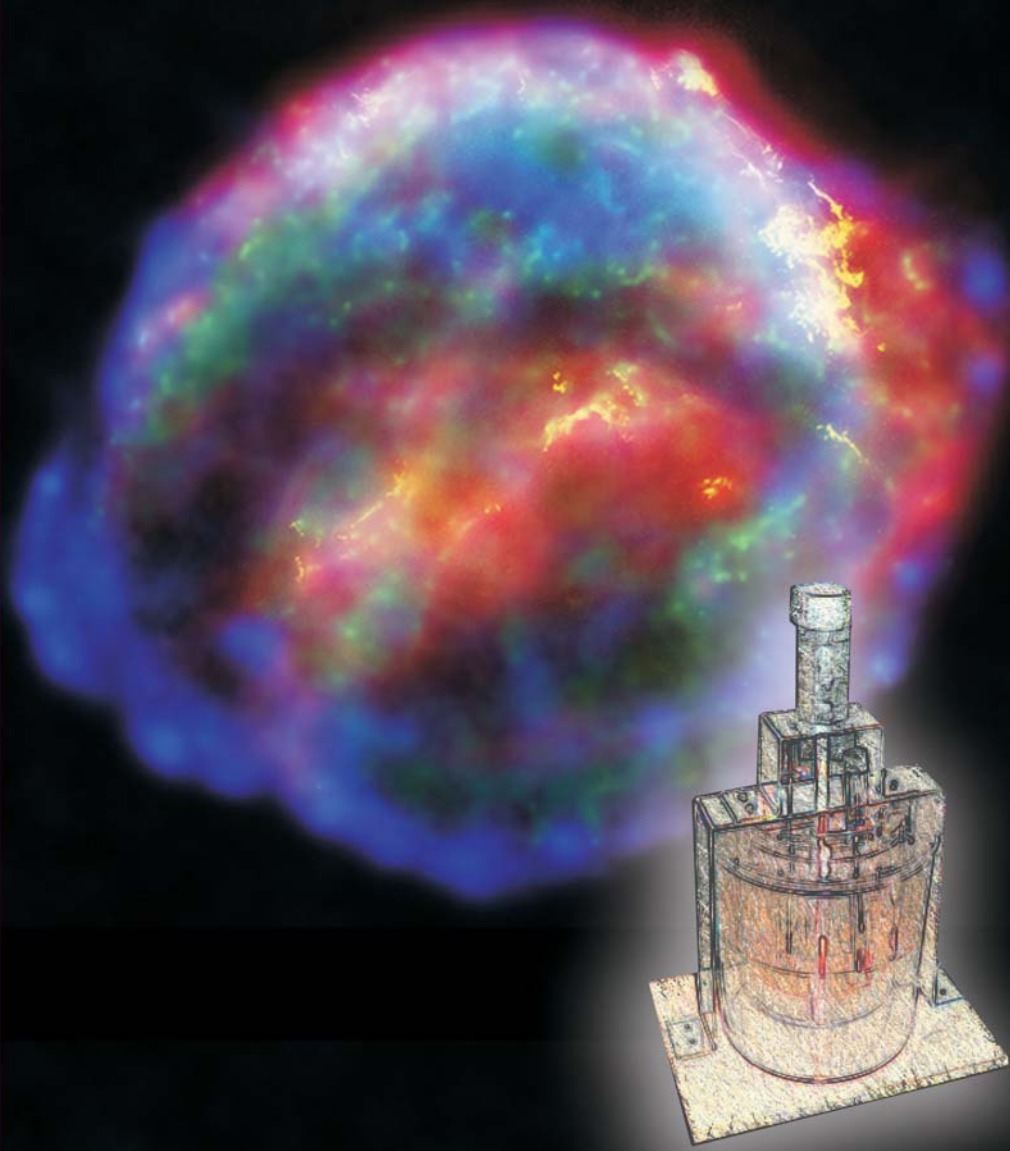




Biorreactor para la producción de alimentos



Serie: Recursos didácticos

Tapa:
Imagen combinada de la Supernova Remnant captada
por el telescopio Hubble - NASA.

a u t o r i d a d e s

PRESIDENTE DE LA NACIÓN

Dr. Néstor Kirchner

MINISTRO DE EDUCACIÓN, CIENCIA Y TECNOLOGÍA

Lic. Daniel Filmus

SECRETARIO DE EDUCACIÓN, CIENCIA Y TECNOLOGÍA

Prof. Alberto E. Sileoni

DIRECTORA EJECUTIVA DEL INSTITUTO NACIONAL DE
EDUCACIÓN TECNOLÓGICA

Lic. María Rosa Almandoz

DIRECTOR NACIONAL DEL CENTRO NACIONAL DE
EDUCACIÓN TECNOLÓGICA

Lic. Juan Manuel Kirschenbaum

Biorreactor para la producción de alimentos

Eduardo Antonio Schiappacasse

Colección Serie "Recursos didácticos".
Coordinadora general: Haydeé Noceti.

Distribución de carácter gratuito.

Queda hecho el depósito que previene la ley n° 11.723. © Todos los derechos reservados por el Ministerio de Educación, Ciencia y Tecnología - Instituto Nacional de Educación Tecnológica.

La reproducción total o parcial, en forma idéntica o modificada por cualquier medio mecánico o electrónico incluyendo fotocopia, grabación o cualquier sistema de almacenamiento y recuperación de información no autorizada en forma expresa por el editor, viola derechos reservados.

Industria Argentina.

ISBN 950-00-0526-3

Schiappacasse, Eduardo
Biorreactor para la producción de alimentos / Eduardo Schiappacasse; coordinado por Juan Manuel Kirschenbaum
- 1a ed. - Buenos Aires: Ministerio de Educación, Ciencia y Tecnología de la Nación. Instituto Nacional de Educación Tecnológica, 2005.
116 p.; 22x17 cm. (Recursos Didácticos; 18)

ISBN 950-00-0526-3

I. Tecnología Alimentaria.

I. Kirschenbaum, Juan Manuel, coord. II. Título

CDD 664.024

Fecha de catalogación: 3/11/2005

Impreso en Gráfica Pinter S. A., México 1352 (C1097ABB), Buenos Aires,
en noviembre 2005

Tirada de esta edición: 3.000 ejemplares

Serie: “**Recursos didácticos**”

- 1 Invernadero automatizado
- 2 Probador de inyectores y motores paso a paso
- 3 Quemador de biomasa
- 4 Intercomunicador por fibra óptica
- 5 Transmisor de datos bidireccional por fibre óptica, entre computadoras
- 6 Planta potabilizadora
- 7 Medidor de distancia y de velocidad por ultrasonido
- 8 Estufa de laboratorio
- 9 Equipamiento EMA -Características físicas de los materiales de construcción-
- 10 Dispositivo para evaluar parámetros de líneas
- 11 Biodigestor
- 12 Entrenador en lógica programada
- 13 Entorno de desarrollo para programación de microcontroladores PIC
- 14 Relevador de las características de componenetes semiconductores
- 15 Instalación sanitaria de una vivienda
- 16 Equipamiento para el análisis de estructuras de edificios
- 17 Cargador semiautomático para máquinas a CNC de accionamiento electroneumático
- 18 Biorreactor para la producción de alimentos
- 19 Ascensor
- 20 Pila de combustible

LAS METAS, LOS PROGRAMAS Y LAS LÍNEAS DE ACCIÓN DEL INSTITUTO NACIONAL DE EDUCACIÓN TECNOLÓGICA

El Instituto Nacional de Educación Tecnológica -INET- enmarca sus líneas de acción, programas y proyectos, en las metas de:

- Coordinar y promover programas nacionales y federales orientados a fortalecer la educación técnico-profesional, articulados con los distintos niveles y ciclos del sistema educativo nacional.
- Implementar estrategias y acciones de cooperación entre distintas entidades, instituciones y organismos –gubernamentales y no gubernamentales-, que permitan el consenso en torno a las políticas, los lineamientos y el desarrollo de las ofertas educativas, cuyos resultados sean considerados en el Consejo Nacional de Educación-Trabajo –CoNE-T– y en el Consejo Federal de Cultura y Educación.
- Desarrollar estrategias y acciones destinadas a vincular y a articular las áreas de educación técnico-profesional con los sectores del trabajo y la producción, a escala local, regional e interregional.
- Diseñar y ejecutar un plan de asistencia técnica a las jurisdicciones en los aspectos institucionales, pedagógicos, organizativos y de gestión, relativos a la educación técnico-profesional, en el marco de los acuerdos y resoluciones establecidos por el Consejo Federal de Cultura y Educación.
- Diseñar y desarrollar un plan anual de capacitación, con modalidades presenciales, semipresenciales y a distancia, con sede en el Centro Nacional de Educación Tecnológica, y con nodos en los Centros Regionales de Educación Tecnológica y las Unidades de Cultura Tecnológica.
- Coordinar y promover programas de asistencia económica e incentivos fiscales destinados a la actualización y el desarrollo de la educación técnico-profesional; en particular, ejecutar las acciones relativas a la adjudicación y el control de la asignación del Crédito Fiscal –Ley N° 22.317–.
- Desarrollar mecanismos de cooperación internacional y acciones relativas a diferentes procesos de integración educativa; en particular, los relacionados con los países del MERCOSUR, en lo referente a la educación técnico-profesional.

Estas metas se despliegan en distintos programas y líneas de acción de responsabilidad de nuestra institución, para el período 2003-2007:

Programa 1. Formación técnica, media y superior no universitaria:

- 1.1. Homologación y validez nacional de títulos.
- 1.2. Registro nacional de instituciones de formación técnica.
- 1.3. Espacios de concertación.
- 1.4. Perfiles profesionales y ofertas formativas.
- 1.5. Fortalecimiento de la gestión institucional; equipamiento de talleres y laboratorios.
- 1.6. Prácticas productivas profesionalizantes: Aprender emprendiendo.

Programa 2. Crédito fiscal:

- 2.1. Difusión y asistencia técnica.
- 2.2. Aplicación del régimen.
- 2.3. Evaluación y auditoría.

Programa 3. Formación profesional para el desarrollo local:

- 3.1. Articulación con las provincias.
- 3.2. Diseño curricular e institucional.
- 3.3. Información, evaluación y certificación.

Programa 4. Educación para el trabajo y la integración social.

Programa 5. Mejoramiento de la enseñanza y del aprendizaje de la Tecnología y de la Ciencia:

- 5.1. Formación continua.
- 5.2. Desarrollo de recursos didácticos.

Programa 6. Desarrollo de sistemas de información y comunicaciones:

- 6.1. Desarrollo de sistemas y redes.
- 6.2. Interactividad de centros.

Programa 7. Secretaría ejecutiva del Consejo Nacional de Educación Trabajo –CoNE-T–.

Programa 8. Cooperación internacional.

Los materiales de capacitación que, en esta ocasión, estamos acercando a la comunidad educativa a través de la serie “Recursos didácticos”, se enmarcan en el Programa 5 del INET, focalizado en el mejoramiento de la enseñanza y del aprendizaje de la Tecnología y de la Ciencia, uno de cuyos propósitos es el de:

- Desarrollar materiales de capacitación destinados, por una parte, a la actualización de los docentes de la educación técnico-profesional, en lo que hace a conocimientos tecnológicos y científicos; y, por otra, a la integración de los recursos didácticos generados a través de ellos, en las aulas y talleres, como equipamiento de apoyo para los procesos de enseñanza y de aprendizaje en el área técnica.

Estos materiales didácticos han sido elaborados por especialistas del Centro Nacional de Educación Tecnológica del INET y por especialistas convocados a través del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo –PNUD– desde su línea “Conocimientos científico-tecnológicos para el desarrollo de equipos e instrumentos”, a quienes esta Dirección expresa su profundo reconocimiento por la tarea encarada.

María Rosa Almandoz

Directora Ejecutiva del Instituto Nacional de Educación Tecnológica.
Ministerio de Educación, Ciencia y Tecnología

LAS ACCIONES DEL CENTRO NACIONAL DE EDUCACIÓN TECNOLÓGICA

Desde el Centro Nacional de Educación Tecnológica –CeNET– encaramos el diseño, el desarrollo y la implementación de proyectos innovadores para la enseñanza y el aprendizaje en educación técnico-profesional.

El CeNET, así:

- Es un ámbito de desarrollo y evaluación de metodología didáctica, y de actualización de contenidos de la tecnología y de sus sustentos científicos.
- Capacita en el uso de tecnología a docentes, profesionales, técnicos, estudiantes y otras personas de la comunidad.
- Brinda asistencia técnica a autoridades educativas jurisdiccionales y a educadores.
- Articula recursos asociativos, integrando a los actores sociales involucrados con la Educación Tecnológica.

Desde el CeNET venimos trabajando en distintas líneas de acción que convergen en el objetivo de reunir a profesores, a especialistas en Educación Tecnológica y a representantes de la industria y de la empresa, en acciones compartidas que permitan que la educación técnico-profesional se desarrolle en la escuela de un modo sistemático, enriquecedor, profundo... auténticamente formativo, tanto para los alumnos como para los docentes.

Una de nuestras líneas de acción es la de diseñar y llevar adelante un sistema de capaci-

tación continua para profesores de educación técnico-profesional, implementando trayectos de actualización. En el CeNET contamos con quince unidades de gestión de aprendizaje en las que se desarrollan cursos, talleres, pasantías, conferencias, encuentros, destinados a cada educador que desee integrarse en ellos presencialmente o a distancia.

Otra de nuestras líneas de trabajo asume la responsabilidad de generar y participar en redes que vinculan al Centro con organismos e instituciones educativas ocupados en la educación técnico-profesional, y con organismos, instituciones y empresas dedicados a la tecnología en general. Entre estas redes, se encuentra la Red Huitral, que conecta a CeNET con los Centros Regionales de Educación Tecnológica -CeRET- y con las Unidades de Cultura Tecnológica –UCT– instalados en todo el país.

También nos ocupa la tarea de producir materiales de capacitación docente. Desde CeNET hemos desarrollado distintas series de publicaciones –todas ellas disponibles en el espacio web www.inet.edu.ar–:

- *Educación Tecnológica*, que abarca materiales que posibilitan una definición curricular del área de la Tecnología en el ámbito escolar y que incluye marcos teóricos generales, de referencia, acerca del área en su conjunto y de sus contenidos, enfoques, procedimientos y estrategias didácticas más generales.

- *Desarrollo de contenidos*, nuestra segunda serie de publicaciones, que nuclea fascículos de capacitación en los que se profundiza en los campos de problemas y de contenidos de las distintas áreas del conocimiento tecnológico, y que recopila, también, experiencias de capacitación docente desarrolladas en cada una de estas áreas.
- *Educación con tecnologías*, que propicia el uso de tecnologías de la información y de la comunicación como recursos didácticos, en las clases de todas las áreas y espacios curriculares.
- *Educadores en Tecnología*, serie de publicaciones que focaliza el análisis y las propuestas en uno de los constituyentes del proceso didáctico: el profesional que enseña Tecnología, ahondando en los rasgos de su formación, de sus prácticas, de sus procesos de capacitación, de su vinculación con los lineamientos curriculares y con las políticas educativas, de interactividad con sus alumnos, y con sus propios saberes y modos de hacer.
- *Documentos de la escuela técnica*, que difunde los marcos normativos y curriculares que desde el CONET –Consejo Nacional de Educación Técnica– delinearon la educación técnica de nuestro país, entre 1959 y 1995.
- *Ciencias para la Educación Tecnológica*, que presenta contenidos científicos asociados con los distintos campos de la tecnología, los que aportan marcos conceptuales que permiten explicar y fundamentar los problemas de nuestra área.
- *Recursos didácticos*, que presenta contenidos tecnológicos y científicos,

estrategias –curriculares, didácticas y referidas a procedimientos de construcción– que permiten al profesor de la educación técnico-profesional desarrollar, con sus alumnos, un equipamiento específico para integrar en sus clases.

Desde esta última serie de materiales de capacitación, nos proponemos brindar herramientas que permitan a los docentes no sólo integrar y transferir sus saberes y capacidades, sino también, y fundamentalmente, acompañarlos en su búsqueda de soluciones creativas e innovadoras a las problemáticas con las que puedan enfrentarse en el proceso de enseñanza en el área técnica.

En todos los casos, se trata de propuestas de enseñanza basadas en la resolución de problemas, que integran ciencias básicas y tecnología, y que incluyen recursos didácticos apropiados para la educación técnico-profesional.

Los espacios de problemas tecnológicos, las consignas de trabajo, las estrategias de enseñanza, los contenidos involucrados y, finalmente, los recursos didácticos están planteados en la serie de publicaciones que aquí presentamos, como un testimonio de realidad que da cuenta de la potencialidad educativa del modelo de problematización en el campo de la enseñanza y del aprendizaje de la tecnología, que esperamos que resulte de utilidad para los profesores de la educación técnico-profesional de nuestro país.

Juan Manuel Kirschenbaum

Director Nacional del Centro Nacional de Educación Tecnológica.
Instituto Nacional de Educación Tecnológica

LA SERIE “RECURSOS DIDÁCTICOS”

Desde esta serie de publicaciones del Centro Nacional de Educación Tecnológica, nos proponemos:

- Poner a consideración de los educadores un equipamiento didáctico a integrar en los procesos de enseñanza y de aprendizaje del área técnica que coordinan.
- Contribuir a la actualización de los docentes de la educación técnico-profesional, en lo que hace a conocimientos tecnológicos y científicos.

Inicialmente, hemos previsto el desarrollo de veinte publicaciones con las que intentamos abarcar diferentes contenidos de este campo curricular vastísimo que es el de la educación técnico-profesional.

En cada una de estas publicaciones es posible reconocer una estructura didáctica común:

1 Problemas tecnológicos en el aula. En esta primera parte del material se describen situaciones de enseñanza y de aprendizaje del campo de la educación técnico-profesional centradas en la resolución de problemas tecnológicos, y se presenta una propuesta de equipamiento didáctico, pertinente como recurso para resolver esas situaciones tecnológicas y didácticas planteadas.

2 Encuadre teórico para los problemas. En vinculación con los problemas didácticos y tecnológicos que constituyen el punto de partida, se presentan conceptos

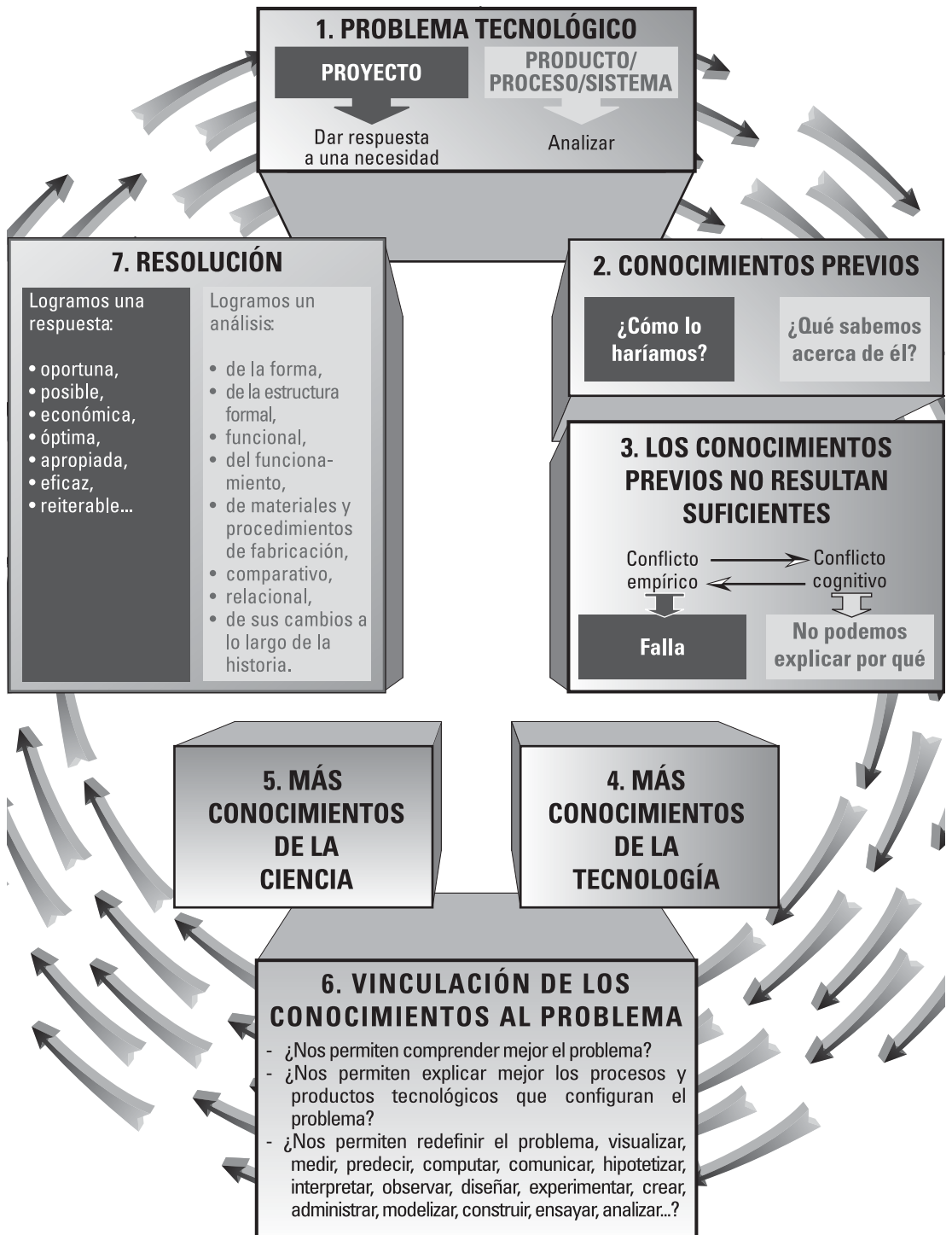
tecnológicos y conceptos científicos asociados.

3 Hacia una resolución técnica. Manual de procedimientos para la construcción y el funcionamiento del equipo. Aquí se describe el equipo terminado y se muestra su esquema de funcionamiento; se presentan todas sus partes, y los materiales, herramientas e instrumentos necesarios para su desarrollo; asimismo, se pauta el “paso a paso” de su construcción, armado, ensayo y control.

4 El equipo en el aula. En esta parte del material escrito, se retoman las situaciones problemáticas iniciales, aportando sugerencias para la inclusión del recurso didáctico construido en las tareas que docente y alumnos concretan en el aula.

5 La puesta en práctica. Este tramo de la publicación plantea la evaluación del material didáctico y de la experiencia de puesta en práctica de las estrategias didácticas sugeridas. Implica una retroalimentación –de resolución voluntaria– de los profesores destinatarios hacia el Centro Nacional de Educación Tecnológica, así como el punto de partida para el diseño de nuevos equipos.

Esta secuencia de cuestiones y de momentos didácticos no es azarosa. Intenta replicar –en una producción escrita– las mismas instancias de trabajo que los profesores de Tecnología ponemos en práctica en nuestras clases:



Es a través de este circuito de trabajo (problema-respuestas iniciales-inclusión teórica-respuestas más eficaces) como enseñamos y como aprenden nuestros alumnos en el área:

- La tarea comienza cuando el profesor presenta a sus alumnos una **situación codificada en la que es posible reconocer un problema tecnológico**; para configurar y resolver este problema, es necesario que el grupo ponga en marcha un proyecto tecnológico, y que encare análisis de productos o de procesos desarrollados por distintos grupos sociales para resolver algún problema análogo. Indudablemente, no se trata de cualquier problema sino de uno que ocasiona obstáculos cognitivos a los alumnos respecto de un aspecto del mundo artificial que el profesor –en su marco curricular de decisiones– ha definido como relevante.
- El proceso de enseñanza y de aprendizaje comienza con el planteamiento de esa situación tecnológica seleccionada por el profesor y con la construcción del espacio-problema por parte de los alumnos, y continúa con la búsqueda de **respuestas**.
- Esta detección y construcción de respuestas no se sustenta sólo en los conocimientos que el grupo dispone sino en la **integración de nuevos contenidos**.
- El enriquecimiento de los modos de “ver” y de encarar la resolución de un problema tecnológico –por la adquisición de nuevos conceptos y de nuevas formas técnicas de intervención en la situación

desencadenante– suele estar **distribuida materialmente** –en equipamiento, en materiales, en herramientas–.

No es lo mismo contar con este equipamiento que prescindir de él.

Por esto, lo que intentamos desde nuestra serie de publicaciones es acercar al profesor distintos recursos didácticos que ayuden a sus alumnos en esta tarea de problematización y de intervención –sustentada teórica y técnicamente– en el mundo tecnológico.

Caracterizamos como **recurso didáctico** a todo material o componente informático seleccionado por un educador, quien ha evaluado en aquél posibilidades ciertas para actuar como mediador entre un problema de la realidad, un contenido a enseñar y un grupo de alumnos, facilitando procesos de comprensión, análisis, profundización, integración, síntesis, transferencia, producción o evaluación.

Al seleccionar los recursos didácticos que forman parte de nuestra serie de publicaciones, hemos considerado, en primer término, su potencialidad para posibilitar, a los alumnos de la educación técnico-profesional, configurar y resolver distintos problemas tecnológicos.

Y, en segundo término, nos preocupó que cumplieran con determinados rasgos que les permitieran constituirse en medios eficaces del conocimiento y en buenos estructurantes cognitivos, al ser incluidos en un aula por un profesor que los ha evaluado como perti-

nentes. Las cualidades que consideramos fundamentales en cada equipo que promovemos desde nuestra serie de publicaciones "Recursos didácticos", son:

- Modularidad (puede adaptarse a diversos usos).
- Resistencia (puede ser utilizado por los alumnos, sin peligro de romperse con facilidad).
- Seguridad y durabilidad (integrado por materiales no tóxicos ni peligrosos, y durables).
- Adaptabilidad (puede ser utilizado en el taller, aula o laboratorio).
- Acoplabilidad (puede ser unido o combinado con otros recursos didácticos).
- Compatibilidad (todos los componentes, bloques y sistemas permiten ser integrados entre sí).
- Facilidad de armado y desarmado (posibilita pruebas, correcciones e incorporación de nuevas funciones).
- Pertinencia (los componentes, bloques funcionales y sistemas son adecuados para el trabajo con los contenidos curriculares de la educación técnico-profesional).
- Fiabilidad (se pueden realizar las tareas preestablecidas, de la manera esperada).
- Coherencia (en todos los componentes, bloques funcionales o sistemas se siguen las mismas normas y criterios para el armado y utilización).
- Escalabilidad (es posible utilizarlo en proyectos de diferente nivel de com-

plejidad).

- Reutilización (los diversos componentes, bloques o sistemas pueden ser desmontados para volver al estado original).
- Incrementabilidad (posibilidad de ir agregando piezas o completando el equipo en forma progresiva).

Haydeé Noceti

Coordinadora de la acción "Conocimientos científico-tecnológicos para el desarrollo de equipos e instrumentos".
Centro Nacional de Educación Tecnológica



18. Biorreactor para la producción de alimentos

Este material de capacitación fue desarrollado por

Eduardo Antonio Schiappacasse

Ingeniero de Alimentos. Diplomado en Estudios Avanzados y candidato al título de Doctor en Ingeniería, en la especialidad Alimentos (Universidad Politécnica de Valencia, España). Es profesor titular ordinario de la cátedra "Química y bioquímica de los alimentos", en la carrera de Ingeniería de Alimentos (Universidad Nacional de Entre Ríos), y profesor titular en "Alimentación y ambiente" en la carrera de Técnico Superior en Gestión Ambiental. Es investigador y consultor; se desempeñó en la actividad estatal y privada, y realizó numerosas publicaciones vinculadas con el agua y con los alimentos.

Coordinación general:

Haydeé Noceti

Diseño didáctico:

Ana Rúa

Administración:

Adriana Perrone

Monitoreo y evaluación:

Laura Irurzun

Diseño gráfico:

Tomás Ahumada

Karina Lacava

Alejandro Carlos Mertel

Diseño de tapa:

Laura Lopresti

J. M. K.

Con la colaboración
del equipo de profesionales
del Centro Nacional
de Educación Tecnológica



Índice

Las metas, los programas y las líneas de acción del Instituto Nacional de Educación Tecnológica	IV
Las acciones del Centro Nacional de Educación Tecnológica	VI
La serie “Recursos didácticos”	VII

1 Problemas tecnológicos en el aula	4
• El recurso didáctico que proponemos	
2 Encuadre teórico para los problemas	8
• La microbiología	
• Las enzimas	
• La biotecnología y sus aplicaciones en la tecnología de los alimentos	
3 Hacia una resolución técnica. Manual de procedimientos para la construcción y el funcionamiento del equipo	58
• El producto	
• Los componentes	
• Los materiales, herramientas e instrumentos	
• El armado	
4 El equipo en el aula	63
• Elaboración de yogur y derivados lácteos fermentados	
• Elaboración de vinagre mediante el biorreactor-fermentador	
5 La puesta en práctica	76

1. PROBLEMAS TECNOLÓGICOS EN EL AULA

En las bases curriculares de la educación técnico-profesional se encuentran especificadas competencias relativas a la producción de alimentos y a la implementación de procesos biotecnológicos, algunos tradicionales y de uso hace larga data pero integrados a modernos conocimientos del campo de la microbiología.

Consideremos estos testimonios:

Los alumnos de "Industrias de procesos" están cursando el módulo *Producción de base micro-biológica*.

En este momento, los ocupa un proyecto tecnológico de elaboración de vinagre.

Ya han analizado:

- los distintos vinagres que se comercializan, cómo se etiquetan y las diferencias en su precio;
- el simple hecho de que, si se deja vino en la botella, éste se convierte en vinagre con el transcurso del tiempo.

Y, ahora, se encuentran definiendo:

- La proporción y la calidad de las materias primas a utilizar (vino, manzana, alcohol).

- Las etapas a desarrollar y la cantidad de *starters* -"arrancadores", iniciadores- a utilizar.
- Los tiempos y temperaturas de fermentación.

Específicamente, los alumnos están observando el tiempo la formación de ácido acético, midiendo el descenso del pH.

Luego de definidos los componentes del proceso de concreción del vinagre, van a generar un dispositivo tecnológico que, a partir de distintas hipótesis respecto de las propiedades organolépticas del producto final -según la composición y el empleo de materias primas, y de las condiciones de proceso-, les permita simular parámetros, repetir el proceso y extraer resultados comparativos acerca del vinagre obtenido en cada caso, para optar por el producto final de mejor calidad.

La verificación de los requisitos higiénicos y sanitarios en la elaboración de yogur es la tarea que ocupa a los alumnos de la asignatura *Alimentos*, en su formación técnica en química.

Su indagación tiene como punto de partida una situación problemática planteada por su profesora:

Ya hemos analizado estadísticas de consumo de alimentos probióticos -entre los que se encuentra el yogur- y sabemos que su venta es creciente y continua; conocemos, además, cuáles son sus componentes.

Mi desafío para hoy es éste:

¿Por qué ingerir yogur puede afectar a personas celíacas? No habría razones para que sus componentes incidieran en la salud de este grupo de personas; pero... en ocasiones sí les resultan riesgosos... Una pista... Consideren las diferencias de precios que se registran entre iguales productos de distintas marcas.

Los alumnos analizan la información disponible acerca de los componentes de yogures de distintas marcas e hipotetizan:

- Esa diferencia de precios representa, también, diferencias de calidad.
- Todos los probióticos considerados son productos habilitados para el consumo.

- Algunos probióticos incluyen gelificantes.
- Aún cuando se trata de productos habilitados, algunos yogures podrían estar espesados con harinas de trigo o maíz -de ahí su riesgo para las personas celíacas-.

Ahora:

¿Cómo realizar el control del producto en fábrica (como lo establecen las legislaciones de distintos países)?

Los alumnos del Centro de Formación Profesional van a abocarse a la elaboración de pan francés.

Como tarea inicial, los integrantes del grupo consideran distintos productos, y determinan que la elaboración no es la misma en diferentes panaderías y que -incluso en un mismo establecimiento- los panes varían en su gusto.

En formador plantea, entonces:

- ¿Cuáles son los factores más importantes a

tener en cuenta para obtener un pan que siempre tenga la misma calidad?

Los alumnos van refiriéndose a las distintas dimensiones: proporción y calidad de las materias primas a utilizar (harina, agua, sal, levadura), tiempos de amasado, fermentación y descanso de la masa.

Surge, entonces, la necesidad de contar con un equipo que permita simular la operación de amasado, a modo de estandarizar los ensayos y de lograr pan con características estables.

Desde el módulo *Química y bioquímica de los alimentos*, los alumnos de la "Tecnatura Superior en Tecnología de los Alimentos", encaran esta situación problemática:

A modo de darle valor agregado a la producción avícola primaria de la zona, en la provincia de Entre Ríos se ha desarrollado extracto de huevo entero en polvo.

Este producto, de creciente demanda por los mercados orientales, tiene el inconveniente de desarrollar reacciones de pardeamiento

químico, vía reacción de Maillard, durante el proceso de deshidratación.

El problema es que estas reacciones dan como resultado un producto cuyo color es rechazado por los mercados que lo demandan.

¿Cómo resolver esta situación?

Los alumnos definen:

- Los términos generales del problema.
- Una hipótesis: Someter la clara de huevo a una reacción enzimática, utilizando glucosa-oxidasa para eliminar la glucosa.

Para definir los aspectos teóricos que involucra la reacción enzimática, determinan:

- Tipo y cantidad de enzima a utilizar, versus cantidad de producto (clara de huevo).

- Etapa del proceso de elaboración del huevo entero en polvo en la que es necesario implementar la técnica.
- Tiempo de reacción enzimática.
- Opción por un proceso discontinuo (operación en *batch*) o continuo.
- Modo de recuperación de la enzima, en caso de un proceso discontinuo.

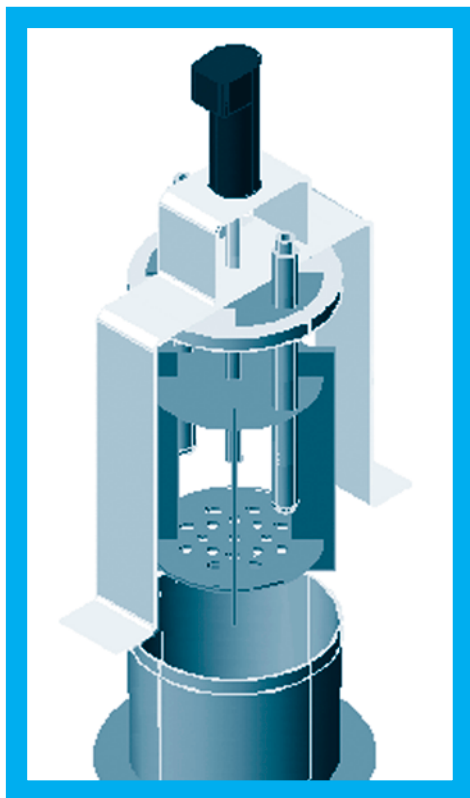
¿Cómo modelizar este proceso?

El recurso didáctico que proponemos

Vamos a presentarle una propuesta de equipamiento didáctico, pertinente como recurso para resolver éstas y otras situaciones tecnológicas planteadas en torno a la fabricación de alimentos biológicos basados en fermentos.

Contando con este recurso didáctico **Biorreactor para la producción de alimentos**, es posible:

- variar y controlar los principales parámetros que afectan el rendimiento y la viabilidad del proceso: temperatura, aireación mediante agitación, pH, concentración de enzimas, cantidad de sustrato (biomasa), cantidad de starters (iniciadores biológicos bacterianos o fúngicos), tiempo de reacción; y,
- determinar la velocidad de reacción (la cinética de la reacción), en función de los dos últimos parámetros.



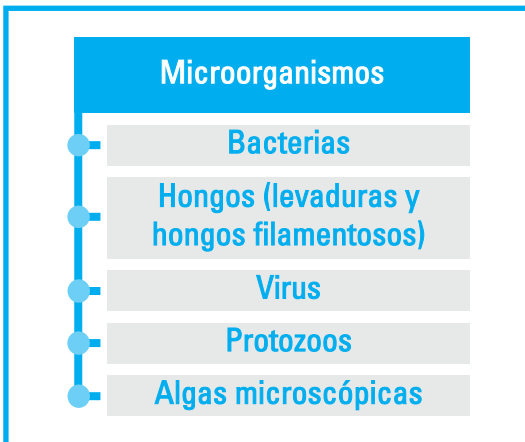
Biorreactor para la producción de alimentos

2. ENCUADRE TEÓRICO PARA LOS PROBLEMAS

La microbiología

La **microbiología** es el estudio de los organismos microscópicos; su nombre deriva de tres palabras griegas: *mikros* (pequeño), *bios* (vida) y *logos* (ciencia) que, conjuntamente, significan el estudio de la vida microscópica.

La palabra microorganismo trae a la mente un grupo de criaturas minúsculas, diminutos seres vivos que, individualmente, son demasiado pequeños como para percibirse a simple vista.



Normalmente, tendemos a asociar estos pequeños organismos con infecciones, con

enfermedades -como el SIDA- o con el deterioro de alimentos. Sin embargo, la mayoría de los microorganismos contribuye de una forma crucial en el bienestar de la Tierra, ayudando a mantener el equilibrio de los organismos vivos y productos químicos en nuestro medio ambiente. Los microorganismos de agua dulce y salada son la base de la cadena alimentaria, en océanos, lagos y ríos; los microorganismos del suelo destruyen los productos de desecho e incorporan el gas nitrógeno del aire en compuestos, y reciclan los productos químicos en el suelo, agua y aire; ciertas bacterias y algas juegan un papel importante en la fotosíntesis -proceso que genera nutrientes y oxígeno a partir de luz solar y del CO_2 -, crítica para el mantenimiento de la vida sobre la Tierra; los hombres y algunos animales dependen de las bacterias que habitan en sus intestinos para realizar la digestión, y la síntesis de vitaminas como la K y algunas del complejo B.

Los microorganismos también tienen aplicaciones industriales, ya que se utilizan en la síntesis de productos químicos como acetona, ácidos orgánicos, enzimas, alcohol y muchos medicamentos.

El proceso de producción de acetona y butanol por bacterias fue descubierto, en 1914, por Chaim Weizmann, un polaco que trabajaba para Winston Churchill en Inglaterra.

Cuando estalló la primera guerra mundial, en agosto de ese año, la producción de acetona era esencial en el proceso de fabricación de las municiones, por lo que el descubrimiento de Weizmann jugó un papel determinante en el desarrollo de la guerra.

Después de la guerra, rehusó todos los honores que le propuso el gobierno británico; sin embargo, utilizó su influencia para que el gobierno británico ayudara a establecer el estado judío en Palestina.

En 1949, Weizmann fue elegido el primer presidente de Israel.

El propósito de enseñar acerca de la microbiología, de sus pioneros y de su historia, permite a los alumnos aprender a usar las técnicas necesarias para mantener los alimentos libres de microorganismos y aumentar la protección frente a una enfermedad patógena.

Desarrollo histórico de la microbiología

Aunque los microorganismos se originaron hace, aproximadamente, 4000 millones de años, la microbiología es una ciencia relativamente joven. Los primeros microorganismos se observaron hace 300 años y, sin embargo, pasaron unos 200 hasta que se reconoció su importancia.

La microbiología surgió como ciencia tras el descubrimiento de los microorganismos, gracias al perfeccionamiento del microscopio. El naturalista holandés Antoni van Leeuwenhoek, en 1683, fue el primero en describir estos organismos, que observó con la ayuda de un microscopio construido por él mismo.

Ya en 1546, Girolano Fracastoro había sugerido que las enfermedades podían deberse a organismos tan pequeños que no podían verse y que eran transmitidos de una persona a otra. Sin embargo, el descubrimiento de las bacterias como agentes específicos de enfermedades infecciosas en los animales fue realizado a través del estudio del carbunco, infección grave de los animales domésticos que es transmisible al hombre. La demostración concluyente de la causa bacteriana o

La **industria alimentaria** también usa microorganismos en la producción de vinagre, bebidas alcohólicas, aceitunas, queso, yogur y pan. E, incluso, manipula bacterias y otros microorganismos para que produzcan sustancias que, normalmente, no son sintetizadas por ellos; es a través de esta técnica de ingeniería genética, que las bacterias pueden producir importantes sustancias terapéuticas como insulina, hormona de crecimiento humana e interferón.

Actualmente, sabemos que los microorganismos se encuentran en todas partes; pero, hasta hace poco -antes de la invención del microscopio-, los microorganismos eran desconocidos para los científicos. Miles de personas morían en las epidemias cuyas causas no se conocían, por deterioro de alimentos que no se podía controlar, o debido a que no existían vacunas y antibióticos disponibles para combatir las infecciones.

etiología del carbunco fue proporcionada, en 1876, por **Robert Koch**, un médico rural alemán.

Koch empezó a estudiar el mundo microbio no después de que su mujer le regalara un microscopio por su vigésimo octavo cumpleaños. Seis años después, anunció al mundo que había encontrado la bacteria del carbunco (*Bacillus anthracis*). Posteriormente, él y sus colaboradores descubrieron las bacterias que causan la tuberculosis y el cólera.

Esta serie de experimentos se ajustaba a los criterios necesarios para poder establecer la relación causal entre un organismo específico y una enfermedad específica. Los criterios planteados se conocen como los postulados de Koch:

- El microorganismo debe estar presente en todos los casos de la enfermedad.
- El microorganismo debe ser aislado del enfermo y obtenerse en cultivo puro en el laboratorio.
- La enfermedad específica debe reproducirse cuando un cultivo puro del microorganismo se inocula a un hospedador susceptible sano.

El descubrimiento posterior de virus agentes que no crecen en medios artificiales en el laboratorio, como lo hacen las bacterias (Dimitri Ivanovski, en 1892, descubre que el virus del mosaico del tabaco pasa los filtros que retienen a las bacterias), exigió algunas modificaciones en los postulados de Koch.

- El microorganismo debe ser recuperable a partir del hospedador inyectado experimentalmente.

Este trabajo sobre el carbunco condujo rápidamente a la edad de oro de la bacteriología. En veinticinco años, la mayoría de los agentes bacterianos de las principales enfermedades humanas ya habían sido descubiertos y descritos.

Después de ensayar 605 sustancias, Koch encontró un compuesto que cumplía requisitos antimicrobianos. Llamó a esta sustancia *Salvarsan*, primer compuesto químico sintetizado en laboratorio que podía curar una enfermedad sin ser tóxico para el paciente. Gracias a este descubrimiento, en 1908, le concedieron el premio Nobel.

Louis Pasteur fue el químico y biólogo francés que fundó la ciencia de la microbiología. Comenzó investigando los procesos de fermentación del vino y la cerveza, y descubrió la existencia de las bacterias que interferían en este proceso; aplicó, entonces, sus conclusiones al estudio de las enfermedades y demostró la teoría de los gérmenes como causantes de aquellas. También desarrolló vacunas que consiguieron salvar miles de vidas.

Pasteur observó que, en la fabricación de la cerveza y el vino, a veces los dos líquidos resultaban buenos y, otras, agrios; decidió, así, estudiar el proceso con el microscopio y descubrió que, cuando la fermentación era normal, participaban las pequeñas células de la levadura; en cambio, cuando resultaban agrios, en el proceso participaban bacterias.

Técnicas de la microbiología

Esterilización

Pasteurización

Desinfección

Un método fundamental para estudiar las bacterias es cultivarlas en un medio líquido o en la superficie de un medio sólido de agar. Los medios de cultivo contienen distintos nutrientes, desde azúcares simples hasta sustancias complejas como la sangre o el extracto de caldo de carne. Para aislar o purificar una especie bacteriana a partir de una muestra formada por muchos tipos de bacterias, se siembra en un medio de cultivo sólido donde las células que se multiplican no cambian de localización; tras muchos ciclos reproductivos, cada bacteria individual genera una colonia macroscópica compuesta por decenas de millones de células similares a la original. Si esta colonia individual se siembra, a su vez, en un nuevo medio, crece como cultivo puro de un solo tipo de bacteria.

Muchas especies bacterianas son tan parecidas morfológicamente que es imposible diferenciarlas sólo con el uso del microscopio; en este caso, para identificar cada tipo, se estu-

El **agar** es un gel de polisacáridos y proteínas que se obtiene a partir del extracto de algas marinas.

dian sus características bioquímicas, sembrándolas en medios de cultivo especiales.

Así, algunos medios contienen un producto que inhibe el crecimiento de la mayoría de las especies bacterianas, pero no la de un tipo que deseamos averiguar si está presente; otras veces, el medio de cultivo contiene determinados azúcares especiales que sólo pueden utilizar algunas bacterias. En algunos medios se añaden indicadores de pH que cambian de color cuando uno de los nutrientes del medio es fermentado y se generan catabolitos ácidos; si las bacterias son capaces de producir fermentación, generan gases que pueden ser apreciados cuando el cultivo se realiza en un tubo cerrado. Otros medios de cultivo permiten identificar si las bacterias producen determinadas enzimas que digieren los nutrientes; así, algunas bacterias con enzimas hemolíticas (capaces de romper los glóbulos rojos) producen hemólisis y cambios apreciables macroscópicamente en las placas de agar-sangre.

Los diferentes medios y técnicas de cultivo son esenciales en el laboratorio de microbiología de un hospital, pues sirven para identificar las bacterias causantes de las enfermedades infecciosas y los antibióticos a los que son sensibles esas bacterias.

La **esterilización** es un proceso esencial para el funcionamiento de un hospital y se aplica a todos los instrumentos quirúrgicos, implantes y muchos otros dispositivos. La desecación y la congelación eliminan muchas especies de bacterias; pero, otras simplemente permanecen en estado vegetativo. El calor

seco o húmedo, en cambio, elimina todas las bacterias, combinando adecuadamente la temperatura a la que se someten y el tiempo de exposición.

Es posible esterilizar por calor seco en estufas a más de 160 °C durante media hora; o, por calor húmedo, en autoclaves a 120 °C durante 20 minutos y a presión superior a la atmosférica.

Otra forma habitual de esterilización, utilizado para objetos no resistentes al calor, es a través de medios químicos: el ácido fénico - iniciador de la era de la antisepsia-, el ácido cianhídrico, el óxido de etileno, la clorhexidina, los derivados mercuriales, los derivados del yodo (especialmente, la povidona yodada) y muchas otras sustancias.

El alcohol etílico no produce esterilización completa.

Y un tercer medio de esterilización, más actual, es a través de radiaciones ionizantes (beta, gamma).

La **pasteurización** es un proceso de calentamiento de un líquido, en particular de la leche, hasta una temperatura que oscila entre 55 y 70 °C. Se usa para destruir las bacterias perjudiciales, sin producir cambios materiales en la composición, en el sabor o en el valor nutritivo del alimento. El proceso recibe este nombre en honor al químico francés Louis Pasteur quien lo ideó, en 1865, con el fin de inhibir la fermentación del vino y de la leche.

La leche se pasteuriza al calentarla a 63 °C

durante 30 minutos; luego, se enfría con rapidez y se envasa a una temperatura de 10 °C. La cerveza y el vino se pasteurizan al ser calentados a unos 60 °C durante unos 20 minutos. Según un método más reciente, también se logra calentando a 70 °C durante 30 segundos y envasando en condiciones estériles.

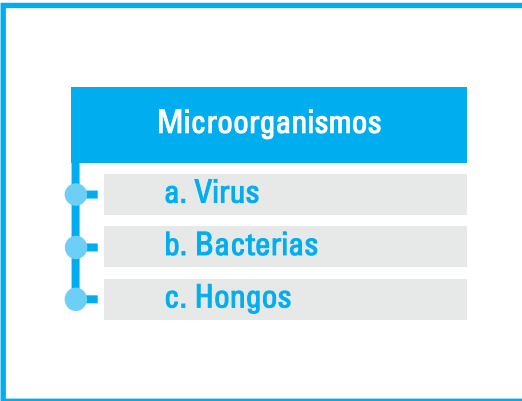
La **desinfección**

incluye sustancias usadas por sus propiedades anti-sépticas, es decir, por su facultad de matar microbios o gérmenes nocivos a los animales y a las plantas. Las enfermedades contagiosas, las pestes y las infecciones se producen por la acción de algunos microbios que, en medicina, son llamados gérmenes patógenos.

Los desinfectantes son una arma clave para protegernos de los microorganismos -que se encuentran en casi todas partes-, al ir destruyéndolos, al impedir su desarrollo y, asimismo, al proteger el área donde actúan, durante un tiempo.

Basado en los hallazgos del fisiólogo alemán Theodor Schwann y del bioquímico francés Louis Pasteur, Lister (1827-1912) desinfectaba las heridas quirúrgicas y accidentales con una solución de ácido carbólico; este procedimiento le permitió, en cinco años, reducir la tasa de mortalidad de las amputaciones importantes, de un 45 % a un 12 %. Otros antisépticos son el bicloruro de mercurio, el yodo, el ácido bórico, los hipocloritos, el mercurocromo y el mertiolato. El cloro se utiliza en la esterilización del agua; en especial, en los sistemas públicos de suministro de agua y en las piscinas.

Clasificación de los microorganismos



a. Virus

Son entidades no celulares de muy pequeño tamaño, por lo que debe recurrirse al microscopio electrónico para su visualización. Son agentes infectivos de naturaleza obligadamente parasitaria intracelular, que necesitan su incorporación al protoplasma vivo para que su material genético sea replicado por medio de su asociación más o menos completa con las actividades celulares normales que pueden transmitirse de una célula a otra.

Cada tipo de virus consta de una sola clase de ácido nucleico (ADN o ARN; nunca ambos), con capacidad para codificar varias proteínas -algunas de las cuales pueden tener funciones enzimáticas mientras que otras son estructurales-, disponiéndose éstas en cada partícula viral alrededor del material genético, formando una estructura regular (*cápside*). En algunos virus existe, además, una envoltura externa de tipo membranoso, derivada, en parte, de la célula en la que se desarrolló el virión (bicapa lipídica procedente de

membranas celulares) y, en parte, de origen viral (proteínas).

b. Bacterias

Una bacteria simplificada está formada por tres capas externas que envuelven las estructuras internas; la capa pegajosa protege la pared celular rígida que, a su vez, cubre la membrana celular semipermeable.

El flagelo es su medio de locomoción; los pelos que se extienden por fuera de la cápsula ayudan a la bacteria a sujetarse a las superficies. El material genético está contenido en el ADN que forma el nucleoide. Los ribosomas que flotan en el citoplasma intervienen en la síntesis de proteínas.

El material genético de la célula bacteriana está formado por una hebra doble de ADN circular. Muchas bacterias poseen también pequeñas moléculas de ADN circulares -plásmidos- que llevan información genética; pero, la mayoría de las veces, no resultan esenciales en la reproducción. Muchos de estos plásmidos pueden transferirse de una bacteria a otra, mediante un mecanismo de intercambio genético denominado *conjugación*.

Otros mecanismos por los cuales la bacteria puede intercambiar información genética son la *transducción*, en la que se transfiere ADN por virus bacterianos, y la *transformación*, en la que el ADN pasa al interior de la célula bacteriana directamente desde el medio.

Las células bacterianas se dividen por fisión; el material genético se duplica y la bacteria se

alarga, se estrecha por la mitad y tiene lugar la división completa, formándose dos células hijas idénticas a la célula madre. Así, al igual que ocurre en los organismos superiores, una especie de bacteria origina sólo células de la misma especie, al reproducirse. Algunas bacterias se dividen cada cierto tiempo (entre 20 y 40 minutos); en condiciones favorables, si se dividen una vez cada 30 minutos, transcurridas 15 horas, una sola célula da lugar a unos mil millones de descendientes, que forman agrupaciones -colonias- observables a simple vista; en condiciones adversas, algunas bacterias pueden formar esporas, formas de la célula en estado latente, que le permiten resistir las condiciones extremas de temperatura y humedad.

La clasificación taxonómica más utilizada divide a las bacterias en cuatro grandes grupos, según las características de la pared celular.

- División *Gracilicutes*. Bacterias con pared celular delgada, del tipo Gram negativas.
- División *Firmicutes*. Bacterias con pared celular gruesa, del tipo Gram positivas.
- División *Tenericutes*. Bacterias que carecen de pared celular.
- División *Mendosicutes*. Bacterias que tienen paredes celulares poco comunes, formadas por materiales distintos a los típicos peptidoglucanos bacterianos.

Entre las *Mendosicutes* se encuentran las arqueobacterias, un grupo de organismos poco comunes, que incluyen a: las bacterias metanogénicas -anaerobias estrictas, que producen metano a partir de dióxido de carbono e hidrógeno-, las halobacterias -que necesi-

tan para su crecimiento concentraciones elevadas de sal- y las termoacidófilas -que necesitan azufre y son muy termófilas-.

Se ha discutido sobre la conveniencia de que las arribacterias se incluyan en un reino aparte, ya que estudios bioquímicos recientes han mostrado que son tan diferentes de las otras bacterias como de los organismos eucariotas (organismos con núcleo celular diferenciado, delimitado por una membrana nuclear).

Estos cuatro grandes grupos de bacterias se subdividen, además, en unas 30 secciones numeradas, alguna de las cuales se dividen, a su vez, en órdenes, familias y géneros.

c. Hongos

La mayoría de los hongos está constituida por finas fibras -hifas- que contienen protoplasma. Éstas, a menudo, están divididas por tabiques -septos-. En cada hifa hay uno o dos núcleos; el protoplasma se mueve a través de un diminuto poro que ostenta el centro de cada septo. No obstante, hay un filo de hongos -que se asemejan a algas-, cuyas hifas, generalmente, no tienen septos y cuyos numerosos núcleos están esparcidos por todo el protoplasma.

Las hifas crecen por alargamiento de las puntas y, también, por ramificación. La proliferación de hifas resultante de este crecimiento, se llama micelio. Cuando el micelio se desarrolla, puede llegar a formar grandes cuerpos fructíferos, tales como las setas.

Otros tipos de enormes estructuras de hifas permiten a algunos hongos sobrevivir en condiciones difíciles o ampliar sus fuentes nutricionales. Las fibras, a modo de cuerdas, del micelio de la armillaria color de miel (*Armillaria mellea*), facilitan la propagación de esta especie de un árbol a otro. Ciertos hongos forman masas de micelio resistentes, con forma más o menos esférica -esclerosis-; éstos pueden ser pequeños como granos de arena o grandes como melones.

En general, los hongos se reproducen por esporas -diminutas partículas de protoplasma rodeado de pared celular-. Las esporas se forman de dos maneras. En el primer proceso, las esporas se originan después de la unión de dos o más núcleos, lo que ocurre dentro de una o de varias células especializadas. Estas esporas, que tienen características diferentes heredadas de las distintas combinaciones de genes de sus progenitores, suelen germinar en el interior de las hifas. Los cuatro tipos de esporas que se producen de esta manera (oosporas, zigosporas, ascosporas y basidiosporas) definen los cuatro grupos principales de hongos.

- Oosporas. Se forman por la unión de una célula macho y otra hembra.
- Zigosporas. Se forman al combinarse dos células sexuales similares entre sí.
- Ascosporas. Suelen disponerse en grupos de ocho unidades; están contenidas en unas bolsas -*ascas*-.
- Basidiosporas. Se reúnen en conjuntos de cuatro unidades, dentro de unas estructuras con forma de maza, llamadas *basidios*.

Los microorganismos y nuestra vida

Diversos tipos de microorganismos son causantes de enfermedades de plantas y de animales. Al igual que nosotros, los microorganismos abundan casi en cualquier lugar, así que, permanentemente, estamos expuestos a un contagio. Pero, nuestro organismo cuenta con un sistema de inmunidad formado por un ejército de células que se encarga de eliminar a todo intruso que penetre en él; esta inmunidad puede inducirse mediante vacunas.

Los microorganismos también pueden afectarnos en el aspecto económico, ya que ocasionan enfermedades a los animales y a las plantas, dañando a cosechas y a ganados que sirven como fuente de alimento y que son nuestra principal fuente de comercio.

Una forma de combatir los microorganismos es utilizando un antibiótico (del griego, *anti*: contra; *bios*: vida), compuesto químico utilizado para eliminar o inhibir el crecimiento de organismos infecciosos.

En un principio, el término *antibiótico* sólo se utilizaba para referirse a los compuestos orgánicos producidos por bacterias u hongos que resultaban tóxicos para otros microorganismos.

Los antibacterianos son la principal categoría de antibióticos; pero, esta denominación incluye, también, a los antipalúdicos, antivirales y antiprotozoos.

Una propiedad común a todos los antibióticos es su toxicidad selectiva: la toxicidad es superior para los organismos invasores que para los animales o los seres humanos que los hospedan.

La penicilina es el antibiótico más conocido; ha sido empleado para tratar múltiples enfermedades infecciosas como la sífilis, la gonorrea, el tétanos o la escarlatina. La estreptomycinina es otro antibiótico que se usa en el tratamiento de la tuberculosis.

Los microorganismos y la conservación de alimentos

Hay muchos agentes que pueden destruir las cualidades de la comida fresca; los microorganismos, como las bacterias y hongos, estropean los alimentos con rapidez. Las enzimas, que están presentes en todos los alimentos frescos, provocan la degradación y cambios químicos que afectan, en especial, la textura y el sabor. El oxígeno atmosférico puede reaccionar con componentes de los alimentos, que se pueden volver rancios o cambiar su color natural. Igualmente dañinas resultan las plagas de insectos y roedores, que son responsables de enormes pérdidas en las reservas de alimentos.

No hay ningún método de conservación que ofrezca protección frente a todos los riesgos posibles durante un período ilimitado de tiempo.

Los alimentos enlatados almacenados en la Antártida, cerca del polo sur, por ejemplo,

siguen siendo comestibles al cabo de 50 años; pero, esta conservación a largo plazo no puede producirse en el cálido clima de los trópicos. Además del enlatado y la congelación, existen otros métodos tradicionales de conservación como el secado, la salazón y el ahumado. La desecación por congelación o liofilización es un método más reciente. Entre las nuevas técnicas experimentales se encuentran el uso de antibióticos y la exposición de los alimentos a la radiación nuclear.

La **congelación** conserva los alimentos, impidiendo la multiplicación de los microorganismos. Dado que el proceso no destruye a todos los tipos de bacterias, aquellos que sobreviven se reaniman en la comida, al descongelarse ésta, y, a menudo, se multiplican mucho más rápido que antes de la congelación. Por el contrario, las enzimas, cuya actividad degrada los alimentos, sí se mantienen activas en condiciones de congelación, aunque su actividad es mucho más lenta. Por eso, las legumbres frescas suelen blanquearse o hervirse antes de congelarlas, con el fin de inactivar estas sustancias e impedir que se degraden. También se propone blanquear el pescado para destruir las bacterias resistentes al frío que viven en las escamas.

Los métodos de congelación de los productos cárnicos dependen del tipo de carne y del corte. El cerdo, por ejemplo, se congela justo después del sacrificio; mientras que la carne de vaca (res) se cuelga durante varios días dentro de una cámara fría, para hacerla más tierna, debido a ciertas enzimas que actúan sobre las proteínas y ablandan la carne; lo mismo sucede con el faisán y otras aves de corral.

Los microorganismos en la producción de alimentos

En contra de la idea de que todos los microorganismos son dañinos, los yogures y los quesos son ejemplos de alimentos a los que se añaden aquellos para, por ejemplo, agriar la leche y producir yogur, u obtener la cubierta blanca característica de color azul del queso roquefort.

Actualmente, existen muchos otros productos químicos que se obtienen por fermentación (término técnicamente restringido a los procesos que ocurren en ausencia de aire, como la producción de alcohol por levaduras). Estos productos incluyen el ácido oxálico utilizado en tintes y colorantes, el ácido propiónico utilizado como intermediario en la producción de plásticos, o el ácido láctico empleado para acidificar alimentos y como anticongelante. Los microorganismos se han usado, asimismo, en la obtención de diferen-

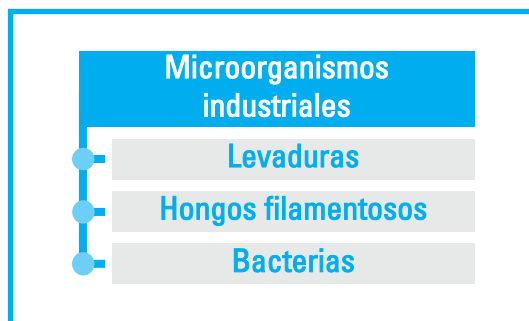
Un microorganismo de uso industrial debe:

- producir la sustancia de interés en un lapso breve,
- estar disponible en cultivo puro,
- ser genéticamente estable,
- crecer en cultivos a gran escala,
- desarrollarse en medios de cultivo relativamente baratos y disponibles en grandes cantidades,
- ser inocuo para el hombre o para los animales o plantas,
- permitir que las células microbianas se separen fácilmente del medio de cultivo - a gran escala, la centrifugación es difícil y costosa-.

tes enzimas utilizadas para aplicaciones tan diversas como la eliminación de manchas en los tejidos (gracias a la incorporación de enzimas en los detergentes, las que atacan proteínas y grasas).

Los microorganismos industriales más favorables para uso industrial son aquellos de mayor tamaño celular (hongos filamentosos, levaduras y bacterias filamentosas) ya que sedimentan más fácilmente que las bacterias unicelulares e, incluso, son más fáciles de filtrar.

Los microorganismos que sintetizan productos útiles para el hombre representan, como máximo, unos pocos centenares de especies de entre las más de 100 000 que existen; los pocos que se han encontrado con utilidad industrial son apreciados por elaborar alguna sustancia que no se puede obtener, de manera fácil o barata, por otros métodos.



a. Levaduras

Las levaduras se vienen utilizando desde hace miles de años para la fabricación de pan y de bebidas alcohólicas.

- La levadura que, sin duda, fue la primera y aún hoy en día sigue siendo la más uti-

lizada por el hombre es *Saccharomyces cerevisiae*, de la que se emplean diferentes cepas para la fabricación de cerveza, vino, pan y alcoholes industriales.

- *Kluyveromyces fragilis* es una especie fermentadora de la lactosa que se explota en pequeña escala para la producción de alcohol, a partir del suero de la leche.
- *Yarrowia lipolytica* es una fuente industrial de ácido cítrico.
- *Trichosporum cutaneum* desempeña un importante papel en los sistemas de digestión aeróbica de aguas residuales, debido a su enorme capacidad de oxidación de compuestos orgánicos, incluidos algunos que son tóxicos para otras levaduras y hongos, como los derivados fenólicos.

b. Hongos filamentosos

Los hongos tienen una gran importancia económica, no tan sólo por su utilidad sino también por el daño que pueden causar: Por un lado, los hongos son responsables de la degradación de gran parte de la materia orgánica de la Tierra, una actividad enormemente beneficiosa ya que permite el reciclaje de la materia viva; pero, por otro lado, causan gran cantidad de enfermedades en plantas y animales, y pueden destruir alimentos y materiales de los que depende el hombre.

Los efectos perjudiciales de los hongos están contrarrestados por su utilización industrial.

Los hongos son la base de muchas fermentaciones como la combinación de soja, arroz y cebada, que da lugar a los alimentos orientales *miso*, *shoyu* y *tempeh*. Los hongos son, también, la fuente de muchas enzimas comerciales (amilasas, proteasas, pectinasas), ácidos orgánicos (cítrico, láctico), antibióticos (penicilina), quesos especiales (Camembert, Roquefort).

c. Bacterias

Entre las especies bacterianas de interés industrial están:

- Las bacterias del ácido acético, *Gluconobacter* y *Acetobacter* que pueden convertir el etanol en ácido acético.
- El género *Bacillus*, productor de antibióticos (gramicidina, bacitracina, polimixina), proteasas e insecticidas.
- El género *Clostridium*; en él se destaca *Clostridium acetobutylicum* que puede fermentar los azúcares, originando acetona y butanol.
- Las bacterias del ácido láctico incluyen, entre otras, las especies de los géneros *Streptococcus* y *Lactobacillus* que producen yogur.
- *Corynebacterium glutamicum* es una importante fuente industrial de lisina.
- *Streptomyces* produce el olor característico a tierra mojada, por sus compuestos volátiles (geosmina); aunque su principal importancia radica en la producción de antibióticos como anfotericina B, kanamicina, neomicina, estreptomycin, tetraciclina, etc.

Las enzimas

Las enzimas o fermentos, constituyen uno de los tipos más importantes de proteínas conjugadas.

Berzelius propuso, en 1836, el término de **catalizadores** para aquellas sustancias capaces de poner en marcha afinidades latentes, a una temperatura determinada, en virtud sólo de su presencia; y atribuyó estos fenómenos a un misterioso "poder catalítico". La creencia en este poder misterioso persistió durante mucho tiempo, aún después de haberse establecido con toda claridad muchas actividades enzimáticas.

La palabra enzima fue acuñada en 1878 por Kühne, del griego $\chi\upsilon\mu\omega\sigma$, "en la levadura". Se admitió, entonces, que las enzimas sólo podían actuar en las células vivas. En 1897, los hermanos Buchner observaron, por primera vez, que la actividad enzimática no estaba limitada a las células vivas: trituraron con arena en un mortero células de levadura y prensaron el "jugo de levadura" que, tras ser filtrado para eliminar los restos celulares, seguía poseyendo capacidad de fermentar el azúcar para dar alcohol y dióxido de carbono. Fue un gran descubrimiento en su tiempo, porque separó, por primera vez, los fenómenos biológicos del concepto de algún misterioso "poder vital".

En 1926, Willstaetter pronunció una conferencia ante la Sociedad Química Alemana en la que resumía sus investigaciones sobre el aislamiento de enzimas puras, mencionando su trabajo con la *peroxidasa*, enzima que consta de una proteína y una mitad no pro-

teica que contiene hierro. La enzima seguía siendo activa cuando su concentración se diluía hasta un punto en que no podía demostrarse en el sustrato la presencia de proteína o hierro. Este hecho hizo creer a Willstaetter en la existencia de una nueva fuerza natural que las enzimas creaban de algún modo.

Durante el mismo año, Sumner aisló y cristalizó la ureasa de las habas, una enzima que escinde la urea en CO_2 y NH_3 . Fueron muchos los hombres de ciencia que no creyeron que estos cristales fuesen enzimas o que las enzimas formasen parte de estos cristales. Transcurrieron 20 años para que Sumner recibiera el Premio Nobel por sus brillantes éxitos.

Las proteínas pueden ser hidrolizadas a sus aminoácidos constituyentes mediante varias horas de ebullición en ácidos o álcalis; y el almidón puede convertirse en glucosa del mismo modo. Sin embargo, estas reacciones se producen in vivo a la temperatura corporal, merced a la participación activa de las enzimas.

Las **enzimas** se definen hoy como catalizadores coloidales orgánicos, generalmente solubles en agua, formados (hasta ahora) dentro de células vivas de vegetales o animales, pero capaces de actuar también en el exterior de las células y sin conexión alguna con ellas.

Se conocen hoy muchos cientos de actividades enzimáticas, aunque sólo se han cristalizado y purificado unas 75 enzimas. Todas ellas, sin excepción, están formadas por uni-

dades proteicas aunque, últimamente, se han descubierto segmentos de ARN con actividad biológica catalítica específica (ribozimas).

La designación o nombre específico de cada enzima se forma utilizando la denominación del sustrato sobre el cual actúa la enzima o la acción que sobre éste efectúa, y agregando la terminación -asa (proteasa, lipasa, fosforilasa, deshidrogenasa, etc.)

Composición de las enzimas

Según su composición química estructural, las enzimas pueden dividirse en tres grupos principales:

- Enzimas en cuya composición sólo intervienen proteínas. A la proteína sola le cabe la acción catalítica ejercida sobre una reacción bioquímica determinada y la especificidad de la enzima por el sustrato. De este tipo son, por ejemplo, la amilasa, las proteasas y muchas otras.
- Enzimas que, además de la estructura proteica, poseen una parte no proteica asociada en la molécula, llamada *coenzima* o *grupo prostético*. En tales enzimas, el grupo prostético es el centro de actividad química y la proteína es la responsable de la especificidad. En numerosos casos, el mismo grupo prostético puede combinarse con varias proteínas para formar diversas enzimas. En este tipo de enzimas suele ser posible separar, por diálisis, el grupo prostético de la proteína sin destruir la enzima, que recupera su actividad cuando se recombinan la proteína y el grupo prostético

- El tercer tipo de enzimas consta también de dos mitades, la proteína y la coenzima; pero, éstas son prácticamente inseparables a menos que en el proceso se pierda por completo la actividad enzimática. Tal es el caso, por ejemplo, de las metaloproteínas, enzimas que contienen Fe, Cu, Co, Se u otros metales. En estos dos últimos grupos, se acepta la siguiente nomenclatura:

Holoenzima = Apoenzima + Coenzima

Enzima funcional = Parte proteica + grupo prostético

Aunque la coenzima puede ser termoestable, la parte proteica (apoenzima) es, naturalmente, muy termolábil y se desnaturaliza a temperaturas mayores a las fisiológicas.

Especificidad de las enzimas

La mayor parte de las enzimas actúa en solución acuosa. Las moléculas se hallan en el agua en un movimiento constante; hablando en términos generales, sólo pueden reaccionar cuando chocan de un modo adecuado. Si no existen enzimas, estas colisiones sólo pueden producir una reacción química en un caso de cada billón; pero, las probabilidades de que la reacción tenga lugar son mucho más numerosas en presencia de enzimas. Se atribuye esto a la capacidad de la enzima de formar un complejo o compuesto de adición con el sustrato, al menos durante un tiempo breve: el **complejo enzima-sustrato**.

La mera presencia de una enzima no es capaz de acelerar el movimiento de las moléculas en solución y no puede, por consiguiente, aumentar la frecuencia de colisión; hay que suponer, en cambio, que las enzimas, al com-

binarse con las moléculas de sustrato, producen un cambio en la arquitectura molecular de éste que incrementa su reactividad, favoreciendo la reacción entre ellas.

Se ha demostrado, por ejemplo que, en algunos casos, esta reactividad es consecuencia de la separación de algunos electrones de la molécula de sustrato que la convierten en iones o radicales libres provistos de una carga determinada. La formación de un complejo enzima-sustrato se ha confirmado molecularmente, por ejemplo, en la degradación del peróxido de hidrógeno por la *catalasa*. Cuando a una solución de *catalasa* se le añade agua oxigenada (H_2O_2), el espectro ultravioleta original queda transformado en un espectro característico del complejo formado; una vez que todo el H_2O_2 ha sido agotado, el espectro vuelve a su característica normal.

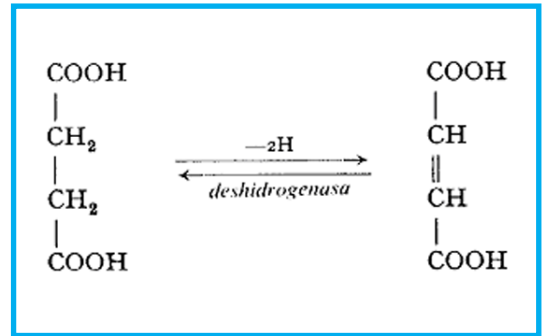
El complejo enzima-sustrato formado entre la *catalasa* y una molécula de H_2O_2 dura, en promedio, sólo

$1,17 \times 10^{-5}$ segundos (es decir, ¡menos de 12 millonésimas de segundo!). Combinaciones enzima-sustrato de este tipo sólo se dan en casos muy específicos: Cada enzima se combina con un sustrato determinado.

Con objeto de entender el fenómeno de la especificidad, se propuso hace tiempo el modelo de acción llamado "llave-cerradura". Para abrir una puerta, la llave (el sustrato) debe encajar en la cerradura (la enzima); de

lo contrario, no tiene lugar la reacción. A veces, la llave que se introduce en la cerradura no sólo no abre la puerta sino que, además, se atasca y no es posible sacarla. Lo mismo sucede con algunas enzimas.

Consideremos un ejemplo. La succinicodehidrogenasa cataliza la transformación del ácido succínico en fumárico:

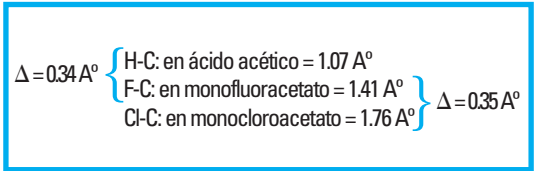


Esta enzima es muy específica y no deshidrogena ninguna otra sustancia; sin embargo, si se añade al sustrato ácido malónico, éste compite con el succínico en virtud de la semejanza de sus estructuras ($\text{COOH} - \text{CH}_2 - \text{COOH}$), combinándose con la enzima e impidiéndole cumplir con su misión. El ácido malónico tampoco se deshidrogena; es aquí la llave que no encaja bien en la cerradura (succinicodehidrogenasa) e impide, al mismo tiempo, la apertura de la puerta (la auténtica reacción).

Las sustancias que reaccionan de un modo semejante a como lo hace, en este caso, el ácido malónico, se denominan *antimetabolitos*

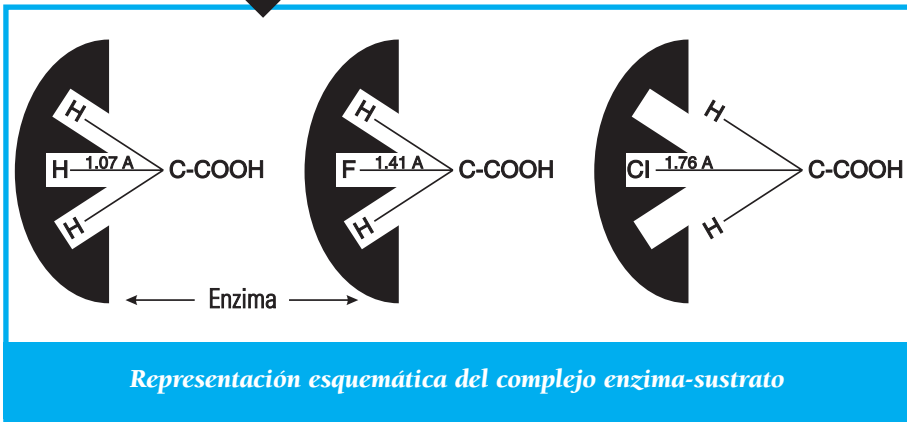
Los **antimetabolitos** son sustancias que no son ellas mismas atacadas por las enzimas, pero que son capaces de formar un complejo con la enzima y competir con el sustrato.

Tal vez, el más convincente de los experimentos que explican el concepto de "llave y cerradura", es el efectuado por Barron y sus colaboradores, al estudiar la oxidación enzimática del ácido acético. Al probar la misma reacción enzimática con sustancias similares al ácido acético -monofluoroacetato y monocloroacetato-, observaron que este último no intervenía en la reacción, en tanto que el primero actuaba como un antimetabolito. La única diferencia entre estas dos sustancias es que el átomo de carbono está sustituido, en una de ellas, por F y, en la otra, por Cl.



Es muy interesante observar que las diferencias en la longitud de estos enlaces es aproximadamente igual en ambos casos; y suficiente para convertir a las otras dos sustancias en sustratos inadecuados para la enzima que oxida específicamente el ácido acético.

En la figura aparece un esquema muy simplificado que intenta aclarar la idea del concepto de "llave y cerradura":



La enzima está, aquí, representada como una estructura semicircular sombreada. En tanto que el ácido acético (a la izquierda) se adapta, generalmente, a la enzima específica, el monocloroacetato (a la derecha) no se adapta a él y no es activado; el monofluoroacetato (en el centro) se ajusta demasiado y obra como un antimetabolito.

Reacción enzimática

Factores que influyen en la velocidad de la reacción enzimática

- a. Estado de activación
- b. Temperatura
- c. Complejo enzima-sustrato
- d. Número de recambio -turnover-
- e. pH del sustrato
- f. Concentración de enzima
- g. Concentración de sustrato

a. Estado de activación

Todas las reacciones biológicas están sometidas a las leyes básicas de la termodinámica. Veamos cómo se aplican éstas a las reacciones enzimáticas.

Una enzima no pone en marcha una reacción por su mera presencia: las reacciones enzimáticas sólo pueden tener lugar si son termodinámicamente posibles.

La primera y la más importante de estas condiciones de posibilidad es la de que las moléculas que entran en la reacción se hallen en forma activada.

La relación existente entre velocidad de reacción, energía de activación y temperatura está dada por la ecuación de Arrhenius, lo que significa que el más ligero cambio en la energía de activación y/o en la temperatura, influye notablemente en la velocidad de la reacción.

$$K = A e^{-E_a/RT}$$

La característica fundamental de las enzimas como catalizadores biológicos, es su capacidad de reducir considerablemente la energía de activación. No existe aún una explicación adecuada de este hecho.

Diferencias entre la energía de activación de diversas reacciones, cuando tienen lugar en ausencia y en presencia de enzimas

Reacción	Enzima	Energía de activación E_a (Cal/mol)	
		Sin enzima	Con enzima
Degradación de H_2O_2	Catalasa	18000	5000
Hidrólisis de la sacarosa	β -Fructosidasa	26000	11500
Hidrólisis de la caseína	Tripsina	20600	12000
Hidrólisis butirato de etilo	Lipasa	13200	4200

En todos estos ejemplos, las energías de activación requeridas en presencia de las enzimas son muy inferiores a las que se precisan en su ausencia.

b. Influencia de la temperatura

El segundo factor que influye considerablemente en la velocidad de la reacción, como queda indicado en la ecuación de Arrhenius, es la temperatura.

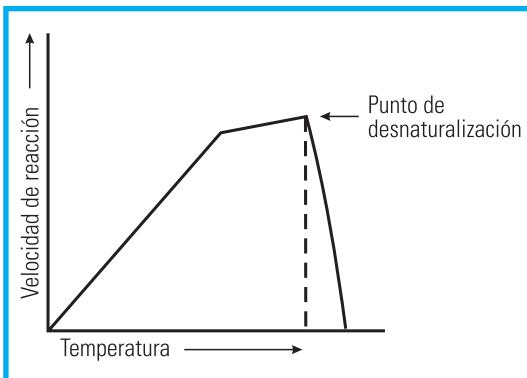
Aunque la característica general de temperaturas adecuadas para las reacciones enzimáticas es que son bastante bajas, cambios mínimos de temperatura ejercen una influencia muy considerable.

La temperatura óptima para la mayor parte de las reacciones enzimáticas (con muy pocas excepciones) se halla entre 30° C y 40 °C. Al elevar la temperatura, aumenta la velocidad de la reacción y, en la mayor parte de las enzimas, un incremento de 10 °C duplica con frecuencia la velocidad.

Así, por ejemplo, para la invertasa la constante de la velocidad K entre 0 y 20 °C es:

$$\frac{K_{t+10}}{K_t} = 2.0$$

El punto de desnaturalización de las enzimas se halla también muy cerca de la temperatura óptima de la reacción enzimática, por lo que las curvas obtenidas al representar la velocidad de la reacción en función de la temperatura suelen tener esta forma, en muchas enzimas:



Relación entre la velocidad de una reacción enzimática y la temperatura

A temperaturas entre 50 y 90 °C, se inactiva la mayor parte de las enzimas; a temperaturas bajas, la actividad enzimática transcurre muy lentamente, aunque no se detiene. Algunas reacciones enzimáticas siguen funcionando aún a temperaturas del orden de -18 °C (temperatura de freezer).

La industria de los alimentos congelados debe recordar esto: numerosos alimentos congelados experimentan un considerable deterioro por un almacenamiento prolongado.

c. Complejo enzima-sustrato

La necesidad de una energía de activación menor para comenzar una reacción suele adscribirse al hecho de que la enzima forma, primero, un complejo con el sustrato.

El complejo enzima-sustrato es un compuesto muy lábil en virtud de su complicada estructura específica. En el caso de las enzi-

mas hidrolíticas, el sustrato se combina con la enzima durante un tiempo muy corto y queda tan debilitado por la gran molécula de la enzima, que se encuentra a una concentración de ion hidrógeno más baja que en ausencia de enzima.

El concepto de complejo enzima-sustrato es de gran utilidad para el estudio de la enzimología, aunque durante mucho tiempo no fue sino una hipótesis de trabajo.



Representación esquemática de una reacción enzimática

d. Número de recambio -turnover-

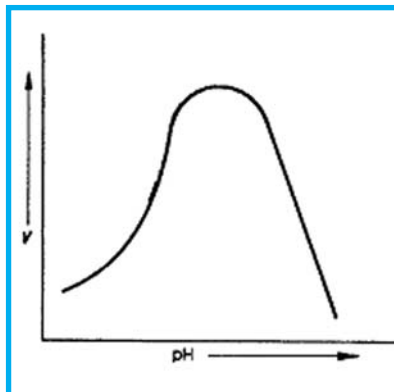
El viejo concepto de que un catalizador no participa en la reacción no tiene validez. ¿Cómo puede explicarse el hecho de que basten cantidades mínimas de una enzima para que la reacción prosiga?

Este hecho se atribuye a la enorme velocidad a que se restablezca la actividad enzimática. La *invertasa*, por ejemplo, puede hidrolizar cantidades de sacarosa por segundo 10 veces superiores a su propio peso. Habida cuenta de la enorme diferencia entre los pesos moleculares de la enzima y sus sustratos, se comprende fácilmente que algunas enzimas tengan un número de recambio o *turnover* que se halla entre 100 y 3.000.000 por minuto.

El **número de recambio** se define como el número de moléculas de sustrato que pueden ser catalizadas durante un minuto por cada molécula de enzima.

Número de recambio para algunas enzimas

Enzimas	Sustrato	Numero de recambio
Catalasa	H ₂ O ₂	5 · 10 ⁴
Ureasa	Urea	4,6 · 10 ⁵
Invertasa	Sacarosa	4 · 10 ⁴
Aldolasas	Disfosfato de sodio	7 · 10 ³
Carboxilasas	Ácido pirúvico	8 · 10 ²
DPN	Transferencia de hidrógeno	5 · 10



Relación entre el pH y la velocidad de una reacción enzimática

Es de suponer que una proteína pueda presentar, también, distintas configuraciones iónicas y que sólo una de estas formas sea capaz de ejercer actividades catalíticas.

e. Influencia del pH del sustrato

De entre los diversos factores que influyen en la velocidad de la reacción enzimática, hasta ahora hemos mencionado: el estado de activación, la temperatura, la concentración de sustrato y enzima, y el *turnover*. La velocidad de las reacciones está controlada por otro factor adicional importante: el pH del sustrato.

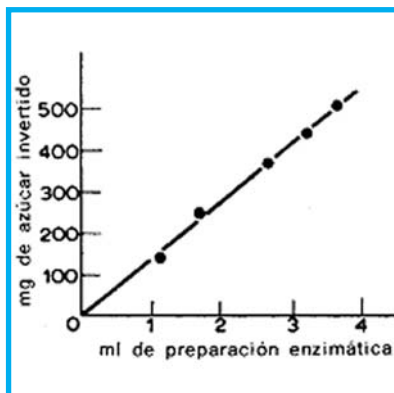
La catálisis enzimática tiene lugar dentro de límites estrechos del pH. Cada reacción enzimática tiene, en general, un pH óptimo; si una misma enzima actúa sobre diferentes sustratos, puede tener distintos óptimos, en cada caso.

Casi todas las curvas en las que se representa la velocidad de la reacción enzimática (V) en función del pH ofrecen características semejantes a las de la figura:

f. Concentración de enzima

Si los demás factores se hallan en condiciones óptimas, la velocidad de la reacción enzimática depende de la concentración de enzima.

La velocidad de la reacción es directamente proporcional a la concentración de enzima, que representa la inversión de la sacarosa por acción de la invertasa.



Velocidad de reacción en función de la concentración de enzima

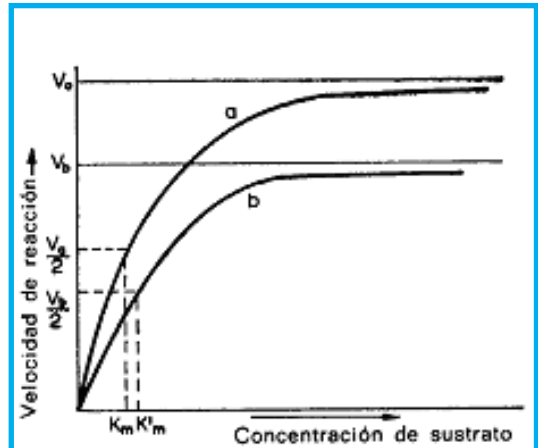
g. Concentración de sustrato

La velocidad de una reacción aumenta con la concentración de sustrato, aunque sólo hasta un punto determinado. De ahí en adelante, la velocidad de la reacción apenas varía con la concentración de sustrato y, finalmente, la gráfica sigue un curso horizontal; es decir, la velocidad se hace constante. Al aumentar la concentración de enzima manteniendo la misma concentración del sustrato, se obtiene una gráfica con valores más elevados, pero de igual forma.

En la figura se grafican los resultados de un experimento efectuado con invertasa que actúa sobre sacarosa. La curva resulta una hipérbola rectangular, con las siguientes características:

Se denomina constante de Michaelis (K_m) a la concentración de sustrato a que la velocidad de la reacción es igual a la mitad de la velocidad máxima.

- El límite de la velocidad de reacción es un valor asintótico, al que se aproxima la velocidad al aumentar la concentración de sustrato.
- En exceso de sustrato, las velocidades límites son directamente proporcionales a la concentración de enzima, como puede deducirse de las diferencias entre las curvas a y b:



Curvas teóricas de velocidades de reacción, basadas en la ecuación de Michaelis

Las curvas denominadas de Michaelis no sólo predicen la velocidad de las reacciones enzimáticas en función de las concentraciones de sustrato sino que dan, además, una idea aproximada de la especificidad de las enzimas que intervienen. Si las curvas a y b de la figura representan dos enzimas distintas, de escasa especificidad, que actúan sobre el mismo sustrato, es evidente que la enzima a tiene mayor afinidad por el sustrato que la enzima b, y que sería necesario usar mucha más enzima b para obtener el mismo resultado que en a que, aparentemente, es una enzima más específica.

Las enzimas como catalizadores biológicos

Las enzimas son catalizadores de origen biológico que parecen cumplir muchos de los requisitos necesarios para impulsar la nueva industria de la biotecnología.

Las enzimas son catalizadores

Muy activos en medios acuosos y en condiciones muy suaves de temperatura, pH, etc.

Específicos, ya que pueden modificar un único sustrato en una mezcla de sustratos muy similares e, incluso, pueden discernir entre dos isómeros de una mezcla.

Muy selectivos, porque pueden modificar un único enlace o un único grupo funcional en una molécula que tenga varias posiciones modificables.

A pesar de esas excelentes propiedades catalíticas, las enzimas han ido evolucionando a través de los siglos para ser utilizadas en los procesos industriales. Las enzimas son catalizadores solubles, generalmente muy inestables y que sufren inhibiciones por sustratos y productos. Por otra parte, no poseen todas las propiedades ideales (actividad, selectividad, etc.) cuando queremos que catalicen procesos distintos de los naturales (por síntesis en lugar de hidrólisis), sobre sustratos no naturales o en condiciones experimentales no convencionales (en disolventes orgánicos no-tóxicos).

Tecnología enzimática moderna

A mediados de los años '50, la tecnología de las enzimas vivió su época de gran esplendor, creciendo a un ritmo desenfrenado. El progreso de la bioquímica derivó en una mejor comprensión de la gran variedad de enzimas presentes en las células vivas, así como en un mejor conocimiento de su modo de acción.

Por ejemplo, su eficacia se pudo aumentar, extrayéndolas de los microorganismos y manteniéndolas aisladas.

A comienzos de 1970, la tecnología enzimática comenzó a entrar en un período de desarrollo industrial, dirigido a la producción de aminoácidos y azúcares a partir de glucosa isomerizada. En aquel momento, los mercados europeos y americanos se encontraban dominados por la comercialización de enzimas proteolíticas utilizadas en la industria de los detergentes; pero, existían grandes expectativas sobre el mercado de enzimas aplicadas a la industria alimentaria, al cual se le auguraba un crecimiento importante.

En 1981, el mercado mundial del azúcar superaba los 200 millones de dólares y, en 1985, la *Oficina de Valores Tecnológicos* de USA lo cifraba en 250 mi-

Se puede esperar, en el futuro, que el mercado experimente un aumento cuando las enzimas comiencen a utilizarse en procesos de producción de la industria química.

llones. La interpretación más clara es que el mercado para las enzimas utilizadas en la industria creció espectacularmente a lo largo de los años 1970 y que este crecimiento fue paralelo al desarrollo de un gran número de aplicaciones en la industria alimentaria.

En época más reciente, se ha visto que se pueden utilizar diversos vegetales, como alternativas a las células microbianas y a las enzimas purificadas. Por consiguiente, la conclusión evidente es que existe una serie de preparaciones biocatalíticas para resolver una situación concreta, entre las cuales debe realizarse una elección. Así, es conveniente

considerar los criterios que deben manejarse en la elección del biocatalizador.

Las aplicaciones industriales tradicionales se refieren a la producción de una transformación útil por alguna enzima, bien sea natural o añadida intencionalmente. Entre estas apli-

caciones, podemos citar:

- fermentación,
- curtición,
- fabricación de queso,
- elaboración de pan.

Proteasas. Son sustratos de las proteasas todas las proteínas, excepto la queratina; su hidrólisis es, ordinariamente, muy lenta. Las proteasas desintegran también péptidos sencillos; pero, habitualmente, con mucha lentitud. Los productos superiores de degradación de las proteínas son descompuestos rápidamente. Los aminoácidos pueden ser liberados por acción proteolítica.

Renina. Se halla en el cuarto estómago de las terneras. Su acción proteolítica -si la tiene- es muy débil. Es un poderoso agente coagulador de la leche (pH óptimo de, aproximadamente, 5.4).

Papaína. Se halla en el látex del fruto verde de la papaya. Es típica de muchas enzimas vegetales como la ficina de la leche de hígado y la bromelina del ananá. Una de sus características es su contenido de grupos SH, de los que parece depender la actividad de la enzima. Por oxidación ligera, se vuelve inactiva; pero, es reactivada por agentes reductores, como la cisteína, HCN y otros, incluso los grupos SH. La papaína es relativamente resistente al calor y, empleada a temperaturas de 50 a 60 °C, su

proteólisis es muy rápida. La enzima coagula fácilmente la leche. Los microorganismos vivos son atacados rara vez por las proteasas.

Carbohidrasas. Descomponen residuos de azúcares de carbohidratos superiores.

α -amilasa. Se halla en las glándulas salivales, el páncreas, hongos, bacterias y la malta, -que las contiene en abundancia-. Descompone los almidones y el glucógeno en dextrinas, y disocia lentamente las dextrinas en maltosa y cantidad mínima de glucosa. Destruye la estructura en cadenas ramificadas del almidón (amilopectina) y el glucógeno. Con el tiempo, la α -amilasa de malta puede efectuar la destrucción casi total del almidón.

β -amilasa. Se halla en las plantas superiores; los granos la producen en abundancia. La enzima de los granos descompone totalmente la amilasa y la convierte directamente en maltosa; también descompone la amilopectina (la porción de cadena ramificada del almidón) y el glucógeno; pero, su acción se detiene donde se ramifica la cadena de hidratos de carbono.

FERMENTACIÓN. La fermentación alcohólica es un ejemplo conocido de los procedimientos en que se efectúan alteraciones enzimáticas, tanto cuando se agrega alguna enzima como cuando se añade algún microorganismo (levadura). Primero, se calienta el grano amiláceo para gelatinizar el almidón y, luego, se añade malta (que contiene enzimas diastásicas) para convertir el almidón en azúcar fermentable (maltosa). Si el producto que se desea obtener es alcohol, se agrega levadura. El empleo de amilasa en forma de malta es, indudablemente, la mayor aplicación industrial que tienen las enzimas; pero, no es del todo conocida la acción de estas amilasas. La elaboración de vinagre con alcoholes es un proceso enzimático producido por un microbio vivo (*Acetobacter aceti*); el alcohol es oxidado y convertido en ácido acético con oxígeno de la atmósfera. Aislada de las bacterias, la enzima cataliza igualmente la oxidación; pero, es mucho más económico valerse de la célula viva intacta.

CURTICIÓN. A las pieles se les quita el pelo y el exceso de carne; luego, se ponen en remojo para que se hinchen, y se vuelvan más porosas y permeables a las sustancias curtientes. El primer remojo se efectúa siempre mediante la acción enzimática; se observa, así, que la hinchazón es producida parcial o totalmente por enzimas proteolíticas impuras. La cantidad de material enzimático que se usa en la industria de curtiduría representa, probablemente, la mayor aplicación industrial de las enzimas, después de la industria de la fermentación.

FABRICACIÓN DE QUESO. La operación más importante en la fabricación de queso es la coagulación de la caseína de la leche que,

luego, se trata para convertir en queso. Se puede coagular la caseína mediante la adición de ácido o de enzimas como la renina. Ésta tiene una acción proteolítica muy débil que continua en el queso y produce un coágulo elástico del que se exprime fácilmente el suero. No es la única proteasa que se usa en la elaboración del queso, pues también se emplean mezclas de renina con pepsina. Asimismo, se ha usado la papaína y, en este caso, al parecer, se asegura la proteólisis durante el añejamiento del queso. En los países balcánicos se emplea jugo de higos (que contiene gran proporción de enzimas proteolíticas) para preparar el coágulo. Las diferentes enzimas coagulantes hacen variar notablemente la naturaleza del queso.

ELABORACIÓN DE PAN. Aún se discute la función que desempeñan en la fabricación del pan las enzimas que se hallan en la harina. La harina cruda contiene cantidad relativamente pequeña de muchas enzimas; incluso, una proteína del tipo de la papaína que, según creen algunos, reblandece la masa. Al igual que todas las enzimas del tipo de la papaína, la proteasa de la harina es inactivada por la oxidación. La harina de trigo contiene, también, pequeñas cantidades de α -amilasa y gran proporción de β -amilasa.

El suplementar harinas de trigo con malta es una antigua práctica en la industria panadera. En la masa para el pan, resulta imprescindible la presencia de azúcar fermentable, para el rápido crecimiento de la levadura. La adición de α -amilasa en forma de harina de trigo malteado, ocasiona aumento de volumen de la hogaza. La amilasa agregada hidroliza parte del almidón y lo convierte en maltosa, con lo cual suministra más azúcar -para

que fermente la levadura- y origina la generación de mayor cantidad de dióxido de carbono.

Aplicaciones en la industria de alimentos

En relación con las enzimas, la tecnología moderna contribuye al ahorro; por ejemplo, permite la utilización del excedente de suero derivado de la fabricación del queso. La lactosa transforma el azúcar del suero en una mezcla de glucosa y galactosa con un sabor más dulce; así, se refina el producto y se concentra en una especie de jarabe cuyo sabor recuerda el de la miel, con lo que las aplicaciones en el sector de la confitería industrial se hacen innumerables. Se usan, también, muchos otros tratamientos de las enzimas en la producción de edulcorantes modernos. El jarabe del almidón de maíz, con alto contenido en fructosa, ha llegado a eclipsar a la sacarosa.

Las enzimas presentan muchísimas aplicaciones. Con los procedimientos modernos de fabricación de alimentos, benefician tanto a los sectores industriales como a los consumidores. Sus características específicas permiten a los industriales ejercer un control de calidad más estricto, con un menor consumo de energía. Incluso, pueden utilizarse para tratar los desechos biológicos resultantes de la fabricación de alimentos, puesto que las propias enzimas son biodegradables. Mediante una rápida absorción natural, las enzimas son el típico ejemplo de **tecnología verde**.

La utilización empírica de preparaciones

enzimáticas en la elaboración de alimentos es muy antigua. El cuajo, por ejemplo, se utiliza en la obtención de quesos desde la prehistoria, mientras que las civilizaciones precolombinas ya usaban el zumo de la papaya. Sin embargo, hasta 1897 no quedó totalmente demostrado que los efectos asociados a ciertos materiales biológicos, como el cuajo o las levaduras, pudieran individualizarse en una estructura química definida, llamada enzima, aislable del organismo vivo.

Desde hace unas décadas se dispone de enzimas relativamente puras y con una gran variedad de actividades susceptibles de utilizarse en la elaboración de alimentos. Los progresos que están realizando actualmente la ingeniería genética y la biotecnología, permiten augurar un desarrollo cada vez mayor en el uso de las enzimas, al disponer de un suministro continuo de materiales para la actividad deseada, a precios razonables.

Decíamos que:

Las enzimas son piezas esenciales en el funcionamiento de todos los organismos vivos, actuando como catalizadoras de las reacciones metabólicas de síntesis y de degradación que tienen lugar en ellos.

La utilización de enzimas en la elaboración de los alimentos presenta una serie de ventajas, además de las de índole económica o tecnológica: La gran especificidad de acción que tienen las enzimas hace que no se produzcan reacciones laterales imprevistas; asimismo, se puede trabajar en condiciones moderadas -especialmente, de temperatura-, lo que evita alteraciones de los componentes más lábiles del alimento. Desde el punto de

vista de la salud, puede considerarse que las acciones enzimáticas son, en último extremo, naturales. Además, las enzimas pueden inactivarse fácilmente cuando se considera que ya han realizado su misión, quedando entonces asimiladas al resto de las proteínas presentes en el alimento.

Para garantizar la seguridad de su uso deben tenerse en cuenta, no obstante, algunas consideraciones: en aquellas enzimas que sean producidas por microorganismos, éstos no deben ser patógenos ni sintetizar a la vez toxinas, antibióticos, etc. Los microorganismos ideales son aquellos que tienen ya una larga tradición de uso en los alimentos (levaduras de la industria cervecera, fermentos lácticos, etc.). Además, tanto los materiales de partida como el procesado y conservación del producto final deben ser acordes con las prácticas habituales de la industria alimentaria, en lo que respecta a pureza, ausencia de contaminantes, higiene, etc.

Las enzimas utilizadas dependen de la industria y del tipo de acción que se desee obtener.

Enzimas en industrias de alimentos

- a. Industrias lácteas
- b. Panadería
- c. Cervecería
- d. Elaboración de jugos de frutas
- e. Fabricación de jarabes de glucosa y fructosa
- f. Refinado de azúcar
- g. Otras aplicaciones

a. Industrias lácteas

Como se ha indicado, el cuajo del estómago de los rumiantes es un producto clásico en la elaboración de quesos. Su empleo está ya citado en *La Iliada* y en *La Odisea*.

Sin embargo, el cuajo se obtuvo como preparación enzimática relativamente pura recién en 1879, por la mezcla de dos enzimas digestivas (quimosina y pepsina) del cuajo estomacal de terneras jóvenes. Estas enzimas rompen la caseína de la leche y producen su coagulación.

Actualmente, empieza a ser importante también la lactasa, una enzima que rompe la lactosa, que es el azúcar de la leche; muchas personas no pueden digerir esta azúcar, por lo que la leche les causa trastornos intestinales.

Ya se comercializa leche a la que se le ha añadido la enzima para eliminar la lactosa, descomponiéndola en glucosa y galactosa.

b. Panadería

En panadería se utiliza la lipoxidasa; su efecto es el de, simultáneamente, blanquear la harina y mejorar su comportamiento en el amasado.

La utilización de agentes químicos para el blanqueado de la harina está prohibido.

La forma en la que se añade la lipoxidasa es,

usualmente, como harina de soja o de otras leguminosas, las que la contienen en abundancia. Y, para facilitar la acción de la levadura, se añade amilasa; normalmente, en forma de harina de malta, aunque en algunos países se utilizan enzimas procedentes de mohos, ya que la adición de malta altera algo el color del pan.

A veces se utilizan, también, proteasas para romper la estructura del gluten y para mejorar la plasticidad de la masa. Este tratamiento es importante en la fabricación de bizcochos, porque las piezas de amasado son de menor tamaño y volumen, y se requiere mayor plasticidad para evitar que se rompan al hornearlos.

c. Cervecería

A principios del siglo pasado (1911) se patentó la utilización de la papaína para fragmentar las proteínas presentes en la cerveza y para evitar que ésta se enturbie durante el almacenamiento o la refrigeración; este método todavía sigue utilizándose.

Esta enzima se obtiene de la papaya. Una enzima semejante, la bromelaína, se obtiene de la piña tropical.

Un proceso fundamental de la fabricación de la cerveza: la rotura del almidón para formar azúcares sencillos que luego son fermentados por las levaduras, es realizado por las amilasas presentes en la malta, que pueden añadirse de fuentes externas (aunque, lo usual es lo contrario, que la actividad propia de la malta permita transformar aún más almidón del que contiene). Cuando esto es así, las

industrias cerveceras añaden almidón de papa o de arroz para aprovechar al máximo la actividad enzimática.

d. Elaboración de jugos de frutas

A veces, la pulpa de las frutas hace que los zumos sean turbios y demasiado viscosos. Ocasionalmente, también se producen problemas en la extracción y en su eventual concentración, debido a la presencia de pectinas, que pueden destruirse por la acción de las enzimas presentes en el propio zumo o bien por enzimas añadidas desde fuentes externas.

Esta destrucción requiere la actuación de varias enzimas distintas, una de las cuales produce metanol, que es tóxico, pero cuya cantidad -en este caso- no llega a ser preocupante para la salud.

e. Fabricación de jarabes de glucosa y fructosa

Una industria en franca expansión es la obtención de jarabes de glucosa o fructosa, a partir de almidón de maíz. Estos jarabes se utilizan en la elaboración de bebidas refrescantes, conservas de frutas, repostería, etc., en lugar del azúcar de caña o de remolacha.

La forma antigua de obtener estos jarabes -por hidrólisis del almidón con un ácido- ha sido prácticamente desplazada en los últimos

De hecho, la Unión Europea ha limitado severamente la producción de estos "nuevos" jarabes, para evitar el hundimiento de la industria azucarera clásica.

quince años por la hidrólisis enzimática, que permite obtener un jarabe de glucosa de mucha mayor calidad y a un costo muy competitivo.

Las enzimas utilizadas son las α -amilasas y las amiloglicosidasas. La glucosa formada puede transformarse, luego, en fructosa, una azúcar más dulce, utilizando la enzima glucosa-isomerasa, usualmente inmovilizada en un soporte sólido.

f. Refinado de azúcar

La extracción de la sacarosa, a partir de la melaza de la remolacha azucarera puede complicarse por la presencia de rafinosa, un trisacárido que previene la cristalización.

Para incrementar la recuperación del azúcar y mejorar el proceso, la rafinosa puede degradarse enzimáticamente. El resultado de esta degradación es doble; por un lado, favorece la cristalización y, además, produce sacarosa como uno de los productos de la hidrólisis.

La β -galactosida es producida por el hongo *Mortierella*; la reacción hidrolítica se efectúa a pH superior a 5, para evitar la inversión de la sacarosa catalizada por el medio ácido. Algunas veces, se requiere un tratamiento similar en el proceso de obtención a partir de la caña de azúcar, donde el almidón es hidrolizado antes de la cristalización mediante el uso de amilasas.

g. Otras aplicaciones

Las enzimas se utilizan en la industria ali-

mentaría de muchas otras formas, en aplicaciones menos importantes que las que hemos puntualizado.

Por ejemplo, en la fabricación de productos derivados de huevos, las trazas de glucosa presentes, que podrían oscurecerlos, se eliminan con la acción combinada de dos enzimas, la glucosa-oxidasa y la catalasa.

¿Recuerda que los alumnos de la "Tecnatura Superior en Tecnología de los Alimentos" que nos proveyeron su testimonio están estudiando cómo solucionar el inconveniente de las reacciones de pardeamiento químico en la producción de extracto de huevo entero en polvo?

Por otra parte, la papaína y la bromelaína, enzimas que rompen las proteínas, se pueden utilizar, fundamentalmente, durante el cocinado doméstico, para ablandar la carne.

Algunas enzimas, como la lactoperoxidasa, podrían utilizarse en la conservación de productos lácteos.

Consideremos otras aplicaciones.

DETERGENTES. Entre otros aditivos importantes que se encuentran en los detergentes, están las enzimas; los detergentes que contienen enzimas se llaman detergentes biológicos. Su tecnología se desarrolla a partir de la década de los años '60, como una herramienta más de los detergentes para atacar ciertos sustratos (generalmente, proteicos) específicos.

La inclusión más común es de proteasas, que degradan restos de proteínas, y de lipasas, que pueden atacar restos de sustratos lípidos que son los que comúnmente se adhieren a la ropa (y, a ellas adhieren el resto de la suciedad: polvo, restos de otros compuestos orgánicos, etc.).

El problema se presenta al usar exceso de estos detergentes, con lo que se desechan enzimas activas al drenaje; éstas, al llegar a los cuerpos de agua, provocan daños en los seres vivos presentes, por acción directa sobre ellos o sobre los nutrientes que componen su dieta alimenticia.

Entre otros efectos secundarios producidos por estos detergentes, se encuentra que afectan procesos de tratamiento de las aguas residuales; por ejemplo, generando cambios en la demanda bioquímica de oxígeno y en los sólidos suspendidos, provocando efectos corrosivos en algunas partes mecánicas de las plantas y ocasionando interferencias en el proceso de cloración.

ENERGÍA. Otra actividad que implica aplicaciones biotecnológicas es la producción de energía, que reafirma el carácter ventajoso de renovabilidad de las fuentes orgánicas con respecto a los combustibles fósiles. Cada año crecen unos 200 mil millones de toneladas de biomasa (madera, cereales, etc.) de las cuales los humanos usamos sólo un 3 %. Por lo tanto, este rubro ofrece un enorme potencial que puede ser aprovechado. Un ejemplo clásico de biocombustible es el alcohol obtenido por fermentación de material rico en azúcares y almidón, o de residuos orgánicos varios, incluyendo los forestales.

Si desea ahondar en esta dirección, le interesará leer los libros *Quemador de biomasa* y *Biodigestor* (Pizarro, Sergio. 2005. Instituto Nacional de Educación Tecnológica), de esta misma serie de publicaciones.

Su versión digital está disponible en www.inet.edu.ar

El principal obstáculo para la viabilidad de esta propuesta es el costo, puesto que el petróleo sigue siendo más barato; sin embargo, los avances tecnológicos están permitiendo acortar la brecha.

TRATAMIENTO DE DESECHOS. Es en el tratamiento de desechos donde la biotecnología puede tener un mayor impacto a escala mundial. Los Estados Unidos, por ejemplo, gastan 40 mil millones de dólares al año para combatir la polución que generan los 600 millones de toneladas de desechos industriales.

Bacterias, microalgas, levaduras, hongos y plantas han mostrado una notable eficiencia para metabolizar residuos orgánicos, xenobióticos y metales pesados (bioremediación y fitoremediación), reduciendo hasta 20 veces el costo involucrado en la incineración de dichos residuos.

Por otra parte, se han hecho grandes avances en el tratamiento de derrames de petróleo con microorganismos.

En fin, hay muchas otras áreas susceptibles de ser abordadas exitosamente mediante el

empleo de diversas biotecnologías. Sin embargo, a pesar de los promisorios resultados obtenidos hasta el momento, persisten aún varias limitaciones técnicas y económicas que requieren ser resueltas. En este sentido, la biotecnología no debe ser vista como una panacea; en cada caso se requiere ponderar sus ventajas con respecto a las tecnologías tradicionales.

Al considerar las aplicaciones enzimáticas en el tratamiento de los residuos, se debe diferenciar entre las situaciones en las que el residuo de un proceso es el material crudo y las situaciones siguientes; por ejemplo, entre la conversión de almidones y los procesos que ayudan a reducir los costos asociados del tratamiento. Porque, existe un amplio número de industrias de procesamiento de alimentos que produce residuos que, necesariamente, deben ser tratados; por ejemplo, el empleo de las lipasas asociadas con cultivos bacterianos para eliminar los depósitos de grasa procedentes de las paredes de las tuberías que transportan un efluente.

Otras enzimas degradantes de polímeros son las celulasas, proteasas y amilasas. Una aplicación particular que puede describirse como tratamiento de residuos es, como veíamos, el empleo de proteasas en las preparaciones comerciales de detergentes.

Además de estas hidrólisis de materiales poliméricos, existen también aplicaciones de enzimas capaces de degradar compuestos altamente tóxicos que podrían inhibir procesos de tratamiento biológicos. Un ejemplo específico es el uso de peroxidasa para iniciar la degradación de fenoles y aminas aromáticas que se presentan en aguas residuales.

En términos más amplios, es posible anticipar que los procesos basados en el empleo de organismos construidos genéticamente para degradar compuestos, podría representar un proceso mucho más económico.

PRODUCCIÓN DE AMINOÁCIDOS. Se pueden sintetizar aminoácidos empleando un proceso químico, con una mezcla de D y L isómeros; pero, puesto que solamente el L-isómero es biológicamente activo, la mezcla debe ser separada en sus dos componentes. Este proceso puede llevarse a cabo mediante el empleo de la enzima aminoacilasa; una vez sintetizada, la mezcla del DL aminoácidos se acetila.

En la producción de otros aminoácidos se ha incluido, también, una etapa mediada por enzimas, incluyendo a la D-fenilglicinasa -utilizada en la síntesis de penicilina semisintética- y el L-triptófano -un aminoácido esencial que puede sintetizarse a partir del indol-.

En términos de aplicación a gran escala, la producción de aminoácidos esenciales como suplementos dietéticos, presenta una importancia particular. Si una proteína celular sencilla queda establecida en los mercados de alimentación animal y humana, se puede esperar que la demanda para aminoácidos esenciales se incremente, ya que muchas proteínas microbianas son deficitarias en algunos de estos residuos cruciales.


Producción de enzimas

La fuente de enzima puede ser vegetal, animal y microbiana.


Enzima	Origen vegetal	Su fuente son los cereales. Su aplicación básica es la industria de la malta de cebada (cervecerías y malterías). También se obtienen proteasas de diversas plantas; esto sucede, por ejemplo, con la papaina, la bromelaina y la ficina.
	Origen animal	Su aplicación básica es la industria de la carne. Su fuente es el páncreas, el estómago y el hígado de animales.
	Origen microbiano	Las enzimas -bacterias, hongos y levaduras- se producen en la industria de la fermentación.

La fermentación con células libres constituye, todavía, el método más utilizado. Su manipulación es relativamente fácil y, en algunos casos, no requiere un medio de cultivo estéril. Ya que las células se producen con la misma rapidez con la que son eliminadas del reactor, existe una síntesis constante de nuevo catalizador.

Suministrando al reactor las condiciones apropiadas para el crecimiento, la fermentación puede transcurrir en un estado estacionario en el que la eficiencia catalítica no cambia. Además, a partir de la degradación catabólica de los nutrientes, la célula que crece activamente es capaz de suministrar la energía necesaria para la síntesis.



Estos principios son los que, también, rigen el recurso didáctico **biorreactor para la producción de alimentos** que estamos proponiéndole diseñar, construir e integrar a sus clases.



Sin embargo, el mayor número de reacciones requeridas para el metabolismo significa, también, aumento de probabilidades para la formación de productos secundarios no deseados. Este hecho, junto con la producción de un exceso de biomasa, limita el rendimiento del medio del cultivo y, por consiguiente, la economía del proceso.

Las células inmovilizadas pueden considerarse como un estado intermedio entre la fermentación, las células libres y las enzimas inmovilizadas. En algunos casos, las células se destruyen antes de inmovilizarlas y se utiliza un solo componente enzimático; por esto, en ellos, la distinción entre células y enzimas inmovilizadas constituye sólo una cuestión semántica.

Conclusiones

- Las enzimas son catalizadores de origen biológico que cumplen muchos requisitos para impulsar nuevas industrias químicas.
- La tecnología enzimática tiene múltiples aplicaciones en la fabricación de alimentos. Los progresos que están realizando, actualmente, la ingeniería genética y la biotecnología permiten augurar el desarrollo cada vez mayor del uso de las enzimas.
- La utilización de enzimas en los alimentos presenta una serie de ventajas, además de las de índole económico y tecnológico.
- Las enzimas utilizadas dependen de la industria y del tipo de acción que se desee obtener.
- La fuente de enzimas puede ser vegetal, animal o microbiana.
- La biosíntesis de enzimas se puede manipular genéticamente, para optimizar los procesos; pero, se deben tener en cuenta, las respectivas normas.
- La producción de enzimas a gran escala tiene su principal aplicación en la industria de la fermentación.

La Biotecnología y sus aplicaciones en la tecnología de los alimentos

En términos generales, la **biotecnología** se puede definir como un conjunto de técnicas en que se utilizan organismos vivos, partes de ellos o moléculas derivadas de organismos vivos, para fabricar o modificar productos; además, comprende aquellas técnicas de modificación genética de variedades de plantas, animales o microorganismos, para su utilización con un propósito específico.

Las principales disciplinas que se aplican en el ámbito de la biotecnología son la microbiología, la bioquímica y la ingeniería genética.

La biotecnología introdujo cambios decisivos en la comunidad industrial del siglo XXI, debido a su potencial para producir cantidades prácticamente ilimitadas de:

- sustancias de las que nunca se había dispuesto antes,
- productos que, normalmente, sólo se obtenían en cantidades pequeñas,
- productos con costo de producción mucho menor que el de los fabricados por medios convencionales,
- productos que ofrecen mayor seguridad que los hasta ahora disponibles,
- productos obtenidos a partir de nuevas materias primas más abundantes y baratas.

El objetivo fundamental de la **biotecnología de alimentos** es la investigación acerca de los procesos de elaboración de productos alimenticios mediante la utilización de organismos vivos o procesos biológicos o enzimáticos, así como la obtención de alimentos genéticamente modificados mediante procedimientos tecnológicos.

Los aportes de la biotecnología en los procesos productivos de la industria alimentaria se enfocan a dos grandes líneas prioritarias:

- fermentaciones,
- alimentos basados en organismos genéticamente modificados (GMO).

La **fermentación** -como veíamos- es la transformación de una sustancia orgánica (generalmente, carbohidratos) en otra utilizable, producida mediante un proceso metabólico, por microorganismos o por enzimas que provocan reacciones de oxidación-reducción, de las cuales el organismo productor deriva la energía suficiente para su metabolismo.

Las fermentaciones pueden ser anaeróbicas, si se producen fuera del contacto con el aire, o aeróbicas, que sólo tienen lugar en presencia de oxígeno.

Las fermentaciones más comunes en la industria de alimentos son la del azúcar, con formación de alcohol etílico, en la elaboración de vino, cerveza, sidra; la del alcohol,

con formación de ácido acético, en la elaboración del vinagre; y la fermentación láctica, en la elaboración de quesos y yogures.



Actualmente, en la industria fermentativa se utilizan tanques de fermentación en los que ésta se realiza en condiciones controladas de temperatura y presión, y que permiten regular constantemente la entrada y salida de productos.

Una modelización de estos tanques de fermentación es la de nuestro biorreactor.



Los diversos tipos de fermentaciones en la industria de alimentos se pueden clasificar de la siguiente manera:

Fermentaciones no alcohólicas:

- panadería (fermentación por levaduras de panadería),
- vegetales fermentados (encurtidos en general),
- ensilado (fermentación de forraje).

Fermentaciones alcohólicas:

- vino,
- cerveza,
- sidra,
- destilados,
- vinagre.

Fermentaciones cárnicas:

- embutidos crudos curados (salame, chorizo español, etc.),
- jamón serrano (producto curado),
- productos de pescado fermentado (fer-

mentación en filetes de pescado ahumado).

Fermentaciones lácticas:

- leches fermentadas en general,
- yogur (fermentación de leche con microorganismos acidificantes, como *Lactobacillus*),
- quesos (fermentación con determinados cultivos bacterianos inoculados),
- bebidas lácticas alcohólicas (kéfir).

Fermentaciones especiales:

- salsa de soja.

Resumiendo, podemos decir que la biotecnología tiene un amplísimo rango de aplicación en la industria de alimentos, y que ofrece los medios para producir alimentos de mejor calidad, en forma más eficiente y segura para la salud y para el medio ambiente.

Una de las promesas de la biotecnología es generar innovaciones y mejoras en los alimentos, conduciendo a prácticas agrícolas sustentadas ecológicamente, contribuyendo a una agricultura sustentable que utiliza con respeto los recursos del medio ambiente.

Mientras el área de mayor aplicación y la más antigua de la biotecnología de alimentos se registra en la fermentación, el área más reciente y de mayor proyección se orienta al desarrollo de alimentos genéticamente modificados o transgénicos (GMO), cuyas principales ventajas se ven en mejoras nutricionales, mayor productividad de cosechas y mayor protección medioambiental, aportan-

do soluciones a los graves problemas de escasez de alimentos -fundamentalmente, en los países en vías de desarrollo-.

Utilización de los microorganismos en la preparación de alimentos

Los microorganismos son, sin duda, las entidades vivientes más numerosas sobre este planeta; se los encuentra existiendo, activa o pasivamente, dondequiera que haya organismos vivos.

Mientras que la energía para la vida es capturada por las plantas verdes en el proceso de fotosíntesis, los microorganismos son responsables, generalmente¹, de la descomposición final de los productos fotosintéticos. En cada lugar en el que las condiciones de nutrientes y medio sean favorables para la actividad microbiana, ésta se encuentra; y, el hombre debe competir con todas las otras entidades vivientes sobre la Tierra para retener los suministros de alimentos para sí mismo.

Aumento en las poblaciones bacteriales en la leche a temperatura ambiente	
Almacenamiento/ horas	Cantidad de bacterias/ ml
0	137.000
24	24.674.000
48	639.885.000
72	2.407.083.000
96	5.346.667.000

¹Los animales juegan un papel menor en el ciclo; en vista de que las bacterias, las levaduras y los mohos son encontrados por todo el medio circundante del hombre, se anticipa que estos microorganismos están en competencia directa con otras entidades vivientes por la energía para la vida.

A través de su estudio y como un fruto de su curiosidad, el hombre ha desarrollado un buen número de sistemas de control de microorganismos. Uno de ellos es la conservación del alimento, monitoreando y, aún, estimulando el crecimiento de organismos - para crear condiciones desfavorables para otros microbios-, y reteniendo los nutrientes deseados en los productos alimenticios.

La producción de cantidades sustanciales de ácido por ciertos organismos, por ejemplo, crea condiciones desfavorables para otros.

Aunque los microorganismos no fueron identificados como agentes importantes en la descomposición del alimento sino hasta hace un siglo, la fabricación de vino, el horneado del pan, la manufactura del queso y el salado de los alimentos se ha venido practicando, como veíamos, desde hace más de cuatro mil años. Durante todo este tiempo, la humanidad ha practicado la conservación de alimentos, utilizando organismos desconocidos, invisibles, activos, vivientes.

Conservación de alimentos

Recordemos algunos procesos asociados con la conservación de los alimentos:

- La **respiración** es aquel proceso en que los carbohidratos son convertidos aeróbicamente en dióxido de carbono y agua, con liberación de grandes cantidades de energía.
- La **fermentación** es un proceso de oxidación anaeróbica -o parcialmente anaeró-

bica- de carbohidratos.

- La **putrefacción** es la degradación anaeróbica de las proteínas.

Consideremos, también, que son tres las características importantes que deben tener los microorganismos para que sean útiles en la fermentación:

- El microorganismo debe ser capaz de crecer rápidamente en un sustrato y medio adecuados, y ser fácilmente cultivado en grandes cantidades.
- El organismo debe tener habilidad para mantener constancia fisiológica bajo las condiciones anteriores, y dar las enzimas esenciales fácil y abundantemente, con objeto de que los cambios químicos deseados puedan ocurrir.
- Las condiciones del medio circundante requerido para el crecimiento máximo y la reproducción deben ser, comparativamente, simples.

La aplicación de los microorganismos en la conservación de alimentos debe ser hecha en tal forma que esté disponible una protección positiva para el control de la contaminación. Los microorganismos usados en las fermentaciones producen grandes cantidades de enzimas.

Las bacterias, levaduras y mohos, siendo células sencillas, tienen las capacidades funcionales de crecimiento, reproducción, digestión, asimilación y reparación en una célula, que las formas altas de vida tienen distribuidas por los tejidos. Por lo tanto, puede anticiparse que las entidades vivientes

de una célula sencilla completa, tal como la levadura, tienen una mayor productividad de enzimas y, por consiguiente, una mayor capacidad fermentadora que la que puede encontrarse en otras especies vivientes.

El cloruro de sodio es útil en los procesos de fermentación de alimentos, limitando el crecimiento de organismos putrefactores e inhibiendo el crecimiento de un gran número de otros organismos.

Ciertas bacterias toleran y crecen en elevadas cantidades de sal en solución.

Las enzimas son las sustancias reactivas que controlan las reacciones químicas en una fermentación. Los microorganismos de cada género y especie son, en realidad, almacenes de enzimas, con su propia y especial capacidad para producir y secretar enzimas. Un gramo seco de un organismo dotado de enzimas fermentadoras de lactosa altamente activas, por ejemplo, puede abatir 10.000 gramos de lactosa por hora. Esta gran actividad química va asociada con los requerimientos del proceso de vida de los organismos, la facilidad con que obtienen energía para vivir, su gran capacidad de crecimiento y rapidez de producción, y su gran posibilidad para el mantenimiento de la entidad viviente. Al vivir, los organismos consumen energía; el producto de sus acciones es un sustrato de energía menor que el del material nativo sobre el cual se plantaron.

Orden de la fermentación

Los microorganismos tienen disponibles carbohidratos, proteínas, grasas, minerales y nutrientes menores en los materiales alimenticios nativos. Y atacan:

- primero, a los carbohidratos;
- después, a las proteínas;
- luego, a las grasas.

Hay un orden de ataque, aún en los carbohidratos:

- primero, los azúcares;
- después, los alcoholes;
- luego, los ácidos.

Ya que el primer requerimiento para la actividad microbiana es la energía, las formas más eficaces, en orden de preferencia, parecen ser las cadenas de carbono CH_2 , CH , CHOH y COOH .

En cambio, algunas cadenas, como los radicales CN , son inútiles para los microorganismos.

Fermentación de carbohidratos

La palabra *fermentación* ha sufrido cambios en sí misma. El término fue empleado para describir la condición de burbujeo o ebullición vista en la producción de vino, antes de que las levaduras fueran descubiertas. Sin embargo, después del descubrimiento de Pasteur, la palabra fue usada en relación con

la actividad microbiana y, al final, con la actividad enzimática.

Corrientemente, el término es usado aún para describir la evolución de dióxido de carbono gaseoso durante la acción de células vivientes (Pero, ninguna de los dos -ni la evolución de gas ni la presencia de células vivientes- son esenciales para la acción fermentadora, como se ve en las fermentaciones del ácido láctico -donde no se libera gas- y en las fermentaciones efectuadas únicamente con enzimas).

Hay una diferencia clara entre fermentación y putrefacción:

- la fermentación es una descomposición por acción sobre carbohidratos,
- la putrefacción relaciona la acción general de los microorganismos sobre las proteínas.

Los procesos de fermentación, generalmente, no desprenden olores pútridos y suelen producir dióxido de carbono. En la descomposición, en cambio, los materiales desprendidos pueden contener dióxido de carbono; los olores característicos son sulfuro de hidrógeno y azufre, e incluye productos de la descomposición de las proteínas. Una fermentación pútrida es, usualmente, una fermentación contaminada. Las coles pútridas o los encurtidos resultan de desarrollos microbianos que descomponen las proteínas, más que de la fermentación normal de carbohidrato a ácido.



Tipos de fermentación de azúcares

Los microorganismos son usados para fermentar azúcar por oxidación parcial o completa, para fermentación alcohólica, para fermentación de ácido láctico, para fermentación butírica y para otras acciones fermentadoras menores.

- Las bacterias y los mohos son capaces de convertir el azúcar (glucosa) a dióxido de carbono y agua; pocas levaduras pueden ejecutar esta acción.
- La fermentación más común es aquella en que ocurre una oxidación parcial del azúcar. En este caso, el azúcar puede ser convertida en ácido y, finalmente, el ácido en dióxido de carbono. Algunos mohos son usados en la producción de ácido cítrico de soluciones de azúcar; si se permite que siga la fermentación, finalmente, el ácido es oxidado para dar dióxido de carbono y agua.
- Las levaduras son los convertidores de aldehídos a alcoholes más eficientes. Muchas especies de bacterias y levaduras son capaces de producir alcohol. La levadura, *Saccharmyces ellipsoideus* es de gran importancia industrial en las fermentaciones alcohólicas.
- Las fermentaciones del ácido láctico son

Las levaduras industriales dan alcohol en cantidades recuperables; otros organismos son capaces de producir alcohol. Esto ocurre en mezclas con aldehídos, ácidos y ésteres, de tal manera que hacen difícil su recuperación.

de gran importancia en la conservación de alimentos. El azúcar del producto alimenticio puede ser convertida a ácido láctico y a otros productos finales. La fermentación del ácido láctico es eficiente y la fermentación de los organismos es de crecimiento rápido. Las inoculaciones naturales son tales que, en un medio adecuado, la bacteria del ácido domina, por ejemplo, la acidificación de la leche.

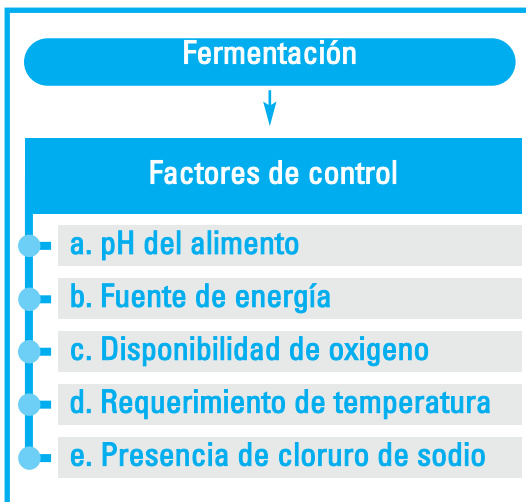
- Las fermentaciones butíricas son menos útiles en la conservación de alimentos que las anteriores. Los organismos son anaeróbicos, e imparten sabores y olores indeseables a los alimentos. Los organismos anaeróbicos capaces de infectar al hombre causándole enfermedades son, comúnmente, fermentadores butíricos. El dióxido de carbono, el hidrógeno, el ácido acético y los alcoholes son otros productos de fermentación.
- Además de las anteriores, hay una fermentación que involucra mucha producción de gas. Es útil en la conservación de alimentos, aunque la producción de gas tiene sus desventajas: el dióxido de carbono y el hidrógeno tienen poco o ningún poder conservador en las concentraciones encontradas, en comparación con el ácido láctico; y, también, los organismos importantes en la descomposición de alimentos son capaces de crecer en tales condiciones circundantes. En las fermentaciones gaseosas, las moléculas de azúcar son alteradas para formar ácidos, alcoholes y dióxido de carbono. Usualmente, es necesario incluir algún otro medio de control -tal como añadir cloruro de sodio a un sustrato- en esta forma de fermentación.

- Hay muchas acciones fermentadoras posibles en los alimentos que actúan en detrimento de la aceptabilidad de los alimentos tratados. Generalmente, los organismos capaces de atacar a los altos carbohidratos -tales como celulosa, hemicelulosa, pectina y almidón- dañan la textura, el sabor y la calidad de los alimentos tratados.

Control de las fermentaciones

Los alimentos son contaminados naturalmente con microorganismos y se descomponen si se los descuida. El tipo de acción que desarrollan depende de las condiciones que les sean impuestas.

La más favorable para un tipo dado de fermentación bajo una condición, es alterada por ligeros cambios en un factor de control. La carne descuidada, por ejemplo, se enmohece y se pudre naturalmente. Si se añade salmuera o sal, en cambio, toman posesión diferentes organismos.



a. El pH del alimento es un factor de control

La mayoría de los alimentos que el hombre consume en su forma nativa y fresca son ácidos.

El valor del pH de:

- las hortalizas tiene un rango de 6.5 a 4.6;
- las frutas va de 4.5 a 3.0;
- la carne de animal muerto recientemente es, aproximadamente, neutra (7.2); pero, al cabo de dos días, el valor del pH es de 6.0, aproximadamente;
- la leche es cercano a 6.4.

En vista de que las dos fermentaciones importantes de estos alimentos son la oxidante y la alcohólica, el crecimiento de los organismos es controlado por la acidez del medio: en las frutas y jugos de frutas, las levaduras y los mohos se establecen rápidamente; en las carnes, las levaduras son menos activas que las bacterias; en la leche, una fermentación ácida es establecida en sólo unas horas.

En nuestro equipo **Biorreactor para la producción de alimentos**, podemos controlar esta variable mediante el empleo de un pH-metro electrónico o del uso de tiras de papel pH en los rangos apropiados.

Asimismo, es posible emplear soluciones tamponadoras -*buffer*- de tipo carbonato o fosfato, en los casos en que se requiera un control estricto de esta variable. Su uso, sin embargo, no se registra en la industria, dado que resultan perjudiciales para la salud o afectan las propiedades organolépticas de los alimentos, prefiriéndose el uso de acidulantes y estabilizantes permitidos.

b. Fuente de energía

Visto que la necesidad inmediata de los microorganismos es una fuente de energía, los carbohidratos solubles rápidamente disponibles influyen la población microbiana que domina.

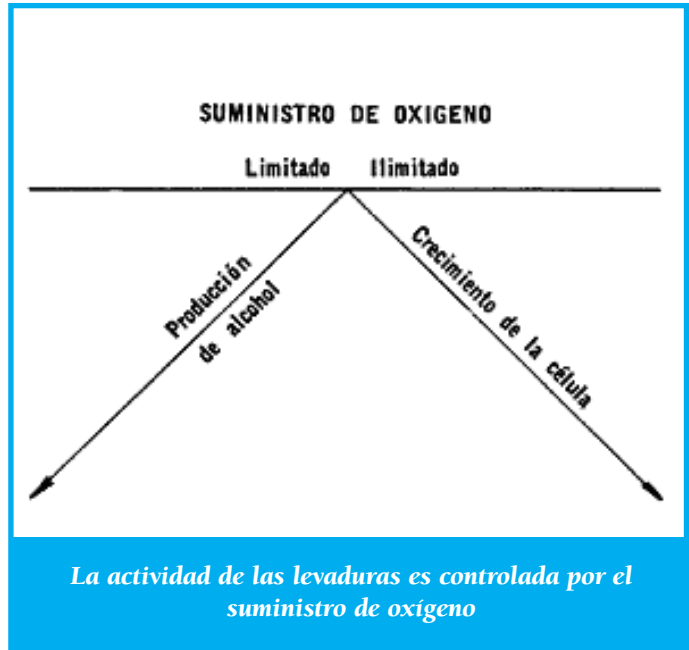
En la leche, el azúcar presente es la lactosa; entonces, aquellos organismos que rápidamente aumentan en número son los organismos fermentadores de la lactosa.

Debido a que las fuentes de energía están disponibles en los alimentos del hombre, éstas no suelen ser un factor limitante.

c. Disponibilidad de oxígeno

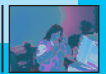
El grado de anaerobiosis es un factor principal en el control de las fermentaciones. En las levaduras, cuando grandes cantidades de oxígeno están presentes, es promovida la producción celular de aquellas; en cambio, si se desea producir alcohol, se requiere un suministro limitado de oxígeno; los mohos, por su parte, son aerobios y resultan controlados por su ausencia; las poblaciones bacterianas que dominan en sustrato pueden ser manejadas por sus requerimientos de oxígeno y por su disponibilidad.

Cuando otros factores son óptimos, el producto final de una fermentación puede ser controlado, en parte, por la tensión de oxígeno del sustrato.



Mediante el agitado mecánico, en el biorreactor podemos provocar la aireación de la mezcla reactante.

Con el potenciómetro *-dimmer-* y el selector de control de velocidad del dispositivo, es posible inducir cambios en el nivel de aireación de la reacción, lo que favorece el proceso de aporte de oxígeno a los sustratos.



d. Requerimiento de temperatura

Cada grupo de microorganismos tiene una temperatura óptima para su crecimiento; por lo tanto, la temperatura del sustrato ejerce un positivo control.

Para obtener el máximo desempeño durante

la fermentación, debe crearse la temperatura óptima para los organismos.

Consideremos los procesos detectados en la fermentación de la leche:

La leche mantenida a:

0 °C, tiene poca actividad microbiana y expansión retardada en los números bacteriales.

4 °C, manifiesta un ligero crecimiento de organismos y un desarrollo más rápido de sabores extraños.

20 °C, usualmente, implica un crecimiento dominante del *Streptococcus lactis*.

37 °C, registra poblaciones de *Lactobacillus bulgaricus*.

65 °C, implica una mayoría de organismos muertos, aún cuando el *Lactobacillus thermophilus* puede crecer.

La temperatura de la leche es vista como un factor de control en el crecimiento de los anteriores organismos.

Las bacterias del ácido acético son sensibles a la temperatura y tienen relaciones de temperatura definidas y peculiares, importantes en la manufactura del vinagre:

A los:

7 °C, los organismos crecen lentamente.

20 °C, las células parecen normales, creciendo y desarrollándose en cadenas de número variable; las paredes de las células se hinchan.

37 °C, han sido observados largos y transparentes filamentos -como hilos-; esta condición parece ser inducida por la temperatura.

Bajando la temperatura del sustrato a 26 °C, tal como se usa en la producción de vinagre, el resultado es la producción de algunas células con características y comportamiento normales.

La temperatura a la cual es mantenido el alimento determina, dentro de ciertos límites, la naturaleza de los organismos capaces de producir la fermentación deseada o la descomposición.



En nuestro **biorreactor** podemos controlar la temperatura mediante el uso del termómetro y regularla utilizando el control de voltaje sobre el reóstato *-dimmer-* del calentador.

Mediante el agregado de hielo molido o granizado, podemos disminuir la temperatura, utilizando un baño de agua fría. Este procedimiento permite medir la eficiencia de un mismo proceso realizado a distintas temperaturas.



e. Presencia de cloruro de sodio

La sal es uno de los principales alimentos asociados con la conservación de alimentos. En las fermentaciones, la sal puede ejercer un papel en la selección de los organismos a los que se permite crecer; porque, la cantidad de sal añadida determina si cualquier organismo puede o no crecer, y qué tipos crecerán; esto controla, por lo tanto, la actividad de la fermentación.

La sal en solución en los sustratos alimenticios, ejerce una acción represiva sobre el crecimiento de ciertos organismos: puede limitar la humedad disponible, puede deshidratar el protoplasma y causar plasmólisis.

En los alimentos que contienen sal como conservador, ésta ha sido ionizada, colectando moléculas de agua alrededor de cada ion.

El proceso es llamado hidratación iónica. A mayor concentración de sal, más agua empleada para hidratar los iones.

Una solución saturada a una temperatura es aquella que ha alcanzado un punto donde no hay disponible energía adicional para disolver la sal. En este punto (solución de cloruro de sodio al 26.5 % a la temperatura del cuarto), las bacterias, las levaduras y los mohos son incapaces de crecer: No hay agua libre disponible para el crecimiento microbiano.

En la descripción de la acción conservadora de la sal, es necesario considerar el efecto de deshidratación, el efecto del ion cloruro, la tensión reducida de oxígeno y la interferencia con la acción de las enzimas.

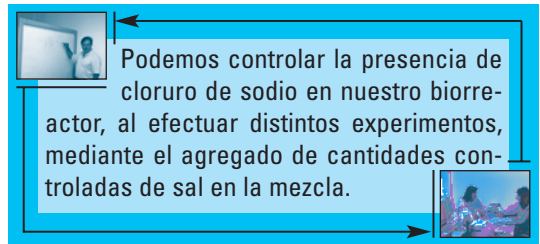
Los organismos pueden ser clasificados o seleccionados sobre la base de su tolerancia a la sal. Éste es un procedimiento bien empleado en la identificación de las bacterias. También es funcional en el control de las fermentaciones:

- Ciertas bacterias de ácido láctico, levaduras y mohos, toleran o se adaptan a soluciones moderadas de sal.
- Las aerobias y anaerobias formadoras de esporas no toleran las soluciones de sal o son inhibidas por la bacteria del ácido láctico para que la producción de ácido. La influencia inhibidora de la sal hace que las bacterias formadoras de esporas resulten de poca importancia.
- Las bacterias proteolíticas y los organismos pectolíticos también son inhibidos por las soluciones de sal y ácido. Sin embargo, estos organismos son más sen-

sibles al ácido que a la sal.

- En las condiciones en que se permite crecer a un moho, tolerante a la sal y utilizador de ácido, disminuyendo la acidez del sustrato, puede anticiparse que los organismos causantes de la descomposición y pectolíticos aumentarán en número y causarán la descomposición del alimento.

La sal, el vinagre y las especias son usados, comúnmente, en acción complementaria en muchos productos alimenticios fermentados. Las especias varían en su actividad antibacterial; algunas (aceite de mostaza) son muy activas, otras (pimienta negra) tienen poca actividad.



Podemos controlar la presencia de cloruro de sodio en nuestro biorreactor, al efectuar distintos experimentos, mediante el agregado de cantidades controladas de sal en la mezcla.

Productos fermentados



Productos fermentados	
a.	Vino y cerveza
b.	Vinagre
c.	Pan
d.	Ácido láctico
e.	Bebidas lácteas fermentadas
f.	Manteca
g.	Queso

a. Vino y cerveza

El vino y la cerveza son productos fermentados similares, originados en la antigüedad.

El **vino** es el producto de una fermentación alcohólica del jugo de uvas sanas, maduras.

Cualquier "vino" de otro jugo de fruta, debe llevar la anotación de, por ejemplo, que es vino de "cereza" o de "mora", indicando la fuente del jugo de fruta.

La habilidad para producir agradables bebidas efervescentes por la fermentación de jugos de frutas naturales es una demostración del ingenio del hombre; y, por otra parte, desde los primeros registros de la historia, el vino y la cerveza han sido importantes para el comercio.

La formación de alcohol del azúcar es realizada por levaduras fermentadoras del género *Saccharomyces*. Así, *S. ellipsoideus* es una verdadera levadura de vino. Veamos qué sucede con ella: Normalmente, hay una población de levaduras sobre los pellejos de uva; cuando una célula de fermentación tiene acceso al azúcar del jugo de una uva molida, comienza la fermentación. Aquí, la verdadera levadura del vino está presente en cantidades suficientes para dominar la fermentación; pero, el jugo debe ser calentado para matar los organismos contaminadores y reinoculado con cultivos puros de levaduras del vino.

En ciertos casos especiales -por ejemplo, en la fabricación del vino efervescente burbujeante-, es esen-

Las uvas para la manufactura del vino varían en el contenido de azúcar de 12 a 25 %.

cial que ocurra una fermentación secundaria en la botella, para desarrollar un contenido de dióxido de carbono. En un medio y sustrato adecuados, la cantidad de alcohol producido depende de la cantidad de azúcar presente y de la eficiencia de la levadura para convertir el azúcar en alcohol.

La habilidad de las diferentes clases de levadura para sobrevivir en concentraciones alcohólicas que van en aumento, varía según la especie y la cepa. En general, las levaduras son incapaces de tolerar los productos de fermentación más allá de determinadas concentraciones: usualmente, cuando ha sido sobrepasado el nivel de 12 a 16 % de alcohol, aún cuando algunas pueden tolerar hasta 18 % de nivel etílico.

Los vinos fortificados son productos naturales de fermentación a los que se ha añadido alcohol. Por cada 100 partes de azúcar presentes en el jugo, se producen, aproximadamente, 51 % de alcohol y 49 % de dióxido de carbono. Los vinos secos son vinos que contienen sólo un poco de azúcar no fermentada.

El añejamiento de los vinos mejora el sabor y el aroma, debido a la oxidación y a la formación de ésteres. Estos ésteres de altos ácidos formados durante el añejamiento le dan al vino su esencial aroma agradable.

El vino añejado puede ser pulido por filtración, para darle una apariencia clara y brillante antes del embotellado. En los vinos blancos no ha sido extraído el pigmento rojo de los pellejos de las uvas; éstos resultan más bajos en taninos y extractos.

La manufactura del vino permanece aún

entre arte y ciencia, y depende de la naturaleza y de las condiciones circundantes para el cultivo de la uva. Ciertas áreas muy localizadas tienen la combinación apropiada de tipo de suelo, luz solar, temperatura y precipitación pluvial requeridos para el crecimiento de la uva, y han sido conocidas a través de todas las sociedades del hombre.

La **cerveza**, a su vez, es el producto de fermentación con sabor y olor característicos de malta y lúpulo. El contenido alcohólico va de 3 a 7 %. La clase de levadura usada, la composición de la cerveza sin fermentar y la temperatura de fermentación son factores de control.

El lúpulo tiene, cuanto menos, dos componentes antibacterianos, además de intervenir en la definición del sabor.

La cerveza nueva debe ser inoculada con levaduras al comenzar la fermentación. La cerveza envasada, usualmente, es pasterizada; la de barril no lo es.

Comúnmente, se usan temperaturas de pasteurización de 65 °C.

b. Vinagre

Es un condimento preparado a partir de materiales que contienen azúcar o almidones, por fermentación alcohólica seguida de fermentación acética.

Consiste, principalmente, en una solución de ácido acético en agua; pero, también contiene sustancias que imparten sabor, colorantes y extractadas, frutas ácidas -manzanas, uvas,

cerezas y peras-, ésteres y sales inorgánicas, variando de acuerdo con su origen; porque, aunque el ácido acético es el ingrediente activo de todos los vinagres, estas sustancias adicionales imparten calidad distintiva y agradable al producto; el vinagre de sidra o vinagre de manzana se define, por ejemplo, como el producto de una fermentación alcohólica seguida de una fermentación acética del jugo de manzanas.

El vinagre contiene, cuanto menos, 4 gramos de ácido acético por 100 mililitros.

Es interesante señalar que los comerciantes usan el término "resistencia de grano" más que el de "por ciento" de ácido acético. Multiplicando el por ciento de ácido por diez, obtienen la resistencia del vinagre en granos. Así, un vinagre que contiene cuatro gramos de ácido acético por 100 cm³ (aproximadamente, 4 % de ácido) es de 40 granos. El vinagre ofrecido para la venta debe tener, cuando menos, esta cantidad de ácido, ser saludable, hecho de frutas sanas, comestibles, y apropiadamente etiquetado.

El vinagre de sidra que, durante el curso de la manufactura, ha desarrollado ácido acético excediendo el 4 %, puede ser reducido a una resistencia no menor de 4 %. El vinagre de sidra así producido no es considerado como adulterado; pero, debe ser etiquetado, al efecto, como "vinagre de sidra diluido".

La manufactura del vinagre requiere de dos procesos de fermentación:

- el primero, transforma el azúcar en alcohol, por levaduras,

- el segundo, cambia el alcohol en ácido acético y es llevado a cabo por bacterias del vinagre.

Una de las principales causas de fallas en la preparación del vinagre y un factor no considerado a menudo, es que la manufactura del vinagre involucra estas dos muy distintas fermentaciones y que la primera debe ser completada antes de empezar la segunda.

La formación de alcohol del azúcar es realizada por fermentaciones productoras de alcohol; el mejor ejemplo de éstas es la *Saccharomyces ellipsoideus*. El cambio que ocurre es descrito por la siguiente ecuación:



Azúcar simple + levadura = Alcohol + dióxido de carbono

Además del azúcar -de la que consisten, en gran parte, los sólidos de la sidra-, la sustancia representada por la acidez y la ceniza es necesaria para que las levaduras lleven a cabo su fermentación tan bien como la subsiguiente fermentación acética.

La acidez de la sidra es, principalmente, ácido málico, que sirve para protegerla del desarrollo de bacterias indeseables. Los minerales en la ceniza son esenciales para el crecimiento microbiano.

Normalmente, las levaduras están presentes en la sidra, la que debe ser mantenida durante la fermentación a una temperatura favorable de 23 a 25 °C; a una temperatura cercana a 37 °C, la fermentación se torna anormal y cesa alrededor de los 40 °C.

La fermentación alcohólica ocurre, natural-

mente, con el crecimiento y actividad de las levaduras presentes en la sidra. Sin embargo, una fermentación así es insegura y, usualmente, desperdiciadora de azúcar, y da un vinagre resultante de variable e incierta calidad. Es mejor añadir una levadura iniciadora.

La levadura iniciadora es inoculada en un galón de sidra que ha sido previamente llevada a la ebullición y enfriada durante la noche antes de ser añadida la levadura. El galón es aireado, trasegando el líquido y colocado junto a un lugar caliente. En 24 horas, el jugo está fermentando vigorosamente y puede ser usado para inocular un barril de 25 o 50

galones de jugo fresco. Por último, si así se desea, el contenido de este

barril puede ser usado para inocular el contenido de otros recipientes de jugo.

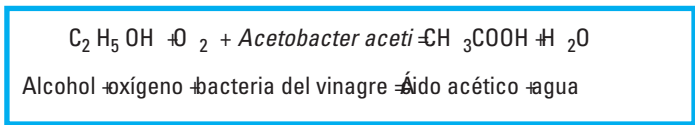
El sabor del vinagre resultante puede ser mejorado usando un cultivo de levaduras del vino, que haya sido generado especialmente para la producción de vinagre. Con excepción de la aireación al principio, no es necesario el aire durante la fermentación alcohólica y, en las últimas etapas, incluso, es objetable, debido a que puede dar como resultado el crecimiento de bacterias indeseables, con subsiguiente pérdida de alcohol.

La fermentación alcohólica debe ser realizada en recipientes en los cuales el jugo no esté indebidamente expuesto al aire. Un barril tendido horizontalmente con la boca tapada con algodón o una trampa de aire, es satisfactorio. Para pequeñas cantidades, puede ser usada una botella grande con la boca

tapada con algodón. El recipiente no debe estar sellado al aire, ya que puede estallar debido a la presión del gas producido.

Después de la fermentación alcohólica, el jugo es liberado de fermentaciones, pulpa y sedimento por asentamiento, y trasegado a otro recipiente, retirándosele éstos cuidadosamente; o, por filtración, antes de comenzar la fermentación acética. Si se deja el sedimento, éste puede impartir un mal sabor e interferir con la fermentación acética.

Analicemos cómo se produce la **fermentación acética**. La formación de ácido acético resulta de la oxidación del alcohol por la bacteria del vinagre, en presencia del oxígeno del aire. Esta bacteria, a diferencia de las levaduras productoras de alcohol, requiere un suministro generoso de oxígeno para su crecimiento y actividad. El cambio que ocurre es descrito por la siguiente ecuación:



El número de bacterias acéticas, usualmente presente en el jugo fermentado, es pequeño; a menudo, estas bacterias son del tipo indeseable o inactivo. Por lo tanto, debe ser añadido un iniciador adecuado para suministrar la clase apropiada de bacterias y producir las condiciones favorables para su crecimiento y actividad.

El mejor recurso para prevenir el crecimiento de organismos indeseables es añadir vinagre fuerte, no pasteurizado, al jugo fermentado, después que se ha completado la fermentación alcohólica; la adición de este vinagre inocula fuertemente a la sidra con bacterias

del vinagre. Las bacterias del vinagre crecen en el líquido y en la superficie expuesta al aire; pueden formar una película lisa, grisácea, brillante y gelatinosa. La película no siempre se forma; algunas clases de organismos crecen solamente en el líquido y no en la superficie.

La rapidez de transformación de alcohol a ácido acético depende de la actividad del organismo, de la cantidad de alcohol presente, de la temperatura y de la cantidad de superficie expuesta por unidad de volumen. A una temperatura favorable de 27 °C, el factor limitante puede ser el área superficial expuesta. El tiempo requerido para el proceso lento, en barril, es de alrededor de tres meses o más. En los procesos generadores de gran escala en los que la superficie expuesta al aire es grande, el tiempo para la fermentación puede ser acortado y producirse en horas.

Después de que la fermentación acética se ha completado, el vinagre no debe ser expuesto al aire, debido a que puede sufrir una oxidación adicional a dióxido de carbono y agua, y reducirse rápidamente a una condición de baja calidad. Para evitar esta situación, el vinagre es colocado en recipientes completamente llenos y fuertemente sellados.

El vinagre puede ser, también, pasteurizado.

La fermentación acética ocurre más rápidamente, cuando la sidra contiene de 6 a 8 % de alcohol; pero, puede tolerarse hasta 12 %. La acción es lenta cuando hay presente de 1 a 2 %, Durante la fermentación activa se produce calor y éste puede ser suficiente para

elevar la temperatura del fermentador.

Teóricamente, por cada 100 partes de azúcar presente en la sidra, se producen 51 partes de alcohol y 49 partes de dióxido de carbono. En la práctica, se obtienen de 45 a 47 partes de alcohol, ya que algo del azúcar es utilizada por las levaduras o es perdida en la producción de otras sustancias. Con sidra conteniendo 10 % de azúcar se obtiene, aproximadamente, 4.6% de alcohol por la fermentación completa por levadura.

En la fermentación de ácido acético, 100 partes de alcohol dan 130 partes de ácido acético. Realmente, por las pérdidas debidas a la evaporación y otras causas, se obtienen menos de 120 partes. Por tanto, si se comienza con 100 partes de azúcar, es posible obtener de 50 a 55 partes de ácido acético, bajo condiciones muy favorables. Por consiguiente, para producir un vinagre con el contenido mínimo legal de 4 g por 100 ml (4 % o 40 granos de resistencia), es necesario usar un jugo que contenga, cuando menos, 8 % de azúcar.

El jugo de manzanas maduras varía en el contenido de azúcar entre 7 y 15 %, como promedio para un gran número de variedades; generalmente, el jugo de las manzanas de verano tiene el contenido de azúcar más bajo, el jugo de manzanas de invierno cuenta con el más alto y el jugo de manzanas de otoño en un punto entre los dos. Las manzanas maduras tienen la mayor cantidad de azúcar, las manzanas verdes una cantidad mucho menor y las frutas sobremaduras menos que las maduras. El jugo debe ser exprimido y colectado.

c. Pan

La fabricación del pan es una antigua industria que consiste en la elaboración de una masa de harina, sal, agua y levaduras de pan. La consistencia del pan se mejora si, antes de su cocción al horno, se lo deja reposar durante el tiempo suficiente para permitir la formación de dióxido de carbono por la actividad de los microorganismos que están presentes de una manera natural o que se han añadido deliberadamente.

El pan "de levadura" de la Biblia se preparaba conservando una porción de la masa de una hornada y añadiéndola a la siguiente, es decir, mediante un primitivo método de inoculación. En nuestros días, se añade a la masa una cepa seleccionada de la levadura *Saccharomyces cerevisiae* y se le permite metabolizarla durante determinado tiempo antes de hornearla, momento en que termina su actividad.

La "levadura de panadería", cepa seleccionada por su vigorosa producción de dióxido de carbono, se elabora especialmente para la fabricación del pan, y se suministra en forma de levadura prensada o seca para mezclar con los demás ingredientes de la masa.

d. Ácido láctico

La flora ácido-láctica ha sido tema de numerosos estudios por analistas de la leche a escala mundial. El ácido láctico de fermentación se ha convertido en un importante producto químico en las industrias alimenticia, farmacéutica, textil, plástica, etc.

Cuando decimos **flora ácido-láctica**, nos referimos a la gran diversidad de microorganismos presentes en la lactosa, los que son capaces de producir ácidos, ya sean perjudiciales para el producto o beneficiosos para él.

El ácido láctico existe en la leche fresca, con un porcentaje medio de 30 mg/l. Es, ante todo, el resultado de la fermentación láctica; y, dentro de la industria láctea, puede presentar un carácter beneficioso o perjudicial.

El género a estudiar es la flora ácido-láctica de los lactobacilos, menos abundante en la leche cruda pero que sí juega un papel importante en la preparación de diversas leches fermentadas: los yogures, la leche acidófila. Este género también está presente en la saliva de los seres humanos, en las caries dentales, y en el intestino de hombre y de animales.

Los lactobacilos termófilos se desarrollan de manera normal a temperatura de 45 °C y los mesófilos -menos resistentes a las temperaturas- tienen su desarrollo ideal a 30 °C; a una temperatura mayor de 40 °C, no se desarrollan.

Morfológicamente, algunos bacilos son bastones delgados y largos; otros son parecidos al colibacilo (*E. coli*); pero, al contrario de éste, todos son gram-positivos. Aunque casi todos son inmóviles, se han señalado excepciones.

Los lactobacilos son microaerófilos o anaerobios; pero, después de cultivos continuos,

algunas cepas pueden desarrollarse en presencia de aire. Sus necesidades nutritivas son complejas; la mayor parte de las cepas no puede cultivarse en los medios nutritivos ordinarios, a menos que se enriquezcan con glucosa y suero. Las necesidades individuales de aminoácidos varían de 2 a 15, según las cepas.

En general, se requiere piridoxina, tiamina, riboflavina, biotina, ácido fólico y ácido nicotínico, variando las necesidades en cada caso. Estos requerimientos nutritivos diferentes tienen aplicación práctica en técnicas de dosificación microbiológica de vitaminas y de algunos aminoácidos, para los cuales son más sensibles que los métodos químicos disponibles. En concentración adecuada, hay cierta relación definida, incluso lineal, entre la concentración de vitamina en un medio de cultivo adecuado pero exento de vitamina, y el desarrollo o la cantidad de ácido producidos.

Algunos bacilos forman parte de la flora intestinal normal y pueden predominar en niños lactantes e individuos con ingestión elevada de azúcares, especialmente lactosa.

Se supuso, así, que la flora intestinal de lactobacilos era preferible a una flora proteolítica de coliformes, ya que tendía a inhibir los trastornos degenerativos, aumentando la vitalidad en personas de edad avanzada, y que esa flora podía establecerse consumiendo leches fermentadas, o leches búlgaras y acidófilas. De esta manera, pudo alterarse la composición de la flora intestinal -también mediante el consumo de cantidades equivalentes de leche azucarada-; pero, el cambio es pasajero y no está demostrado que esa flora

intestinal favorezca la salud por sí misma.

Aunque se han encontrado raros casos de relación de lactobacilos con procesos patológicos - como endocarditis y enfermedad febril-, estas bacterias no son patógenas, excepto las raras veces que pueden relacionarse con caries dentales.

Los lactobacilos son, fundamentalmente, interesantes en la industria de derivados lácteos y de fermentación, donde tienen importancia considerable.

Los lactobacilos, según sus productos de fermentación de azúcar, se dividen en dos grupos:

- el grupo **homofermentativo** es el mayor; convierte casi completamente el azúcar fermentada en ácido láctico;
- el grupo **heterofermentativo** está constituido por formas que producen cantidades importantes de otros productos de fermentación, incluyendo dióxido de carbono, etanol y ácido acético.

De todas las especies de lactobacilos mencionamos dos: el *Lactobacillus acidophilus* y el *Lactobacillus bulgaricus*.

El ***Lactobacillus acidophilus*** es cultivado por primera vez por Moro, en 1900, a partir de heces de lactante; ha sido aislado del intestino de casi todos los mamíferos, muchos otros vertebrados y algunos invertebrados. Su cantidad aumenta en el intestino cuando aumenta el contenido de carbohidratos en la dieta;

y puede ser predominante cuando se ingiere una dieta láctea. Estos bacilos, bastante gruesos y de longitud variable, se disponen aislados, a pares, frecuentemente algo flexionados en la unión y en empalizadas. Las cadenas largas, las formas filamentosas y las formas en maza no son raras. Los cultivos jóvenes se tiñen uniformemente como gram-positivos; los cultivos viejos, a menudo muestran coloración listada o bipolar, y pueden decolorarse fácilmente. Las colonias, generalmente pequeñas, pueden variar en su forma: de la opaca, redonda y lisa a la aplanada, translúcida e irregular; frecuentemente, con aspecto de cristal. Las reacciones de fermentación son variables; pero, la mayor parte de las cepas produce ácido y no gas, a partir de glucosa, lactosa, maltosa y sacarosa, y coagula la leche en 48 horas. El bacilo de Döderlein (1892), miembro común de la flora vaginal, que se considera que ayuda a las defensas naturales contra la infección por contribuir a la acidez de las secreciones vaginales, parece ser idéntico a *L. acidophilus*.

El nombre ***Lactobacillus bulgaricus*** se asigna a un organismo aislado por Grigoroff, en 1905, en leche búlgara fermentada. Ganó importancia por los trabajos de Metchnikoff, quien, como antes planteábamos, consideraba que la putrefacción intestinal podía reprimirse bebiendo leche fermentada por este microorganismo. Cuando, más tarde, se demostró que *L. bulgaricus* no se implantaba en el intestino, se empleó en terapéutica experimental y se inclinó a favor de *L. acidophilus*; pero, es más difícil de cultivar que éste, ligeramente más voluminoso y algo diferente en la fermentación de azúcares; sin embargo, ambos se relacionan estrechamente. Se ha señalado que *L. bulgaricus* raramen-

te se desarrolla a 15 °C, muere en cultivos repetidos en caldo de lactosa-peptona-levadura, es incapaz de desarrollarse en medio que contengan 2.5 por 100 de cloruro de sodio y no crece en caldo a pH de 7.8; en tanto, *L. acidophilus* puede crecer en todas estas condiciones.

e. Bebidas lácteas fermentadas

La leche, producto animal fresco, se estropea con rapidez debido a la actividad microbiana; pero, su fermentación por los gérmenes inoos resulta un método fácil para conservarla. Los productos lácteos fermentados son las bebidas fermentadas, la manteca y el queso.

Estos productos resultan del tipo láctico de fermentación en que participan bacterias del género *Streptococcus lactis* y el género *Lactobacillus*.

Desde los albores de la civilización se han elaborado estos productos, dado que la fermentación láctica ocurre naturalmente en la leche. Se detectó que el sabor ácido era producido con más rapidez y uniformidad si se agregaban pequeñas cantidades de producto fermentado a leche fresca y se conservaba la mezcla a temperatura adecuada.

Ello fue el origen de los distintos tipos de "cuajos"; esto es, sustancias que inician o desencadenan la coagulación de la leche. Estas sus-

Un cuajo o "iniciador" es un cultivo puro o mixto de microorganismos, que se agrega a un sustrato para iniciar la fermentación deseada.

tancias se emplean ampliamente en la industria de lácteos para producir cambios característicos en la elaboración de manteca, leches "cultivadas" y queso. Muchos de los mismos productos pueden elaborarse sin el empleo de los "cuajos"; pero, los fenómenos serían antieconómicos, dado que la mezcla adecuada de microorganismos no aparece con uniformidad en una cantidad dada de leche. Los "iniciadores" en la elaboración de mantecas se emplean en la manufactura de varios productos: "maduran" la crema para emplearla en la elaboración de manteca, permiten elaborar crema agria, y mejoran el sabor y la textura del requesón y del queso crema.

Para producir las bebidas de leche fermentada, se utilizan muchas cepas diferentes de lactobacilos, solas o combinadas con levaduras fermentadoras de la lactosa y con estreptococos; estas bebidas son:

- el yogur, fermentado por *Lactobacillus bulgaricus*,
- el kéfir, compuesto de leche de yegua fermentada por una mezcla de *L. caucasicus*, *Streptococcus lactis* y levaduras,
- el kumys -en Asia central-, elaborado con leche de yegua,
- el leben -en Egipto-, procedente de la leche de búfalas, cabras o vacas.

Estas leches fermentadas se producen lo bastante ácidas como para impedir el crecimiento de los gérmenes perjudiciales.

En las primeras investigaciones, se consideró que el beber leche fermentada sería la causa de la sustitución de los gérmenes tóxicos del

intestino por los lactobacilos ino­cuos y que, por consiguiente, aquélla tendría un valor medicinal: Los lactobacilos pueden establecerse temporalmente en el intestino y mantenerse en él mientras el paciente se nutre de una dieta rica en hidratos de carbono; sin embargo, cuando la persona vuelve a su dieta habitual, la flora normal del intestino reemplaza con rapidez a los lactobacilos.

Las leches fermentadas se preparan por medio de cultivos de bacterias lácticas de leche; el ácido láctico cuaja la leche y produce el sabor agrio deseado. El carácter del producto depende de la fuente de la leche -cabra, vaca, cordero, yeguas o búfalos-, la temperatura a que se calienta antes de inocu­larla, el tipo de microorganismo en el "cuajo" y la temperatura de incubación.

El yogur, de gran aceptación, proviene originalmente de la zona este del Mediterráneo y tiene raíces en el *mazún* de Armenia, *leben* de Egipto, *dadhi* de la India, *kéfir* de países balcánicos y *koumiss* de la parte sur de Rusia.

Originalmente, la leche se concentra por ebullición, se inocula con parte de la remesa previa de yogur y se conserva a 38 a 46 °C, hasta que aparece un cuajo espeso -por lo regular, en el término de 10 a 12 horas-. La acidez que se logra es mayor de 1 %, incluso de 3 %. La temperatura superior de incubación limita la fermentación a *Streptococcus thermophilus* y *Lactobacillus bulgaricus*, y este último produce la acidez intensa final.

f. Manteca

La manteca se hace de la nata separada de la

leche que, generalmente, está ácida, ya que la manteca elaborada a partir de la nata picada se conserva mejor que la que se saca de la nata dulce.

El picado de la nata corre a cargo de los gérmenes que existen en la leche natural; o bien se pasteuriza la leche y se añaden, después, unos iniciadores *-starters-* específicos.

Los gérmenes que se usan en la fabricación de la manteca son *Streptococcus lactis* y *Str. cremoris*, que fermentan la lactosa y agrian la nata, y otros dos gérmenes parecidos a los estreptococos, capsulados, *Leuconostoc citrovorum* y *L. dextranicum*. Estos últimos atacan el ácido cítrico, subproducto de la fermentación de la lactosa para producir diacetilo, que confiere un aroma mantecoso a la nata. Muchas otras cepas no identificadas están también presentes y añaden sus sabores propios a la manteca.

Tiene gran importancia la temperatura a la que se acidifica la nata. Las temperaturas de alrededor de los 20 °C son lo suficientemente bajas como para impedir el crecimiento de los gérmenes termófilos de alteración -los que han sobrevivido a la pasteurización- y lo bastante altas como para permitir el crecimiento de los estreptococos deseables.

En la fabricación de la manteca se bate la nata picada, lo que hace que los glóbulos de grasa se unan para formar la manteca, permitiendo separar el suero de ésta. Las bacterias están sólo en las gotitas de humedad que hay en el interior de la manteca. El lavado de la manteca para reemplazar dichas gotitas de suero por agua, priva a las bacterias de nutrientes y limita su crecimiento; de este modo, se mejo-

ran las cualidades de conservación del producto. El trabajo de la manteca para romper estas gotitas de humedad en otras más pequeñas, mejora también sus cualidades de conservación, al limitar los nutrientes asequibles en cada gotita.

g. Queso

Los quesos son de dos tipos principales:

- quesos blandos, de coágulo blando y cremosos, que se comen en fresco, sin madurar;
- quesos duros o coagulados con cuajo, que se maduran por el crecimiento de bacterias, de mohos o de mezclas de ambos.

En la preparación de los **quesos blandos**, la flora natural fermenta la lactosa de la leche a ácido láctico, el cual -a su vez- determina la coagulación de la caseína, que se separa del suero. Los principales responsables de la fermentación son *Streptococcus lactis* y ciertos gérmenes levaduriformes como, por ejemplo, *Oidium lactis*. En la fabricación de estos quesos se emplea leche limpia, a fin de evitar alteraciones tales como la formación de cavidades debidas a los gérmenes productores de gas, el sabor amargo o la liquefacción provocada por los organismos proteolíticos.

En la manufactura de los **quesos duros**, la coagulación del caseinógeno de la leche corre a cargo del cuajo, enzima que se obtiene del jugo gástrico de los terneros jóvenes. Éste hidroliza parcialmente el caseinógeno que, a continuación, se precipita por las sales de

calcio y retiene en sus mallas a los demás componentes de la leche, formando un coágulo. Generalmente, la leche se agria antes de añadir el cuajo, merced a la actividad de la flora normal o por la adición de iniciadores como *Streptococcus lactis* o *Leuconostoc dextranicum*. El coágulo se divide en pequeñas porciones y se calienta hasta unos 35 °C, con lo que se separa el suero y aumenta la consistencia de aquél. Por último, se escurre, se sala y se prensa para darle la característica forma deseada, dejándose madurar.

La actividad de los "gérmenes de maduración" varía con la acidez del coágulo, el modo de la salazón y la flora predominante, la que se determina, principalmente, por la temperatura a la que se ha verificado el prensado.

Los organismos deseables que confieren aromas, sabores y consistencias al queso, se suelen añadir al coágulo inmediatamente antes del estadio de maduración. Durante este último proceso, se verifica la conversión de las proteínas insolubles en sustancias solubles, en distintos grados, según los diferentes tipos de queso. Las grasas y la lactosa sufren, también, alteraciones -las grasas son hidrolizadas con mayor rapidez en los quesos que, como el Roquefort, están penetrados por mohos-.

La temperatura a la que se conservan los quesos durante el proceso de la maduración influye sobre la flora predominante y, por consiguiente, sobre las distintas alteraciones microbianas del queso. Así, pues, los quesos suizos se calientan a 55 °C, al principio del proceso, para detener el crecimiento de los estreptococos y permitir el de los lactobacilos termófilos como, por ejemplo, *L. helveticus*

(*casei*) y *L. lactis*, que les confieren los sabores y la estructura deseados. Estos gérmenes son sustituidos, después, por las bacterias del ácido propiónico, que son favorecidas por la incubación a una temperatura inferior.

En el queso Roquefort -típico entre los quesos de vetas azules-, se sala el coágulo hasta conseguir una concentración del 4 %, con un contenido en humedad relativamente pequeño. Previamente, se prensa y se inocula con esporas de *Penicillium roqueforti*.

Durante el proceso de maduración, los quesos se mantienen a la temperatura de 9 °C, para impedir el desarrollo de otros gérmenes no deseados. El sabor fuerte tan característico de este tipo de queso se debe, principalmente, a los productos de la descomposición de la grasa por el moho; como éste es un organismo aerobio, tienen que hacerse perforaciones en el queso para permitir el acceso del aire. En los quesos Stilton y Gorgonzola, los mohos se desarrollan con mucha mayor lentitud.

En todos los quesos madurados de esta forma, los mohos crecen en el interior y no salen. En los quesos blandos coagulados por el cuajo, como el Camembert, el moho *Penicillium camemberti* crece, en cambio, en la parte externa y penetra hacia el interior, produciendo en su superficie la liquefacción y el reblandecimiento característicos.

Ciertos problemas en la fabricación del queso han sido, a veces, atribuidos a que los bacteriófagos atacan a las bacterias de maduración. Más recientemente, debido a la difundida práctica de tratar las infecciones de las ubres con antibióticos, las altas concentracio-

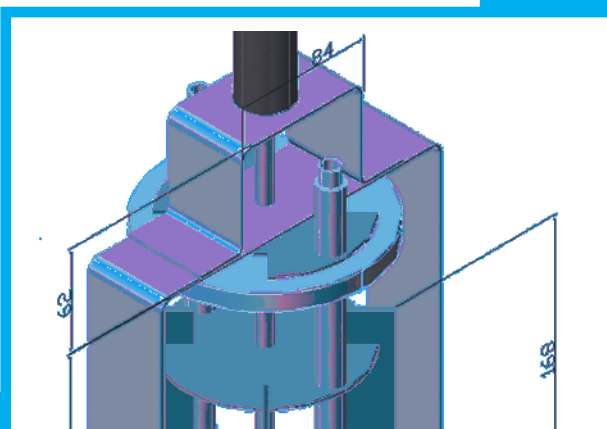
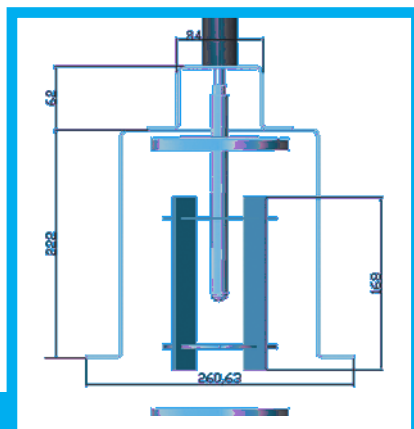
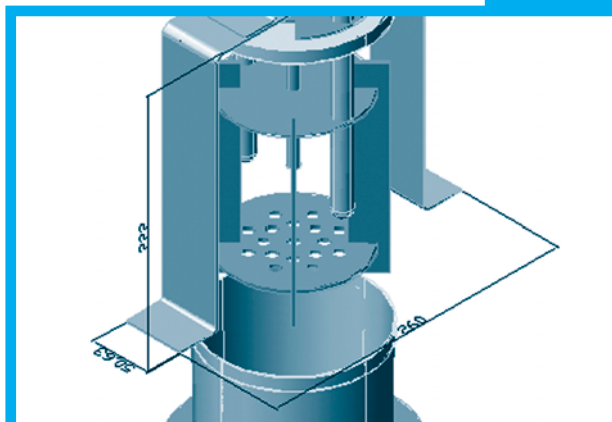
nes de penicilina segregadas en la leche han determinado la inhibición de muchos iniciadores bacterianos; en especial, la de los estreptococos de la coagulación.

3. HACIA UNA RESOLUCIÓN TÉCNICA

Manual de procedimientos para la construcción y el funcionamiento del equipo

El producto²

Se trata de un reactor-fermentador isobárico para la realización de procesos químicos análogos a los efectuados en la industria alimentaria.



² El diseño y la construcción del equipo son obra de Pablo Pilotto.

Pablo Pilotto realizó estudios de *Diseño Industrial* (Universidad Nacional de La Plata). Es coordinador de la Unidad de Cultura Tecnológica del Instituto Nacional de Educación Tecnológica (INET). Es profesor de "Tecnología de los materiales" (Escuela de Educación Técnica N° 1. Las Flores. Provincia de Buenos Aires). Es autor de *Experiencias telemáticas con las Unidades de Cultura Tecnológica* (2003. INET. Buenos Aires) y tutor *online* de acciones de capacitación docente del Sistema de Educación a Distancia del INET.

Los componentes

El biorreactor para la producción de alimentos consta de:

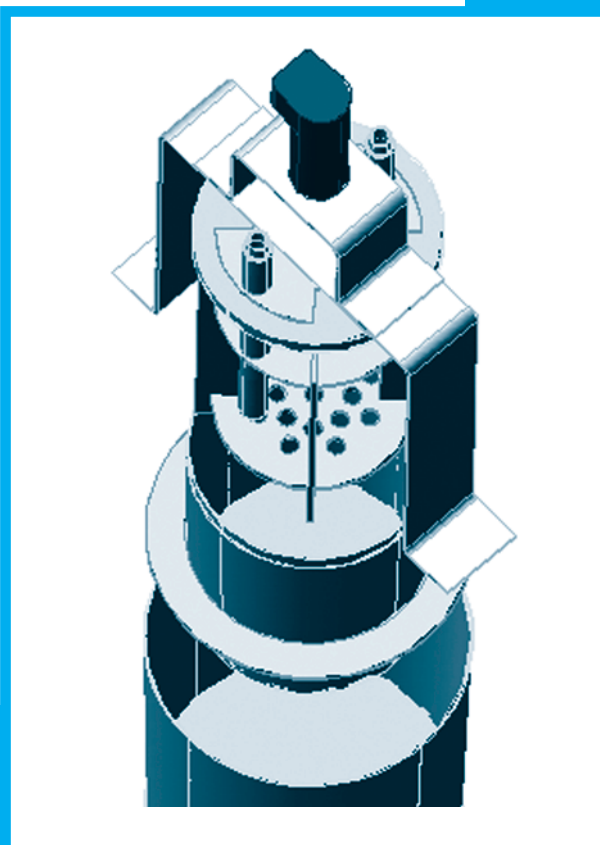
- un sistema de regulación de temperatura mediante un depósito concéntrico que permite el agregado de agua,
- una vaina cerrada que posibilita la introducción de un termómetro, para el seguimiento y el ajuste de la temperatura,
- una vaina abierta para la introducción de un electrodo de medición del pH, que permite su seguimiento y su ajuste,
- un conducto perforado en su extremo, para la introducción de aire por la parte inferior; el aire suministrado por medio de un equipo adicional similar al utilizado en los nebulizadores, y
- un agitador-mezclador mecánico incorporado, para la homogeneización de la mezcla.

Para armar y apoyar el dispositivo, se requiere una mesada sólida y firme, en lo posible con recubrimiento de material resistente a la abrasión química y fácilmente lavable (plástico, melamina, acero inoxidable, madera dura, etc.).

También es necesario contar con

una toma de agua corriente y cañería de desagote de resistencia térmica de inmersión, además de toma de línea de 220 V CA.

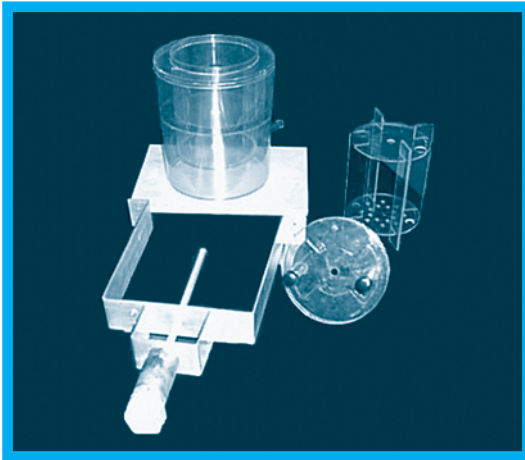
Para la alimentación continua del sistema de agua caliente, se requiere disponer de agua caliente de suministro doméstico, que se puede regular por mezcla. De ser necesaria una mayor temperatura, es posible incorporarla en forma manual, previo calentamiento por una resistencia de inmersión (como accesorio adicional).



Los materiales, herramientas e instrumentos

Los elementos constitutivos son:

- Rotor 220 V - 500 W.
- Vaso plástico de 1200 ml con base de goma.
- Granizadora de hielo de acero inoxidable con cuchilla.
- Eje-acople agitador.
- Vaso auxiliar 750 ml.
- Reguladores de voltaje 0-220 V para calentador y agitador -dimmers-.
- Calentador de inmersión 220 V.
- Termómetro de escala de 10-50 °C.
- PHmetro digital.



El sistema de vaso con agitador permite efectuar los procesos abiertos, a presión atmosférica, para simulación de procesos químicos industriales empleados en tecnología de alimentos.

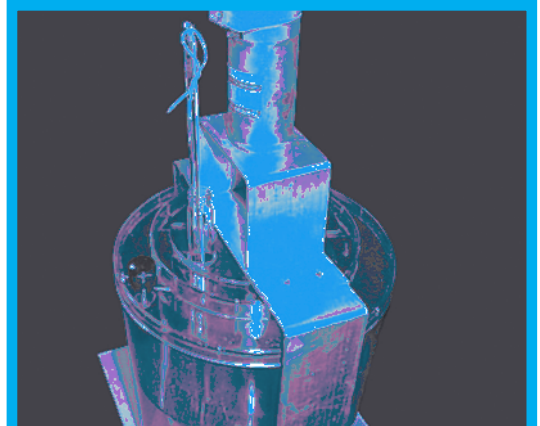
El vaso de acrílico o de borosilicato, inerte y transparente, permite que los procesos del biorreactor puedan visualizarse fácilmente.

La conexión de un regulador de voltaje al motor da la opción de controlar bajas velocidades de agitación, desde 0 a 100 rpm.



Regulador de tensión

El uso de un calentador de inmersión (opcional) posibilita trabajar a distintas temperaturas de proceso, las que se controlan mediante el termómetro que se adosa al sistema.



Forma de uso del termómetro en el equipo

Por último, si resulta necesario disminuir la temperatura en el biorreactor para los casos en que se quiere estudiar el rendimiento de los distintos procesos a distintas temperaturas y obtener curvas de rendimiento en función esta variable, se puede realizar con un baño externo de agua fría.

El armado

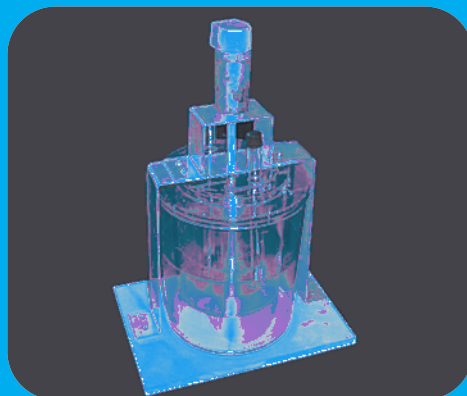
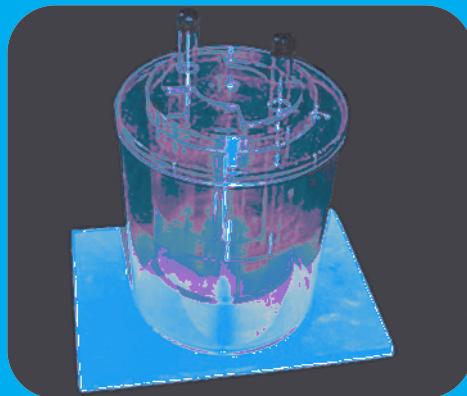
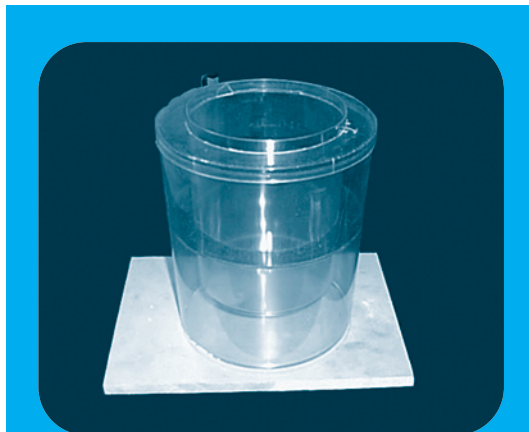


El dispositivo se puede armar en forma manual.

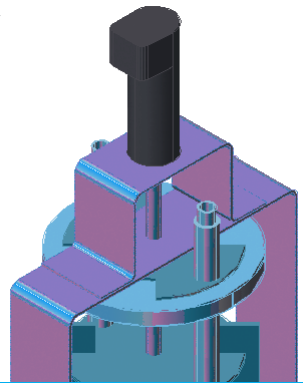
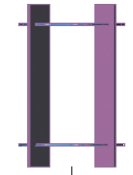
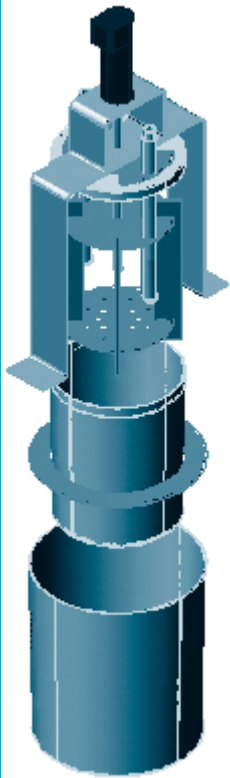
1. El vaso reactor se dispone sobre su base de goma.
2. Se agregan los reactivos de proceso, según la experiencia a realizar.
3. Se tapa con el acople mecánico.
4. Se inserta la tapa-acople mecánico al agitador motor en la parte superior.
5. Se integran el termómetro y el electrodo de medición del pH.
6. Si es necesario controlar la temperatura, se agrega el agua por las aberturas ya definidas.

La velocidad de agitación se controla mediante un potenciómetro que actúa como regulador de tensión para alimentar al motor. De esta forma, se logra la velocidad adecuada para la reacción.

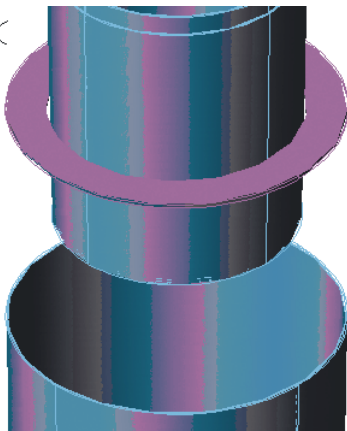
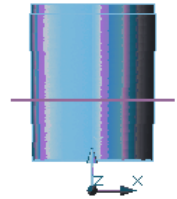
El agregado de aire es suministrado por un equipo adicional, similar al utilizado en los nebulizadores y en los sistemas de aireación de peceras.



Secuencia de armado



Biorreactor terminado



4. EL EQUIPO EN EL AULA

Vamos a compartir con usted algunas experiencias de trabajo en el aula en las que es posible integrar el biorreactor.

Elaboración de yogur y derivados lácteos fermentados

Permite desarrollar un proyecto tecnológico para simular y establecer las condiciones óptimas en la producción de derivados fermentados de leche.

Se entiende por **proyecto tecnológico** el proceso y el producto resultante (escritos, cálculos y dibujos), que tienen como objetivo la creación, modificación y/o concreción de un producto, o la organización y/o planificación de un proceso o de un servicio (Gay, Aquiles; Ferreras, Miguel. 1997. *La Educación Tecnológica. Aportes para su implementación*. Prociencia-CONICET. Ministerio de Cultura y Educación de la Nación. Buenos Aires).

Usted puede acceder a la versión digital de esta obra en: www.inet.edu.ar

Las variables seleccionadas:

Variables independientes	Variables dependientes
Temperatura	Densidad del producto
Agitación	Viscosidad
Duración de proceso	Propiedades organolépticas: sabor, olor, color, consistencia al paladar, etc.
Tipo de cepa o fermento iniciador	Homogeneidad
Variables controladas	
pH	
Concentración de fermento iniciador	
Concentración o volumen de sustrato	

Las tareas a encarar por los alumnos, son:

- Establecer la importancia de la temperatura y la aireación mediante agitación, para la calidad del producto final.
- Establecer, mediante la evaluación de procedencia de distintos microorganismos iniciadores (cepas bacterianas), las cualidades del alimento final.
- Establecer la importancia del nivel de acidez y la ausencia de gelificantes artificiales en la calidad final del producto.

Materiales:

- Leche entera homogeneizada y pasteurizada.
- Muestra iniciadora (yogur, *actimel*, etc.).
- Recipientes recolectores.
- Balanza.
- Vaso volumétrico o probeta.
- Biorreactor.

Los alumnos:

1. Cargan la muestra y ensamblan el dispositivo.
2. Acoplan el agitador al motor y ajustan la velocidad de operación.
3. Insertan el termómetro y el calentador al dispositivo.
4. Para la obtención de datos de proceso, realizan lecturas de temperatura, velocidad y agitación controlada, a intervalos de tiempo preestablecidos.

Le recomendamos realizar distintas pruebas con sus alumnos, para establecer las condiciones ideales: empezando desde 3 minutos de agitación a mediana velocidad por hora de proceso, hasta una agitación continua a mínima velocidad.

5. Obtienen muestras de 20 ml cada hora, para medir viscosidad, densidad, homogeneidad y pH.
6. Concretan el producto final, determinando la temperatura óptima de proceso y el tiempo final necesario.
7. Calibran las cepas de fermento iniciador.

Le recomendamos partir de una cantidad de 10 a 50 ml de yogur por 500 ml de leche fresca.

8. Realizan la limpieza del biorreactor, estableciendo un protocolo de esta

operación con la consigna de utilizar la menor cantidad de agua posible, con el propósito de reducir al máximo los volúmenes de efluentes.

9. Presentan resultados a partir de:

- Tablas: Propiedades organolépticas de producto final, valores de muestras a lo largo del proceso (propiedades organolépticas, homogeneidad, agitación, temperatura, densidad, pH), tablas comparativas de resultado final para distintas cepas iniciadoras.

- Gráficos: Variación de densidad, homogeneidad y pH en función del tiempo de proceso; cambio en las propiedades de producto final, en función de la temperatura de proceso y de la cepa iniciadora; rendimiento en función del tiempo y de la materia prima inicial.

- Construcción de datos que relacionan la cantidad de producto elaborado y el gasto de agua insumida en todo el proceso.

10. Establecen conclusiones respecto de la influencia en la calidad de producto final, según los parámetros analizados:

- calidad y propiedades organolépticas según el uso de la cepa iniciadora, importancia de la selección del fermento,

- propiedades de acidez del producto final,

- rendimiento,

- validez de los principios microbiológicos clásicos,

- calibración de temperatura óptima de trabajo,
- importancia y nivel de la agitación durante el proceso, obtención y variación de la consistencia en función de la agitación,
- etc.

11. Desarrollan propuestas de mejora en el proceso.
12. Valoran las ventajas y las desventajas, al cambiar de una escala de laboratorio a una de proceso industrial masivo.
13. Evalúan la ecoeficiencia de las operaciones realizadas.

Elaboración de vinagre mediante el biorreactor-fermentador

Este segundo proyecto tecnológico que compartimos con usted permite:

- Simular y establecer las condiciones óptimas para la producción de ácido acético a partir de fuentes vínicas y jugos de manzana previamente fermentados.
- Realizar y controlar el proceso de fermentación alcohólica, para obtener la materia prima requerida para la producción de productos acéticos.
- Desarrollar el control de proceso para la

obtención de subproductos diferenciados, como vinagre común y aceto balsámico.

Por tratarse de un proyecto más complejo que el anterior, vamos a plantear cinco etapas de trabajo, a los fines de secuenciar apropiadamente los pasos y las variables a controlar en cada caso:

Etapa 1.

Obtención de mostos a partir de frutas frescas (manzanas y uvas).

Etapa 2.

Fermentación alcohólica de mostos, utilizando levaduras de la especie *Saccharomyces cerevisiae*, para obtener sustratos acetificables de hasta un 14 % de gradación alcohólica (vinos y sidras), respectivamente.

Etapa 3.

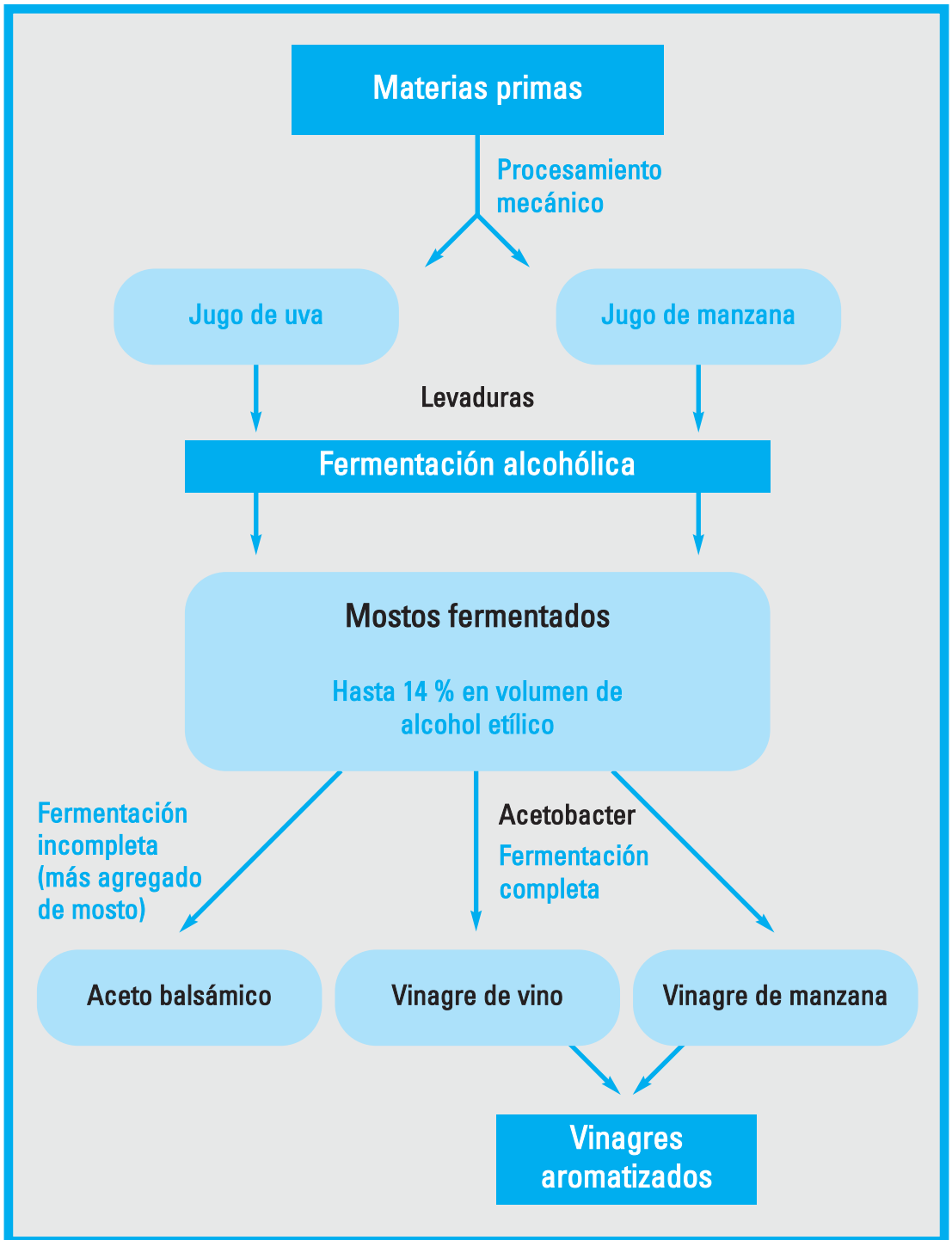
Acetificación de vinos y sidras por fermentación acética completa, para obtener vinagres de calidad comercial, empleando cepas de *Acetobacter sp.*

Etapa 4.

Acetificación de vinos por fermentación acética incompleta y agregado de mosto fresco, para obtener aceto balsámico de calidad comercial, empleando cepas de *Acetobacter sp.*

Etapa 5. Opcional.

Producción de vinagres aromatizados, mediante agregados de hierbas aromáticas diversas durante el proceso de acetificación.



Etapa 1. Obtención de mostos a partir de frutas frescas (manzanas y uvas)

Implica:

- Establecer la importancia de la temperatura y de la incorporación de aire durante el proceso de mondado, trituración y filtración.
- Evaluar los procesos de agitación, para mantener consistencia y para optimizar la extracción.
- Seleccionar de materias primas (tipo de manzanas y uvas, grado de acidez del fruto, grado de maduración y nivel de glucosa, etc.).

Materiales:

- Manzanas frescas (variedades comerciales: *Red delicious*, *Grand Smith*, etc.).
- Uvas frescas (variedades comerciales: *Moscatel*, *Chinche*, *Blanca*, etc.).
- Recipientes recolectores.
- Balanza.
- Vaso volumétrico o probeta.
- Filtro de malla de alambre o tela.
- Filtro centrifugador.

Las variables seleccionadas:

Variables independientes	Variables dependientes
Temperatura (refrigeración y conservación)	Densidad del jugo
Agitación y trituración mecánica	Viscosidad
Duración de proceso	Propiedades organolépticas: sabor, olor, color, consistencia al paladar, etc.
Velocidad de molturación y centrifugación (rpm)	Concentración de oxígeno disuelto (OD)
Tipo de filtrado	Homogeneidad
Neutralización de enzimas oxidativas	Concentración de glucosa
Agregado de antioxidantes	Presencia de sólidos en suspensión
Tipo de fruta	
Acidez	
Nivel de glucosa	
Índice de maduración de los frutos	
Variables controladas	
pH	
Temperatura	
Concentración de aditivos	

Los alumnos:

1. Lavan, cortan y trituran, con una procesadora o licuadora, una masa determinada de fruta para la obtención del jugo.
2. Fijan la velocidad de operación y controlan la temperatura con un termómetro.

3. Filtran con una malla los residuos más voluminosos (restos de cáscaras, hollejos, semillas, etc.). Por centrifugado o filtración por tela, obtienen el jugo lo más límpido posible.
4. Utilizan este jugo lo más pronto posible, para iniciar la segunda etapa; en su defecto, almacenan a menos de 4°C sin llegar al congelamiento, para procesarlo posteriormente.
5. De ser necesario, inhiben el pardeamiento enzimático del jugo. Pueden probar con el agregado de proteasas que inhiban las enzimas oxidativas o bien adicionado de antioxidantes naturales (vitamina C y/o E). Como alternativa, pueden agregar jugo de limón hasta ajustar, aproximadamente, el pH a 3. O pueden escaldar el zumo obtenido, calentándolo a 85/90 °C durante 2 minutos, para evitar su oscurecimiento.
6. Obtienen lecturas de valores de velocidad y tiempo de proceso.

Le recomendamos probar, para establecer las condiciones ideales, empezando desde baja velocidad.

7. Mediante lecturas de temperatura, estimación de velocidad (rpm) de trituración, a intervalos de tiempo preestablecidos, obtienen muestras para medir viscosidad, densidad, homogeneidad, pH y concentración de azúcares.
8. Presentan resultados a partir de:
 - Tablas: Propiedades organolépticas de

producto final, valores de muestras a lo largo del proceso (propiedades organolépticas, homogeneidad, agitación, temperatura, densidad, pH), tablas comparativas para cada tipo y variedad de frutas empleadas, rendimiento de cada una.

- Gráficos: Variación de densidad, homogeneidad y desarrollo de color (pardeamiento) en función del tiempo de proceso y agitación, cambio en las propiedades de producto final en función de la temperatura de proceso y del tipo de fruta y variedad comercial, gráficos de rendimiento en función del tiempo y de la materia prima inicial.
8. Establecen conclusiones respecto de la influencia en la calidad de producto final, según los parámetros analizados:
 - calidad y propiedades organolépticas respecto del uso de distintas frutas y variedades,
 - propiedades de acidez,
 - cantidad de glucosa y su importancia teórica para la siguiente etapa del proceso,
 - rendimientos teóricos calculados y obtenidos.
 10. Evalúan:
 - importancia de la selección de las frutas,
 - grado de maduración y conservación en cámaras de frío, en relación con la acidez y el nivel de glucosa fermentable.

11. Desarrollan propuestas de mejoras en el proceso de trituración.
12. Discuten acerca de las ventajas y de las desventajas de utilizar procedimientos de escaldado, o de agregado de preservantes y antioxidantes; incluyen parámetros que acoten cada uno de estos procesos.
13. Discuten respecto de establecer un modelo continuo por el agregado de materias primas durante el ciclo de procesos, proyectando dicha operación en un modelo a escala industrial.
14. Postulan un modelo de proceso mejorado, a partir de las experiencias efectuadas.
15. Valoran las ventajas y las desventajas, al cambiar de una escala de laboratorio a una de proceso industrial masivo.

Etapa 2. Fermentación alcohólica de mostos

En esta etapa se integran levaduras de la especie *Saccharomyces cerivesae*, para obtener sustratos acetificables de hasta un 14 % de gradación alcohólica (vinos y sidras), a partir del producido en la etapa 1.

Implica:

- Establecer la importancia de la temperatura y de la velocidad de agitación, para la calidad de producto final.
- Establecer, mediante la procedencia de distintos microorganismos iniciadores

(cepas de levaduras), las cualidades de vino y sidra obtenidos en cada caso.

- Establecer la importancia del nivel de acidez y la concentración de sólidos solubles (azúcares), de acuerdo a la variedad comercial de la fruta original, en la calidad final del producto obtenido.

Variables independientes	Variables dependientes
Temperatura	Densidad del producto
Agitación	Viscosidad
Duración de proceso	Propiedades organolépticas: sabor, olor, color, consistencia al paladar, etc.
Tipo de cepa o fermento iniciador (<i>Saccharomyces cerivesae</i>)	Homogeneidad
	Liberación de CO ₂
	Gradación alcohólica obtenida
Variables controladas	
pH	
Concentración de fermento iniciador	
Concentración o volumen de zumos y mostos	

Materiales:

- Zumos y mostos producidos en la etapa 1.
- Cepas comerciales de *Saccharomyces cerivesae*.
- Recipientes recolectores.
- Balanza.
- Vaso volumétrico o probeta.
- Termómetro.

Los alumnos:

1. Cargan los zumos y mostos, agregan las levaduras y ensamblan el dispositivo.
2. Acoplan el motor para fijar la velocidad de agitación.
3. Insertan el termómetro.
4. Obtienen lecturas de valores de temperaturas, tiempo y velocidad de agitación.

Le recomendamos probar para establecer las condiciones ideales, empezando desde 3 minutos de agitación a mediana velocidad por hora de proceso, hasta un proceso sin agitación.

5. Obtienen muestras de 20 ml cada 2 horas, para medir densidad, concentración de etanol y pH.
6. Obtienen el producto final, determinando la temperatura óptima de proceso y el tiempo final necesario.
7. Calibran las cepas de levaduras y las cantidades requeridas (en gramos por litro de zumo).
8. Extraen el producto.
9. Filtran el vino y la sidra obtenidos.
10. Analizan la necesidad y la conveniencia de procesos mecánicos o químicos adicionales (filtrado, centrifugación, clarificación, etc.).
11. Realizan la limpieza del biorreactor, estableciendo un protocolo de esta operación con la consigna de utilización de la menor cantidad de agua posible.

12. Presentan resultados a partir de:

- Tablas: Propiedades organolépticas de producto final, valores de muestras a lo largo del proceso (propiedades organolépticas, homogeneidad, agitación, temperatura, densidad, pH), tablas comparativas de resultado final para distintas cepas iniciadoras y para los distintos zumos procesados.
- Gráficos: Variación de densidad, homogeneidad, producción de etanol y pH en función del tiempo de proceso, cambio en las propiedades de producto final en función de la temperatura de proceso y de la cepa iniciadora, gráficos de rendimiento en función del tiempo y cantidad, y tipo de materia prima inicial.

13. Integran datos que relacionan la cantidad de producto elaborado y el gasto de agua insumida en todo el proceso.

14. Establecen conclusiones respecto de la influencia en la calidad de producto final, según los parámetros analizados:

- calidad y propiedades organolépticas respecto del uso de la cepa iniciadora,
- propiedades de acidez del producto final,
- rendimientos,
- capacidad de vinificación,
- características del vino y sidra obtenidos.

15. Evalúan:

- proceso,

- agregado de materias primas en la etapa inicial,
- selección del fermento,
- validez de los principios microbiológicos clásicos,
- calibración de temperatura óptima de trabajo,
- importancia de la concentración de azúcares inicial,
- importancia y nivel de la agitación durante el proceso,
- obtención y variación de la consistencia, en función de la agitación,
- valoración del CO₂ producido para estimar el grado de alcohol,
- importancia de la densidad de la muestra para calcular dicho parámetro.

16. Postulan un modelo de proceso mejorado, a partir de las experiencias efectuadas.

17. Valoran las ventajas y las desventajas al cambiar de una escala de laboratorio a una de proceso industrial masivo.

18. Analizan un modelo de ecoeficiencia de las operaciones realizadas.

Etapa 3. Acetificación de vinos y sidras

Implica:

- Optimizar la fermentación acética completa, para obtener vinagres de calidad

comercial empleando cepas de *Acetobacter sp.*

- Establecer la importancia de la temperatura y la aireación mediante agitación, para la calidad de producto final.
- Establecer las cualidades del producto final mediante la procedencia de distintas cepas de microorganismos iniciadores (cepas bacterianas).
- Establecer la importancia del nivel de acidez como factor limitante para la detención del proceso y la calidad final del producto.

Variables independientes	Variables dependientes
Temperatura	Densidad del producto
Agitación	Viscosidad
Duración de proceso	Propiedades organolépticas: sabor, olor, color, consistencia al paladar, etc.
Tipo de cepa o fermento iniciador	Homogeneidad
Tipo de vino o sidra producido en la etapa 2	Cantidad (%) de ácido acético en la solución obtenida
Cantidad (%) de alcohol del sustrato	pH
Variables controladas	
Concentración de fermento iniciador	
Concentración o volumen de sustrato	
Temperatura inicial de proceso	

Materiales:

- Vinos y sidras producidos en la etapa 2.
- Cepas de *Acetobacter sp.* (o muestras de vinagre comercial).

- Recipientes recolectores.
- Balanza.
- Vaso volumétrico o probeta.
- Papel pH, para determinar el ácido acético formado.

Los alumnos:

1. Cargan la muestra y ensamblan el dispositivo biorreactor.
2. Acoplan el motor y fijan la velocidad de operación.
3. Insertan el termómetro y el calentador al dispositivo.
4. Obtienen lecturas de valores de temperaturas y velocidad, y tiempo de agitación.

Le recomendamos probar para establecer las condiciones ideales, empezando desde 3 minutos de agitación a mediana velocidad por hora de proceso, hasta una agitación continua a mínima velocidad.

5. Obtienen muestras de 20 ml cada 2 horas, para medir densidad y pH.
6. Obtienen el producto final, determinando temperatura óptima de proceso y tiempo final necesario.
7. Valoran y calibran las cepas de fermento iniciador.

Le recomendamos probar, desde una cantidad de 10 a 50 ml de vinagre comercial por 1000 ml de vino o sidra.

8. Presentan resultados a partir de:

- Tablas: Propiedades organolépticas de productos final, valores de muestras a lo largo del proceso (propiedades organolépticas, homogeneidad, agitación, temperatura, densidad, pH), comparativas del resultado final para distintas cepas iniciadoras.

- Gráficos: Variación de densidad, homogeneidad, porcentaje de alcohol y pH, en función del tiempo de proceso, cambio en las propiedades de producto final en función de la temperatura de proceso y de la cepa iniciadora, gráficos de rendimiento en función del tiempo y la materia prima inicial (vino o sidras).

19. Integran datos que relacionan la cantidad de producto elaborado y gasto de agua insumida en todo el proceso.

10. Establecen conclusiones respecto de la influencia en la calidad de producto final, según los parámetros analizados:

- calidad y propiedades organolépticas respecto de la procedencia de la cepa iniciadora,
- propiedades de acidez del producto final,
- rendimientos,
- trazas de alcohol etílico presentes en el vinagre, etc.

11. Proponen mejoras en el proceso y en el agregado de materias primas en la etapa inicial.

12. Evalúan:

- importancia de la selección del fermento,
- validez de los principios microbiológicos clásicos,
- calibración de temperatura óptima de trabajo,
- importancia y nivel de la agitación y aireación durante el proceso; obtención y variación de la producción de ácido acético en función de la agitación y el nivel de alcohol resultante de la vinificación previa, etc.

13. Postulan un modelo de proceso mejorado, a partir de las experiencias efectuadas.

14. Valoran las ventajas y las desventajas, al cambiar de una escala de laboratorio a una de proceso industrial masivo.

Etapa 4. Acetificación de vinos para obtener aceto balsámico

Consiste en la fermentación acética incompleta y el agregado de mosto fresco para obtener aceto balsámico de calidad comercial, empleando cepas de *Acetobacter sp.*

Implica:

- Optimizar la fermentación acética incompleta, para obtener acetos balsámicos de calidad comercial, empleando cepas de *Acetobacter sp.* y los productos de la vinificación de la etapa 2.

- Establecer la importancia de la temperatura y la aireación mediante agitación, para la calidad de producto final.
- Establecer las cualidades del producto final mediante la procedencia de distintas cepas de microorganismos iniciadores (cepas bacterianas).
- Establecer la importancia del nivel de acidez como factor limitante para la detención del proceso y la calidad final del producto.
- Establecer el tiempo óptimo requerido para la interrupción del proceso.
- Establecer las concentraciones óptimas para el agregado de sustratos vínicos no acetificados

Variables independientes	Variables dependientes
Temperatura	Densidad del producto
Agitación	Viscosidad
Duración de proceso	Propiedades organolépticas: sabor, olor, color, consistencia al paladar, etc.
Tipo de cepa o fermento iniciador	
Tipo de vino producido en la etapa 2	Homogeneidad
Cantidad (%) de alcohol del sustrato	Cantidad (%) de ácido acético en la solución obtenida
Cantidad de mosto y vino agregado	pH
Variables controladas	
Concentración de fermento iniciador	
Concentración o volumen de sustrato	
Temperatura inicial de proceso	

Materiales:

- Vinos y mostos producidos en las etapas 1 y 2.
- Cepas de *Acetobacter sp.* (o muestras de aceto balsámico comercial).
- Recipientes recolectores.
- Balanza.
- Vaso volumétrico o probeta.
- Papel pH, para determinar el ácido acético formado.
- Probeta.
- Termómetro.

Los alumnos:

1. Cargan la muestra y ensamblan el dispositivo.
2. Colocan el motor y fijan la velocidad de operación.
3. Insertan el termómetro y el calentador al dispositivo.
4. Obtienen lecturas de valores de temperaturas y velocidad, y tiempo de agitación.

Le recomendamos probar, para establecer las condiciones ideales, empezando desde 3 minutos de agitación a mediana velocidad por hora de proceso, hasta una agitación continua a mínima velocidad.

5. Obtienen muestras de 20 ml cada 2 horas, para medir densidad y pH.

6. Obtienen el producto final, determinando temperatura óptima de proceso y el tiempo final necesario en que debe detenerse el proceso, y la cantidad de mosto y de sustratos vinificados a agregar.
7. Valoran y calibran las cepas de fermento iniciador.

Le recomendamos probar, desde una cantidad de 10 a 50 ml de aceto balsámico comercial por 1000 ml de vino.

8. Presentan resultados a partir de:

- Tablas: Propiedades organolépticas de producto final, valores de muestras a lo largo del proceso (propiedades organolépticas, homogeneidad, agitación, temperatura, densidad, pH), tablas comparativas de resultado final para distintas cepas iniciadoras y para diferente cantidad de mostos agregados.
- Gráficos: Variación de densidad, homogeneidad, porcentaje de alcohol y pH en función del tiempo de proceso; cambio en las propiedades de producto final en función de la temperatura de proceso, de la cantidad del mosto agregado y de la cepa iniciadora, gráficos de rendimiento en función del tiempo y de la materia prima inicial y agregada (vinos y mostos).

9. Integran datos que relacionan la cantidad de producto elaborado y el gasto de agua

insumida en todo el proceso.

10. Establecen conclusiones respecto de la influencia en la calidad de producto final, según los parámetros analizados:

- calidad y propiedades organolépticas respecto de la procedencia de la cepa iniciadora,
- propiedades de acidez del producto final,
- rendimientos,
- trazas de alcohol etílico presentes en el aceto balsámico, etc.

11. Evalúan:

- proceso,
- agregado de materias primas en la etapa inicial,
- importancia de la selección del fermento,
- momento de incorporación del mosto fresco,
- detención del proceso fermentativo,
- validez de los principios microbiológicos clásicos,
- calibración de temperatura óptima de trabajo en cada etapa,
- importancia y nivel de la agitación y de la aireación durante el proceso,
- obtención y variación de la producción de ácido acético, en función de la agitación y del nivel de alcohol resultante de la vinificación previa, etc.

12. Postulan un modelo de proceso mejorado a partir de las experiencias efectuadas.

13. Valoran las ventajas y las desventajas al cambiar de una escala de laboratorio a una de proceso industrial masivo.

Etapa 5. Opcional. Producción de vinagres aromáticos

Semejante a la etapa 3, los alumnos proceden a incorporar, en distintas fases del proceso, extractos o material vegetal procedente de plantas aromáticas de valor comercial (romero, orégano, tomillo, comino, albahaca, etc.), a los fines de preparar variedades aromatizadas del producto.

Variables independientes	Variables dependientes
Materia prima (hierba aromática)	Nuevas propiedades organolépticas resultantes
Momento del proceso en que se incorpora (en general, es intrafermentación o posfermentación)	Cambios en el pH u otros parámetros físico-químicos
Incorporación y presentación de tallos y hojas del producto dentro del envase final (vinagre aromatizado)	

5. LA PUESTA EN PRÁCTICA

Esta parte final de nuestro módulo de capacitación contiene un cuadernillo para la evaluación del recurso didáctico que le presentamos y, de las experiencias didácticas y contenidos propuestos a partir de él:

Esta evaluación tiene dos finalidades:

- Brindarle a usted, como docente que utiliza este material, la oportunidad de documentar el seguimiento de las actividades que realice con sus alumnos, a partir de nuestras propuestas y, en función de esta memoria de acciones, propiciar una reflexión acerca de los cambios, mejoras o enriquecimiento de su propia tarea de enseñanza.
- Obtener de su parte, como usuario de este material, información sobre todos los aspectos en torno a los cuales gira la propuesta.

Para este relevamiento de información, usted encontrará, a continuación, una serie de cuestionarios organizados básicamente en tablas o matrices para completar. Con los datos que usted exprese en ellos esperamos tener una realimentación que nos permita mejorar todos los componentes de la serie de publicaciones “Recursos didácticos” y enriquecerla con propuestas o documentación complementaria para aquellos docentes que planteen iniciativas, interro-

gantes o dificultades específicas con relación a la construcción del recurso didáctico, a las actividades de aula, a los contenidos científicos y tecnológicos, a la metodología de enseñanza, a los procedimientos incluidos, a la información sobre materiales y a otros aspectos.

Dada la importancia que esta información de retorno tiene para nuestro trabajo de seguimiento, mejora y actualización, le agradecemos que nos remita el cuadernillo con todas las observaciones, comentarios o sugerencias adicionales que nos quiera hacer llegar. Para ello puede remitirnos una copia, a través de correo postal, a

Área de Monitoreo y Evaluación –CeNET–
Oficina 112
Saavedra 789. C1229ACE.
Ciudad Autónoma de Buenos Aires.
República Argentina.

O, si lo prefiere, solicitarnos el archivo electrónico de las páginas que siguen a evcenet@inet.edu.ar, enviándonos la versión digitalizada de sus respuestas a través del mismo correo electrónico.

Desde ya, muchas gracias.



3. Componentes didácticos:

3.1. Testimonios (situaciones problemáticas) presentados en el material

	Sí	No	Otro ¹
a. ¿Le resultaron motivadores para iniciar las actividades propuestas?			
b. ¿Le facilitaron el desarrollo de contenidos curriculares que usted tenía previstos?			
c. A su criterio, ¿están vinculados con el recurso didáctico que se le propone desarrollar?			
d. ¿Le facilitan la organización de situaciones didácticas para el trabajo de los contenidos científicos y tecnológicos propuestos?			
e. El nivel de las situaciones problemáticas que se plantean, ¿es el adecuado al nivel educativo para el que está previsto?			
f. En caso negativo, ¿permiten adecuaciones para ser trabajados en el nivel educativo de sus alumnos o en otro nivel educativo?			
g. Los testimonios iniciales, ¿permiten generar diferentes soluciones (soluciones tecnológicas o didácticas)?			

En caso que su respuesta sea negativa (en cualquier ítem), le pedimos que nos indique por qué (señale el número del ítem a que corresponde su comentario).....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Otro (indique el ítem al que corresponde el comentario):

.....

.....

.....

.....

.....

.....

¹ Utilice esta opción para indicar que agregará comentarios al final de este sector de la matriz.

3.2. Estrategias

A partir de la utilización de las propuestas de trabajo en el aula contenidas en el material y del recurso didáctico con el que se asocian, le solicitamos que nos indique (tomando como referencia su forma de trabajo anterior a disponer del material), cómo resolvió las actividades consignadas en la tabla siguiente:

3.2.1. Contextualización de la estrategia didáctica Con respecto a su forma habitual de trabajo, usted logró:	Mejor	Igual	No aplicado ²	Incorporado ³
a. Determinar las capacidades, habilidades, conocimientos previos necesarios para iniciar las actividades propuestas.				
b. Organizar, asociar, relacionar los conocimientos científicos y tecnológicos para resolver un problema tecnológico.				
c. Recortar (identificar) los contenidos científicos y tecnológicos a trabajar con sus alumnos para el desarrollo de un sistema/producto tecnológico como el propuesto por el material.				
d. Vincular estos conocimientos con los saberes previos de los alumnos.				
e. Establecer la secuencia adecuada de los contenidos científicos y tecnológicos, y de los procedimientos para generar una solución tecnológica (la propuesta por el material u otra diferente).				
f. Organizar una experiencia didáctica integrando conocimientos científicos y tecnológicos, metodología de resolución de problemas y procedimientos propios del trabajo tecnológico.				
g. Otras (que haya incorporado o hecho mejor con el recurso).				

² No aplicado: No lo hizo antes ni ahora con este recurso didáctico.

³ Incorporado: Integró la estrategia a sus clases a partir de la utilización del recurso didáctico propuesto.



3.2.2. Desarrollo de la estrategia didáctica	Mejor	Igual	No aplicado	Incorporado
Con respecto a su forma habitual de trabajo, usted logró:				
h. Encuadrar la tarea a partir de la formulación de uno (o varios) problemas.				
i. Explicitar consignas de trabajo que plantean una situación problemática.				
j. Organizar las actividades de aprendizaje atendiendo a las etapas propias de la resolución de problemas.				
k. Utilizar técnicas de trabajo grupal.				
l. Promover el trabajo colaborativo y cooperativo.				
m. Otras (que haya incorporado o hecho mejor con el recurso).				

3.2.3. Aspectos cognitivos (proceso de aprendizaje de sus alumnos)	Mejor	Igual	No aplicado	Incorporado
Con respecto a su forma habitual de trabajo, usted logró:				
n. Estimular a sus alumnos en la búsqueda de información e investigación en torno al problema eje del material.				
o. Promover la consulta a variadas fuentes de información.				
p. Rescatar, incorporar los aportes del grupo para identificar aspectos o variables críticas del problema.				
q. Evaluar los conflictos cognitivos propios del proceso de aprendizaje.				
r. Detectar, evaluar, la comprensión asociativa.				
s. Promover la reflexión sobre las actividades realizadas y las estrategias utilizadas en cada parte del proceso.				
t. Otras (que haya incorporado o hecho mejor con el recurso).				

4.1.2. ¿Realizó todo el proceso de construcción del recurso didáctico con sus alumnos? (Conteste este apartado en caso de que haya construido un equipo igual al propuesto. En caso contrario, pase al apartado 5 “Documentación”)

Sí	No
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

4.1.3. En caso de que su respuesta sea afirmativa, le pedimos que nos indique:

	Sí	No
a. ¿Pudo seguir sin dificultades los procedimientos indicados en el “Manual de construcción”?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
b. La secuencia indicada, ¿fue la adecuada para la construcción?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
c. El grado de complejidad, ¿fue el apropiado para el nivel educativo a que se dirige el recurso?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
d. Los contenidos científicos asociados, ¿son pertinentes para el desarrollo del recurso propuesto?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
e. Los contenidos tecnológicos asociados, ¿son pertinentes para el desarrollo del recurso propuesto?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
f. Con sus alumnos, ¿construyó el recurso didáctico siguiendo el proceso y la metodología de resolución de problemas?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
g. ¿Siguió todos los procedimientos propuestos para la construcción pero incorporó sus propios contenidos científicos y tecnológicos?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
h. Por el contrario, ¿hizo adaptaciones en los procedimientos de construcción pero mantuvo los mismos contenidos?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
i. ¿Realizó la construcción siguiendo las actividades de aula propuestas en el material?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
j. ¿Diseñó sus propias experiencias en función de su grupo de alumnos?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Sí	No
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

¿Completó todas las etapas del proceso de construcción propuesta?

En caso negativo, indíquenos a qué fase llegó:

a. <input type="checkbox"/> Planificación.	b. <input type="checkbox"/> Diseño en dos dimensiones.
c. <input type="checkbox"/> Construcción, armado.	d. <input type="checkbox"/> Ensayo y control.
e. <input type="checkbox"/> Superación de dificultades (evaluación del funcionamiento, siguiendo las indicaciones y la lista de control que brinda el material).	
f. <input type="checkbox"/> Construcción de otro equipo que se adapta más a sus necesidades curriculares (Si marcó esta alternativa, lo invitamos a responder, directamente, el apartado 4.1.5.).	

4.1.4. Complete este ítem sólo si realizó el proceso de construcción del equipo siguiendo los procedimientos indicados en el Manual. Si no fue así, lo invitamos a responder el apartado 4.1.5.

Acerca de los materiales, herramientas e instrumentos:

	Sí	No
a. La especificación de los materiales para la construcción, ¿fue suficiente para conseguirlos?		
b. ¿Utilizó los mismos materiales (en calidad y tipificación) indicados en la documentación?		
c. ¿Reemplazó materiales, instrumentos, componentes, piezas, etc., sin alterar el resultado final previsto en el material?		
d. La especificación de las herramientas a utilizar, ¿le resultó adecuada?		
e. La cantidad de herramientas indicadas, ¿fue la necesaria?		
f. Los instrumentos, ¿estuvieron bien especificados?		
g. El tipo y cantidad de instrumentos, ¿fueron los adecuados para armar el recurso didáctico?		

4.1.5. En caso de que usted haya construido un recurso didáctico diferente al propuesto por el material de capacitación, le pedimos que nos indique si la razón fue:

<p>a. <input type="checkbox"/> El propuesto no se ajustaba a sus necesidades curriculares.</p>	<p>b. <input type="checkbox"/> No pudo conseguir los materiales o instrumentos indicados.</p>
<p>c. <input type="checkbox"/> No pudo interpretar el manual de construcción.</p>	<p>d. <input type="checkbox"/> Otra (Por favor, especifíquela).</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p>



4.1.6. ¿Qué características específicas destacaría en este recurso didáctico diferente al propuesto por el material, que sus alumnos han construido. (Marque todas las opciones que considere necesarias):



a. Se ajusta mejor a los contenidos curriculares que necesita trabajar.

b. Es más económico.

c. Permite su reutilización (mediante el desarme y armado, en función de necesidades didácticas).

d. Es más adaptable (a diversos usos).

e. Otra (Por favor, especifique):

.....
.....
.....
.....

f. Descripción del recurso didáctico construido:

.....
.....
.....
.....
.....

g. Indique las principales diferencias con el equipo propuesto (estructurales, funcionales, didácticas):.....

.....
.....
.....
.....
.....



4.2.2. Ya sea que haya desarrollado el recurso didáctico con sus alumnos según las especificaciones del material, ya sea que haya construido otro diferente o que haya utilizado un equipo ya construido, en relación con las actividades que usted venía realizando, la utilización del recurso didáctico propuesto por el material le permitió (seleccione la opción que coincida con sus experiencias):

Con respecto a su forma habitual de trabajo, este recurso didáctico le permitió a usted, como docente:	Mejor	Igual	No aplicable ⁴	Otro ⁵
a. Integrar contenidos científicos y tecnológicos en la solución de situaciones problemáticas de carácter tecnológico.				
b. Diseñar situaciones de enseñanza y de aprendizaje centradas en la resolución de problemas tecnológicos.				
c. Planificar y promover en sus alumnos la organización del trabajo (planificación y secuenciación de tareas), según el proceso tecnológico.				
d. Favorecer la identificación de aspectos o variables críticas de una situación problemática.				
e. Organizar las actividades de manera que facilite la toma de decisiones por parte de los alumnos (determinación y selección de alternativas, opciones de diseño, materiales, etc.).				
f. Organizar la actividad de sus alumnos en función de soluciones diversas a los problemas planteados.				
g. Agregue otras que usted considere haber logrado de una mejor manera con este recurso didáctico				

⁴ NA: No aplicable; es una actividad que no realizó antes ni ahora.

⁵ Otro: Recuerde utilizar esta opción para indicar que agregará comentarios al final de este sector de la tabla.

Con respecto a su forma habitual de trabajo, este recurso le permitió a los alumnos (habilidades intelectuales):	Mejor	Igual	No aplicable	Otro
Capacidad de planificar				
h. Identificar variables o aspectos fundamentales de un problema tecnológico.				
i. Organizar su trabajo en etapas (identificar y seguir la secuencia de operaciones de un proceso).				
j. Ejecutar las actividades en los plazos o etapas previstas.				
k. Seleccionar materiales, herramientas y piezas, de acuerdo con las necesidades del diseño.				
l. Anticipar y resolver dificultades que podrían surgir en el proceso.				
m. Prever puntos críticos de todo el proceso.				
n. Agregue otras que considere que sus alumnos alcanzaron mejor con este recurso didáctico				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				





Capacidad para tomar decisiones	Mejor	Igual	No aplicable	Otro
o. Analizar alternativas en función de un problema.				
p. Seleccionar alternativas en función de las restricciones planteadas en el problema, o en el contexto de enseñanza y de aprendizaje.				
q. Adecuar la propuesta para la solución del problema planteado.				
r. Agregue otras que considere que sus alumnos alcanzaron mejor con este recurso didáctico				

Capacidad de aplicar y transferir	Mejor	Igual	No aplicable	Otro
s. Interrelacionar los datos, técnicas y procedimientos en el diseño de la solución.				
t. Utilizar técnicas de representación adecuadas al equipo que se construye o en el ya construido que se utiliza.				
u. Integrar los conocimientos científicos y tecnológicos en los momentos pertinentes para el diseño de la solución.				
v. Relacionar, ensamblar componentes en la secuencia adecuada.				
w. Utilizar de manera correcta la simbología y los lenguajes propios de la tecnología (representación gráfica, simbólica, etc.).				
x. Transferir conocimientos científicos y tecnológicos en otras actividades similares.				
y. Agregue otras que considere que sus alumnos alcanzaron mejor con este recurso didáctico				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				

Otro (Por favor, exprese aquí los comentarios que tenga, identificando el ítem con la letra que corresponda):

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....





5. Documentación (Material teórico, manual de procedimientos y propuestas didácticas):

5.1. ¿Cómo calificaría los aportes del material recibido (encuadre y desarrollo teórico, y experiencias propuestas para el aula)?

	MV ⁶	V	PV
a. Por su potencialidad didáctica (sugerencias, propuestas de trabajo en el aula, papel motivador, etc.).			
b. Para sus necesidades curriculares (desarrollo de los contenidos y experiencias previstas en su planificación).			
c. Para organizar, planificar, concretar experiencias didácticas relacionadas con problemas de Educación Tecnológica.			
d. Para renovar, actualizar, ampliar (subraye el que se ajusta más a su experiencia) los contenidos que desarrolla en su área/ disciplina.			
e. Para trabajar conocimientos científicos y tecnológicos de manera asociada a un problema tecnológico.			
f. Para organizar experiencias de aprendizaje en torno a la utilización de recursos didácticos.			
g. Para utilizar un recurso didáctico en el marco de experiencias didácticas organizadas en función de la resolución de problemas.			
h. Para integrar mejor contenidos científicos y tecnológicos en la solución de problemas de carácter tecnológico.			
i. Para estimular la generación creativa de otros recursos didácticos.			

Otras (Especifíquelas, por favor)

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

⁶ Escala= MV: Muy valioso / V: Valioso / PV: Poco valioso

5.2. Manual de procedimientos para la construcción y el funcionamiento del recurso didáctico

En caso de que haya seguido los procedimientos contenidos en el Manual (ya sea para hacer un equipo igual o uno diferente al propuesto), le pedimos nos indique si:

	Sí	No	Otro
a. ¿Pudo seguir todos los procedimientos descritos, sin dificultad?			
b. ¿La secuencia descrita le resultó la adecuada?			
c. ¿La secuencia establecida le planteó alternativas según algún criterio (disponibilidad de los materiales, trabajo de contenidos específicos, etc.)?			
d. ¿La finalidad (para qué sirve) del equipo está indicada con claridad?			
e. ¿Se establecen cuáles son los contenidos (científicos o tecnológicos) que se asocian al equipo a construir?			
f. ¿Se determina la relación entre conocimientos implicados, procedimientos a seguir, materiales a utilizar y experiencias posibles de realizar?			
g. ¿Considera que la relación anterior es pertinente (es la que corresponde) para la construcción que se propone?			
h. ¿La descripción de los procedimientos le facilitaron la organización de las experiencias de trabajo con sus alumnos?			
i. ¿Pudo seguir las indicaciones para la puesta en funcionamiento?			
j. ¿Todas las indicaciones para el uso son claras?			

Por favor, fundamente sus respuestas negativas o agregue los comentarios que crea pertinentes (identifique el ítem a que se refiere):

.....

.....

Otro (identifique con la letra que corresponda el ítem sobre el que hace observaciones)

.....

.....

.....



6.2. Técnicas (Por favor, complete tanto si construyó el equipo como si utilizó uno ya construido)

	Sí	No
a. Portabilidad. Puede ser utilizado en el taller, aula, laboratorio.		
b. Modularidad. Puede ser adaptado a diversos usos; para trabajar diversos contenidos curriculares o para realizar diferentes experiencias didácticas; para aprendizaje, demostraciones, análisis, etc.		
c. Reutilización. Posee partes, componentes, bloques o subsistemas que pueden ser desmontados para volver a su estado original, y usados en sí mismos o en forma independiente.		
d. Incrementabilidad. Puede complejizarse agregando piezas o completando el sistema para mejorar su funcionalidad, rendimiento, precisión o calidad.		
e. Aplicabilidad múltiple. Como sistema tecnológico, permite que usted seleccione las variables con las que desea trabajar (algunas de las que maneja el sistema, todas las previstas o agregar otras).		

Si su respuesta es negativa en alguna de ellas, indique por qué, identificando su comentario con la letra correspondiente:

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....





6.3. Didácticas (Por favor, complete tanto si construyó el equipo como si utilizó uno ya construido)

	Sí	No
a. Congruencia. Tiene relación con los testimonios de realidad incluidos en el módulo de capacitación.		
b. Pertinencia. Los componentes, bloques funcionales y sistemas son adecuados para el trabajo con los contenidos curriculares de la educación técnico-profesional.		
c. Integración. Posibilita el tratamiento asociado de los conocimientos científicos y tecnológicos propuestos en el material.		
d. Escalabilidad. Es posible utilizarlo con proyectos o problemas con diferentes niveles de complejidad.		
e. Complejidad creciente. Las soluciones alcanzadas para una parte del problema, sirven de base para las siguientes o permite que, agregando componentes, sea utilizado como solución a problemas más complejos.		
f. Adaptabilidad. Permite su adaptación a soluciones diversas en torno a las problemáticas planteadas.		



Si su respuesta es negativa en alguna de ellas, indique por qué, identificándola con la letra correspondiente:

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

7. Otras características del material teórico:

¿Cómo calificaría el diseño del módulo escrito (desarrollo de contenidos científicos y tecnológicos, y propuestas de experiencias didácticas)?

	MB ⁷	B	R	M
a. Formato gráfico del material (distribución del contenido, márgenes, distribución de texto e imágenes, inserción de gráficos, diseño gráfico global, etc.).				
b. Lenguaje utilizado (claridad, adecuación al destinatario).				
c. Organización (secuencia entre cada parte).				
d. Adecuación al destinatario (evidencia que se toma en cuenta que es un material para ser trabajado en un ámbito escolar).				
e. Pertinencia de los conocimientos científicos con las problemáticas planteadas.				
f. Pertinencia de los conocimientos tecnológicos con las problemáticas planteadas.				
g. Vinculación (pertinencia) del recurso didáctico que propone con las situaciones didácticas planteadas.				
h. Congruencia (vinculación) de los contenidos propuestos con el recurso didáctico.				
i. Aporte metodológico para enriquecer sus estrategias didácticas.				
j. Aporte teórico (en general) para su trabajo docente.				
k. Valor motivador para el trabajo con sus alumnos.				
l. Valor orientador para generar sus propios recursos didácticos.				
m. Concepción innovadora para el trabajo didáctico en la educación técnico-profesional.				

Si marcó la opción “Malo”, le pedimos que nos explique por qué:

.....

.....

.....

⁷ Escala= MB: Muy bueno / B: Bueno / R: Regular / M: Malo



8. Propuestas o nuevas ideas:

Tanto para los autores de este material, como para el CeNET como institución responsable de su elaboración y distribución, una de las finalidades más importantes es suscitar en los educadores nuevas ideas, aplicaciones o propuestas creativas a partir de la lectura o el trabajo con el módulo.

En función de ello, le solicitamos que nos indique:

Si a partir del módulo (contenido teórico y recurso didáctico) usted, en su calidad de (marque todas las opciones que correspondan):

a. <input type="checkbox"/> docente a cargo de un grupo de alumnos	b. <input type="checkbox"/> directivo
c. <input type="checkbox"/> responsable de la asignatura:	d. <input type="checkbox"/> lector del material
e. <input type="checkbox"/> otro (especifique):	

ha generado nuevas ideas o propuestas:

Respecto de los contenidos (independientemente del recurso didáctico):

	Sí	No
a. Organización de su asignatura.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
b. Contenidos científicos y tecnológicos (formas de asociarlos, ampliarlos, desarrollarlos, etc.)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
c. Planificación de las experiencias didácticas.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
d. Trabajo con resolución de problemas.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Otras (Por favor, especifique en qué ámbitos ligados con los contenidos ha generado estas nuevas ideas o propuestas):

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Si su respuesta fue afirmativa le pedimos que la amplíe:

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....



En relación con el recurso didáctico. Le pedimos que nos relate (libremente) las nuevas ideas o propuestas que el trabajo con este material le ha suscitado:



A series of horizontal dotted lines providing space for the respondent to write their answers.

Títulos en preparación de la serie “**Recursos didácticos**”.

- Agenda electrónica para personas con disminución visual
- Arquitectura bioclimática
- Auto solar
- Banco de trabajo
- Generador eólico
- Manipulador neumático
- Máquina de vapor
- Matriceria. Moldes y modelos
- Planta de tratamiento de aguas residuales
- Simuladores interconectables basados en lógica digital
- Sismógrafo
- Sistemas SCADA para el control de procesos industriales
- Tren de aterrizaje