

ESTUDIOS e INFORMES de la CEPAL

94

**INNOVACIÓN EN TECNOLOGÍAS Y SISTEMAS
DE GESTIÓN AMBIENTALES EN EMPRESAS
LÍDERES LATINOAMERICANAS**

Experiencias empresariales en materia de desarrollo, aplicación
y difusión de tecnologías ambientalmente racionales



NACIONES UNIDAS

ESTUDIOS e INFORMES de la CEPAL

**INNOVACIÓN EN TECNOLOGÍAS Y SISTEMAS
DE GESTIÓN AMBIENTALES EN EMPRESAS
LÍDERES LATINOAMERICANAS**

Experiencias empresariales en materia de desarrollo, aplicación
y difusión de tecnologías ambientalmente racionales



NACIONES UNIDAS
COMISIÓN ECONÓMICA PARA AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE
Santiago de Chile, 1995

LC/G.1871-P
Julio de 1995

Este trabajo fue preparado por Jorge Beckel, Consultor de la Unidad Conjunta CEPAL/ONUDI de Desarrollo Industrial y Tecnológico de la División de Desarrollo Productivo y Empresarial de la CEPAL.

Las opiniones expresadas en este documento son de la exclusiva responsabilidad de su autor y pueden no coincidir con las de la Organización.

PUBLICACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS

Número de venta: S.95.II.G.11

ISSN 0256-9795

ISBN 92-1-321420-0

La autorización para reproducir total o parcialmente esta obra debe solicitarse al Secretario de la Junta de Publicaciones, Sede de las Naciones Unidas, Nueva York N.Y. 10017, EE.UU. Los Estados miembros y sus instituciones gubernamentales pueden reproducir esta obra sin autorización previa. Sólo se les solicita que mencionen la fuente e informen a las Naciones Unidas de tal reproducción.

Copyright © Naciones Unidas 1995
Todos los derechos están reservados
Impreso en Santiago de Chile

ÍNDICE

	<i>Página</i>
Resumen	9
Summary	11
Presentación	13
I. INNOVACIÓN TECNOLÓGICA, ESTRATEGIA EMPRESARIAL Y POLÍTICAS PÚBLICAS EN EL CAMPO DEL MEDIO AMBIENTE Y LAS TECNOLOGÍAS AMBIENTALMENTE RACIONALES	15
1. El marco de referencia	15
2. Presentación de las empresas protagonistas	26
3. Definiciones básicas	29
4. Respuestas de la industria a las políticas ambientales	34
5. Programas de fomento a la innovación y difusión de tecnologías ambientales	37
II. DESARROLLO, APLICACIÓN Y DIFUSIÓN DE TECNOLOGÍAS AMBIENTALES EN 10 EMPRESAS LÍDERES LATINOAMERICANAS: SÍNTESIS DE LOS ESTUDIOS DE CASO	41
1. Antecedentes generales de las empresas	41
2. Los desarrollos tecnológicos	44
3. Motivaciones de las empresas para desarrollar tecnologías ambientalmente racionales	53
4. Gestión tecnológica y ambiental	58
5. Cooperación tecnológica a nivel nacional	59
6. Cooperación tecnológica internacional	62
7. Políticas de fomento tecnológico	65

	<i>Página</i>
III. SANEAMIENTO BÁSICO Y TRATAMIENTO DE RESIDUOS PELIGROSOS	67
1. CETESB: desarrollo del biodigestor de flujo ascendente para el tratamiento de aguas servidas	68
2. FIBRIT: desarrollo de un sistema de tratamiento anaeróbico de efluentes líquidos	74
3. APLIQUIM: desarrollo del tratamiento de residuos de mercurio con recuperación de productos de valor	87
4. TERMOVENT: proyecto de incineración de residuos hospitalarios sin contaminación atmosférica y con recuperación de calor	99
IV. TECNOLOGÍAS LIMPIAS PARA APLICACIONES INDUSTRIALES, AGRÍCOLAS Y PESQUERAS	107
1. QUIMETAL: adaptación de tecnologías ambientalmente seguras para la fabricación de anhídrido sulfuroso	107
Apéndice: Comparación entre el antiguo y el nuevo proceso de fabricación de anhídrido sulfuroso utilizado por QUIMETAL	116
2. PROQUIVI: desarrollo de tecnologías limpias para el uso de anhídrido sulfuroso en la conservación de fruta de exportación	117
Apéndice: Comparación de costos entre los sistemas de gasificación en cámara y caja por caja	122
3. ALUAR: desarrollo de tecnologías electrometalúrgicas y adopción de sistemas de gestión sustentable	123
4. MAESTRANZA IQUIQUE y CORPESCA: desarrollo de tecnologías limpias y sistemas de gestión sustentable en la industria pesquera	143
Apéndice: El proceso de elaboración de harina de pescado y el medio ambiente	159
V. GESTIÓN SUSTENTABLE DE RECURSOS NATURALES Y APROVECHAMIENTO DE BIOMASA COMO FUENTE RENOVABLE DE ENERGÍA	161
1. ARACRUZ CELULOSE: aplicación de las ciencias biológicas al desarrollo de plantaciones forestales y la gestión sustentable del territorio	161

	<i>Página</i>
2. JULIO BERKES: desarrollo de tecnologías de combustión de leña y de biomasa de otros orígenes	177
VI. REFLEXIONES FINALES: GESTIÓN EMPRESARIAL Y POLÍTICAS PÚBLICAS DE APOYO AL DESARROLLO, APLICACIÓN Y DIFUSIÓN DE TECNOLOGÍAS AMBIENTALMENTE RACIONALES	189
Anexo: GLOSARIO	197
Bibliografía	203

ÍNDICE DE CUADROS Y GRÁFICOS

Cuadros

1. Principales características de las empresas innovadoras	42
2. ALUAR: inversiones en instalaciones de protección ambiental	141
3. Chile: estructura de la industria pesquera, 1989	147
4. Intercambio tecnológico de ARACRUZ con otras empresas e instituciones científicas-tecnológicas	169
5. Industrias usuarias de instalaciones de transformación de energía dendrítica	185

Gráficos

1. Proceso de la digestión anaeróbica de productos particulados orgánicos biodegradables	77
2. Diagrama simplificado de los sistemas de descontaminación y reciclaje de residuos	90
3. Presecado	92
4. Ustulación	93
5. Destilación al vacío en retortas	94
6. Proyecto incinerador-secador para residuos hospitalarios y desperdicios de alimentos	101
7. Esquema simplificado de la producción de anhídrido sulfuroso y bisulfito de sodio en la planta de MININCO	110
8. Diagrama de flujo de la planta de anhídrido sulfuroso de MININCO	111
9. El sistema de gestión ambiental de ALUAR	129

	<i>Página</i>
10. Concentración atmosférica de fluoruros gaseosos: medidas registradas en el entorno de la planta ALUAR y niveles de referencia de normas aplicadas en Estados Unidos	136
11. Fundamentos de la estimación de riesgo ecológico de hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP)	138
12. Concentración de hidrocarburos aromáticos policíclicos en sedimentos en Bahía Nueva	139
13. Recuperación de inversiones en plantas de tratamiento de humos de electrólisis en ALUAR	142
14. CHILE: desembarque de pesca, 1991	145
15. CHILE: industrias procesadoras de pesca, número de plantas, ubicación y materia prima por línea de elaboración, 1991	146
16. Esquema de producción del proceso Maestranza Iquique S.A.	153

RESUMEN

El presente estudio es el resultado de un ejercicio de cooperación entre la CEPAL y 10 empresas latinoamericanas que han desarrollado tecnologías ambientalmente racionales hasta la etapa de aplicación industrial o de introducción en el mercado. Básicamente, se entienden como tales las tecnologías de productos y de procesos que protegen la salud humana y el medio ambiente o usan los recursos naturales y fuentes de energía con mayor eficiencia que las convencionales. En la definición se incluyen también los sistemas de gestión ambiental desarrollados y aplicados en contextos empresariales.

El propósito de este ejercicio fue dar a conocer las experiencias de un conjunto de empresas innovadoras a un círculo más amplio de personas interesadas en el tema, sea que trabajen en el gobierno, el sector productivo, instituciones relacionadas con la protección del medio ambiente y la gestión de los recursos naturales, centros de investigación tecnológica, universidades, organizaciones no gubernamentales u organismos internacionales. De acuerdo con el enfoque tradicional de protección del medio ambiente y el principio de "quien contamina, paga", las empresas deben incorporar los costos ambientales o externalidades que resulten de la utilización del medio ambiente como fuente de recursos económicos o como sitio de destino de los residuos. Así, el aumento de los costos privados sería justificado por la generación de beneficios sociales. En una interpretación más moderna y que se ajusta mejor al concepto del desarrollo sustentable, se sostiene que con políticas nacionales y métodos de gestión empresarial adecuados es posible alcanzar, a la vez, beneficios sociales y privados.

En este sentido, uno de los principales planteamientos presentados en este estudio es que el medio ambiente y los recursos naturales son un campo propicio para el desarrollo de nuevas tecnologías y la innovación tecnológica, oportunidades que también están al alcance de las empresas latinoamericanas. Las actividades de desarrollo tecnológico son iniciadas por las empresas especialmente con el objeto de fortalecer su posición en el mercado, sea a nivel local o internacional. Ante los desafíos que enfrenta América Latina en la esfera del medio ambiente y el comercio

internacional, sería conveniente que en el diseño de las políticas públicas en las áreas de medio ambiente, recursos naturales, reestructuración industrial y fomento tecnológico se tomaran en cuenta estas posibilidades, de modo que apoyaran a las iniciativas empresariales al respecto.

El estudio comprende los informes preparados por 10 empresas —entre las que también se ha considerado la Compañía de Tecnología de Saneamiento Ambiental (CETESB), organismo del Estado de São Paulo— sobre sus realizaciones en el campo de las tecnologías ambientales. Aunque los casos han sido cuidadosamente seleccionados por los expertos de la CEPAL que encabezaron el proyecto, es importante señalar que estos trabajos no constituyen auditorías ambientales y que tampoco se ha pretendido otorgar con su publicación una especie de sello de calidad ambiental a las empresas consideradas.

Este documento está dividido en seis capítulos. Después de una presentación sucinta de las 10 empresas que colaboraron en el proyecto, se aclara el alcance de los conceptos de tecnologías ambientalmente racionales, investigación y desarrollo tecnológicos y cooperación tecnológica internacional y se concluye con algunos antecedentes acerca de la forma en que la industria ha respondido a las políticas ambientales y programas de fomento a la innovación en materia de tecnologías ambientales en diversos países desarrollados.

En el capítulo II se reseñan y analizan los estudios de caso preparados por las 10 empresas examinadas. En primer lugar, se describen las principales características de estas empresas. Luego se presentan las diversas tecnologías desarrolladas y se explica su relevancia para el medio ambiente y el desarrollo sustentable. A continuación se exploran las motivaciones de las empresas para realizar actividades en los campos señalados y los rasgos fundamentales de su gestión tecnológica y ambiental en el marco de su estrategia de negocios. Después se analizan las experiencias de cooperación tecnológica en los planos nacional e internacional. Concluye este capítulo con algunos comentarios de las empresas respecto de la efectividad de las políticas nacionales de fomento tecnológico en sus respectivos países.

En los capítulos III, IV y V se presentan los informes preparados por las empresas, agrupados según las áreas tecnológicas a las que corresponden. Así, en el capítulo III figuran los cuatro casos de desarrollo tecnológico en el campo del saneamiento básico y tratamiento de residuos peligrosos; en el capítulo IV, otros cuatro casos referidos a tecnologías limpias para aplicaciones industriales, agrícolas y pesqueras; el capítulo V comprende dos casos de gestión sustentable de recursos naturales y de perfeccionamiento de tecnologías para la utilización de biomasa como fuente renovable de energía. En el último capítulo se exponen algunas reflexiones finales sobre gestión empresarial y políticas públicas de apoyo al desarrollo, aplicación y difusión de tecnologías ambientalmente racionales.

SUMMARY

The present study is the result of a cooperative effort between ECLAC and 10 Latin American firms which have developed environmentally sound technologies up to the stage of industrial application or market launching. Basically, environmentally sound technologies are defined as those products or processes which protect human health and the environment or which use natural resources and sources of energy with greater efficiency than conventional ones. The definition also encompasses environmental management systems developed and applied in the business world.

The aim of the cooperative effort was to publicize the experiences of a group of innovative firms among a broader range of people with an interest in the issue, whether they work in government, the productive sector, institutions involved in environmental protection and natural resources management, technological research centres, universities, non-governmental organizations or international organizations. According to the traditional approach of environmental protection and the "polluter pays principle", firms must absorb the environmental costs or externalities which result from their using the environment as a source of economic resources or as a dumping ground for wastes. Thus, the increase in private costs would be justified by the generation of social benefits. In a more modern interpretation, one which is more in keeping with the concept of sustainable development, it is contended that national policies and appropriate methods of business management can be instrumental in attaining both social and private benefits at the same time.

Therefore, it is one of the main assertions of this study that the environment and natural resources are a suitable sphere for the development of new technologies and technological innovation, opportunities which are within the reach of Latin American firms. Firms engage in technological development especially with the aim of strengthening their position in the market, whether at the local or at the international level. In the light of the challenges facing Latin America in the environmental and international trade arenas, these possibilities

should be taken into account in the design of public policies in the areas of the environment, natural resources, industrial restructuring and technological development, in such a way that they promote related business initiatives.

The study contains the reports prepared by 10 firms —including the Environmental Sanitation Technologies Company (CETESB), a São Paulo State enterprise— on their activities in the environmental technologies field. Firms were carefully selected by the ECLAC experts in charge of the project; however, it should be pointed out that these case studies do not constitute environmental audits and that their publication is not meant to confer a kind of "environmental quality seal" on the firms under consideration.

This paper is divided into six chapters. First, a brief presentation is made of the 10 firms which collaborated in the project. It then goes on to clarify the concepts of environmentally sound technologies, technological research and development and international technological development. The chapter concludes by providing some information on the way in which industry has responded to environmental policies and programmes designed to foster innovation in environmental technologies in a number of developed countries.

Chapter II outlines and examines the case studies prepared by the 10 firms in question. First, a description is given of the main characteristics of these firms. This is followed by an outline of the various technologies developed and an explanation of their relevance to the environment and sustainable development. Next the factors which motivate firms to conduct activities in the fields in question are explored, as are the key features of their technological and environmental management in the light of their business strategies. Next the experiences with technological cooperation on the national and international levels are analysed. Chapter II concludes with a number of comments by firms with respect to the effectiveness of national policies for technological development in their respective countries.

Chapters III, IV and V present the reports prepared by the firms, grouping them in similar technological fields. Thus, chapter III profiles the four cases of technological development in the field of basic sanitation and treatment of hazardous wastes. Chapter IV profiles the four cases relating to clean technologies with applications in manufacturing, farming and the fishing industry. Chapter V outlines the two cases related to sustainable natural resources management and the upgrading of technologies to use biomass as a renewable source of energy. The final chapter sets out a number of closing thoughts on environmental management and public policies which aim to support the development, application and dissemination of environmentally sound technologies.

PRESENTACIÓN

Este estudio es el resultado de un proyecto sobre el tema de la tecnología y el medio ambiente que la División de Desarrollo Productivo y Empresarial de la CEPAL realizó conjuntamente con un grupo de 10 empresas latinoamericanas y para el cual contó con el auspicio y la colaboración de asociaciones industriales de varios países de la región. Este proyecto y la preparación del estudio estuvieron a cargo del Sr. Jorge Beckel, primero como funcionario de la CEPAL, y luego como consultor. Los capítulos I y II, que corresponden a la introducción y a una síntesis de los 10 estudios de caso, respectivamente, así como el capítulo final, fueron elaborados por el consultor. En los capítulos III, IV y V se reproducen los informes que, a solicitud de la CEPAL, fueron preparados por las empresas sobre el tema en cuestión.

El proyecto en referencia se benefició ampliamente de las presentaciones y el intercambio de ideas que tuvieron lugar en el marco de los seminarios y reuniones de trabajo organizados por el Proyecto CEPAL/GTZ (Sociedad Alemana de Cooperación Técnica) "Políticas para la gestión ambientalmente adecuada de los residuos industriales y urbanos", que lleva adelante la División de Medio Ambiente y Recursos Naturales de la CEPAL.

La División de Recursos Naturales y Energía colaboró en esta tarea aportando sus observaciones y comentarios a los informes de las empresas, y preparando los gráficos del estudio de caso de Maestranza Iquique y la Corporación de Productores de Harina de Pescado (CORPESCA), referido al desarrollo de tecnologías limpias y sistemas de gestión sustentable en la industria pesquera, reproducido en el capítulo IV.

En la elaboración de este estudio, que representa un aporte de la CEPAL y la industria latinoamericana a la ejecución del Programa 21 adoptado en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (Rio de Janeiro, junio de 1992), se contó con el apoyo de diversas asociaciones industriales de los países a los que pertenecen las empresas participantes en el ejercicio. Es por ello que la CEPAL desea dejar constancia de su reconocimiento a la Federación de

Industrias del Estado de São Paulo (FIESP), Brasil; la Sociedad de Fomento Fabril (SOFOFA) y la Asociación de Industrias Metalúrgicas y Metalmecánicas A.G. (ASIMET), Chile, y la Confederación de Cámaras Industriales (CONCAMIN), México. Agradece asimismo a las diferentes empresas que contribuyeron a la elaboración de este documento mediante la preparación de informes sobre sus experiencias en el campo que se examina.

I. INNOVACIÓN TECNOLÓGICA, ESTRATEGIA EMPRESARIAL Y POLÍTICAS PÚBLICAS EN EL CAMPO DEL MEDIO AMBIENTE Y LAS TECNOLOGÍAS AMBIENTALMENTE RACIONALES

1. El marco de referencia

En el umbral del tercer milenio, la comunidad mundial procura encaminarse hacia el desarrollo sustentable como una forma de asegurar la satisfacción de las necesidades de las generaciones actuales sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades, según la definición contenida en el informe *Nuestro futuro común* de la Comisión Brundtland. La visión del desarrollo sustentable se vincula, entre otros aspectos, a la protección del medio ambiente y de la salud, la valorización del patrimonio y los recursos naturales, la restauración de los ambientes contaminados, la elevación de la calidad de vida de la población y la erradicación de la pobreza. Los países de América Latina y el Caribe participan en este cometido llevando sus propios problemas y prioridades, que frecuentemente son distintos de aquellos que caracterizan a los países con altos niveles de vida y de consumo. La región se distingue por la riqueza de su patrimonio y sus recursos naturales. Su grado de industrialización podría calificarse de intermedio, aunque en este sentido existen diferencias notables entre los distintos países.

En los últimos 20 años, los países latinoamericanos han adquirido mayor conciencia respecto de la necesidad de proteger el medio ambiente y de explotar los recursos naturales con criterios de sustentabilidad. Así lo demuestra la realización de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (Rio de Janeiro, 1992). Además, en numerosos lugares de la región, el deterioro ambiental, los daños a la salud de la población expuesta a diversas fuentes contaminantes y la degradación de los recursos naturales se han vuelto demasiado evidentes como para que continúen siendo ignorados. Los países latinoamericanos han tenido también una activa participación en el debate internacional acerca de temas globales, como los movimientos

transfronterizos de residuos peligrosos, el deterioro de la capa de ozono en la Antártida, el cambio climático, la deforestación y la pérdida de biodiversidad.

Un factor que ha influido en las decisiones de los países de la región y de ciertas de sus industrias en el sentido de adoptar medidas de protección ambiental se relaciona con la orientación de su comercio exterior. Las exportaciones latinoamericanas, de las cuales una gran parte consiste en productos basados en recursos naturales, se dirigen principalmente a los países desarrollados. Éstos aplican a los productos importados sus propias normas ambientales y sanitarias y a los exportadores que los proveen sólo les cabe cumplirlas. A las mismas exigencias se someten las importaciones de productos manufacturados, por lo que también resultan afectadas las exportaciones latinoamericanas de estos bienes. Además, en los foros internacionales se discute si es legítimo que los países impongan derechos compensatorios u otras restricciones a las importaciones de productos extraídos o elaborados mediante procesos contaminantes en sus países de origen.

En algunos sectores industriales de los países desarrollados se propicia una nivelación mundial de las condiciones de competencia. Se sostiene que los demás productores, en particular aquellos de los países en desarrollo, gozan de una ventaja competitiva desleal, ya que no están sometidos a una fiscalización estricta del cumplimiento de las leyes ambientales. En estas discusiones no siempre se reconoce el hecho de que los países en desarrollo puedan tener genuinas ventajas comparativas en materia ambiental debido a que, en algunas partes, su entorno todavía posee una cierta capacidad de regeneración. Aunque de acuerdo con las reglas del GATT la imposición de restricciones comerciales a productos elaborados mediante procesos contaminantes no está permitida, en los países latinoamericanos existe la preocupación de que el mencionado argumento pueda conducir finalmente a justificar la adopción de medidas proteccionistas por parte de los países importadores.

La negociación del Tratado de Libre Comercio de América del Norte entre Canadá, Estados Unidos y México, que originó similares discusiones, indujo a este último país a adoptar una serie de medidas tendientes a controlar la contaminación ambiental provocada por su industria, con el objeto de demostrar a sus socios comerciales su voluntad política y capacidad administrativa para fiscalizar la observancia de la legislación ambiental. En un futuro próximo, la perspectiva de que se negocien nuevos acuerdos de integración, especialmente a nivel intrahemisférico, podría tener efectos parecidos en varios otros países latinoamericanos.

Para otorgar financiamiento, los organismos financieros internacionales y las agencias de cooperación económica ponen ahora

como condición que los proyectos de inversión presentados por los países en desarrollo cumplan con determinados requisitos ambientales. Para tal propósito, los proyectos suelen someterse a análisis de impacto ambiental. Además, un grupo reducido de empresas latinoamericanas, entre las que se cuentan, en particular, grandes empresas con capitales privados nacionales, extranjeros y mixtos, han implementado políticas de gestión ambiental. En el marco de éstas realizan investigaciones y estudios ambientales, invierten en instalaciones de protección ambiental, adoptan procesos de fabricación limpia, procuran hacer un uso eficiente de los recursos naturales y la energía, sustituyen las sustancias peligrosas y modifican el diseño de los productos para facilitar su reciclaje. Frecuentemente, estas conductas empresariales son asumidas en forma voluntaria, sin que existan normas legales o administrativas obligatorias. Entre las diversas motivaciones de este comportamiento pueden mencionarse la responsabilidad corporativa con respecto al medio ambiente y la comunidad local, el propósito de anticiparse a futuras normas legales y también la voluntad de proyectar una imagen corporativa positiva como una medida de mercadotecnia. Las actitudes de las empresas, en particular de las transnacionales, suelen responder a estrategias globales y, en lo que respecta al medio ambiente, son determinadas en gran parte por los criterios predominantes en los países de origen de sus casas matrices.

Estas tendencias, que en los próximos años probablemente se acentuarán aún más en la región, están generando una creciente demanda de nuevos bienes, servicios y tecnologías relacionados con el medio ambiente. Además, podrían constituir un importante estímulo para la reestructuración industrial y la elevación de la competitividad internacional de las actividades productivas latinoamericanas. Una forma de apreciar la magnitud aproximada de esta demanda es considerar la inversión que los países destinan a la protección del medio ambiente y a la conservación de los recursos naturales. En el Banco Mundial se ha estimado que la inversión adicional, por encima del actual nivel, que realice el conjunto de los países en desarrollo en los diversos programas vinculados al medio ambiente que esta entidad auspicia, en el año 2000 podría llegar al equivalente de 2% a 3% de su producto interno bruto (Banco Mundial, 1992). Si bien se trata de cifras indicativas, no desglosadas por regiones, proporcionan una idea aproximada de las dimensiones que podría alcanzar en la región la demanda de bienes y servicios relacionados con el medio ambiente y los recursos naturales. El caso de México demuestra que esta proyección no es una utopía. En 1993, el presupuesto de este país ya incluía 5 000 millones de dólares para programas de descontaminación, lo que equivale a 1% de su PIB (Naciones Unidas, 1993a). Además, en un estudio de la Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE) se ha señalado que el

mercado mundial de la industria del medio ambiente, y como tal habría que entender la demanda de bienes y servicios relacionados con la protección del medio ambiente, crecería de 200 billones de dólares en 1990 a 300 billones de dólares en el 2000. Dentro de este total, el mercado de los países en desarrollo aumentaría de 21 billones de dólares a 34 billones durante el mismo período (OCDE, 1992). Las cifras históricas de los países de la OCDE también son sugestivas. En un período reciente, las ventas de bienes y servicios para el control de la contaminación representaron entre 1.2% y 1.5% del producto interno bruto de las economías desarrolladas (CEPAL, 1994; OCDE, 1991 y 1985).

La virtud del libre mercado es que el mecanismo de los precios indica a los consumidores el costo implícito en la producción de un determinado producto, y a los productores el valor que los consumidores le asignan. Según el enfoque tradicional de la teoría económica, en un mercado en que se de una competencia perfecta no hay diferencia entre los costos de producción privados y sociales y la asignación de recursos se realiza en forma óptima. El inconveniente de este enfoque es que la mayoría de los productos, servicios y recursos ambientales son considerados "bienes públicos" o "bienes comunes" carentes de precio, que cualquier persona puede utilizar o consumir libremente. Esta situación conduce a que la demanda de estos bienes sea mayor que si tuvieran un precio indicativo de su escasez relativa. Además, su utilización libre y excesiva provoca un deterioro del medio ambiente, lo que representa un costo para la sociedad. En estas condiciones, los precios de mercado de los bienes y servicios que se producen y consumen son inferiores a los que en realidad deberían tener, porque no incorporan esos costos sociales.

En términos económicos clásicos, si un mercado funciona en forma competitiva, el precio de un bien es igual al costo marginal de la última unidad producida. A la luz de las consideraciones anteriores, sin embargo, el precio correcto debería ser igual a lo que podría denominarse costo marginal social, que incorporaría el costo marginal del daño ambiental causado (Pearce, 1990). En otros términos, desde el punto de vista económica, el óptimo correspondería a un nivel de contaminación ambiental para el cual la suma de los costos privados de producción y de los costos sociales del daño ambiental fuera mínima. Este concepto económico de contaminación óptima reconoce que existe un nivel de costo ambiental que la sociedad acepta a cambio de los bienes, servicios e ingresos generados por el proceso productivo que es la fuente de la contaminación (Betts, 1991).

En la práctica, rara vez se adopta como referencia un nivel óptimo de contaminación, entre otras razones porque el costo del daño ambiental es difícil de determinar en términos objetivos. En cambio, en política

ambiental se suele hacer referencia a un nivel aceptable de contaminación, que constituiría una aproximación al concepto anterior. Si en un ámbito geográfico o local se supera este nivel, las fuentes contaminantes, en conjunto, deben reducir o limitar en grado suficiente sus emisiones, efluentes y residuos. En este contexto, un aspecto crucial del debate ha sido determinar quién debe asumir y sufragar los costos de contención o prevención de la contaminación. En principio, la respuesta depende del alcance de los derechos de los agentes económicos para disponer libremente de los recursos ambientales o bien, a la inversa, de su obligación o incentivo para internalizar los costos ambientales que están generando. La forma en que se resuelva esta cuestión puede ocasionar importantes efectos redistributivos en una economía y, por esta vía, alterar significativamente la competitividad industrial, tanto en el ámbito nacional como en el internacional. Los intentos por regular y armonizar esta materia han dado origen al principio de "quien contamina, paga", también conocido como "contaminador-pagador".

Originalmente, este principio fue adoptado durante los años setenta por la Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE) y la Comunidad Económica Europea (CEE). En 1992 fue incorporado, como principio 16, a la Declaración de Río emanada de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo. El principio de "quien contamina, paga" ha sido objeto de diversas interpretaciones y aclaraciones, pero en esencia quiere decir que el contaminador debe asumir y sufragar el costo de prevenir la contaminación que podría causar si no adoptara medidas adecuadas. Según algunos, esta imputación incluye los costos de control o fiscalización (Cubillo, 1993). Aunque básicamente se trata de un criterio económico que asigna al productor la responsabilidad de internalizar en sus costos una externalidad negativa o costo social, para ser operativo debe estar respaldado por instrumentos jurídicos. Por otra parte, generalmente el principio carece del alcance legal suficiente como para comprometer al contaminador a que responda por los daños que esté infligiendo a terceros, una vez cumplida la normativa ambiental o pagados los impuestos correspondientes. La responsabilidad del contaminador por estos daños evidentemente existe, pero no está fundada en el principio en cuestión, sino que es materia de responsabilidad civil extracontractual (Valenzuela, 1991).

El otorgamiento de subsidios u otro tipo de ayudas fiscales para contribuir a financiar las inversiones que las empresas realicen con fines de prevención o reducción de la contaminación es, en esencia, contrario al principio de "quien contamina, paga". Además de contradecir la justicia distributiva que encierra el principio, la aplicación de estas medidas tiende a distorsionar las condiciones competitivas entre empresas y países. Sin embargo, los órganos directivos de la OCDE y la CEE han

aceptado una serie de excepciones y ciertas medidas adoptadas por países miembros han sido declaradas compatibles con el principio. Así, se admiten subvenciones siempre que sean transitorias o provengan de fondos sustentados por gravámenes o tarifas impuestas a los mismos sectores contaminadores. Además, se han considerado compatibles con el principio los subsidios otorgados para incentivar innovaciones o el desarrollo de tecnologías ambientales. También se ha justificado la concesión de subsidios para facilitar la aplicación de normativas ambientales más estrictas y necesarias con el argumento de que, si no se hiciera, se correría el riesgo de que la industria afectada no las pudiera cumplir. La finalidad de estos subsidios ha sido financiar inversiones en instalaciones de protección ambiental o en procesos más limpios de producción, aun cuando las autoridades han reafirmado la plena vigencia del principio de "quien contamina, paga" y con ello que la responsabilidad final de prevenir la contaminación recae en el contaminador (Betts, 1991).

En principio, hay varios instrumentos para lograr un nivel aceptable de contaminación, aunque en la política ambiental frecuentemente se adopta una combinación de ellos. Un camino consiste en crear mercados para los bienes y servicios ambientales de modo que dejen de ser de libre disposición. Al entregar a agentes económicos la propiedad de determinados recursos ambientales es posible asegurar que éstos sean explotados o administrados de acuerdo con su escasez relativa y según un criterio de sustentabilidad. Aunque se trata de una solución que ha demostrado su eficacia, tiene claras limitaciones. Por ejemplo, dado el estado actual de la técnica, sería impracticable asignar derechos de propiedad sobre la capa de ozono. Una segunda opción es la de modificar los mercados asignando valores a los distintos servicios ambientales por medio de instrumentos de política económica. Este enfoque se conoce como la aplicación de incentivos basados en el mercado. Por último, existe la alternativa de fijar estándares o normas ambientales y fiscalizar su cumplimiento (instrumentos de mando y control). Esta opción no es la más eficiente desde el punto de vista económico, por lo que actualmente abundan los intentos de diseñar e introducir sistemas de regulación basados en incentivos económicos. Éstos tendrían la ventaja, entre otras, de estimular la innovación tecnológica, la eficiencia productiva y la competitividad industrial en mayor grado que los sistemas de imposición y fiscalización de normas ambientales.

Como se ha podido ver, mediante un conjunto de regulaciones e incentivos inspirados en principios de justicia distributiva, se busca que los costos ambientales externos o sociales sean internalizados por los agentes productivos y los consumidores. Un aspecto fundamental en este contexto es encontrar la forma de incorporar criterios ambientales o de

sustentabilidad a los proyectos de inversión. Entre los principales instrumentos de las políticas de desarrollo figuran los programas de inversión pública y el financiamiento de proyectos de fomento. En este marco, la evaluación de los proyectos públicos y privados se basa en los análisis de costo-beneficio social, lo que implica aplicar una cierta tasa de descuento al flujo de costos y beneficios que se va dando en el tiempo. Como esta tasa suele estimarse en función del costo social de oportunidad del capital, resulta igual a la tasa de retorno obtenible en el último proyecto de inversión que se haya realizado en una economía nacional. En el debate en torno del desarrollo sustentable, siempre que no se han puesto en tela de juicio las técnicas de descuento, se ha propuesto modificar la tasa de descuento basada en el costo social de oportunidad del capital, con el objeto de tomar efectivamente en cuenta el impacto ambiental de los proyectos.

El esclarecimiento de esta cuestión es también relevante para dilucidar si en los países en desarrollo, donde los costos sociales de oportunidad del capital son comparativamente altos, se tendería a invertir menos en el medio ambiente y a explotar más los recursos naturales que en los países desarrollados. Esto se daría, por ejemplo, en los casos bastante frecuentes de proyectos en los que se percibe que los beneficios derivados de inversiones en el medio ambiente se producirán a largo plazo. En cuanto a los recursos naturales, mientras más alta sea la tasa de descuento, mayor resulta la presión por extraerlos a corto plazo y recibir tempranamente las rentas. En estas condiciones, los proyectos de forestación, entre otros, tienden a no ser económicamente viables. Sin embargo, la relación entre tasa de descuento y medio ambiente no está exenta de ambigüedades, ya que hay situaciones en las que una baja tasa no necesariamente favorece la conservación del medio ambiente.

El concepto de sustentabilidad comprende un criterio de justicia intergeneracional, el que prescribe que la generación presente debe legar a la generación futura un capital natural y hecho por el hombre cuya magnitud sea por lo menos igual a la actual. Existen dos interpretaciones de este principio. Según la primera, lo que debe permanecer constante es la suma de ambas formas de capital; esto implica que capital natural puede ser sustituido por capital hecho por el hombre. La interpretación alternativa apunta a que el capital natural no debe mermar en el tiempo. Esta postura es la que actualmente está cobrando mayor fuerza y sus defensores argumentan que el capital natural es insustituible dado que el medio ambiente cumple determinadas funciones ecológicas y económicas que el capital hecho por el hombre no puede reemplazar. Además, la sustitución de una forma de capital por otra conduce finalmente a la desaparición de recursos ambientales o al colapso de ecosistemas, pérdidas que frecuentemente son irreversibles, ya que se trata de patrimonios que jamás pueden ser recuperados. En el caso de los

recursos naturales renovables, la segunda postura conllevaría poderosas razones para no explotarlos más intensamente de lo que permite su ritmo de regeneración. En cuanto a los recursos naturales no renovables, su extracción debería regularse de acuerdo con la comprobación de la existencia de nuevas reservas o la aparición de productos o fuentes de energía sustitutivos. Si se acepta una declinación de las reservas, parte de las rentas provenientes de la extracción del recurso tendría que destinarse a la generación de formas compensatorias de capital.

La mayoría de los países latinoamericanos poseen abundante capital natural, pero poco capital hecho por el hombre. Por lo tanto, podría justificarse en cierta medida una sustitución de la primera forma de capital por la segunda. Un posible argumento sería que una situación más equilibrada entre ambas formas de capital propiciaría la erradicación de la pobreza y el logro de mayores niveles de bienestar en la región. Evidentemente, esta sustitución estaría limitada por la necesidad de preservar los equilibrios fundamentales de los ecosistemas, entre otros factores. Además, tomando en cuenta que el conocimiento actual sobre el funcionamiento de estos sistemas es aún escaso, la explotación y el uso de los recursos naturales deberían ser prudentes y probablemente condicionarse a la conservación de ciertas reservas mínimas.

En el marco conceptual de la sustentabilidad resulta bastante útil, si bien no suficiente, evaluar los proyectos de inversión sobre la base de la tasa de descuento social y la estimación de los costos de las externalidades ambientales. Es indudable que la tasa de descuento social en los países latinoamericanos será necesariamente superior a la de los países desarrollados, ya que por tratarse de una región aún en vías de desarrollo, los costos y beneficios sociales del presente pesan más que los del futuro, en términos comparativos. Esto significa que es socialmente conveniente que los países en desarrollo procuren favorecer aquellos proyectos que generen impactos sociales positivos a más corto plazo o cuyos costos sociales tiendan a hacerse sentir más tarde. Por lo menos una parte de los proyectos con componente ambiental tienen alguna de esas dos características. Por lo tanto, aún aplicando criterios de costos y beneficios sociales y no privados, los países latinoamericanos tenderán a aplazar algunas inversiones en protección ambiental que sí serían efectuadas en los países desarrollados. Esto implica que sería socialmente correcto explotar más intensivamente los recursos naturales en los países en desarrollo, como los de América Latina, que en los países desarrollados.

Por otra parte, es importante aclarar que así como los costos y beneficios que habría que tomar en cuenta no son idénticos a los costos privados, el costo y beneficio social estimado debe incluir a todo el mundo, y no sólo al país en cuestión. Por ejemplo, algunos países latinoamericanos cuentan con una generosa dotación de determinados

recursos naturales que contribuyen al mantenimiento de los equilibrios ecológicos globales —tal es el caso de los bosques tropicales que, según se cree, influyen de manera importante en el clima de nuestro planeta. Por lo tanto, si bien lo correcto es considerar los beneficios sociales para todo el planeta y no sólo para el país que por azar posee el recurso, el costo no puede ser absorbido únicamente por este último. De ahí que no sólo sea correcto que "quien contamine, pague", sino que "quien limpie, cobre". Por eso es erróneo que en algunos sectores de los países desarrollados se sostenga que tales recursos, como los bosques tropicales, no deben ser explotados, sino conservados para salvaguardar la función ecológica que cumplen en el orden global. En efecto, no es justo que el que limpie el ambiente deba subsidiar a los que lo ensucian. Por consiguiente, los países que poseen recursos que limpian el ambiente global, y no sólo el nacional, deberían recibir del resto del mundo una compensación que los indemnizara por sacrificar oportunidades de crecer en aras de lo que para ellos sería una sobreinversión en conservación.

A la luz de la experiencia internacional, la aplicación de políticas ambientales no se traduce necesariamente en una elevación generalizada de los costos de producción ni en un aumento de los precios. En aquellos países de la OCDE que se destacan por sus avances en la protección del medio ambiente existe una serie de sectores industriales en los que ciertas empresas han logrado significativos ahorros de costos y aumentos de beneficios como resultado de una gestión orientada, simultáneamente, a objetivos de calidad ambiental y de eficiencia productiva. Además, los ejemplos de estos países muestran que las políticas públicas y las iniciativas privadas dirigidas a proteger el medio ambiente y hacer un uso sustentable de los recursos naturales y la energía pueden estimular la innovación tecnológica y, por esta vía, contribuir al aumento de la productividad y la eficiencia, la elevación de la calidad y la reducción de los costos. En particular, estas políticas generan condiciones propicias al desarrollo de tecnologías ambientalmente racionales y dan origen a nuevas actividades industriales (Durán de la Fuente, 1991).

En diversos países de la región existen empresas que también han incursionado exitosamente en dicho campo. Es así que se conocen casos de empresas que han desarrollado tecnologías ambientalmente racionales en forma integral, es decir, hasta la etapa de aplicación de las mismas en sus propias plantas industriales o su introducción en el mercado. En ocasiones, el proceso no ha sido totalmente original, sino una adaptación de tecnologías de procedencia externa a las condiciones y características locales. Entre estos casos, son particularmente relevantes aquellos en que el desarrollo tecnológico ha sido parte de un proyecto de ingeniería o fruto de una serie acumulativa de perfeccionamientos. Las empresas que supieron reconocer la potencial demanda de tecnologías ambientales en el mercado y respondieron a ese reto en forma creativa pueden

considerarse líderes en este campo. Su ejemplo muestra que es posible convertir ideas innovadoras en riqueza.

De estos antecedentes y consideraciones se desprende el interrogante de cómo incentivar el desarrollo de tecnologías ambientalmente racionales en la industria latinoamericana. La cuestión puede examinarse desde la perspectiva tanto de las políticas públicas como de la gestión empresarial. En cualquier caso, habría que tener presente que el número de las experiencias empresariales presentadas en este estudio es limitado, por lo que las lecciones que pueden aportar tienen un alcance ilustrativo y prospectivo y no son necesariamente generalizables. En lo que respecta a las políticas públicas, conviene tener también en cuenta la experiencia de los países desarrollados.

En este estudio se exponen los casos de un conjunto de empresas latinoamericanas que se desenvuelven en el ámbito en cuestión, radicadas en Argentina, Brasil, Colombia, Chile, México y Uruguay. Pertenecen a una amplia gama de sectores productivos que incluye tanto actividades primarias como manufactureras. Sus tamaños son distintos y en algunos casos pertenecen a conglomerados industriales. El término empresa se ha interpretado en un sentido amplio, para así poder incluir la experiencia de una institución pública que, además de estar dedicada al desarrollo de nuevas tecnologías ambientales, se encarga de la ejecución de la política ambiental del gobierno de un estado federal.

La presentación de estas experiencias está basada en los informes elaborados por las diferentes empresas en respuesta a una iniciativa de la División de Desarrollo Productivo y Empresarial de la CEPAL. El primero de los objetivos que se consideraron al solicitar a las empresas que prepararan estos trabajos fue el de divulgar experiencias exitosas de innovación tecnológica en el campo del desarrollo sustentable a fin de contribuir a que la empresa latinoamericana proyecte una imagen positiva tanto en la región como en foros internacionales apropiados. En segundo término, mostrar que en este ámbito existen actitudes innovadoras que pueden ser imitadas por otras empresas y fundadores de empresas en la región. Tercero, ilustrar la gestión en materia de tecnología y recursos humanos de las empresas innovadoras y examinar las relaciones de cooperación tecnológica que mantienen con otras firmas y con instituciones pertinentes en sus países y en el exterior. Este aspecto atañe en particular al enfoque sistémico de la competitividad internacional de las empresas productivas, que es uno de los ejes de la propuesta sobre transformación productiva, equidad y medio ambiente planteada por la CEPAL para el decenio de los noventa (CEPAL, 1991). En cuarto lugar, proporcionar elementos de reflexión para el diseño de políticas públicas que compatibilicen la protección del medio ambiente y el uso sustentable de los recursos naturales, por una parte, con el fortalecimiento de la eficiencia productiva y la competitividad internacional de los países, por

la otra. Finalmente, estimular la realización de actividades de investigación empírica y de proyectos de cooperación a nivel regional e internacional.

La CEPAL proporcionó a las empresas que aceptaron participar en este proyecto una guía para el desarrollo de los distintos puntos del temario. En consecuencia, los trabajos elaborados generalmente tienen la siguiente estructura: primero, una presentación de la empresa en la que se describen las circunstancias de su fundación, su giro de actividad, el número de personas que ocupa, la ubicación geográfica de las plantas industriales o centros de operación y los principales mercados de destino de sus productos. En segundo lugar, una reseña de la tecnología desarrollada por la empresa, en la que se destacan sus aspectos más originales y su relevancia con respecto al medio ambiente y los recursos naturales. En el tercer punto se exponen los diversos factores y circunstancias que marcaron cada una de las etapas del proceso de desarrollo tecnológico en cuestión. El cuarto punto está dedicado a la presentación de algunas características de la gestión tecnológica y de recursos humanos de la empresa. En particular, se destaca si la selección y ejecución de los proyectos de investigación y desarrollo tecnológicos responden a un proceso formalizado o no dentro de la empresa. Por último, se identifican los vínculos de cooperación tecnológica mantenidos con otras empresas dentro y fuera del país, se evalúan los eventuales aportes de centros científicos y tecnológicos a los proyectos de innovación de la empresa y se examinan los apoyos recibidos de programas oficiales de fomento tecnológico y otros incentivos similares.

Para seleccionar empresas que contaran con experiencia en el desarrollo de tecnologías ambientalmente racionales se siguieron dos caminos. Uno fue revisar los antecedentes contenidos en el estudio *Cien empresas innovadoras en Iberoamérica*, elaborado en el marco del Programa de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo, Quinto Centenario del Descubrimiento de América (Waissbluth, Testart y Buitelaar, 1992). Su realización tuvo el doble propósito de identificar, en una muestra de empresas iberoamericanas, los componentes del proceso innovador, y de promover la actividad creativa en las empresas de la región. En forma paralela al estudio se efectuó un certamen para premiar, entre otras, a las empresas que se hubieran distinguido por la relevancia de sus innovaciones de proceso y de producto introducidas exitosamente en la actividad productiva o en el mercado. Entre las empresas que participaron en el certamen, los antecedentes presentados permitieron identificar algunas que habían desarrollado tecnologías ambientalmente racionales. El segundo procedimiento para identificar empresas apropiadas fue consultar al respecto a las asociaciones industriales de diversos países de la región.

2. Presentación de las empresas protagonistas

Las 10 empresas latinoamericanas cuyas experiencias se presentan en este estudio son las siguientes:

Aluminio Argentino (ALUAR) S.A.I.C. está localizada en Puerto Madryn, en la región de la Patagonia. Produce aluminio primario mediante un proceso industrial que consiste en la transformación electrolítica de alúmina importada. La empresa inició sus operaciones en 1974. Desde el comienzo se previó incorporar permanentemente los avances tecnológicos que surgieran en la industria mundial del aluminio. En el mismo orden de ideas, tempranamente se estableció un sistema de investigación y gestión ambiental que en la actualidad abarca todas las áreas operativas y de servicio de la empresa. En la categoría de industrias grandes, ALUAR ganó el premio otorgado en 1992 a la empresa más innovadora de Iberoamérica en el certamen organizado por el Programa de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo.

APLIQUIM, Equipos y Productos Químicos Limitada es una empresa brasileña fundada en 1985 para que se encargara del tratamiento de residuos tóxicos, por cuenta de una fábrica de cloro-soda. Para realizar esa tarea, la empresa desarrolló un proceso apropiado y estableció una planta de tratamiento. Desde entonces se ha dedicado a tratar una gran variedad de otros residuos peligrosos, tales como los contaminados por mercurio, entre otros. Los metales y otras sustancias de valor se recuperan y se venden en el mercado. Actualmente, la empresa ofrece tratar residuos por cuenta de terceros, fabricar y suministrar equipos especializados y prestar servicios de consultoría y de transferencia tecnológica en este campo.

Aracruz Celulose, S.A. es una sociedad de cartera (*holding*) de seis empresas brasileñas con más de 2 000 accionistas. El proyecto responde a una concepción integral de la fabricación de celulosa blanqueada de eucalipto. Los activos del grupo empresarial comprenden plantaciones de eucalipto, una fábrica de celulosa, una planta electroquímica, una estructura portuaria y un barrio residencial. La empresa forestal del grupo ha acumulado una gran experiencia en el campo de la gestión sustentable de plantaciones de eucalipto. Las actividades forestales se iniciaron en 1967 y actualmente abarcan una superficie de casi 131 000 ha de plantaciones de eucalipto intercaladas con 55 000 ha de reservas naturales. Pocos años después de iniciar estas operaciones, el grupo empresarial comenzó a desplegar un sostenido esfuerzo por desarrollar nuevas especies de árboles adaptadas a las condiciones ecológicas locales y con altos rendimientos en términos de celulosa producida. Además de estas actividades, Aracruz Celulose y su rama forestal intervienen en varias otras áreas del desarrollo sustentable.

La Compañía de Tecnología de Saneamiento Ambiental (CETESB), es el organismo encargado de ejecutar la política ambiental del Estado de São Paulo. Entre sus principales funciones está la de fiscalizar la contaminación y la calidad del medio ambiente en el ámbito territorial del estado, así como realizar investigaciones y desarrollar tecnologías relacionadas con su esfera de acción. Esta institución es la única de carácter público que figura en este estudio y fue incluida por sus atribuciones en el área del desarrollo tecnológico. La CETESB fue fundada en 1974 y su gama de actividades es actualmente bastante amplia. Cuenta con laboratorios de investigación propios y un cuerpo de más de 3 000 funcionarios altamente capacitados. Mantiene contactos e intercambios científicos y técnicos permanentes con prestigiadas instituciones del país y del exterior, realiza cursos de capacitación para técnicos provenientes del resto de América Latina y presta asistencia técnica internacional. El ejemplo de desarrollo tecnológico que se presenta en este estudio consiste en un proceso de tratamiento anaeróbico de aguas servidas urbanas.

FIBRIT Internacional S.A. es una empresa colombiana dedicada al diseño, fabricación e instalación de materiales y sistemas de construcción, así como de plantas para el tratamiento de aguas servidas. Fue fundada en 1983 con el fin específico de encargarse de industrializar y comercializar dos tecnologías previamente desarrolladas a escala experimental. Una de ellas consiste en un sistema industrializado para el tratamiento de aguas servidas con cargas de origen orgánico. Entre otras ventajas, este sistema puede ser instalado en forma de pequeñas unidades que configuren conjuntos descentralizados de tratamiento, más fáciles de mantener y supervisar.

JULIO BERKES S.A. es una empresa uruguaya que fabrica calderas industriales. Su origen se remonta a principios de la década de los cuarenta. En 1972, cuando tres jóvenes profesionales se hicieron cargo de la gestión de la empresa, se comenzaron a desarrollar ciertas tecnologías orientadas a mejorar la eficiencia de los procesos de combustión y a quemar leña y residuos de diversos orígenes en calderas industriales. JULIO BERKES S.A. se adjudicó el segundo premio a la industria pequeña más innovadora en el certamen ya mencionado.

Maestranza Iquique, S.A. es una empresa chilena que originalmente fabricaba equipos especializados para plantas de harina de pescado, pero ahora produce equipos para industrias procesadoras en general. La empresa fue fundada en 1986, a raíz del exitoso desarrollo de un proceso limpio para la fabricación de harina de pescado por parte de algunas industrias pesqueras del norte de Chile afiliadas a la Corporación de Productores de Harina de Pescado (CORPESCA), una agrupación privada de comercialización. Este desarrollo, que se inició en

Chile con un planteamiento de ingeniería teórica, contó posteriormente con la cooperación tecnológica de un prestigiado fabricante noruego de equipos para la industria pesquera. Desde entonces, Maestranza Iquique ha concretado una serie de exportaciones de equipos y de servicios de ingeniería a países vecinos. Además, la tecnología desarrollada por este grupo de empresas ha sido adoptada por algunos países de larga tradición pesquera.

PROQUIVI Ltda, también de Chile, se dedicaba inicialmente a la fabricación de productos químicos inorgánicos. De éstos, uno de los principales era el anhídrido sulfuroso, uno de los gases que se emplea para preservar uva de mesa de exportación. Con el objeto de mejorar la tecnología utilizada en estas operaciones, la empresa inició actividades de investigación y desarrollo tecnológico, las que dieron por resultado dos aparatos originales de dosificación de anhídrido sulfuroso. En la actualidad, ambos equipos son fabricados en serie por la empresa y su comercialización ha resultado muy exitosa.

QUIMETAL S.A., es otra empresa chilena que fabrica productos químicos inorgánicos. Originalmente fue una sencilla planta formuladora de pesticidas, fundada en 1951. Con el transcurso del tiempo, la firma diversificó su programa de producción, orientándose en particular hacia la elaboración de compuestos cúpricos, e incursionó en nuevos mercados a nivel prácticamente mundial. A principios de los años noventa, QUIMETAL S.A. negoció un contrato exclusivo para abastecer de anhídrido sulfuroso durante varios años a dos empresas productoras de celulosa de papel que estaban instalando nuevas fábricas en el sur del país. Este contrato dio origen al montaje de una planta industrial de anhídrido sulfuroso en la localidad de Mininco, que entró en funcionamiento a fines de 1992. La ingeniería básica del proyecto, proporcionada por la firma Lurgi de Alemania, fue adaptada a las condiciones locales y se le incorporaron los últimos conceptos en materia de protección del medio ambiente.

TERMOVENT Proyectos Agroindustriales, S.C. es una empresa mexicana cuyo origen fue la separación de los departamentos de ingeniería de dos fabricantes de equipos de proceso y su posterior fusión para formar una empresa independiente especializada en la preparación y realización de proyectos. La experiencia aportada por TERMOVENT se refiere al desarrollo de un proceso que combina la incineración de residuos hospitalarios en condiciones de seguridad con la recuperación de calor, que se utiliza para fabricar un alimento forrajero a partir de desperdicios vegetales. El proceso cumple, por lo tanto, un propósito múltiple: destruye los gérmenes patógenos de residuos peligrosos, controla la contaminación atmosférica, recupera energía y convierte desechos municipales en un producto de valor. Cabe mencionar que, en la elaboración de este proyecto, la empresa ha recurrido al conocimiento

y la información disponible en las universidades y demás instituciones científicas y tecnológicas del país.

3. Definiciones básicas

a) *Tecnologías ambiental o ecológicamente racionales*

Son tecnologías que "protegen el medio ambiente, son menos contaminantes, utilizan todos los recursos en forma más sostenible, reciclan una mayor porción de sus desechos y productos y tratan los desechos residuales en forma más aceptable que las tecnologías que han venido a sustituir" (Naciones Unidas, 1993b). El concepto es complejo y sus distintas facetas y aplicaciones han sido analizadas en diversos foros y estudios (Naciones Unidas, 1992). Las tecnologías de este conjunto pueden clasificarse en tres categorías. Pertenecen a la primera las tecnologías correctivas, de control o de última etapa (*end-of-pipe*) que se utilizan para reducir las emisiones o efluentes en la fase final de los procesos industriales o para tratar los residuos; su objeto es evitar o reducir la contaminación ambiental o permitir la disposición segura de los desechos. Estas tecnologías, cuyos exponentes típicos son los filtros de gases de escape o de humos y las plantas de tratamiento de efluentes líquidos o residuos sólidos, complementan los procesos industriales, o bien constituyen instalaciones centralizadas que reciben aguas servidas y residuos para su tratamiento y disposición final.

La segunda categoría está constituida por las tecnologías de proceso o de producto que no generan residuos o desechos, o que los generan en menor cantidad o con grados más bajos de toxicidad que las tecnologías convencionales. Suelen denominarse tecnologías limpias, preventivas o de producción más limpia. Según un grupo asesor del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, producción más limpia se define como "un enfoque más amplio de la protección ambiental, que considera el conjunto de las etapas de producción o el ciclo de vida de un producto, con el objeto de prevenir y minimizar los riesgos de corto y largo plazo para las personas y el medio ambiente. Este enfoque incluye la gestión "de la cuna a la sepultura" (*cradle to grave*) de residuos y emisiones al aire, agua y suelo, así como la minimización del consumo de energía y de materias primas" (ONUDI, 1992). Por lo tanto, las tecnologías de esta categoría consideran la conservación y uso cuidadoso de los recursos naturales, de especial relevancia para América Latina y el Caribe. Además, este enfoque implica una inversión del orden de prioridad de las medidas con que las empresas y los hogares pueden encarar los problemas vinculados

a la contaminación ambiental y al uso sustentable de los recursos naturales.

En esta nueva perspectiva, la prioridad más alta correspondería a las acciones destinadas a evitar la generación de residuos en la fuente, a sustituir productos peligrosos por otros que sean seguros y a optimizar el uso de los recursos energéticos y materias primas (Goosmann y Sutter, 1991; Goosmann, 1991). En la industria, este tipo de medidas generalmente se manifiesta en una modificación del proceso de producción, el diseño o la formulación de los productos o en una sustitución de sustancias químicas. En segundo lugar, una vez agotadas las medidas preventivas, se buscaría reducir al mínimo posible la generación de desechos, tanto en términos de volumen como de grado de peligrosidad. A continuación se trataría de reciclar los residuos inevitables, sea dentro de la misma planta industrial que los genera o en otras instalaciones, en un ámbito industrial e institucional más amplio. En cuarto orden de prioridad vendría el tratamiento de los desechos no reciclables con el objeto de recuperar la energía y los materiales de valor que contengan. Luego correspondería tratar los residuos no aprovechables para volverlos inofensivos, inertes y compactos. Por último, se contemplaría la segura disposición final de los residuos previamente sometidos a tratamiento.

La definición de residuos se ha modificado en el tiempo hasta abarcar categorías cada vez más amplias. Originalmente se consideraba como residuos los materiales no deseados por los productores y consumidores. En la actualidad el concepto incluye los productos y materiales que no son producidos o usados de acuerdo con una finalidad y, en particular, los bienes económicos, como los automóviles y los artículos electrónicos, al término de su ciclo de vida. En la legislación ambiental moderna, por ejemplo en la de Alemania, se establece que los productores son responsables durante todo el ciclo de vida de los productos, que deben ser diseñados de modo que sea fácil reusarlos al término de su vida útil. De esta manera se trata de cerrar los circuitos de materiales en la economía nacional y también de evitar la exportación de residuos antes no considerados por la ley (*VDI Nachrichten*, 1994). La definición moderna de residuos destaca el papel central que le corresponde a la investigación y desarrollo tecnológicos y, en particular, la función que desempeña la ingeniería de procesos y de productos.

Entre las tecnologías ambientalmente racionales se incluye, como tercera categoría, la gestión del medio ambiente y de los recursos naturales. La gestión ambiental, que puede realizarse tanto en el ámbito de una empresa como en el de un territorio o cuenca, abarca un amplio espectro de actividades operacionales y administrativas. Como ejemplos pueden mencionarse la medición de las emisiones e inmisiones de

sustancias contaminantes, la operación de sistemas de vigilancia o monitoreo, la recopilación, transmisión y procesamiento de datos y la auditoría ambiental. La finalidad del manejo sustentable de los recursos naturales es mantener la base de recursos renovables y conservar los recursos no renovables o utilizarlos a un ritmo acorde con la aparición de posibles sustitutos. Entre las tecnologías de manejo forestal, por ejemplo, puede mencionarse el control biológico de las plagas, la regeneración e intervención selectiva de los bosques naturales, los procedimientos tendientes a conservar la biodiversidad y la aplicación de la genética a la selección de especies adaptadas al entorno y aptas para ser utilizadas en procesos industriales. La aplicación de tecnologías de gestión ambiental y de manejo de recursos naturales frecuentemente supone un enfoque sistémico que abarca diversas áreas funcionales y disciplinas científicas y técnicas. Entre los desarrollos tecnológicos presentados en este estudio figuran algunos que ilustran este tipo de tecnologías.

b) *Investigación aplicada y desarrollo tecnológico*

Conviene aclarar brevemente el sentido en que se ha interpretado el concepto de desarrollo tecnológico en este estudio. Básicamente se trata de un conjunto de actividades que abarca la concepción teórica de un nuevo producto, su proceso de fabricación o sistema de gestión y la comprobación de su factibilidad técnico-económica mediante un prototipo, en una planta piloto o con una prueba a escala real. Una de las características de los desarrollos tecnológicos es su grado de originalidad, que puede variar desde el diseño de una tecnología basada en un principio científico distinto del aplicado previamente, hasta la modificación, e incluso copia, de productos o procesos. Entre las actividades propias del desarrollo tecnológico se han considerado la ingeniería de concepción y de detalle. Por innovación se entiende la primera aplicación industrial de un nuevo proceso o la primera introducción de un nuevo producto en el mercado. La categoría de las tecnologías ambientalmente racionales también responde a estos conceptos básicos.

El desarrollo económico de los países está estrechamente ligado a la incorporación de progreso técnico a las estructuras productivas. A su vez, el progreso técnico de un país depende en gran parte de sus esfuerzos en materia de investigación y desarrollo tecnológicos. Además, los productos con alto contenido tecnológico exhiben los ritmos de crecimiento más rápidos en el comercio internacional. Los países latinoamericanos destinan sólo una parte muy pequeña de su producto interno bruto, probablemente menos de 1%, al sostenimiento de

actividades de investigación y desarrollo tecnológicos, en comparación con 2% a 3% en los países desarrollados. Además, en éstos una importante proporción de los gastos en investigación y desarrollo son financiados por las empresas, mientras que en la región estos costos son asumidos principalmente por el sector público. Es así que los países latinoamericanos se mantienen en el papel de meros espectadores del progreso técnico (Comisión de Desarrollo y Medio Ambiente de América Latina y el Caribe, 1990). Por consiguiente, tendrían que desplegar mayores esfuerzos en el campo de la investigación y el desarrollo tecnológicos si desean impulsar el progreso económico y afianzar su competitividad internacional.

En los países industrialmente más adelantados, la mayor parte de las actividades de investigación aplicada y de desarrollo tecnológico son realizadas o dirigidas por las empresas. Aparentemente, ésta es la manera más segura de obtener resultados tangibles y de asegurar a la empresa innovadora la propiedad de la tecnología y, por lo tanto, el goce de las ventajas competitivas. En consecuencia, sería necesario que una mayor proporción de las empresas latinoamericanas utilizara el desarrollo tecnológico como un instrumento estratégico para afianzar su competitividad. Como ya se ha señalado, actualmente uno de los campos propicios al desarrollo de nuevas tecnologías es la protección del medio ambiente y el uso eficiente y sostenible de los recursos naturales.

c) *Cooperación tecnológica*

Gran parte de las nuevas tecnologías se originan en un reducido grupo de países desarrollados. La CEPAL, en su propuesta sobre transformación productiva con equidad para el desarrollo de América Latina y el Caribe en los años noventa y más allá del 2000, ha puesto de relieve el papel de la incorporación de progreso técnico en el proceso de modernización de las economías latinoamericanas (CEPAL, 1990a). Si bien no faltan ejemplos de innovaciones originales en la región, sería difícil demostrar que alguno de los países latinoamericanos, incluso entre los más avanzados, se haya destacado en un área específica de la frontera tecnológica mundial. Esta situación muestra que el desarrollo tecnológico en empresas o instituciones de la región consiste mayoritariamente en la adaptación de tecnologías generadas en el exterior, por lo que frecuentemente aparece vinculado a alguna forma de transferencia tecnológica. Por otra parte, la transferencia de una tecnología no exime a la empresa receptora de la necesidad de hacer un esfuerzo propio por desarrollarla o adaptarla. Esto se debe, entre otras razones, al hecho de que es habitual que la tecnología que se desea adquirir haya sido

originalmente desarrollada en un contexto diferente de aquél al que es transferida, lo que hace necesaria su adaptación local a las escalas de producción, dotación de factores, calidad de materias primas, idiosincrasia de los operadores o consumidores y otras circunstancias (Katz, 1989). En el caso de las tecnologías ambientalmente racionales, deben ser adaptadas a las circunstancias ecológicas específicas de cada lugar, entre otros aspectos.

Muchas veces la transferencia de tecnología desde empresas de países desarrollados hacia las de países en desarrollo no ha generado los beneficios que las partes esperaban (Almeida, 1993). Con el objeto de mejorar esta situación, el Consejo Empresarial para el Desarrollo Sostenible, constituido por un grupo de empresarios y altos ejecutivos de empresas de todo el mundo, ha propuesto ampliar el concepto de transferencia tecnológica para llegar a lo que han denominado "cooperación tecnológica". Básicamente, proponen que cuando una empresa de un país desarrollado se asocie con una de un país en desarrollo, el acuerdo se haga en un espíritu de real coparticipación. Esto significa que las negociaciones y proyectos deben realizarse en pie de igualdad, que las relaciones de colaboración tienen que ser recíprocas y mantenerse durante períodos prolongados y, por último, que los resultados han de ser mutuamente beneficiosos (Schmidheiny, 1992). Uno de los objetivos explícitos de esta cooperación sería el fortalecimiento de la capacidad tecnológica de las empresas de países en desarrollo.

En cuanto a las estrategias que las empresas pueden adoptar, conviene tener presente que el desarrollo tecnológico es sólo una de las condiciones necesarias para asegurar la competitividad. De acuerdo con los conceptos modernos de organización industrial, existen por lo menos dos estrategias alternativas que una empresa que pretenda mantenerse competitiva puede elegir. Una consiste en situarse en la frontera tecnológica, vale decir, encabezar el desarrollo de una nueva tecnología. La otra implica asumir conscientemente el papel de seguidor en materia tecnológica. Esta última opción tiene la ventaja de que permite aprender de los errores de la empresa pionera para imitar finalmente la innovación sin incurrir en el considerable gasto que normalmente supone un desarrollo tecnológico original (Porter, 1985). En los países en desarrollo, probablemente la mayoría de las empresas innovadoras opta por esta segunda alternativa.

En la "Carta de las empresas para un desarrollo sostenido: principios para la gestión ambiental", propuesta por la Cámara de Comercio Internacional en 1990 (CCI, 1991), se muestran las formas en que las empresas pueden asumir el desafío ambiental. Este documento, al cual han adherido más de doscientas empresas latinoamericanas, entre más de un millar en el mundo, consta de 16 principios de gestión. Entre

sus principales aspectos puede mencionarse que, al suscribir la Carta, una empresa se compromete a incluir "la gestión del medio ambiente entre las principales prioridades" y a ejecutar "políticas, programas y prácticas respetuosos con el entorno". En la Carta también se establece que se debe concebir y proveer "productos y servicios que no tengan ningún impacto indebido sobre el entorno y cuya utilización prevista no sea peligrosa, que sean eficaces con relación a su consumo de energía y de recursos naturales y que puedan reciclarse, reutilizarse o evacuarse sin peligro". En cuanto a instalaciones y actividades se dice que estos mismos criterios tienen que tomarse en cuenta en la concepción, desarrollo y explotación de las instalaciones productivas. Se sostiene asimismo que las empresas comprometidas deben asumir actitudes anticipatorias a la formulación de normativas ambientales, sobre la base de los adelantos tecnológicos, conocimientos científicos, necesidades de los consumidores y expectativas de la comunidad. Por último, se sugiere que las empresas contribuyan a la transferencia de tecnologías y métodos de gestión ambientales dentro de los sectores público y privado.

En opinión de algunos expertos, gran parte de los problemas ambientales del presente pueden solucionarse con los conocimientos científicos y tecnológicos ya disponibles, aunque habría que considerar también los costos. Existe una amplia variedad de soluciones que están incluso al alcance y dentro de la competencia de la ingeniería básica y de proyectos (Heaton, Repetto y Sobin, 1991). Por otra parte, el desarrollo sustentable representa un formidable desafío e incentivo para la investigación y desarrollo tecnológicos como base tanto de una modernización de las estructuras de producción y de consumo como de una valorización del patrimonio y de los recursos naturales.

4. Respuestas de la industria a las políticas ambientales

La relación entre políticas ambientales, por una parte, e investigación y desarrollo tecnológicos o innovación, por la otra, es bastante compleja. Por lo menos así se señala en algunos estudios y planteamientos referidos a situaciones en los países industrializados (OCDE, 1985). De acuerdo con la experiencia de países más adelantados, los efectos de la política ambiental y sus diversos instrumentos pueden ser aceleradores o retardadores del desarrollo, aplicación y difusión de tecnologías ambientalmente racionales. Dichas experiencias y las expuestas por las empresas latinoamericanas en el marco de este estudio permiten identificar, en una primera aproximación, algunas de las características

que idealmente deberían reunir las políticas ambientales en los países de la región. Estas características pueden examinarse a nivel del proceso de formulación tanto de las políticas como de sus instrumentos de aplicación.

Un primer requisito para que una política ambiental sea eficaz y estimule la innovación y desarrollo tecnológicos es que la industria participe en su formulación, dado que la capacidad e información técnicas que ésta posee permiten fijar criterios y normas realistas, que realmente puedan ser cumplidas. Además, por el mismo hecho de que la industria participe en el proceso de formulación de la normativa ambiental, se establece un compromiso de cumplirla cuando se promulgue. Sin embargo, la autoridad debería cautelar que las normas ambientales no se conviertan en una barrera que impida la entrada de nuevas empresas al mercado, en particular de las pequeñas y medianas, que tienen menos posibilidades de interactuar con el sector público. En segundo lugar, este proceso debe contemplar plazos suficientes para permitir que las empresas preparen proyectos de inversión y de investigación y desarrollo tecnológicos acordes con las metas y objetivos que se fijen en las reglamentaciones ambientales. Por otra parte, el período de formulación de normas ambientales no debe dilatarse excesivamente y los procedimientos de concertación deben ser continuos y no erráticos para evitar la introducción en el proceso de factores que generen incertidumbre. Una tercera condición, que asegura la eficacia de una política en este campo, es que las reglamentaciones ambientales que fiscalizan las distintas dependencias gubernamentales se coordinen, para que no se produzcan superposiciones de competencias entre ellas y las autoridades centrales, regionales y locales. Por último, es necesario esforzarse por lograr una armonización a nivel internacional de los criterios ambientales en determinadas áreas. Con este objeto existen mecanismos de cooperación respecto de ciertos temas ambientales, como por ejemplo el Convenio de Basilea sobre el control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación, o el Protocolo de Montreal relativo a las sustancias agotadoras de la capa de ozono. Es indispensable que en los convenios internacionales se tomen debidamente en cuenta las condiciones ecológicas e industriales prevalecientes en cada lugar con el objeto de evitar la imposición generalizada de normas innecesariamente estrictas. Por otra parte, habría que considerar que esta diferenciación puede complicar el proceso de negociación de las normas y la verificación de su cumplimiento. En resumen, la formulación de la normativa ambiental es un proceso que debería conducirse de modo que no se produzca incertidumbre entre las empresas, sino que, por el contrario, se les marque un rumbo claro que les permita anticipar las futuras demandas de tecnología ambiental y aprontarse para satisfacerlas.

En algunos sectores de opinión del mundo desarrollado se sostiene que en los países donde se han aplicado políticas ambientales consistentes o estrictas, la industria ha ganado en competitividad internacional. Estas políticas habrían ocasionado la generación de nuevas tecnologías que, siendo originalmente concebidas para solucionar problemas ambientales del propio país, pudieron luego ser exportadas en forma de bienes de capital o bien como servicios de ingeniería o licencias de fabricación. Entre los ejemplos de países destacados en este sentido se menciona en particular a Japón y Alemania, junto con algunos otros de Europa occidental. Sobre la base de estas experiencias, políticos y académicos estadounidenses han argumentado que la adopción de una política ambiental más dinámica, que fuera crecientemente estricta e incentivadora del desarrollo, la aplicación y la difusión de tecnologías apropiadas, conduciría a establecer un liderazgo mundial de la industria de Estados Unidos en este campo (Porter, 1991). En la práctica, este enfoque significaría utilizar la política ambiental como instrumento de la política industrial o de una política estratégica de comercio. Por otra parte, algunos expertos han señalado que, desde el punto de vista de la teoría económica convencional, estos planteamientos son difíciles de defender debido, entre otros factores, a la creciente transnacionalización de la economía mundial, lo que restaría eficacia a las medidas propuestas. Además, con respecto a la aplicación de normas ambientales más estrictas, tales medidas rara vez han sido propuestas por los propios sectores industriales que supuestamente resultarían beneficiados (Palmer y Simpson, 1993).

La naturaleza y la combinación de instrumentos aplicados en el marco de una política ambiental, así como las modalidades de su puesta en práctica y fiscalización, pueden tener una marcada influencia en el desarrollo y la difusión de tecnologías ambientalmente racionales. Los diversos instrumentos se agrupan en dos grandes categorías. Una comprende los instrumentos de regulación directa, típicamente representados por las normas sobre emisión. Corresponden a la otra los incentivos económicos o instrumentos de mercado, de los cuales los principales son los gravámenes, tarifas, depósitos reembolsables, impuestos de emisión y derechos de emisión transables. También podrían considerarse dentro de esta última categoría las subvenciones o líneas de crédito especiales, destinadas a fomentar la inversión en tecnologías ambientalmente racionales o las actividades de investigación y desarrollo en este campo. En varios países desarrollados también se han establecido servicios de información y de asistencia técnica orientados a apoyar a la industria en el proceso de adopción de tecnologías limpias.

5. Programas de fomento a la innovación y difusión de tecnologías ambientales

Desde el punto de vista del estímulo a la innovación, las normas que fijan estándares de emisión basados en el desempeño (*performance based emission standards*) serían preferibles a las que prescriben el uso de determinadas tecnologías. Sin embargo, la práctica común es recurrir a las segundas para regular la emisión de las fuentes dispersas, entre otras razones, debido a las considerables ventajas para la fiscalización que ofrecen estos instrumentos. Un ejemplo típico sería el uso obligatorio de filtros u otros dispositivos de descontaminación en calderas y equipos afines habitualmente utilizados en pequeñas industrias y establecimientos artesanales.

Teóricamente se ha demostrado que los incentivos económicos son más eficientes que las regulaciones directas para alcanzar determinados objetivos de calidad ambiental. Esto significaría que los costos en que deben incurrir las industrias contaminantes y otras fuentes de emisión dentro de una región de control específica serían menores en el primer caso que en el segundo. Además, los incentivos económicos proporcionarían un estímulo permanente para que las empresas disminuyeran la generación de residuos, mientras que en situaciones de regulación directa, podrían dejar de esforzarse por reducir las emisiones una vez que hubiesen alcanzado niveles acordes con la norma. En términos generales, los incentivos económicos ofrecerían así la ventaja de estimular también las actividades de investigación y desarrollo de nuevas tecnologías, precisamente por el hecho de que inducen a las empresas a persistir en el empeño de minimizar la generación de residuos mediante la búsqueda de nuevas tecnologías. Sin embargo, en la consideración de estas alternativas hipotéticas prevalece un punto de vista estático, dado que se presupone que las normas de emisión permanecen inalteradas, aunque de hecho suelen ser sometidas a revisiones periódicas y volverse cada vez más exigentes. Además, la efectividad de los incentivos económicos depende de algunas condiciones, tales como que la región geográfica controlada sea homogénea y que las sustancias contaminantes reguladas no presenten un alto grado de toxicidad, caso que no es habitual en situaciones concretas.

Por éstas y otras razones, hasta ahora los incentivos económicos no han sido aplicados con mucha frecuencia como instrumentos de regulación ambiental. Entre estos instrumentos, los que probablemente han tenido mayor difusión, principalmente en algunos países europeos, son los gravámenes aplicados a la emisión de efluentes líquidos. En este caso, las tasas que se cobran a las industrias suelen ser comparativamente moderadas y no reflejan en forma adecuada los costos de la contaminación que originan. Además, los sistemas que gravan la emisión

de efluentes líquidos suelen conjugarse con normas que fijan un nivel máximo de emisión a las fuentes contaminantes. Por último, estos cargos han servido básicamente para cubrir los costos directos de los servicios de vigilancia y de las plantas públicas de tratamiento, así como para financiar subsidios destinados a la restauración de los cuerpos de agua contaminados (Wheeler, 1992). En épocas más recientes, se han aplicado los permisos de emisión transables, principalmente en Estados Unidos, en el marco de la regulación de la calidad del aire. Aunque estos instrumentos no han sido probados durante un período suficientemente prolongado como para evaluar su efectividad, se piensa que podrían constituir un importante incentivo para el desarrollo, innovación y difusión de tecnologías ambientalmente racionales, debido a que dejan a las empresas en libertad para elegir las soluciones de menor costo, que suelen ser precisamente las innovativas.

Otro incentivo económico son los subsidios o créditos otorgados a las empresas en condiciones especiales, sea para fomentar la inversión en tecnologías ambientalmente racionales o para estimular las actividades de investigación y desarrollo en este campo. Estos instrumentos han sido bastante utilizados en algunos países europeos. Cuando el objetivo es fomentar las inversiones, los incentivos pueden orientarse de manera que induzcan a las empresas a adoptar tecnologías innovativas en vez de soluciones tradicionales. Con respecto a las ayudas financieras concedidas a proyectos de investigación y desarrollo tecnológicos, éstas apuntan a que las empresas estén más dispuestas a asumir los riesgos económicos inherentes a este tipo de actividades. También se ha observado empíricamente que las empresas pequeñas y medianas parecen tener mayores dificultades que las grandes para incorporar innovaciones tecnológicas relacionadas con el medio ambiente. En consecuencia, los incentivos financieros serían una herramienta particularmente adecuada para promover la adopción y difusión de innovaciones tecnológicas en esos estratos industriales (OCDE, 1985). Sin embargo, también en este campo existen experiencias positivas y negativas.

En Noruega se realizó un exitoso programa diseñado especialmente para alentar la innovación en tecnologías de proceso limpias en la industria de la celulosa y el papel. En cambio, fue menos positiva una experiencia llevada a cabo en Holanda con el propósito de disminuir el contenido de metales pesados en efluentes industriales. En el marco de este programa, en la primera mitad del decenio de los ochenta se realizó un considerable esfuerzo por desarrollar nuevas tecnologías de proceso. El objetivo era reemplazar en la industria los metales tóxicos por otros menos tóxicos y reciclar los metales como parte de los propios procesos de las fábricas. En algunos proyectos de desarrollo tecnológico la subvención alcanzó a 70% de los costos totales y el monto de los subsidios otorgados ascendió aproximadamente al equivalente de seis

millones de dólares. Sin embargo, las nuevas tecnologías desarrolladas en el marco de este programa sólo fueron adoptadas por un número muy reducido de empresas, a pesar de que las inversiones correspondientes fueron, a su vez, subsidiadas con una cuota comparativamente alta. Aparentemente, la razón por la cual las empresas se mostraron renuentes a adoptar las innovaciones no fue tanto el riesgo implícito en la adopción de tecnologías nuevas o el nivel comparativamente alto que en algunos casos alcanzaba la inversión, sino el hecho de que poco tiempo antes las empresas habían introducido tecnologías de control de efluentes para cumplir con las normas de regulación directa y, por lo tanto, consideraban que era inoportuno realizar nuevas inversiones (Klink, Krozer y Nentjes, 1989).

Es posible que la sugerencia de recurrir a subsidios estatales para estimular el desarrollo y difusión de tecnologías ambientalmente racionales no sea actualmente bien acogida en gran parte de la región. La difícil situación fiscal que todavía afecta a numerosos países latinoamericanos y las políticas económicas en boga hacen que el otorgamiento de subsidios de cualquier clase no se considere ahora una opción válida.

La divulgación de información técnica y científica y la prestación de asistencia técnica a las empresas, especialmente a las pequeñas y medianas, también pueden ser consideradas como instrumentos para facilitar el desarrollo y la adopción de tecnologías ambientalmente racionales en la industria. En un estudio realizado por la OCDE en el primer quinquenio de 1980 se pudo comprobar que la falta de información técnica había sido un serio obstáculo a la innovación en tecnologías ambientales en varios sectores de la industria en los que predominan las pequeñas y medianas empresas. En la actualidad existen servicios de información técnica en diversos países desarrollados; además, varias organizaciones internacionales y no gubernamentales han creado estos servicios para uso de los países en desarrollo. En la región también se cuenta con algunos centros de información y existen iniciativas con vistas al establecimiento de redes. Como ejemplo, cabe mencionar la Red Panamericana de Información y Documentación en Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (REPIDISCA/Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS)), de la Organización Panamericana de la Salud, con sede en Lima. En Chile se ha creado recientemente la Red Regional de Información sobre Medio Ambiente (REDMA), cuyo nodo central está ubicado en el Centro de Investigación y Planificación del Medio Ambiente (CIPMA), una organización no gubernamental.

Los adelantos tecnológicos en los campos de la informática y las telecomunicaciones han ampliado enormemente las potencialidades de los servicios de información técnica y científica. Un importante desafío que

se plantea a estos servicios es el de desarrollar mecanismos que les permitan satisfacer eficientemente las necesidades de los usuarios. Por otra parte, es probable que en la mayoría de los países de la región las empresas pequeñas y medianas no tengan experiencia en la utilización de estos servicios, lo cual apuntaría a la necesidad de capacitar a los usuarios.

II. DESARROLLO, APLICACIÓN Y DIFUSIÓN DE TECNOLOGÍAS AMBIENTALES EN 10 EMPRESAS LÍDERES LATINOAMERICANAS: SÍNTESIS DE LOS ESTUDIOS DE CASO

1. Antecedentes generales de las empresas

Los principales antecedentes reseñados de las empresas que participaron en el proyecto conjunto (véase el cuadro 1), se refieren a lo siguiente: razón social, localización de la planta industrial o establecimiento, tipo de actividad, personal ocupado, y año de fundación y de inicio de los proyectos tecnológicos ambientales.

Con respecto a la localización geográfica de las empresas, ya se mencionaron los países en que están radicadas, pero cabe agregar que la mayoría de ellas se encuentran en las respectivas capitales o ciudades importantes. Otro aspecto interesante es el tipo de actividad a la que se dedican las empresas. Puede observarse que algunas desempeñan diversas actividades, razón por la cual pueden aparecer mencionadas más de una vez, en diferentes sectores.

De acuerdo con lo anterior, en la explotación de recursos naturales renovables y plantaciones industriales figuran Aracruz Celulose (plantaciones forestales) y CORPESCA (pesca).

En el área de las industrias de primera transformación, es decir, aquellas ligadas a la transformación de recursos naturales, aparecen ALUAR (aluminio primario elaborado a partir de alúmina importada), y nuevamente CORPESCA (elaboración de harina de pescado). En las industrias de segunda transformación pueden distinguirse dos subsectores: primero, las industrias química y de materiales de construcción, subsector al que corresponden FIBRIT, PROQUIVI y QUIMETAL. El segundo es el de la fabricación de equipos industriales y aparatos, actividad a la que se dedican APLIQUIM, JULIO BERKES, Maestranza Iquique y PROQUIVI. Por último, existe una industria de servicios ambientales, en la que se ubican APLIQUIM (tratamiento de residuos industriales y consultoría), FIBRIT (consultoría en materia de sistemas de tratamiento de efluentes) y Maestranza Iquique (ingeniería de proceso).

Cuadro 1
PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LAS
EMPRESAS INNOVADORAS

Nombre y ubicación	Actividad	Personal ocupado	Año de fundación	Inicio de los proyectos
ALUAR Puerto Madryn Argentina	Producción de aluminio primario	900	1970	1974
APLIQUIM São Paulo Brasil	Tratamiento de residuos industriales, fabricación de equipos especiales y consultoría	70	1985	1985
ARACRUZ Aracruz Brasil	Industria forestal (plantaciones forestales y fábrica de celulosa)	6 000 ^a	1967	1973
CETESB São Paulo Brasil	Fiscalización de la contaminación y preservación de la calidad ambiental	3 000	1973	1980 ^b 1987 ^c
FIBRIT Bogotá Colombia	Materiales de construcción, sistemas de tratamiento de efluentes y consultoría	80	1983	1975 ^d 1983 ^e
J. BERKES Montevideo Uruguay	Fabricación de calderas industriales y equipos técnicos	65	1939 ^f 1972 ^g	1972
MAESTRANZA IQUIQUE- CORPESCA Iquique, Chile	Fabricación de equipos industriales y sector pesquero	155 ^h	1987	1983 ⁱ 1986 ^j
PROQUIVI Santiago Chile	Fabricación de productos químicos inorgánicos y aparatos de dosificación de gas	n.d	1936 ^k 1980 ^l	1983
QUIMETAL Santiago y Mininco, Chile	Fabricación de productos químicos inorgánicos	180	1951 ^m 1961 ⁿ	1989 1989
TERMOVENT Guadalajara, Jalisco, México	Diseño y construcción de plantas agroindustriales	n.d	n.d	n.d

Fuente: CEPAL, sobre la base de información proporcionada por las empresas.

^a Presumiblemente esta cifra representa el total del personal ocupado en las empresas pertenecientes al grupo ARACRUZ (ARACRUZ CELULOSE, S.A.). ^b Biodigestor. ^c Reducción de fluoruros. ^d Etapa experimental. ^e Etapa de puesta a punto industrial. ^f Primera etapa. ^g Segunda etapa. ^h Sólo Maestranza Iquique. ⁱ Proceso de producción de harina de pescado. ^j Investigaciones biológico-oceanográficas. ^k Primera etapa. ^l Segunda etapa. ^m Primera etapa. ⁿ Segunda etapa.

En esta última categoría también podría incluirse a la CETESB, por su actuación en el campo del desarrollo tecnológico. En síntesis, puede observarse que las empresas participantes pertenecen a un amplio espectro de actividades industriales.

El número de personas ocupadas en las empresas es indicativo de su tamaño. Las cifras del cuadro 1 muestran que la mayoría de las empresas innovadoras son medianas o pequeñas. Sólo tres de las empresas, entre las que se incluye a la CETESB, ocupan a más de mil personas.

La antigüedad de las empresas y el año en que iniciaron sus proyectos de desarrollo tecnológico también constituyen datos de interés. En relación con este aspecto cabe mencionar que en algunas de las empresas se produjo un traspaso de propiedad en un momento determinado de su trayectoria. El ingreso de nuevos socios frecuentemente provoca cambios en la estrategia de negocios de una firma. Si tales traspasos se consideraran como el equivalente de la creación de una nueva empresa, resultaría que el conjunto considerado tendría menos de 35 años de antigüedad. Este dato indicaría que se trata de un grupo de empresas bastante jóvenes. Además, cuatro de ellas fueron fundadas o iniciaron una nueva etapa en el decenio de los ochenta y, por lo tanto, pueden considerarse empresas de creación reciente. En la mayoría de los casos, los proyectos de desarrollo tecnológico se iniciaron simultáneamente con la fundación de las empresas o con posterioridad. Sólo en FIBRIT y Maestranza Iquique los proyectos comenzaron antes de que se crearan las respectivas empresas, ya que ambas fueron concebidas precisamente con el propósito de explotar comercialmente las tecnologías que habían sido desarrolladas con anterioridad por sus fundadores.

En el cuadro 1 no se incluye información sobre los mercados de las empresas participantes. Este aspecto, que se comenta a continuación, da una idea de su capacidad competitiva a nivel internacional. Puede observarse que prácticamente todas las empresas realizan exportaciones. El caso de la CETESB es en cierta manera especial, por tratarse de una institución estatal asimilable a una empresa de servicios. Como ya se mencionó, la jurisdicción de este organismo es el estado de São Paulo, pero también participa en actividades realizadas en otros estados del país y en el plano internacional, tales como cursos y pasantías para técnicos extranjeros y misiones de asistencia técnica fuera del país. Por último, cabe mencionar que, con la sola excepción de la CETESB, el capital de las empresas es de origen privado y mayoritariamente nacional.

2. Los desarrollos tecnológicos

A continuación se presenta una reseña de las tecnologías ambientalmente racionales expuestas más adelante por las empresas. Cabe señalar que al seleccionar los casos sólo se consideraron los desarrollos tecnológicos que ya hubieran sido aplicados en la industria o entrado en la etapa de comercialización. Las tecnologías de las empresas fueron clasificadas de acuerdo con el siguiente esquema: i) desarrollo de procesos de fabricación limpia; ii) ahorro de energía mediante la optimización de procesos; iii) uso de biomasa para generar energía térmica; iv) adaptación de procesos de fabricación de productos ecológicamente sensibles; v) tratamiento de residuos industriales con fines de recuperación y reciclaje de productos de valor; vi) diseño de equipos y aparatos especiales para procesos de producción limpia y de tratamiento de residuos; vii) desarrollo de productos ambientalmente seguros; viii) desarrollos tecnológicos en el campo del saneamiento básico; ix) aplicaciones de las ciencias biológicas, oceanográficas y ecológicas; y x) puesta en práctica de métodos de vigilancia y auditoría ambiental integrada en grandes industrias metalúrgicas. Interesa señalar que algunas empresas realizaron innovaciones tecnológicas en más de uno de estos campos.

a) *Desarrollo de procesos de fabricación limpia*

En la industria de harina de pescado, el proceso tradicional de fabricación provoca contaminación hídrica y atmosférica. Las plantas industriales suelen estar instaladas en la costa marítima y los efluentes líquidos proveniente del pescado procesado, que contienen altos niveles de materia orgánica, se descargan al mar. La contaminación que esto provoca puede perjudicar las playas, las actividades recreativas y el turismo de la zona. La contaminación atmosférica se manifiesta, en particular, bajo la forma de penetrantes olores que molestan a la población circunvecina de las plantas industriales.

La industria pesquera mundial ha perfeccionado progresivamente los procesos, en procura de reducir la generación de residuos. En Chile, la industria de harina de pescado se caracteriza por los grandes volúmenes de pesca procesados, circunstancia que por mucho tiempo puso en jaque los esfuerzos por desarrollar tecnologías eficientes de descontaminación. En los primeros años de la década de los ochenta, un grupo de empresas pesqueras chilenas asociadas a CORPESCA, una organización comercializadora, inició un proyecto cuyo objetivo era mejorar la calidad de la harina de pescado, aumentar la eficiencia del proceso productivo y resolver los problemas de contaminación.

La fabricación de harina de pescado es esencialmente un proceso de secado, lo que significa eliminar el agua del pescado que constituye la materia prima. Este proceso consume mucho calor y genera grandes caudales de vapor y de agua con sustancias proteicas. El desarrollo tecnológico consistió esencialmente en el cierre de los circuitos, la separación de las proteínas —como productos de valor— de los efluentes, la recuperación de calor de proceso y la incineración de las sustancias incondensables, que son las que producen los olores. La recuperación de materias primas y de calor hace que el proceso sea altamente rentable. En una primera etapa, la nueva tecnología fue aplicada en varias de las fábricas del grupo de empresas afiliadas a la compañía comercializadora. Luego, también fue vendida a terceros en forma de equipos y estudios de ingeniería. Para tal efecto, el grupo empresarial estableció una planta dedicada a la fabricación de equipos especializados.

b) *Ahorro de energía mediante la optimización de procesos*

El ahorro de energía es uno de los objetivos básicos en la filosofía del desarrollo sustentable. Las instalaciones de generación de energía frecuentemente ejercen un considerable impacto en el medio ambiente. Además, una parte de la energía producida se basa en recursos no renovables, que tienden a agotarse. Por último, la generación de anhídrido carbónico, uno de los principales gases que provocan el efecto de invernadero, proviene en gran parte de la producción de energía térmica. Un modo de frenar el continuo aumento de la generación de energía consiste en ahorrar su consumo, lo que tiende a aportar beneficios tanto económicos como ecológicos.

En la planta de fabricación de aluminio primario de ALUAR Aluminio Argentino S.A.I.C. se optimizó el proceso de electrólisis mediante estudios de modelación matemática. Sobre la base de estas investigaciones se revisó el diseño de las cubas electrolíticas. La introducción de estos cambios en toda la planta permitió una reducción del consumo de energía de 1 000 Kwh por tonelada de aluminio producido.

El ya mencionado desarrollo de una nueva tecnología que permite fabricar harina de pescado en forma no contaminante es otro ejemplo de ahorro de energía.

c) *Uso de biomasa para generar energía térmica*

La utilización como combustible de biomasa proveniente de plantaciones o cultivos agrícolas renovables no contribuye al aumento de

la concentración de anhídrido carbónico en la atmósfera y, por lo tanto, es neutra con respecto al efecto de invernadero, ya que el carbono liberado durante el proceso de combustión fue previamente extraído de la atmósfera por las plantas o productos constitutivos de la biomasa que se quema. Además, por su propia naturaleza, esta biomasa suele ser regenerada.

JULIO BERKES S.A., un fabricante uruguayo de calderas industriales, introdujo importantes innovaciones en los procesos de gasificación y combustión que permiten el aprovechamiento eficiente de la leña y diversos desechos de origen agrícola y agroindustrial como combustibles. La misma eficiencia lograda en el proceso de combustión también reduce a un mínimo el contenido de hollín o material particulado en los humos de las calderas. Además, las tecnologías desarrolladas por la empresa permitieron que el país, que no cuenta con recursos energéticos fósiles, disminuyera ligeramente su dependencia de la importación de hidrocarburos para satisfacer sus necesidades. En su lugar, actualmente se pueden utilizar recursos autóctonos, entre otros leña proveniente de plantaciones de eucalipto. Debido al rápido crecimiento de esta especie arbórea en el ámbito local, Uruguay cuenta con ventajas comparativas para su producción como combustible. Además de los inventos logrados por la empresa en materia de gasificación de combustibles sólidos, se destaca el de una cámara de combustión de características especiales, llamada cámara torsional, que permite una combustión altamente eficiente. Estos sistemas ofrecidos por la empresa han sido objeto de patentes de invención y la firma ha recibido una serie de galardones nacionales e internacionales por sus innovaciones.

d) *Adaptación de procesos de fabricación de productos ecológicamente sensibles*

El anhídrido sulfuroso se utiliza como insumo en una serie de procesos industriales y de acondicionamiento y también aparece como un subproducto o residuo de ciertos procesos productivos. Cuando es liberado en la atmósfera en cantidades apreciables puede afectar la salud de las personas expuestas y provocar serios daños ambientales. La emisión de anhídrido sulfuroso es también una de las principales causas de la lluvia ácida. En consecuencia, es de suma importancia que tanto la fabricación y el transporte de este producto, como los procesos que lo utilizan como insumo, sean seguros, en el sentido que se eviten al máximo las emisiones a la atmósfera y los escapes masivos como consecuencia de accidentes.

A fines del decenio de los ochenta, la empresa QUIMETAL S.A. se adjudicó contratos de largo plazo para el suministro de anhídrido

sulfuroso a dos nuevas fábricas de celulosa que se estaban instalando en la región del Bío Bío, en el sur de Chile. Estos contratos dieron origen a la instalación de una planta de anhídrido sulfuroso en la vecindad de una de las fábricas de celulosa. El propio equipo técnico de QUIMETAL se hizo cargo del desarrollo de este proyecto. La ingeniería básica fue parcialmente proporcionada por la firma Lurgi de Alemania. QUIMETAL, por su parte, adaptó la tecnología original a la escala de producción más reducida del proyecto y realizó la ingeniería de detalle, la selección de los equipos y proveedores, así como la obra y el montaje. Una serie de dispositivos especiales, tales como torres de absorción, fueron incorporados al proyecto con el objeto de reducir al mínimo las emisiones de anhídrido sulfuroso a la atmósfera y, en particular, de proteger las extensas plantaciones de pinos y bosques de la zona. Además, en el diseño de la planta se adoptó una serie de elementos de seguridad con el objeto de prevenir las consecuencias ecológicas en el caso de un accidente industrial. La planta, que fue puesta en marcha a fines del año 1992, ha operado en forma altamente satisfactoria.

e) *Tratamiento de residuos industriales y recuperación y reciclaje de productos de valor*

Algunos residuos industriales contienen productos de valor que pueden ser recuperados y devueltos al ciclo productivo. De esta manera se evitan los riesgos derivados de su disposición y la ocupación de espacio en los vertederos. El ahorro que genera la venta o utilización en la propia planta de los productos recuperados puede cubrir, total o parcialmente, los costos de control de contaminación. Además, algunos residuos industriales contienen sustancias tóxicas o peligrosas que deben ser neutralizadas para disponer de ellos en forma segura.

La fábrica de aluminio ALUAR adaptó una serie de innovaciones desarrolladas en la industria mundial del aluminio para recuperar y reciclar los polvos de los gases y emisiones que genera el proceso de electrólisis. En particular, se diseñaron sistemas de captación de polvos para las cubas electrolíticas e instalaciones de filtros de separación. Estos dispositivos permiten el reciclaje de los polvos de electrólisis. Además se introdujeron cambios sustanciales en los sistemas de transporte de materias primas y de alimentación de las cubas electrolíticas, los que también contribuyeron a eliminar algunas fuentes importantes de contaminación y, además, aumentaron la producción de la planta. El valor de los materiales reciclados permitió recuperar las inversiones que habían requerido las instalaciones de tratamiento de los humos de electrólisis.

La empresa APLIQUIM de São Paulo desarrolló un proceso de recuperación de mercurio a partir de residuos contaminados con esta sustancia en forma de sulfuros. Los residuos consisten en tierras diatomáceas, un medio filtrante utilizado por una industria local de cloro-soda para eliminar el mercurio de sus efluentes. El proceso consta básicamente de tres etapas. La primera consiste en una oxidación del sulfuro de mercurio en un horno especial. La segunda etapa es esencialmente una operación de separación húmeda, mediante la cual el material particulado y el mercurio, en forma de óxido y de metal, se recuperan en el lodo. La última es una destilación al vacío, operación que permite obtener mercurio metálico y un material inerte. El primer producto se destina a la venta y el segundo, a la fabricación de bloques de construcción. Los principales equipos del proceso son de concepción y diseño propios.

f) *Diseño de equipos y aparatos especiales para procesos de producción limpia y de tratamiento de residuos*

La aplicación de procesos de producción limpia y de tratamiento de residuos frecuentemente exige diseñar equipos y aparatos especiales. En esta categoría se pueden mencionar tres ejemplos.

El proyecto de un nuevo proceso de fabricación de harina de pescado que realizara un grupo de empresas pesqueras chilenas partió con un concepto de ingeniería básica elaborado localmente. La materialización de este concepto requirió modificar el diseño de una serie de equipos, tales como cocedores y secadores. Estos desarrollos se efectuaron originalmente en una fábrica de equipos en Noruega. Tras comprobar el funcionamiento exitoso de una instalación piloto en Chile, el grupo empresarial local decidió establecer en el país la firma Maestranza Iquique, con el objeto de fabricar equipos especializados, tanto para nuevos proyectos del grupo como para terceros. En forma paulatina se creó también una capacidad local para el diseño de los equipos. Inicialmente, sólo se trató de adaptar los equipos originales, pero pronto se comenzó a diseñar otros basados en concepciones propias. Desde entonces la fábrica ha suministrado equipos a numerosas industrias de harina de pescado en Chile. Además se han exportado equipos y servicios de ingeniería al Perú.

Otro ejemplo en esta categoría de desarrollos tecnológicos es el de los aparatos dosificadores diseñados por la empresa chilena PROQUIVI para la conservación de uva de mesa. En particular, el aparato denominado Dosigas, cuyo diseño se destaca por una gran originalidad y fue registrado como patente de invención. Este aparato se compone de una serie de elementos micromecánicos, microeléctricos y electrónicos

que permiten inyectar, en forma precisa, cantidades muy pequeñas de anhídrido sulfuroso gaseoso a las cajas de uva. Esta operación se realiza en las instalaciones de acondicionamiento y embalaje de uva de exportación con el objeto de preservarla. Tradicionalmente, la gasificación se ha efectuado en cámaras especialmente habilitadas, método cuyo inconveniente es que después de cada ciclo una gran proporción del anhídrido sulfuroso empleado se escapa a la atmósfera, lo que causa daños al entorno y pérdidas económicas. El nuevo procedimiento no sólo elimina ese problema, sino que, además, asegura una calidad más uniforme del producto exportado.

El tercer ejemplo se refiere al diseño y fabricación de equipos para el tratamiento de residuos industriales y recuperación de productos de valor. Este desarrollo tecnológico forma parte de las actividades de APLIQUIM, que ya ha sido mencionado en uno de los ejemplos anteriores. El caso presenta algunas similitudes con el de las empresas pesqueras. El propósito de llevar a la práctica nuevos conceptos de procesos formulados para el tratamiento de residuos industriales tóxicos hizo necesario abocarse también al diseño y fabricación de equipos que aún no figuraban en los catálogos de los proveedores establecidos, por lo que no podían ser adquiridos en el mercado. Esta forma de proceder permitió a la empresa internalizar el aprendizaje relacionado con el desarrollo de los equipos y así constituir un acervo tecnológico propio que le sirvió de base para convertirse en proveedora de equipos especializados.

g) *Desarrollos tecnológicos en el campo del saneamiento básico*

El campo del saneamiento básico incluye el tratamiento de las aguas servidas municipales. En la región, las aguas servidas, sean de origen doméstico, industrial o mixto, suelen descargarse directamente a los cursos de agua, sin tratamiento previo. Esta práctica se basa, entre otras razones, en el alto costo de inversión que implica el montaje de plantas centralizadas y en la falta de tecnologías adaptadas a las condiciones locales. En particular, se requieren tecnologías que permitan descentralizar el tratamiento de las aguas servidas mediante instalaciones que ocupen poco espacio, no molesten al vecindario y sean fáciles de operar.

En el área del tratamiento de las aguas servidas, un desarrollo experimental interesante es el biodigestor anaeróbico de flujo ascendente de la CETESB. El proceso que llevó a esta innovación comenzó en 1983 en pequeña escala, y se contó con la experiencia acumulada previamente por un grupo técnico de la institución en el campo de la digestión anaeróbica. Al principio se evaluó el funcionamiento de un reactor de

flujo ascendente desarrollado en Holanda para efluentes con elevada carga orgánica, como los que se generan en algunas industrias. Luego se construyeron, sucesivamente, una pequeña unidad experimental y una a escala prácticamente real para el tratamiento de aguas servidas de origen doméstico. En este campo el desafío que se plantea es tratar grandes caudales de efluentes diluidos. Las pruebas realizadas durante nueve años demostraron finalmente la factibilidad técnica y económica del concepto.

El sistema anaeróbico múltiple mixto desarrollado por FIBRIT en Colombia cumple propósitos similares. Este sistema se aplica al tratamiento de aguas residuales orgánicas de origen doméstico, industrial o mixto. La primera etapa comenzó en 1980 con una investigación realizada conjuntamente con el Instituto Nacional de Salud con el fin de optimizar las formas geométricas de un pozo séptico típico. Posteriormente se formuló el proyecto de realizar las diversas fases de la degradación anaeróbica en distintos digestores, lo que constituye el concepto básico de esta tecnología. Los éxitos alcanzados en las primeras pruebas experimentales fueron motivo para incorporar al sistema otros componentes y opciones basados en los principios de las lagunas de estabilización y de la desinfección química, bioquímica u otra, que cumplen funciones complementarias. Hacia fines del año 1992 ya se habían instalado en el país más de 2 800 unidades de este sistema.

h) *Aplicaciones de las ciencias biológicas, oceanográficas y ecológicas*

La aplicación de los conocimientos derivados de las ciencias biológicas, oceanográficas y ecológicas, entre otras ramas de las ciencias naturales, permite diseñar proyectos industriales acordes con los principios del desarrollo sustentable. En este campo se pueden mencionar los esfuerzos desplegados por la empresa Aracruz Celulose en Brasil y las industrias pesqueras asociadas a CORPESCA en Chile.

En el proyecto forestal de Aracruz Celulose se incluyó una serie de aplicaciones interesantes de las ciencias biológicas y ecológicas. Uno de los principios de gestión de la empresa fue asegurar que las investigaciones condujeran a resultados prácticos en sus campos de acción. Las investigaciones aplicadas se realizaron básicamente en dos áreas: investigación forestal dirigida al mejoramiento genético del eucalipto, y elaboración de diagnósticos de situación ambiental como base para formular programas periódicos de planeamiento y gestión del medio ambiente.

En el área de la investigación forestal, la empresa inició en 1973 un programa de mejoramiento genético del eucalipto con el propósito de generar árboles mejor adaptados al ambiente local y con características

más favorables para la producción de celulosa. En el marco de este programa se evaluaron numerosas especies de eucaliptos originarias de diversas partes del mundo. Las semillas de las variedades seleccionadas se reprodujeron en viveros especialmente establecidos con este propósito. Además, en forma pionera, se logró producir semillas híbridas interespecíficas a partir del cruzamiento de las dos especies evaluadas que mostraron mejor desempeño. El éxito obtenido se refleja en el hecho de que las semillas híbridas interespecíficas fueron adquiridas también por otras empresas en Brasil y Australia. Además, en la comercialización de estos productos se lograron precios seis veces superiores al valor de mercado de las semillas corrientes.

En otro campo de investigación aplicada se buscó la propagación vegetativa por estacas a partir del clonaje, como una vía alternativa para tratar de acortar el ciclo reproductivo, que resulta muy largo a partir de semillas. Este método consiste en identificar árboles superiores en el terreno para luego reproducirlos por medio del clonaje. La empresa Aracruz fue la primera en el mundo en utilizar en gran escala esta técnica, que hasta entonces sólo había sido aplicada en proyectos de investigación científica. Por estos desarrollos, la empresa recibió en 1984 el Premio Marcus Wallenberg, de la fundación sueca del mismo nombre. Más recientemente se inició un programa multidisciplinario de biotecnología orientado a alcanzar autonomía tecnológica en sectores seleccionados por su relevancia para el desarrollo de la empresa. Gracias al dominio de las técnicas *in vitro* ya se han cumplido varios objetivos importantes en pos de la meta final, que es lograr una producción uniforme de madera para elaborar celulosa de alta calidad, lo que también es compatible con la conservación de los recursos naturales.

El resultado de estos trabajos fue la creación de plantaciones de eucalipto que permiten la fabricación de celulosa en forma competitiva y rentable, así como la recuperación económica de tierras improductivas y la generación de oportunidades de empleo en una región caracterizada por altos índices de cesantía y pobreza. Actualmente, el ciclo para la cosecha de la madera de eucalipto en Brasil es de sólo siete años, comparado con 18 años en el sur de Estados Unidos y hasta 65 años en Canadá.

En el área de la gestión del medio ambiente, la empresa implementó un programa pionero de planeamiento ambiental que ha servido de modelo a otras empresas forestales del país. En la formulación de este programa colaboraron varias universidades, institutos de investigación y consultores. La gestión ambiental de la empresa se basa en los principios de equilibrio ambiental, control preventivo y optimización operacional. El primero, considerado fundamental, consiste en la conservación y manejo de las reservas naturales existentes y en la reforestación con vegetación natural de áreas intercaladas entre las

plantaciones de eucalipto. La continuidad del contacto entre ambas formaciones boscosas asegura la integración y el intercambio biológicos, lo que ha demostrado constituir un control biológico altamente efectivo de las plagas de insectos que afectan a las plantaciones de eucalipto.

En este marco se realizan también actividades periódicas de vigilancia de la fauna que han permitido comprobar un evidente repoblamiento, con diversas especies de animales, de los bosques y hábitat asociados. Estos esfuerzos culminaron recientemente con la creación de un centro para el estudio y la reintroducción de animales selváticos. Con estas medidas se ha logrado, a la vez, enriquecer la biodiversidad de la región y obtener beneficios en términos de manejo de las plantaciones.

Desde hace varios años, las empresas asociadas a CORPESCA realizan, en forma sistemática, programas de investigación sobre la biomasa y las condiciones oceanográficas de la costa chilena. Los recursos pelágicos, fuente básica de sustentación de la industria de harina de pescado, son migratorios, sensibles a los cambios ambientales y de comportamiento fluctuante. Es por eso que la preservación de estos recursos y el conocimiento del ambiente marino, en un marco de desarrollo sustentable, son aspectos de crucial relevancia para esta industria. Las investigaciones biológico-oceanográficas que realizan las empresas asociadas en forma directa o indirecta a CORPESCA se refieren fundamentalmente a la caracterización del medio oceánico y su variabilidad, la evaluación acústica de la biomasa de los principales recursos pesqueros, los aspectos biológicos básicos de las especies pelágicas, el rendimiento operacional y la evaluación del impacto ambiental de la industria pesquera. Las empresas ejecutan estas actividades con sus propios profesionales y en cooperación con diversas universidades y organismos oficiales. Las investigaciones se llevan a cabo mediante cruceros regulares de monitoreo en barcos de las empresas y naves científicas.

i) *La aplicación de métodos integrados de vigilancia y auditoría ambiental en grandes industrias metalúrgicas*

Las grandes industrias metalúrgicas procesan cantidades ingentes de materias primas y de energía. Además, su implantación suele generar una considerable actividad industrial secundaria. Como resultado, el impacto ambiental que generan puede ser muy importante, especialmente en ecosistemas frágiles. En tales circunstancias, estas empresas enfrentan el desafío de establecer sistemas integrados de gestión ambiental con el objeto de limitar los riesgos que implican sus operaciones y la posibilidad de accidentes.

La fábrica de aluminio primario ALUAR constituye un ejemplo por haber aplicado una clara política ambiental desde el momento mismo de su fundación. La gestión ambiental, en la que participan todos los niveles operativos y de servicios de la planta, se apoya en una serie de antecedentes elaborados regularmente por los servicios técnicos de la empresa. Esta unidad organizativa tiene la función de incorporar a la gestión y las operaciones de ALUAR los adelantos científicos surgidos en cualquier lugar del mundo en el campo de la evaluación del impacto ambiental.

Según sea el caso, las operaciones de monitoreo y los controles de emisión e inmisión se realizan en forma continua y automática o bien como inspecciones periódicas. Cabe mencionar, como ejemplo, que se ha introducido un método avanzado para el monitoreo del medio ambiente marino consistente en la aplicación de criterios de riesgo del tipo relación cualitativa estructura-actividad (*Qualitative Structure-Activity Relationship* (QSAR)), originalmente desarrollados en Europa para la protección de las costas del Mar del Norte. Se trata de un conjunto de modelos matemáticos que permiten estimar el efecto que produce en el medio ambiente una sustancia química determinada. Estos modelos están basados en las relaciones existentes entre la estructura química de las sustancias y su actividad toxicológica. Los resultados de estas investigaciones son utilizados con fines de auditoría interna y para comunicarlos a las autoridades y la comunidad locales.

3. Motivaciones de las empresas para desarrollar tecnologías ambientalmente racionales

Para una empresa, los objetivos principales son la generación de ventajas competitivas y riqueza y la producción sostenida de beneficios para sus dueños o accionistas, dentro de un marco de legalidad y de códigos de conducta. Normalmente, la protección del medio ambiente y la conservación de los recursos naturales no figuran entre sus finalidades inmediatas, sobre todo si se trata del uso de bienes públicos y no están comprometidos valores esenciales, tales como la salud humana. En los casos en que la subsistencia de una empresa depende de la disponibilidad de un determinado recurso natural, puede que se interese directamente en su conservación o explotación cuidadosa. Por esta razón con frecuencia se propicia una adjudicación de derechos de propiedad sobre bienes públicos. Las empresas también pueden asumir en forma subsidiaria tareas que no son directamente lucrativas, sino que se enmarcan en objetivos de bien común; generalmente lo hacen por vías tales como el patrocinio, la creación de fundaciones y la asociación

con otras entidades que persigan idénticas metas. Por último, una empresa puede ejercer funciones de servicio público por medio de una concesión.

Las motivaciones que impulsaron a las empresas participantes a desarrollar o adaptar tecnologías ambientalmente racionales pueden clasificarse en dos grandes categorías, según respondan a objetivos de competitividad o de sustentabilidad. La primera categoría, que apunta a objetivos empresariales más tradicionales, incluye la reducción de los costos de producción, el mejoramiento de la calidad, la generación de un producto o servicio nuevo y los proyectos de nuevas plantas industriales. Básicamente, estos objetivos inmediatos se enmarcarían en las metas estratégicas de lograr el liderazgo en materia de costos, la diferenciación con respecto a los competidores o la especialización en un sector o nicho de mercado. Al analizar los casos presentados en este estudio puede suponerse que, a veces, la racionalidad ambiental del desarrollo tecnológico no fue buscada conscientemente, por lo menos no al principio, sino que se dio en forma subsidiaria o por añadidura, por ejemplo como consecuencia de un uso más eficiente de insumos o combustibles o de la sustitución de materias primas o productos.

Las motivaciones correspondientes a la segunda categoría se inspiran en el concepto moderno de sustentabilidad ambiental y pueden obedecer a objetivos menos directos, pero igualmente esenciales, que el de elevar la competitividad para poder mantenerse en el mercado a largo plazo. Dentro de la categoría enmarcada en la sustentabilidad, son aspectos importantes el acatamiento de normas legales y códigos de conducta y el mantenimiento de buenas relaciones con la comunidad local. Además una tecnología puede desarrollarse para ser usada por la propia empresa, por terceros o por ambos a la vez. Frecuentemente, las empresas participantes tuvieron varios motivos para buscar sus desarrollos tecnológicos, entre los cuales la protección del medio ambiente, o la conservación de los recursos naturales, fue sólo uno.

En la categoría regida por la competitividad, la reducción de los costos de producción fue una motivación estratégica bastante frecuente e importante para las empresas estudiadas, ya que muchas veces su propósito era aumentar su eficiencia y productividad o ahorrar energía e insumos. Un caso típico es el de ALUAR, cuyas innovaciones en el sector de la electrólisis le permitieron recuperar las sustancias contaminantes contenidas en los humos y reciclarlos como materias primas. Además, una de las tecnologías desarrolladas por esta empresa tuvo por resultado un ahorro significativo de energía eléctrica. Del mismo modo, uno de los objetivos del proyecto de innovación tecnológica de las empresas pesqueras asociadas a CORPESCA fue ahorrar energía térmica y obtener un mejor rendimiento del pescado

utilizado en la fabricación de harinas. Por último, en el caso de Aracruz, el desarrollo de especies de eucalipto adaptadas a las condiciones locales de suelo y clima tuvo por finalidad aumentar el rendimiento en términos de celulosa producida por hectárea de eucalipto cosechado.

Tanto en el caso de la fabricación de harina de pescado como en el de las plantaciones de eucalipto, los desarrollos tecnológicos tuvieron originalmente por objeto ir en beneficio de la propia producción, pero con posterioridad se decidió comercializarlos. Así, Aracruz ha dado acceso a terceros a sus desarrollos en el área forestal mediante la venta de semillas de variedades mejoradas, la asistencia técnica a productores de madera y otros mecanismos. Por estas vías, la empresa ha difundido sus innovaciones, lo que le ha permitido multiplicar los beneficios económicos y ambientales. Por otra parte, existen desarrollos tecnológicos que fueron concebidos con el objeto de comercializarlos en forma de nuevos equipos que permitieran a los usuarios reducir sus costos de producción. Un ejemplo en este sentido es el aparato diseñado y fabricado por PROQUIVI para la gasificación de uva de exportación. También pueden citarse los adelantos tecnológicos introducidos por la firma JULIO BERKES en el diseño de calderas industriales. En este caso, la combustión más eficiente lograda gracias a estas innovaciones redundó, además, en un mejor control de las emisiones de material particulado. Por último, está el caso de APLIQUIM, una de cuyas divisiones fabrica equipos especializados para el tratamiento de residuos peligrosos.

Otra motivación enmarcada en la búsqueda de competitividad fue el deseo de las empresas de mejorar la calidad de sus productos. Así, en el caso de Maestranza Iquique, uno de los principales motivos para concebir y realizar un nuevo proceso de fabricación fue el afán de producir una harina de pescado de primera calidad (*prime*). Al surgir demanda de un producto de este nivel de calidad en el mercado mundial y con vistas a mejorar su posición competitiva, para la empresa resultaba atractivo iniciar un proyecto tecnológico. El desarrollo de las tecnologías apropiadas implicó el perfeccionamiento de ciertas operaciones del proceso industrial y, por esta vía, se consiguió también un mejor control de la generación de residuos.

Una tercera motivación de las empresas fue el designio de desarrollar un nuevo producto o servicio directa o primariamente relacionado con la protección ambiental en respuesta al surgimiento de nuevas demandas o necesidades en el mercado, a veces inducidas por la promulgación de normativas ambientales. Este fue el caso de APLIQUIM, que desarrolló, por cuenta de terceros, un servicio para el tratamiento de residuos contaminados con mercurio. Como no existía en el mercado una tecnología apropiada, un grupo de profesionales brasileños inició un proyecto de desarrollo, lo que terminó dando origen

a una nueva empresa. Otro ejemplo es el de FIBRIT, que desarrolló una tecnología para el tratamiento de efluentes líquidos. Además, la empresa incluso colaboró con las autoridades para impulsar la formulación y aplicación de una normativa moderna en este campo.

Una cuarta motivación dentro de la categoría regida por la competitividad son los proyectos de construcción de nuevas plantas industriales. Como estos proyectos suelen incorporar los adelantos tecnológicos más recientes, constituyen una excelente ocasión para desarrollar y adaptar tecnologías ambientalmente racionales. El proyecto de QUIMETAL de establecer una planta industrial para abastecer de anhídrido sulfuroso a nuevas industrias de celulosa de papel es ilustrativo de este tipo de situación.

En la categoría de las motivaciones fundadas en la sustentabilidad pueden distinguirse, entre otras, el cumplimiento de normativas ambientales legales o voluntarias, la protección de la salud de los trabajadores y de la comunidad local, la preservación del patrimonio ambiental local, la conservación de recursos naturales y la necesidad de cumplir condiciones para acceder a mercados externos. En lo referido a las reglamentaciones, la aplicación de normas ambientales legales puede incentivar el desarrollo de tecnologías adecuadas. Nuevamente, el proyecto de la planta de anhídrido sulfuroso de QUIMETAL resulta un ejemplo ilustrativo, ya que allí se buscaron soluciones tecnológicas idóneas para cumplir la normativa ambiental vigente. En varios de los otros casos presentados se menciona que, si bien no existía una reglamentación legal local o nacional, las empresas acataron ciertos códigos de conducta aceptados a nivel mundial, o trataron de anticiparse a la promulgación de normas ambientales. Ésta fue la actitud adoptada, por ejemplo, por ALUAR, que ha estado en contacto con otras empresas líderes de la industria mundial del aluminio en reuniones técnicas. También en el caso de las empresas pesqueras de CORPESCA una de las motivaciones fue anticiparse a una normativa nacional en materia de medio ambiente.

Otro grupo de motivaciones es el constituido por la protección de la salud de los trabajadores y de la comunidad local, la prevención de accidentes industriales y la preservación del entorno local. En este sentido, los principales ejemplos corresponden a los casos de ALUAR, Aracruz CORPESCA y QUIMETAL. La preocupación por la salud de la comunidad y el medio ambiente circundante fue especialmente notoria cuando se trataba de empresas grandes o de industrias que podrían haber causado daños ambientales importantes si no hubiesen adoptado a tiempo tecnologías y sistemas adecuados de gestión ambiental. En el caso de Aracruz, la empresa se ha comprometido no sólo a proteger dichos valores, sino a asumir un claro papel de liderazgo en el desarrollo regional y social. La necesidad de cumplir condiciones para acceder a los

mercados de exportación fue otra poderosa motivación que impulsó a las empresas a desarrollar y adaptar tecnologías ambientalmente racionales. Así se manifiesta explícitamente en la presentación de ALUAR y la misma motivación ha gravitado en las decisiones de otras empresas orientadas hacia la exportación, como Aracruz, que vende celulosa en el exterior.

Dentro de la categoría de las motivaciones relacionadas con la sustentabilidad figuran, por último, las que tienen por propósito la conservación y recuperación de los recursos básicos o complementarios para las actividades productivas de las empresas. Así, el grupo de productores de harina de pescado asociados a CORPESCA realiza investigaciones biológico-oceanográficas para asegurar que la captura de peces se mantenga a una escala que no haga peligrar la regeneración de la riqueza pesquera. Aracruz, por su parte, ha aprovechado los suelos degradados de la región para crear plantaciones de eucalipto, como una manera de recuperarlos para fines productivos. Además, esta empresa ha trabajado en la regeneración de bosques con especies autóctonas, su repoblamiento con animales silvestres y el uso de la biodiversidad como medio de control biológico de plagas.

Entre las motivaciones para buscar desarrollos tecnológicos en materia ambiental habría que mencionar también la voluntad de realización personal y de demostrar la validez de ciertas ideas. Un ejemplo en este sentido es el caso de FIBRIT, en el que una persona, luego de haber desarrollado a escala experimental un nuevo material de fibrocemento plástico y un novedoso sistema para el tratamiento de aguas servidas, decidió crear una empresa con el fin de producir industrialmente dichas tecnologías e introducirlas en el mercado, tanto para demostrar su viabilidad como para poner en práctica sus ideas con respecto al desarrollo de los recursos humanos dentro de las empresas. En los otros casos no se explicita esta motivación, pero sin duda ha estado presente en muchos de ellos. En las empresas pequeñas es más fácil identificar al protagonista principal, que suele ser el dueño o un alto ejecutivo. En cambio, es más difícil en las empresas grandes, donde frecuentemente los procesos de innovación tecnológica están formalizados y existe, por ejemplo, una unidad específicamente a cargo de la investigación y desarrollo tecnológicos.

Las motivaciones mencionadas hasta ahora como ejemplos se refieren a empresas privadas. La situación es algo distinta en el caso de la única institución oficial considerada, la CETESB. En efecto, entre los mandatos de esta entidad figura específicamente el de desarrollar tecnologías de protección ambiental y de salud pública.

4. Gestión tecnológica y ambiental

La gestión tecnológica y ambiental de las empresas tiene matices distintos según su tamaño. Las empresas grandes y las que pertenecen a conglomerados industriales tienen sistemas de gestión formalizados, que se traducen en la existencia de programas plurianuales, revisiones periódicas, presupuestos específicos y departamentos de investigación y desarrollo tecnológicos. Así, las investigaciones oceanográficas y biológicas de los recursos pesqueros que realizan las empresas afiliadas a CORPESCA están enmarcadas en programas plurianuales a los que se ha dotado de asignaciones presupuestarias importantes. En ALUAR, los lineamientos de la política ambiental y la asignación de recursos financieros para los diversos programas e inversiones en el campo de la protección ambiental están basados en auditorías ambientales y un ciclo administrativo. Éste consiste en mediciones y prospecciones en el terreno, el registro sistemático de datos y la preparación de estadísticas e informes. En el caso de Aracruz, el enfoque de la gestión tecnológica y ambiental se caracteriza por orientar las investigaciones hacia los campos operacionales de la empresa. Un ejemplo de esto es el programa de biotecnología dirigido a la creación de material genético de eucalipto adaptado a las condiciones ecológicas locales y a la producción de celulosa blanqueada.

En las empresas medianas y pequeñas, el método de gestión tecnológica que predomina es la dedicación de personal ejecutivo a tiempo parcial. Frecuentemente las investigaciones tecnológicas se realizan como parte de las actividades cotidianas en el ámbito de la ingeniería de proyectos o de la producción. En particular, estas situaciones se dan cuando se trata de resolver un problema nuevo que se le ha presentado a un cliente. Un caso singular de gestión tecnológica es el de los círculos de creatividad de FIBRIT, en los que participa el personal en su conjunto. Se trata de un original modelo de gestión mediante el cual se procura que la totalidad de los trabajadores participe en el proceso innovativo, así como también crear condiciones para la realización personal en el trabajo.

Uno de los componentes importantes de la gestión tecnológica es la política que se adopte en materia de propiedad industrial. Del conjunto de empresas participantes, seis se refirieron a este aspecto. Entre éstas, APLIQUIM, JULIO BERKES y PROQUIVI optaron por registrar patentes de invención, mientras que Maestranza Iquique, QUIMETAL y TERMOVENT prefirieron resguardar la propiedad intelectual de sus desarrollos tecnológicos como secreto industrial. Las razones de estas últimas para seguir tal alternativa variaron según los casos. A veces se consideró que la innovación no era patentable porque, si bien representaba una aplicación industrial inédita, el proceso en sí ya era

conocido. Otras veces, las empresas decidieron no solicitar el registro de una patente para no divulgar información. Cabe mencionar que esta última es una práctica bastante aceptada, no solamente en los países latinoamericanos, sino también en los industrializados.

5. Cooperación tecnológica a nivel nacional

La cooperación tecnológica que establezca una empresa innovadora con otras empresas o instituciones idóneas le permite complementar sus capacidades y recursos internos. Esta cooperación, que se inscribe en el marco conceptual de la competitividad sistémica, puede incluir a clientes y proveedores, empresas pertenecientes al mismo sector industrial que la empresa protagonista, instituciones académicas y centros de investigación científica y tecnológica, laboratorios y entidades de fomento y de fiscalización. A continuación se identifican algunos proyectos de cooperación tecnológica que han sido llevados adelante por las 10 empresas consideradas. En los distintos casos de cooperación tecnológica el grado de formalidad fue variable. Además, conviene señalar que en la mayoría de ellos el desarrollo tecnológico se materializó básicamente con los recursos humanos y materiales propios de las empresas, cuyos esfuerzos, por lo tanto, sólo fueron complementados por los aportes provenientes de otras fuentes.

De los casos considerados, la primera categoría se refiere a experiencias de cooperación con los clientes y proveedores de las empresas innovadoras. Cuando se trata de clientes, la cooperación tecnológica ha asumido características distintas según éstos sean de carácter privado o público. En los informes de APLIQUIM, JULIO BERKES y PROQUIVI se mencionan experiencias de cooperación con clientes del sector privado que, si bien es posible que en estos casos no haya sido muy relevante en términos propiamente tecnológicos, sí lo fue en otros aspectos. Algunas veces la colaboración de los clientes se manifestó, en particular, en una demostración de confianza en las empresas innovadoras y los proyectos tecnológicos, lo que significaba compartir o asumir los riesgos económicos y comerciales implícitos en el uso de un producto o proceso nuevo. En cuanto a la cooperación con las empresas públicas, en el informe de FIBRIT se presenta una experiencia al respecto. Esta empresa, con el concurso de una corporación pública encargada del manejo de la cuenca del río Bogotá, realizó un extenso estudio experimental en el terreno sobre el funcionamiento de los sistemas de tratamiento de aguas servidas que dicha entidad había instalado en el curso de los últimos años. En el marco de ese proyecto también se diseñó y construyó un prototipo para un matadero municipal. Con respecto a la cooperación tecnológica con

proveedores, se menciona un caso en el informe de ALUAR. Esta empresa diseñó, conjuntamente con un proveedor local de equipos, un sistema para el control automático de las cubas electrolíticas. Como la cooperación tecnológica entre empresas industriales y sus proveedores de equipos es bastante frecuente en países en los que la fabricación de bienes de capital ha alcanzado cierto desarrollo, es posible suponer que el caso informado por ALUAR no es excepcional.

La cooperación tecnológica entre entidades públicas reviste algunas particularidades, tal como lo demuestra la experiencia de la CETESB. Esta entidad reportó una exitosa transferencia de tecnología a una municipalidad del estado de São Paulo, donde se instaló y se puso en funcionamiento un prototipo del biodigestor anaeróbico desarrollado por la CETESB. En su presentación, la compañía señala que le resulta más fácil concertar traspasos de tecnología con instituciones oficiales debido a que en tales casos los procedimientos de asociación no implican transferencias financieras.

La cooperación entre las empresas consideradas en este análisis, por una parte, y las universidades y centros de investigación tecnológica, por la otra, constituyen una segunda categoría. Aparte de los convenios formales de cooperación, que al parecer no son muy frecuentes, existen los vínculos informales. Así, en los informes de las empresas se menciona frecuentemente que sus profesionales ejercen funciones de docencia en universidades y otros establecimientos educacionales. La participación en seminarios y reuniones técnicas es también una fórmula muy difundida para el intercambio de conocimientos y experiencias. Sin embargo, en los programas y proyectos de desarrollo tecnológico de las empresas tuvieron mayor alcance los convenios formales con universidades y centros de investigación tecnológica. Así, Aracruz Celulose expresa que "la velocidad de las innovaciones y la globalización de los mercados exigen un mejoramiento constante de productos y procesos, a fin de enfrentar el creciente nivel de competencia. Un centro de investigación y desarrollo experimenta cada vez ... mayores dificultades [para] asegurar la producción de estas innovaciones en forma independiente." Además, esta empresa mantiene convenios, intercambios tecnológicos y contratos de asesoramiento, principalmente en la esfera de las investigaciones básicas. Esta estrategia le ha permitido ahorrar recursos humanos e inversiones propias y obtener rápidamente resultados en distintas áreas de interés. La CETESB ha suscrito convenios y contratos con una serie de universidades e institutos de investigación tecnológica con el objeto de realizar estudios y actividades de capacitación técnica y científica.

A veces la cooperación con un centro tecnológico puede facilitar la difusión de una tecnología nueva en un medio difícil de penetrar comercialmente. Por ejemplo, APLIQUIM estableció un convenio con

el Centro de Tecnología Mineral, dependiente del Consejo Nacional de Investigaciones del gobierno federal de Brasil, para diseñar y fabricar una cámara de retención y recuperación de mercurio. El proyecto apuntaba a controlar la contaminación con mercurio en los lugares de extracción y de compra de oro mediante la provisión de este equipo a la minería aurífera artesanal en regiones apartadas.

Algunas empresas han contratado los servicios de centros tecnológicos para corroborar los resultados experimentales obtenidos por sus propios investigadores o para determinar ciertos parámetros de diseño u operación. Con este fin, FIBRIT siguió una política deliberada de vinculación con instituciones tecnológicas. En una primera etapa, la empresa misma realizó los primeros ensayos con el prototipo o la instalación comercial desarrollada. Luego, los resultados de esos ensayos fueron corroborados por una universidad o institución de reconocida capacidad científica y tecnológica. Además, FIBRIT solía reservarse el derecho de orientar las labores de investigación de la entidad contratada, para lo cual se elaboraron procedimientos apropiados. La firma PROQUIVI procedió en forma similar en el caso de su proyecto de gasificación de uva, durante el cual se contrataron dos trabajos con centros de investigación tecnológica, ambos dirigidos a verificar la efectividad de la nueva tecnología. Además se quería determinar, por la vía experimental, un importante parámetro de diseño.

En algunos de los proyectos de desarrollo tecnológico de las empresas no hubo cooperación por parte de universidades o centros especializados al principio, pero sí posteriormente. En estos casos, la cooperación tuvo lugar en el marco de un programa de investigación de mediano o largo plazo, o bien como parte de una política empresarial dirigida a impulsar nuevos proyectos de desarrollo tecnológico. Así, cuando la firma JULIO BERKES inició sus primeros proyectos tecnológicos, en el país no existían instituciones académicas o tecnológicas idóneas que pudieran cooperar con empresas privadas. Posteriormente, las condiciones cambiaron y en la actualidad la empresa mantiene con universidades e instituciones tecnológicas relaciones que apuntan "al desarrollo compartido de proyectos más innovativos que los perfeccionamientos que normalmente surgen de la ejecución de los contratos comerciales".

Ofrecen otro ejemplo de cooperación en esta área las investigaciones biológico-oceanográficas de las empresas pesqueras asociadas a CORPESCA. Estas actividades se iniciaron con estudios sistemáticos de parámetros ambientales y biológicos que fueran de utilidad para la actividad pesquera. Posteriormente, las empresas del grupo dieron comienzo, y después se sumaron, a cruceros periódicos apoyados por un organismo gubernamental. En una tercera etapa, esos cruceros empezaron a realizarse en el marco de un programa concertado

con una universidad local. Tanto en el caso de JULIO BERKES como en el de CORPESCA puede observarse que la vinculación con las instituciones tecnológicas ha cobrado progresiva importancia. Probablemente, las condiciones de tal relación mejoraron no sólo en la medida en que dichas instituciones fortalecieron su capacidad de investigación aplicada y servicios tecnológicos sino también gracias a la creciente percepción por parte de las empresas de las posibilidades de lograr desarrollos tecnológicos basados en adelantos científicos.

En el caso de FIBRIT se menciona que un obstáculo para cooperar con las universidades y otras instituciones que cuentan con laboratorios de investigación fue la falta de recursos económicos y de una dotación suficiente de equipos que afecta a estas entidades. Esta última circunstancia, en particular, ha limitado la gama de áreas de investigación que tales instituciones estaban en condiciones de abarcar. Con el objeto de contribuir a superar tales escollos, frecuentemente la empresa proporcionó recursos económicos para asegurar el funcionamiento de los laboratorios y, en ocasiones, también entregó los instrumentos necesarios para realizar las investigaciones relacionadas con sus propios proyectos.

Los bancos de datos y los servicios de información técnica forman parte de la infraestructura científica y tecnológica de los países. El uso de estos recursos por parte de las empresas constituye la tercera categoría de cooperación tecnológica considerada en el contexto de este análisis. En su informe, la empresa TERMOVENT menciona que durante el desarrollo de su proyecto tuvo acceso a determinados servicios y bancos de datos existentes en el país.

Estos ejemplos demuestran que casi todas las empresas líderes establecieron relaciones de cooperación tecnológica de algún tipo con otras empresas o instituciones de sus respectivos países. Las empresas que realizan programas o actividades de investigación tecnológica permanentes también suelen mantener estrechos vínculos con instituciones científicas y tecnológicas, como parte de su estrategia empresarial. En el pasado, en algunos países no se dieron las condiciones necesarias para una cooperación entre la infraestructura científica y tecnológica nacional y el sector privado, pero desde entonces estas situaciones parecen haberse superado. Las experiencias descritas en los casos considerados indican que las actividades de cooperación tecnológica organizadas por las empresas contribuyeron significativamente al éxito comercial de las tecnologías ambientales desarrolladas.

6. Cooperación tecnológica internacional

Como el progreso técnico se genera en gran parte en los países desarrollados, afirmación especialmente válida en el campo del medio

ambiente, las relaciones de cooperación tecnológica internacional que establezcan las empresas latinoamericanas revisten mucha importancia. Son particularmente relevantes los avances conceptuales en el campo de la cooperación tecnológica entre empresas que se desprenden de las propuestas ya mencionadas del Consejo Empresario para el Desarrollo Sostenible. Uno de los capítulos del Programa 21, documento aprobado por la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, resume los planteamientos más recientes sobre la materia formulados en foros de las Naciones Unidas. El contenido del capítulo sobre transferencia de tecnología ecológicamente racional y cooperación denota que los criterios de las empresas han sido aceptados en gran parte. Allí se expresa "Para que se mantenga con éxito una asociación a largo plazo en cooperación tecnológica se necesitará forzosamente una capacitación sistemática continuada" y luego, entre los objetivos, se incluye "Fomentar asociaciones tecnológicas de larga duración entre los propietarios de tecnologías ecológicamente racionales y los posibles usuarios". Más adelante se dice que "Se deberían promover acuerdos de colaboración a largo plazo entre empresas de países desarrollados y de países en desarrollo con objeto de desarrollar tecnologías ecológicamente racionales", y a continuación que "Se deberían promover empresas mixtas de proveedores y beneficiarios de tecnologías".

En los casos presentados en el presente estudio se hace referencia a cooperación tecnológica con empresas, universidades, centros de investigación y asociaciones científicas y profesionales de otros países, así como con instituciones de asistencia técnica del mundo desarrollado y organizaciones internacionales. Un ejemplo de cooperación tecnológica fructífera entre empresas es el caso del desarrollo de una tecnología limpia para la fabricación de harina de pescado por parte de las afiliadas a CORPESCA. Éstas delinearon el concepto original y la ingeniería básica del proyecto, cuyo desarrollo ulterior requería la colaboración de un fabricante especializado de equipos industriales pesqueros. Con ese fin, el grupo local llamó a una licitación privada internacional para que se presentaran propuestas de ingeniería de detalle y se colaborara en el desarrollo de la tecnología, incluida la construcción de una planta prototipo en Chile.

De las empresas invitadas, sólo una, de origen noruego, consideró que el concepto básico del proceso propuesto era realmente factible. Por consiguiente, el grupo chileno negoció un acuerdo de cooperación tecnológica con esa empresa, en virtud del cual quedó encargada del diseño y fabricación de los equipos de proceso y de la supervisión del montaje y puesta en marcha de la planta prototipo. Como esta planta funcionó exitosamente, el grupo chileno y su contraparte noruega decidieron crear una fábrica de equipos especializados. Esta iniciativa se concretó con la fundación de Maestranza Iquique como empresa

conjunta. Los socios noruegos proporcionaron asistencia técnica para la elaboración del proyecto y la puesta en operación de la planta industrial a cambio de una opción sobre el capital de la nueva empresa.

El caso de Aracruz Celulose proporciona otro ejemplo de este tipo de cooperación tecnológica, ya que esta empresa estableció relaciones de cooperación con una serie de entidades, entre ellas varias empresas extranjeras, para intercambiar material genético de eucalipto. En el informe de QUIMETAL aparece un tercer ejemplo: en este caso se suscribió un acuerdo de cooperación tecnológica con una firma consultora alemana, la cual proporcionó parte de la ingeniería básica de un proyecto industrial para la producción de anhídrido sulfuroso. Sobre esta base, QUIMETAL realizó el diseño del proyecto, tarea que incluyó la adaptación de la escala de operación a las circunstancias locales, la especificación de los equipos y la definición de las medidas de control de contaminación. Debido al aporte de innovación tecnológica que implicaron esos trabajos, la empresa pudo reservarse derechos de propiedad industrial sobre la tecnología.

Otra área de la cooperación tecnológica internacional comprende las relaciones que las empresas mantienen con universidades, centros de investigación y asociaciones técnicas de otros países. Entre las empresas protagonistas, ALUAR, Aracruz Celulose y FIBRIT mencionaron sus contactos con entidades de este tipo. Así, como ya se señaló, ALUAR forma parte del Comité Ambiental del Instituto Internacional del Aluminio Primario, con sede en Londres. Este mecanismo permitió a la empresa mantenerse actualizada respecto de los avances a nivel mundial en materia de métodos de vigilancia y de evaluación del impacto ambiental. Aracruz Celulose está vinculada a una serie de universidades extranjeras, principalmente en Estados Unidos e Inglaterra, en las cuales ha prestado su apoyo a tesis de doctorado en diversos campos de interés para el desarrollo forestal sustentable. En el informe de FIBRIT se destaca que para sus desarrollos tecnológicos tuvo gran importancia la participación del fundador de la empresa en los congresos y cursos organizados por sociedades científicas internacionales.

Otra forma de cooperación tecnológica es la que se realiza en el marco de la asistencia técnica bilateral o con organizaciones intergubernamentales e internacionales. Los casos de ALUAR, APLIQUIM y CETESB proporcionan algunos ejemplos. La CETESB mantiene relaciones con la Organización Mundial de la Salud/Organización Panamericana de Salud (OMS/OPS), el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS), organismos para la protección del medio ambiente y de cooperación técnica, entre otras entidades de diversos países desarrollados. Por intermedio del Comité Ambiental del Instituto Internacional del Aluminio Primario, ALUAR se ha relacionado con diversas organizaciones

internacionales. A lo largo de los años, esta vinculación le ha permitido hacer significativas contribuciones a la formulación de los criterios adoptados por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI) en materia de protección del medio ambiente y desarrollo sostenible. APLIQUIM, por último, presentó su experiencia respecto del tratamiento de residuos contaminados con metales pesados en la Conferencia de la ONUDI sobre un Desarrollo Industrial Ecológicamente Sostenible realizada con motivo de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (Rio de Janeiro, 1992). Además, los ejecutivos de la empresa han cumplido varias misiones de asistencia técnica por encargo de la ONUDI.

Las experiencias de las empresas líderes muestran claramente que la cooperación tecnológica internacional se ha practicado con bastante frecuencia. Esta forma de cooperación, a la cual las empresas consideradas, independientemente de su tamaño, recurrieron para llevar adelante sus proyectos tecnológicos ambientales, fue probablemente otro de los factores que contribuyeron al éxito de las innovaciones. Los casos de las empresas latinoamericanas también destacan la importancia de la propia capacidad tecnológica y de negociación para establecer derechos de propiedad industrial sobre las tecnologías desarrolladas y adaptadas.

7. Políticas de fomento tecnológico

De las empresas que participaron en el estudio, tres se refieren al papel que desempeñaron o desempeñan las políticas de fomento tecnológico en sus respectivos países. Además, está el caso de la CETESB, que como organismo público encargado, entre otros objetivos, de desarrollar tecnologías que protejan el medio ambiente, es en sí un agente de la política de fomento tecnológico de su estado. De las tres empresas privadas, la única que manifestó haber conseguido apoyo estatal para la realización de sus proyectos fue PROQUIVI. Esta empresa recibió recursos de un fondo de desarrollo científico tecnológico para contratar los servicios de dos laboratorios de investigación. Otras dos empresas expresaron que, por razones propias, no habían recurrido a fondos públicos para el fomento tecnológico. Una de ellas es la firma JULIO BERKES, que en el pasado no buscó apoyo oficial por considerar que tal cosa no sería viable para un empresario innovador en el contexto latinoamericano, ya que tales apoyos no existen o se caracterizan por sus trabas burocráticas. Sin embargo, en el presente esta empresa recurre al financiamiento de fomento para desarrollar uno de sus proyectos. El último caso es el de FIBRIT, en cuyo informe se señala que los

mecanismos de apoyo oficial no son efectivos debido básicamente a dos razones. Una es el hecho de que el fisco procura reservarse derechos de propiedad sobre las tecnologías desarrolladas con el aporte de fondos públicos. La otra se refiere a los procedimientos aplicados para evaluar las propuestas de desarrollo tecnológico que, por ser demasiado burocráticos, tenderían a marginar las ideas verdaderamente originales.

La experiencia del grupo de empresas líderes latinoamericanas indicaría que existen serias insuficiencias en el área de las políticas de fomento tecnológico, en general, y de las destinadas a apoyar el desarrollo de tecnologías ambientales, en particular. Queda de manifiesto que en algunas partes de la región simplemente se carecía de tales políticas y, además, en ninguno de los estudios de caso se menciona la existencia de medidas de fomento específicas para el desarrollo de tecnologías ambientales, excepto las limitadas al campo sanitario. Aun en aquellos países en que se aplican políticas públicas de fomento tecnológico en general, es frecuente que las trabas burocráticas vuelvan engorrosos los procedimientos, lo que limita severamente su efectividad. Se percibe que hay allí un área de políticas públicas a la cual debería prestarse creciente atención en los años venideros.

III. SANEAMIENTO BÁSICO Y TRATAMIENTO DE RESIDUOS PELIGROSOS

En este capítulo y los dos siguientes se presentan los informes de las empresas participantes sobre su experiencia en el desarrollo de tecnologías ambientales y de instrumentos de gestión sustentable. En el presente capítulo se incluyen los casos referidos al saneamiento básico y tratamiento de residuos peligrosos. En el capítulo IV se agruparon las experiencias relacionadas con tecnologías limpias para actividades industriales, agrícolas y pesqueras; por último, en el capítulo V se exponen dos casos, el primero vinculado a la gestión sustentable de recursos naturales, y el segundo a tecnologías para el uso de biomasa como fuente renovable de energía.

El saneamiento básico incluye el tratamiento de efluentes líquidos de origen doméstico, industrial o mixto. Estas actividades constituyen una de las áreas clásicas de la protección ambiental. En América Latina y el Caribe, los efluentes líquidos de origen tanto doméstico como industrial suelen descargarse directamente, sin ningún tratamiento previo, a los cursos de agua o los alcantarillados.¹ Esta situación está cambiando en la región y en muchos lugares ya se proyecta instalar plantas centralizadas o municipales de tratamiento, así como plantas de tratamiento o de pretratamiento a nivel de fábricas individuales o grupos de industrias. Uno de los problemas de las plantas de tratamiento convencionales es que requieren grandes extensiones de terreno, que en los medios urbanos es escaso. La Compañía de Tecnología de Saneamiento Ambiental (CETESB) de São Paulo y la empresa FIBRIT de Bogotá han desarrollado tecnologías para tratar aguas servidas, fundamentalmente de origen doméstico, pero que también pueden ser aplicadas a las de origen industrial, si reúnen determinados requisitos.

¹ Sobre la situación de la contaminación hídrica en América Latina, véase CEPAL (1985 y 1992); en CEPAL (1990b) se analiza el caso concreto de un problema de contaminación causado por una industria.

Otra área de protección ambiental es el tratamiento de residuos peligrosos de los que no se puede disponer directamente en vertederos o rellenos sanitarios por razones de salud pública o riesgos de contaminación. Corresponden a esta categoría los casos de las empresas APLIQUIM de São Paulo y TERMOVENT de Guadalajara, que han desarrollado tecnologías para el tratamiento de residuos peligrosos. La experiencia de la primera se refiere al procesamiento de residuos contaminados con mercurio y la recuperación de este elemento y otras sustancias de valor comercial. En el segundo caso se trata de la incineración de residuos hospitalarios sin provocar contaminación atmosférica, junto con la recuperación de calor, utilizable para transformar otros residuos orgánicos en productos de valor.

1. CETESB: desarrollo del biodigestor de flujo ascendente para el tratamiento de aguas servidas²

a) *Objetivos de la institución*

Desde su creación, en 1973, la Compañía de Tecnología de Saneamiento Ambiental (CETESB) ejerce atribuciones jurídicas relacionadas con la fiscalización de la contaminación y la preservación de la calidad del medio ambiente en el ámbito territorial del estado de São Paulo, así como con el desarrollo de investigaciones y tecnologías pertinentes a su esfera de acción. La CETESB, que mantiene un programa permanente de capacitación técnica, cuenta en la actualidad con una plantilla de 3 041 funcionarios, de los cuales 1 024 son de nivel universitario (ingenieros, biólogos, químicos, geólogos, geógrafos, bioquímicos, matemáticos, economistas, administradores de empresa, abogados y otros). Su estructura orgánica comprende un consejo de administración, una presidencia y seis direcciones, a saber: la dirección administrativa y financiera; la dirección de normas del medio ambiente; la dirección de fiscalización de la contaminación en las áreas interiores del estado de São Paulo; la dirección de fiscalización de la contaminación

² Sobre la base de Paulo Tetuia Hasegawa, José Angelo Valentim y Sônia Maria Manso Viera (Compañía de Tecnología de Saneamiento Ambiental (CETESB)), *Empresas líderes en desarrollo, aplicación y difusión de tecnologías ambientalmente racionales en América Latina: los casos de desarrollo del biodigestor de flujo ascendente y del sistema de eliminación de fluoruros en aguas de abastecimiento público por la Compañía de Tecnología de Saneamiento Ambiental (CETESB), São Paulo, Brasil (LC/R.1266/Rev. 2)*, Santiago de Chile, CEPAL, 15 de junio de 1993.

en las regiones metropolitanas; la dirección de capacitación y transferencia de tecnología; y la dirección de investigación y desarrollo de tecnología.

Entre los diversos programas en ejecución en la esfera del saneamiento ambiental pueden mencionarse las medidas permanentes de fiscalización de la contaminación de origen industrial, previstas en la ley 997/76 y el decreto 8468/76, tanto de carácter preventivo (mediante la administración del sistema de licencias), como correctivo, cerca de las fuentes de contaminación existentes. Se destaca la labor realizada en la región metropolitana de São Paulo, el polo industrial de Cubatão y, últimamente, como programa específico, la recuperación del Río Tietê. La CETESB participa activamente en el programa nacional de fiscalización de la contaminación del aire causada por vehículos automotores (PROCONVE) en calidad de agente técnico. Cabe mencionar también los programas permanentes de vigilancia y calidad del medio ambiente, así como los relativos al examen de la calidad del aire en la región metropolitana y en Cubatão (mediante un sistema de telemetría con 25 estaciones), la calidad de las aguas interiores del Estado de São Paulo (con recolección bimestral de muestras en 101 puntos de las 29 cuencas hidrográficas) y la determinación de la aptitud para el baño de las playas del litoral paulista, con recolecciones semanales de muestras en 113 puntos distribuidos en 100 playas.

En la esfera de la investigación y el desarrollo de tecnologías, la CETESB mantiene programas permanentes relacionados con los sistemas de tratamiento de efluentes domésticos e industriales; sistemas de tratamiento del agua y su abastecimiento público; tratamiento, reaprovechamiento y eliminación final de desechos sólidos provenientes de hogares, hospitales e industrias; también se realizan estudios relativos a las emisiones de los vehículos y la evaluación y recuperación de los ecosistemas degradados por la contaminación. De las diversas labores llevadas a cabo, a continuación se describirá el desarrollo de tecnologías para el tratamiento de aguas servidas de origen doméstico con biodigestores.

La CETESB mantiene contactos científicos y tecnológicos permanentes con diversas entidades y universidades mediante contratos y convenios tanto para la realización de estudios como para la capacitación técnico-científica de profesionales. Entre éstas se puede citar a la Universidad de São Paulo (USP), la Universidad Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho (UNESP), la Universidad Estadual de Campinas (UNICAMP) y el Instituto de Investigaciones Tecnológicas (IPT). En el ámbito internacional cabe mencionar, entre otras, a las siguientes entidades: Organización Mundial de la Salud/Organización Panamericana de la Salud (OMS/OPS); Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS); Organismo de Protección del Medio

Ambiente (EPA); Environment Canada; Sociedad Alemana de Cooperación Técnica (GTZ) de Alemania; Organismo Japonés de Cooperación Internacional (JICA) del Japón; y Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL) de México.

b) *Biodigestor de flujos ascendentes y manto de lodo (reactor UASB) para el tratamiento de aguas servidas*

i) *Descripción sintética de la tecnología desarrollada.* Se trata de un reactor para el tratamiento de aguas servidas, que consiste básicamente en un estanque con un decantador en la parte superior y un deflector de gases. En el reactor de flujo ascendente el sistema de admisión está ubicado en la parte inferior y los residuos circulan en una corriente ascendente.

El principio básico del funcionamiento de este reactor es la separación de las tres fases de la biomasa —sólida, líquida y gaseosa— en su interior. La función de esta biomasa es la de degradar la materia orgánica del efluente que será sometido a tratamiento.

Las aguas servidas pasan a través de un estrato de lodo que contiene microorganismos activos encargados de descomponer la materia orgánica. Las condiciones hidráulicas impuestas a la capa de lodo le confieren asimismo buenas capacidades de sedimentación y favorecen la acumulación de los sedimentos dentro del reactor.

Los parámetros del proyecto de desarrollo de un reactor de flujo ascendente llevado a cabo en los Países Bajos apuntaban al tratamiento de grandes caudales de efluentes con elevada carga orgánica, es decir, a la aplicación de grandes cantidades de material orgánico en estanques de pequeño volumen. En cambio, la viabilidad del tratamiento de vastos caudales de efluentes diluidos exigía aplicar grandes cargas hidráulicas en estanques de pequeño volumen. En el proyecto de la CETESB se trató de adaptar los parámetros del reactor holandés al tratamiento de efluentes diluidos. Esos intentos desembocaron en la construcción de un reactor, inicialmente a escala semiexperimental (106 litros) y luego con un aumento de la capacidad a 120 m³. Los resultados demostraron que se podía tratar las aguas servidas de origen doméstico en un sistema compacto, sin necesidad de equipos electromecánicos de agitación y aireación.

Por otra parte, la eficiencia de la eliminación de materia orgánica resulta entre 15% y 20% inferior a la lograda utilizando sistemas aeróbicos convencionales. Se han publicado varios trabajos al respecto (Vieira, 1984; Vieira y Souza, 1986; Souza, 1987; Souza y otros, 1987; Souza y Vieira, 1986; Vieira, Pacheco y Souza, 1987; Vieira y otros,

1987; Vieira, 1988; y Viera y García 1992b). Los resultados tras cinco años de funcionamiento del reactor de flujo ascendente de 120 m³ para el tratamiento de aguas servidas de origen doméstico indican que los niveles de eficiencia en términos de eliminación del total de sólidos en suspensión (TSS), demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y demanda química de oxígeno (DQO) alcanzan a 70%, 70% y 60%, respectivamente, con tiempo de detención hidráulica de seis a ocho horas (Vieira y García, 1992a).

ii) *Cronología del desarrollo del reactor de flujo ascendente.* A finales del decenio de 1970, la situación del saneamiento ambiental era precaria. Podría decirse que la preocupación respecto de las aguas servidas se limitaba a la mera recolección de las aguas negras. La mayoría de las ciudades brasileñas no contaba con sistemas de tratamiento de aguas servidas —situación que aún persiste. Lo mismo sucedía en el estado de São Paulo, en particular en su región metropolitana, donde el problema se agravaba debido a la urbanización y a la mayor densidad de población.

Al analizar las opciones tecnológicas existentes y más utilizadas en las áreas urbanas se concluyó que para el tratamiento de pequeñas cantidades de aguas negras se empleaban pozos sépticos y los efluentes desembocaban en sumideros y zanjas de filtración o infiltración. Para el tratamiento de grandes cantidades de aguas servidas se podía recurrir a los sistemas compactos aeróbicos, como lodo activado y sus derivados, difíciles de utilizar por ser costosos y complejos. Para la región metropolitana de São Paulo existía un proyecto en estudio desde 1976, basado en el sistema de lodo activado, pero el alto costo de la inversión obstaculizaba su ejecución. Por consiguiente, era preciso buscar opciones tecnológicas para el tratamiento de las aguas servidas que se ajustaran más a la realidad brasileña.

En 1983 la Asociación Brasileña de Normas Técnicas revisó la reglamentación relativa a los pozos sépticos e incluyó el tratamiento de efluentes con filtros anaeróbicos. La CETESB estudió esta opción entre 1980 y 1982 (Vieira y Alem, 1983) y comprobó que mediante el procedimiento anaeróbico era posible eliminar grandes cantidades de materia orgánica sobrante en los pozos sépticos. Al mismo tiempo en la CETESB se investigaba (Souza y García Jr., 1986) el tratamiento anaeróbico del "vinhoto" (guarapo) mediante filtros anaeróbicos de alta capacidad semillenos y utilizando el reactor de flujo ascendente; este último había sido desarrollado por el grupo del Dr. Gatzke Lettinga de la Universidad de Wageningen en los Países Bajos, y en ese entonces recién se estaba divulgando (Lettinga y otros, 1980).

Una vez reunidos todos esos conocimientos técnicos, se llegó a la conclusión de que era posible tratar las aguas servidas de origen doméstico en reactores anaeróbicos de alta capacidad. Entre los que

habían sido objeto de mayores investigaciones a nivel mundial (reactor de contacto, filtro anaeróbico y reactor de flujo ascendente), se optó por buscar la manera de adaptar el reactor de flujo ascendente para tratar efluentes líquidos, ya que era éste el que parecía ser más sencillo y económico. En 1983 comenzó entonces el proyecto de desarrollo del reactor de flujo ascendente para el tratamiento de aguas servidas de origen doméstico. Para realizar este proyecto se utilizaron solamente fondos de la propia CETESB, ya que no se contó con recursos de otros organismos nacionales o internacionales. La investigación se llevó a cabo en las siguientes etapas:

- Año 1983: Proyecto de desarrollo de reactor de flujo ascendente a escala semiexperimental para el tratamiento de efluentes domésticos. Con este objeto se efectuó un estudio a fondo del funcionamiento del reactor de flujo ascendente desarrollado por Lettinga y otros para tratar efluentes con elevada carga orgánica. La base principal del estudio eran los parámetros del reactor proyectado. En esta fase fue importante la anterior experiencia del grupo en el campo de la digestión anaeróbica.
- Período 1983-1984: Funcionamiento del reactor de flujo ascendente de 106 litros de capacidad proyectado para tratar efluentes diluidos (aguas servidas de origen doméstico).
- Año 1985: Continuación de las experiencias con el reactor de 106 litros tras la modificación de algunos parámetros; divulgación de los resultados y búsqueda de apoyo a fin de realizar una prueba con un reactor a mayor escala.
- Período 1985-1986: Instalación de un reactor de 120 m³ de capacidad en la CETESB y primeras pruebas.
- Período 1987-1991: Funcionamiento y recopilación de datos sobre el reactor de flujo ascendente de 120 m³ en el tratamiento de efluentes del alcantarillado doméstico; divulgación de los resultados; estudios de postratamiento de efluentes mediante cloración y ozonización.
- Año 1992: Continuación del funcionamiento del reactor; estudios de tratamiento secundario de efluentes mediante filtros de pedrisco y lodo activado.

c) *Gestión tecnológica*

Para el desarrollo de las investigaciones y la tecnología la CETESB cuenta, desde mediados de los años setenta, con una infraestructura básica de laboratorios para investigación y ensayos de rutina; más tarde se realizó una gran ampliación, que culminó en

1980 con la construcción de la planta piloto del laboratorio de investigación.

La CETESB administra sus proyectos según un sistema de planes, programas y proyectos. Cada proyecto, incluido en un programa más amplio, que a su vez forma parte de un plan, se revisa para determinar si se mantendrá o no dentro de las actividades de la CETESB. El seguimiento de los proyectos se hace en forma mensual.

En los últimos años las actividades se han regido por una directriz común. Los intercambios, asociaciones y convenios se han producido más frecuentemente con universidades e instituciones oficiales (institutos de investigación, municipalidades y otros) que con empresas del sector privado. En el caso de los estudios relacionados con el reactor de flujo ascendente, la investigación se efectuó sin vinculaciones con organismos nacionales o internacionales.

La transferencia de tecnología es más expedita cuando se trata de instituciones oficiales, sobre todo porque en tal caso se hace en el marco de un régimen de asociación que no implica gastos.

Para dar acceso al sector privado a las tecnologías, la CETESB organiza y administra un programa de divulgación, que incluye cursos, charlas, seminarios y publicaciones. En el decenio de 1970, al comenzar las actividades de fiscalización, se realizaron varios trabajos en conjunto con empresas privadas, destinados principalmente a buscar soluciones para el tratamiento de efluentes en general. Para el tratamiento de las aguas servidas de origen doméstico la utilización de la nueva tecnología ha sido más limitada debido, entre otras causas, a la falta de recursos para montar y operar sistemas de tratamiento. Su carácter de innovación tecnológica también ha constituido un obstáculo difícil de superar, en vista de la actitud conservadora que predomina en la esfera del saneamiento ambiental.

Interesa mencionar un ejemplo exitoso de transferencia de la nueva tecnología para tratar aguas servidas de origen doméstico; se trata del trabajo realizado con el Departamento de agua potable y alcantarillado de la municipalidad de Sumaré, en el Estado de São Paulo. Como resultado, allí existe actualmente un sistema que utiliza un reactor de flujo ascendente para tratar las aguas servidas de un barrio con 1 500 habitantes. Se construyó con recursos aportados por los vecinos y el Departamento de agua potable y alcantarillado de Sumaré y se encuentra en plena operación desde mayo de 1992.

Los vínculos con otros centros nacionales en el área de investigación se han establecido de manera informal, pero la CETESB, mediante el intercambio de información en encuentros, seminarios y congresos, también ha ofrecido numerosas pasantías y cursos de capacitación práctica especializada. La cooperación técnica internacional también se ha dado principalmente bajo la forma de cursos y capacitación.

2. FIBRIT: desarrollo de un sistema de tratamiento anaeróbico de efluentes líquidos³

a) *Reseña de la empresa*

La empresa FIBRIT Internacional S.A. de Colombia fue fundada en 1983 con el objeto de comercializar diversas tecnologías desarrolladas por uno de los fundadores. Básicamente, se trataba de un nuevo material de construcción, el CEFIPLAS, y un innovativo sistema para el tratamiento de aguas residuales orgánicas, el SAMM. Estas tecnologías apuntaban básicamente a satisfacer dos necesidades: la primera a proveer un material sustitutivo del fibrocemento tradicional, tras haberse descubierto que las fibras de asbesto que integran este material poseían propiedades carcinogénicas; con la segunda tecnología se buscaba responder al imperativo de solucionar los crecientes problemas de contaminación hídrica que se manifestaban en Colombia, y en muchos otros países en desarrollo, como consecuencia de la rápida expansión urbana. Debido a las oportunidades comerciales que el país presentaba en esa época, las áreas estratégicas que se escogieron para el mercadeo y desarrollo de la empresa fueron vivienda, saneamiento ambiental, infraestructura urbana e industria agropecuaria. Para impulsar la explotación comercial de las tecnologías básicas disponibles, la empresa tuvo que presentarlas desde un comienzo bajo la forma de innovaciones concretas, tales como materiales de construcción, procesos de fabricación, equipos de producción, y productos y componentes de sistemas de aplicación.

Actualmente la gama de productos y servicios que comercializa la empresa es altamente diversificada y corresponde a los siguientes rubros y número aproximado de productos: industria de la construcción (140 productos); sistemas de tratamiento de aguas residuales (20 productos); obras de infraestructura urbana (20 productos) e industria agropecuaria (20 productos). La empresa posee dos patentes internacionales sobre materiales y una sobre un sistema constructivo. Además cuenta con toda la tecnología necesaria para la aplicación y explotación de dichas patentes. En el campo de las tecnologías de fibrocementos plásticos sin asbesto y en el de los sistemas para la construcción de losas de entrepiso, está entre las empresas de vanguardia a nivel mundial. En 1991, las ventas de FIBRIT alcanzaron a 800 000

³ Sobre la base de José Manuel Restrepo (FIBRIT Internacional S.A.), *Empresas líderes en desarrollo, aplicación y difusión de tecnologías ambientalmente racionales en América Latina: el caso de la empresa FIBRIT, Colombia* (LC/R.1251), Santiago de Chile, CEPAL, 9 de febrero de 1993.

dólares y, a fines de ese año, la firma daba empleo a 55 operarios y 25 profesionales y técnicos.

b) *La naturaleza del Sistema Anaeróbico Múltiple Mixto para el tratamiento de aguas residuales orgánicas (SAMM)*

Las tecnologías comercializadas por FIBRIT le han facilitado un excelente posicionamiento en el subsector de las manufacturas derivadas del cemento, que se caracteriza por una fuerte competencia entre los productores. Las innovaciones que la empresa ha ofrecido a sus clientes le han permitido asumir una posición de liderazgo en el sector. Como sus tecnologías corresponden a la avanzada del progreso en el mundo y satisfacen necesidades universales de los sectores de la construcción y el saneamiento ambiental, la empresa también ha podido otorgar licencias para el uso de esas innovaciones fuera de Colombia. Estos resultados han puesto claramente de relieve la proyección comercial de estos desarrollos tecnológicos, ya que además de colocar sus productos manufacturados en el mercado nacional, la empresa comercializa sus tecnologías en el mercado internacional. A continuación se hace una breve descripción del Sistema Anaeróbico Múltiple Mixto (SAMM) que, por su potencial para la descontaminación hídrica, está ahora directamente relacionado con la protección del medio ambiente.

Actualmente en todo el mundo se está cuestionando la forma tradicional de tratar las aguas residuales de origen orgánico, que consiste en instalar plantas centralizadas para caudales voluminosos y altamente contaminados. Desde el punto de vista técnico y económico sería mejor contar con unidades de tratamiento más pequeñas y descentralizadas, que permiten someter las aguas servidas a un tratamiento previo y son de manejo bastante más fácil que una planta grande. El SAMM responde a este nuevo enfoque, ya que el concepto modular de su tecnología hace posible proyectar sistemas de cualquier tamaño. Además, como su funcionamiento se basa en procesos biológicos selectivos, las instalaciones pueden ser diseñadas para producir un efluente adaptado a los requerimientos ecológicos específicos del cuerpo receptor.

En particular, con respecto al concepto tradicional, este enfoque significa sustituir la macrocuenca sanitaria por la microcuenca, la macroplanta de tratamiento por la microplanta, el tratamiento mecanizado por el tratamiento biológico y la dilución de contaminantes en el cuerpo receptor por el equilibrio ecológico entre ambos. Estos criterios, en su conjunto, constituyen un verdadero cambio de paradigma o modelo básico.

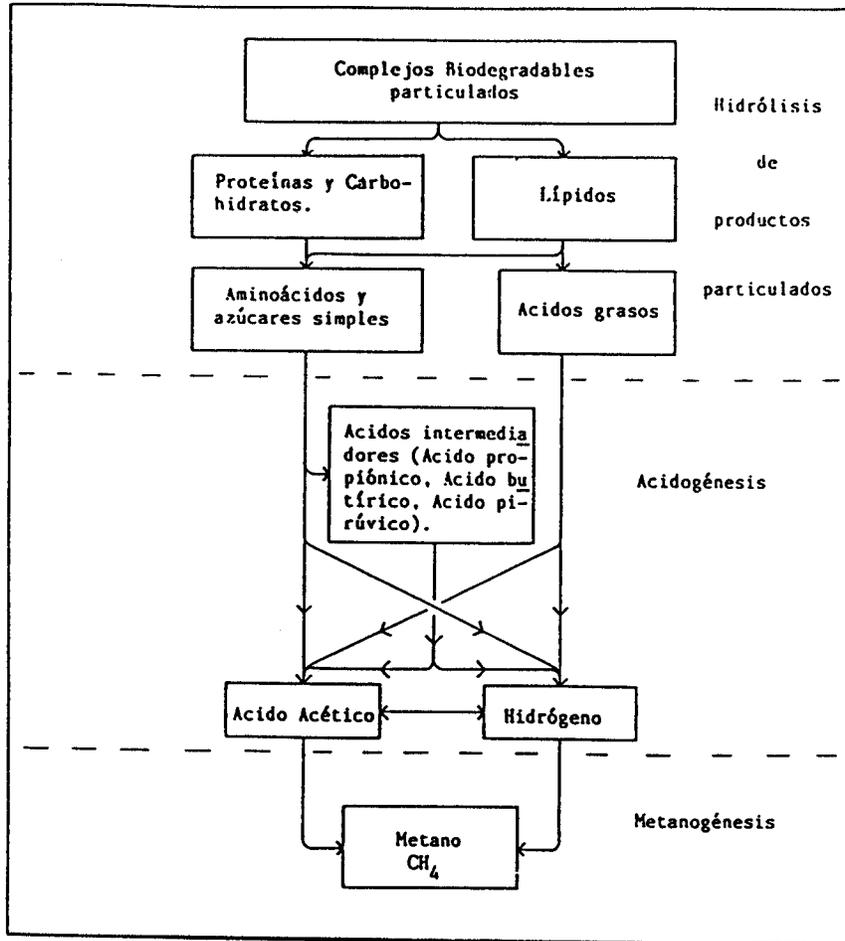
Paradójicamente, mientras el nuevo concepto se difunde con rapidez en las naciones más desarrolladas, los países en desarrollo siguen

aferrados a los modelos tradicionales de manejo de aguas residuales. Este tradicionalismo se debe, sin duda, al temor que en ellos suelen inspirar las tecnologías nuevas, que muchas veces no han sido comprobadas localmente y no se entienden bien. Ante esta situación, el SAMM tiene la gran ventaja de haber sido ampliamente verificado a escala real y en condiciones muy diversas. Además, los mecanismos de funcionamiento del sistema han sido tan investigados que actualmente se cuenta con un algoritmo de diseño del proceso, procedimientos establecidos para analizar los diversos parámetros y métodos que facilitan el dimensionamiento físico de las instalaciones. Por consiguiente, es posible diseñar sistemas para obtener niveles determinados de remoción orgánica, independientemente de los caudales, tipos de substrato o concentraciones que presente el caso en cuestión. Como a lo anterior se añade que los costos de instalación, operación y mantenimiento del SAMM son comparativamente bajos, se puede concluir que se trata de una herramienta eficaz para resolver algunos de los problemas más importantes de contaminación hídrica, saneamiento ambiental y protección ecológica en América Latina y otras regiones en desarrollo.

El SAMM es un sistema para el tratamiento de aguas residuales orgánicas, sean de origen doméstico, industrial o municipal. La degradación controlada de materia orgánica que asegura el proceso permite obtener un agua tratada, compatible con los cuerpos naturales de agua. Según se muestra en el gráfico 1, el proceso se realiza en una serie de etapas que reproducen el fenómeno natural de la descomposición anaeróbica de la materia orgánica. En la primera etapa hay trampas para grasas y rejillas destinadas a separar el material no biodegradable mediante sedimentación, flotación y retención. La segunda etapa, que se basa en el principio de los lodos activados, consiste en un digestor anaeróbico de deflectores (*baffles*), donde se efectúan las operaciones de hidrolización y acidulación del material orgánico. En la tercera etapa se realiza la fase de metanización en un filtro percolador anaeróbico y se produce la descomposición final de la materia orgánica carbónica. En la cuarta etapa, mediante un filtro fitopedológico facultativo, se logra retirar nutrientes y tóxicos hasta reducir sus niveles a magnitudes aceptables; esta fase se funda en el principio de las lagunas de estabilización. Con el paso por las etapas descritas se puede garantizar que la remoción de carga orgánica lograda por el sistema alcanza a 80%. Opcionalmente, se puede agregar una quinta etapa con el fin de efectuar una desinfección química, bioquímica o basada en otro método tradicional.

La alta eficiencia del SAMM comparado con otros sistemas anaeróbicos se debe fundamentalmente a las siguientes características: primero, las distintas fases bioquímicas del proceso de degradación anaeróbica —la hidrolización-acidulación y la metanización— se llevan a cabo en forma separada. Segundo, el proceso general no se limita a

Gráfico 1
PROCESO DE LA DIGESTIÓN ANAERÓBICA DE PRODUCTOS
PARTICULADOS ORGÁNICOS BIODEGRADABLES



Fuente: FIBRIT S.A., basada en Colin y Munk-Koefoed.

operaciones anaeróbicas, sino que incorpora operaciones físicas y procesos facultativos y químicos. De este modo, el SAMM alcanza niveles de confiabilidad, flexibilidad y eficiencia superiores a los de cualquier otro sistema anaeróbico. El sistema se pone en funcionamiento mediante la siembra de un inóculo o semilla. El estiércol bovino o equino corrientemente utilizado para ello contiene todas las bacterias necesarias para el proceso, sean fermentativas, aciduladoras o metanizadoras. Durante el período de iniciación, las bacterias que requiere cada fase alcanzan una concentración predominante, por la vía de la selección natural. Este período puede extenderse, según el caso, de dos a ocho semanas, hasta que cada uno de los digestores está cargado con la bacteria apropiada.

Entre las múltiples ventajas del sistema cabe destacar las siguientes:

- alto rendimiento de depuración: el proceso remueve 80% de la carga orgánica medida en concentración de DBO₅ y TSS, tal como lo exige el decreto 1594/84 de la República de Colombia;
- confiabilidad y flexibilidad: el sistema admite hasta un 50% de variación de las concentraciones de carga orgánica o de caudal, con respecto a los parámetros de diseño; esta capacidad de adaptación se debe al funcionamiento autocompensatorio de sus diferentes unidades;
- funcionamiento automático: las instalaciones no requieren atención permanente ni supervisión; como el proceso es biológico, no se consume energía externa ni hay desgaste de piezas mecánicas;
- proceso limpio e instalación subterránea: no se emiten humos, olores o ruidos, por lo que el sistema puede instalarse en las zonas verdes en torno de viviendas, hoteles, hospitales u otras edificaciones;
- durabilidad: la vida útil del sistema es indefinida;
- ahorro de terreno: el sistema ocupa un espacio reducido y puede configurarse con gran flexibilidad, lo que permite adaptar la distribución de la planta a las más diversas condiciones topográficas;
- sectorización del tratamiento de los efluentes urbanos: en comparación con los sistemas tradicionales, se evita la necesidad de construir grandes colectores e interceptores, porque el agua residual, una vez tratada, puede conducirse por los alcantarillados conjuntamente con las aguas lluvia.

Estas ventajas del sistema redundan en costos de instalación, operación y mantenimiento menores que los de las plantas de tratamiento convencionales. Además, los costos de conducción para la evacuación de las aguas tratadas son también más bajos que en los sistemas tradicionales para la conducción de aguas negras. Por combinar ahorros en los

sistemas de tratamiento y de conducción, el SAMM constituye actualmente la solución más económica para el manejo de las aguas residuales de origen orgánico. La mejor prueba de la efectividad del SAMM es el hecho de que en Colombia ya se han instalado más de 2 800 unidades y recientemente también ha sido introducido en Argentina. El concepto del sistema y el método general para su diseño se está divulgando entre los ingenieros especializados a nivel internacional.

c) *Historia y dinámica del proceso de innovación*

i) *Evolución cronológica de la tecnología.* La historia del desarrollo y la comercialización de la tecnología SAMM está dividida en dos etapas: primero, la de la planta piloto y segundo, la de la operación comercial. Entre ambas etapas se sitúa la creación de FIBRIT como empresa. A continuación se describen los distintos hitos que marcaron el desarrollo de la tecnología SAMM. La etapa de la planta piloto comenzó en 1980 con una investigación realizada conjuntamente con el Instituto Nacional de Salud, cuyo propósito era optimizar las características geométricas de un pozo séptico típico. Las investigaciones concluyeron al cabo de un año con un diseño mejorado de dicha instalación sanitaria. Posteriormente se añadió al sistema un percolador facultativo. En 1983 se planteó el proyecto de realizar las distintas fases del proceso de degradación anaeróbica en digestores diferentes. La etapa de operación comercial comenzó en 1984, con la instalación del primer sistema SAMM. Una serie de pruebas experimentales indicaron que se removía un 80% de las cargas orgánicas. A raíz de este éxito inicial las investigaciones se centraron en aspectos tanto teóricos como prácticos. Así, en 1985, se desarrolló la caja colectora del filtro fitopedológico y además se mejoró la configuración del digestor de compuertas.

En 1986 se inició, con el concurso de una corporación pública encargada del manejo de la cuenca del río Bogotá, uno de los estudios experimentales a escala real más extensos que jamás se haya realizado en Colombia. En esa ocasión se extrajeron muestras de gran parte de los sistemas SAMM en funcionamiento en el país. Además se diseñó y se construyó una planta de tratamiento para un matadero municipal con el objeto de evaluar esta aplicación industrial específica. Estas actividades se prolongaron durante un período de seis meses y significaron la realización de más de 3 000 ensayos de laboratorio sobre muestras compuestas diarias. De esta manera se pudo comprobar el satisfactorio funcionamiento del sistema bajo las más diversas condiciones de operación. Este estudio también permitió conocer a fondo los

mecanismos de funcionamiento del sistema, corregir y mejorar muchos aspectos de su configuración y aclarar las hipótesis de su funcionamiento. Por último, sus resultados proporcionaron los elementos para formular un modelo matemático que permitiera el diseño lógico de las diferentes unidades del sistema.

En 1988 se presentó el SAMM en el quinto Simposio Internacional de Digestión Anaeróbica, en Bolonia, Italia. Luego, con el objeto de mejorar el diseño de los digestores, durante dos años se llevaron adelante numerosas investigaciones puntuales, en las que participaron, entre otras, la Pontificia Universidad Javeriana, la Universidad Nacional de Colombia y la Escuela Colombiana de Ingeniería. En 1991, a raíz de la aparición del cólera en Sudamérica, se desarrolló un clorador gravimétrico para resolver con sencillez los problemas de patogenicidad del agua tratada. Finalmente, ese mismo año, el inventor publicó el trabajo "Método general de diseño del SAMM para tratamiento de aguas orgánicas", en el que se exponía una serie de criterios, procedimientos y normas, además del algoritmo matemático que facilita el diseño de los sistemas para garantizar su buen funcionamiento. La publicación de los resultados de las investigaciones significa que el SAMM es un sistema abierto y no una "caja negra". Su diseño está a disposición de todos, forma parte del conocimiento universal y constituye ahora un ejercicio de ingeniería.

ii) *Los factores determinantes del proceso innovativo.* La etapa de la planta piloto, anterior a la constitución de FIBRIT como empresa comercial, abarca el período comprendido entre 1975 y 1983. Durante esta etapa, los principales factores que gestaron el proceso de innovación fueron los siguientes: en primer lugar, el inventor detectó que en el mercado colombiano existía una demanda potencial para las tecnologías que él creía poder desarrollar. En el campo específico del tratamiento de las aguas servidas, en aquellos años se comenzó a percibir en Colombia la necesidad de abocarse a la descontaminación de los ríos en vista de que la calidad de sus aguas se deterioraba en forma preocupante como resultado del rápido crecimiento urbano. Para enfrentar esa tarea no existía una propuesta tecnológica efectiva. Segundo, el protagonista se dio cuenta de que en los campos en cuestión existían posibilidades técnicas reales de lograr soluciones, las que fue capaz de visualizar en términos conceptuales, gracias a su formación científica y técnica. Luego, se concibieron diversas soluciones técnicas, siguiendo métodos tanto deductivos como inductivos. A continuación se construyeron prototipos para someterlos a ensayos. El tercer factor determinante del proceso innovativo fue la voluntad del inventor de asumir los riesgos que normalmente implica la creación de una empresa. Por una parte, quiso demostrar que aun en medios tradicionalmente adversos era posible realizar innovaciones tecnológicas. Por la otra, se había propuesto crear una empresa en la que el trabajo se enfocase de manera tal que

permitiera el desarrollo humano y técnico del personal. El último factor que contribuyó al éxito de la innovación fue la disponibilidad de recursos propios, lo que permitió financiar la fase inicial del proceso de desarrollo.

En el curso de la etapa de operación comercial, que comenzó en 1983 con la fundación de FIBRIT, a los factores de éxito anteriormente enumerados se agregaron los siguientes: primero, la experiencia en gestión que el protagonista había ganado en la etapa anterior del proceso. Segundo, la puesta en práctica en 1984 de una legislación vigorosa con respecto al tratamiento de las aguas residuales. Tercero, la colaboración técnica prestada por centros de investigación y universidades, en su calidad de instituciones públicas especializadas en las áreas técnicas pertinentes. Cuarto, el diálogo sobre diversos temas de interés entablado con investigadores de otros países, especialmente en el marco de congresos y seminarios internacionales. Un quinto factor de éxito fue la pertenencia del protagonista a sociedades técnicas y científicas internacionales y su estudio de las respectivas publicaciones. Además, esta afiliación le ofreció la oportunidad de dar a conocer sus propios descubrimientos en publicaciones y foros científicos internacionales, lo que también constituyó un estímulo muy importante. Por último, otro factor de éxito fue la implantación en la empresa de un proceso tendiente a lograr sistemáticamente que todo el personal participara en la innovación. Este proceso, para el cual se acuñó el concepto de "trabajo desarrollante", se describe a continuación.

d) *La gestión estratégica y tecnológica de la empresa*

En FIBRIT, la innovación es un proceso continuo, concepto que se ha plasmado en la definición de líneas tecnológicas completas. Así, la línea tecnológica del SAMM se extiende desde los procesos de tratamiento hasta los sistemas de aplicación de productos. La maduración de estas tecnologías, que respondían a objetivos generales de planeamiento estratégico de la empresa, fue el resultado de un enfoque sistémico que incluía cada una de las etapas de un ciclo de desarrollo tecnológico completo, vale decir, estudio e investigación a nivel de ciencia básica, análisis de las aplicaciones a escala real, corroboración de la aplicación a escala real, elaboración de una metodología de diseño del sistema, desarrollo de los productos para implementar la aplicación, desarrollo de los procesos de fabricación industrial de dichos productos, preparación de la literatura básica y comercial para la divulgación del sistema y, por último, diseño de los planes de comercialización. Sin embargo, las oportunidades de realizar innovaciones mayores no se presentan continuamente. Lo que ocurre con mayor frecuencia es que se

den situaciones en que es posible realizar innovaciones incrementales, que en gran parte consisten en modificaciones de diseño. Por esta razón, y como resultado de la manera en que se concibe la organización del trabajo en FIBRIT, la innovación ha sido allí un proceso continuo.

El proceso de investigación consta de una serie de pasos en la empresa. Primero, algunas personas estudian y analizan el tema y se forman individualmente una opinión al respecto. Para ello se recurre a la experiencia y a la creatividad de cada uno. Luego se presentan estas opiniones a un grupo de personas con el fin de suscitar un intercambio de ideas fructífero y creativo entre ellos. A continuación se busca llegar a un consenso sobre los diferentes aspectos del proyecto que está emergiendo. En esta fase, la creatividad colectiva del grupo genera nuevas soluciones. Por último, se inicia la ejecución del proyecto que ha sido aceptado como propio por el conjunto de los integrantes del grupo debido que incorpora el aporte creativo de ideas de cada uno de ellos. A lo largo de este proceso, el jefe actúa como coordinador y procura lograr el consenso necesario para la acción.

Las actividades relacionadas con proyectos de investigación forman parte de la labor cotidiana del personal de FIBRIT. Para este efecto se organizaron los denominados "círculos de creatividad", mediante los cuales se ha buscado estimular al personal para que adopte una permanente actitud creativa ante cualquier trabajo de la empresa. De esta manera, un proyecto de innovación, en vez de ser considerado como una carga adicional, se concibe como la manera normal de acometer el trabajo cotidiano. Además, el personal en su conjunto tiene así la oportunidad de participar en el proceso de innovación, desde la formulación de una propuesta hasta la fase del diseño y ejecución del proyecto.

Sobre la base de la modalidad que se había implantado para impulsar las innovaciones, en 1989 la empresa decidió adoptar una política de organización tendiente a acelerar el proceso innovador en todas sus áreas. Además, se buscó sistematizar la incorporación del avance tecnológico en los productos, procesos y métodos de la empresa y promover el desarrollo humano de los operarios mediante su participación en el proceso de innovación. Esta política de organización, que se denominó "trabajo desarrollante", modificó profundamente la estructura de la empresa. En su definición se ha distinguido entre objetivo, marco metodológico, mecanismo pedagógico de formación y, por último, procedimientos de inducción, toma de decisiones, transmisión de iniciativas y designación de jefes.

Uno de los principales objetivos de FIBRIT como empresa es ofrecer a sus colaboradores un trabajo que brinde una oportunidad pedagógica para un desarrollo humano pleno. El logro de este objetivo exige que el trabajo pueda ejercerse en forma libre, consciente y

creativa, condiciones que configuran el marco metodológico de actuación laboral y con las cuales ningún aspecto del trabajo puede ser contradictorio. En particular, estas tres condiciones significan que debe existir, en primer lugar, un marco de libertad individual que requiere, por parte del trabajador, de una adhesión enteramente voluntaria e incondicional a los objetivos y métodos de la empresa. Segundo, un ejercicio permanente de observación y análisis y, además, un esfuerzo personal de capacitación científica y técnica. Por último, una actitud ante las tareas cotidianas y una capacidad de intercambio con el grupo de trabajo que sean creativas y congruentes con el objetivo del desarrollo humano.

El mecanismo pedagógico de la política del trabajo desarrollante es el círculo de creatividad. Por su intermedio se procura inculcar a los trabajadores una actitud de interacción creativa, no confrontacional, sino conducente a nuevas soluciones, como resultado del intercambio de opiniones sobre temas del trabajo. La participación en los círculos de creatividad desarrolla en las personas una serie de facultades, tales como el análisis consciente, la facilidad de expresión y de comunicación y la capacidad de transacción, iniciativa, decisión y ejecución conjunta.

En el marco de la política del trabajo desarrollante los procedimientos de instrucción, toma de decisiones, transmisión de iniciativas y designación de jefes difieren en algunos aspectos de los de una empresa tradicional. A continuación se mencionan algunos rasgos distintivos. Cuando se contrata a un nuevo trabajador, se le hace saber que uno de los principales objetivos de la empresa es que el trabajo constituya una ocasión pedagógica para su desarrollo personal y que se espera de él una voluntad de superación personal. Las decisiones se toman por consenso y el mecanismo operativo es el círculo de creatividad. Las iniciativas se transmiten mediante la generación de consensos, y no por comunicación de órdenes. Por último, los jefes se eligen internamente, sobre la base de un consenso previo o por confirmación de un candidato externo, después de un proceso de aceptación interna.

El funcionamiento de los círculos de creatividad se rige por una serie de normas o procedimientos relativos a asistencia, dirección, temas y metodología. En cuanto a asistencia, un círculo de creatividad está integrado por los operarios y el coordinador de una sección. Normalmente, el grupo no excede de ocho o nueve personas. Si el tema lo justifica, se invita a coordinadores de otras secciones y, eventualmente, a algún supervisor o ejecutivo. Los debates son dirigidos por moderadores, papel que es asumido en forma rotativa por cada uno de los operarios de la sección respectiva. En cambio, la secretaría de los círculos de creatividad es ejercida en forma permanente por los

coordinadores de las secciones. Cualquier participante de un círculo puede proponer un tema de discusión, dentro de ciertas restricciones. Los temas deben referirse a áreas relacionadas con el trabajo, tales como producción, calidad, procesos, equipos, herramientas, control, seguridad, productividad, diseño o bienestar. De acuerdo con la metodología adoptada para el funcionamiento de los círculos de creatividad, cada sección de la empresa debe realizar diariamente una reunión de un cuarto de hora de duración, tiempo que se distribuye entre exposición y análisis, intercambio creativo, formación de consenso y adopción de decisiones.

FIBRIT también sigue una política propia con respecto al relacionamiento con instituciones tecnológicas. Las primeras comprobaciones experimentales de una innovación, a escala real, se efectúan con prototipos construidos en la empresa. Para ello es indispensable que internamente exista una clara comprensión de los principios científicos en que se fundamenta el ensayo. Luego, los resultados de las pruebas realizadas en la empresa son corroborados en una universidad o institución con capacidad científica y tecnológica idónea. Además, FIBRIT procura tener el derecho de dirigir las labores de investigación contratadas con una institución. Uno de los instrumentos de gestión que se utiliza para tal efecto consiste en acordar un protocolo que los investigadores de la institución contratada deben seguir. Si bien no se excluye la posibilidad de que se lleven a cabo investigaciones dirigidas por un instituto tecnológico o centro universitario, se considera que existen mayores perspectivas de éxito cuando éstas son conducidas por la misma empresa.

e) *La aceptación de las innovaciones en el ámbito local e incidencia de las políticas públicas*

El avance tecnológico que puede lograr una empresa es determinado, en gran medida, por la calidad de su interacción con el entorno económico e institucional. FIBRIT, como empresa innovadora, ha tenido una experiencia variada en los planos de las relaciones industriales y de opinión, así como en los ámbitos legal, económico, comercial y científico-tecnológico. De particular relevancia es la incidencia que han tenido las políticas públicas en la actividad innovativa de la empresa.

En cuanto a las relaciones industriales y de opinión, en un principio el sector privado manifestó una gran desconfianza ante las innovaciones de la empresa. A medida que se fueron conociendo los resultados tangibles de éstas, dicha actitud cambió gradualmente hasta llegar, en la actualidad, a una situación en que otros empresarios

formulan consultas a FIBRIT cuando evalúan la factibilidad de sus propios proyectos innovadores. La empresa enfrenta ahora el doble desafío de dar mayor difusión a sus innovaciones y romper la desconfianza del sector público ante lo nuevo, que parece estar en éste mucho más arraigada que en el sector privado.

En el plano legal cabe considerar, por un parte, los aspectos relativos a propiedad industrial, normalización y homologación de productos y, por la otra, los relacionados con las leyes laborales. En cuanto a los primeros, la ineficiencia del sector público, producto de una insuficiente capacitación técnica de sus funcionarios, se traduce frecuentemente en una extrema lentitud en la toma de decisiones y constituye un verdadero obstáculo al avance tecnológico. En cambio, el sector privado actúa con agilidad; muchas veces la empresa ha contado incluso con la colaboración de sus clientes para obtener la homologación gubernamental de sus productos. Con respecto a la legislación laboral, en muchas ocasiones se han presentado trabas que han sido altamente gravosas y, en definitiva, han desestimulado la creatividad.

En el plano económico hay que considerar los incentivos fiscales, la disponibilidad de capital y el clima de negocios. En cuanto al primer aspecto, en el país no existen estímulos fiscales a la innovación. Tampoco se reconoce el beneficio social que puede generar, ya sea con respecto a calidad de vida, protección del medio ambiente u otra dimensión. La aplicación industrial de nuevos productos y procesos y su introducción en el mercado constituyen actividades muy onerosas para una empresa. A los elevados costos de producción propios de estas etapas de un desarrollo innovativo se agregan los costos de divulgación y propaganda. En estas circunstancias, el acoso fiscal, que se manifiesta bajo la forma de fuertes impuestos de diversa índole, es sumamente desestimulante. Por lo tanto, el rendimiento económico de una innovación suele ser bajo, por lo menos en la etapa inicial de producción y comercialización, lo que resta atractivo al negocio en la perspectiva del mercado de capitales.

Como la oferta de capital de riesgo prácticamente no existe, para formar su capital una empresa debe basarse en la retención de utilidades. Por este motivo, el proceso de investigación y desarrollo suele ser bastante lento. En la práctica, no se suele recurrir al apoyo financiero oficial, debido a las pretensiones del fisco respecto de la propiedad industrial. Además, este apoyo sólo se otorga después de una serie de preevaluaciones, que tienden a marginar las innovaciones verdaderamente originales. A lo anterior se agrega el desfavorable efecto de las constantes variaciones de las reglas económicas, financieras y fiscales. Las actividades de investigación y desarrollo, además de ser científicas, también son económicas y, por lo tanto, resultan igualmente perjudicadas por tales vaivenes.

En el plano comercial, el apoyo que más puede beneficiar a una empresa innovadora es el de sus clientes, sean del sector privado o del público. Evidentemente, la innovación tiende a desplazar la competencia, lo que no incide en las relaciones comerciales cuando se trata de innovaciones de procesos o de ventas al sector privado. En cambio, en el caso de nuevos productos o materiales, como sucede con FIBRIT, el hecho de ser productor único no favorece en absoluto las relaciones comerciales con el gobierno. De hecho, en la reglamentación relativa a las adquisiciones públicas se privilegia la competencia comercial en un mismo plano técnico por sobre la competencia técnica por ofrecer un mejor servicio. En Colombia, la filosofía de buscar la satisfacción del cliente no forma parte de la idiosincrasia del sector público. En el sector privado, en cambio, el éxito comercial depende del grado en que se haya divulgado información técnica sobre los nuevos materiales y productos. Por lo tanto, esta difusión debe considerarse un requisito indispensable para el éxito de una innovación y es necesario incluir su importe estimado en el costo total del producto.

Las relaciones con instituciones científico-tecnológicas, laboratorios de universidades e instituciones públicas y privadas han sido un recurso importante para la empresa. Sin embargo, sucedió con frecuencia que esos laboratorios quedaran paralizados por falta de recursos económicos. Además, la gama de temas de investigación solía ser limitada por una insuficiente dotación de los equipos necesarios. La estrecha colaboración entre FIBRIT y esas instituciones ha dado por resultado positivas experiencias. En muchas ocasiones la empresa ha proporcionado recursos económicos para el funcionamiento de los laboratorios e incluso los ha dotado de los elementos e instrumentos necesarios para realizar las investigaciones previstas.

Los seminarios y cursos científico-tecnológicos que se llevan a cabo a nivel nacional han sido de cierta utilidad. Sin embargo, la participación en seminarios y cursos organizados por sociedades científicas internacionales ha sido de mayor importancia para impulsar la innovación en FIBRIT. Por su parte, los convenios gubernamentales de cooperación técnica de tipo bilateral suelen ser comercialmente sesgados y, más que un apoyo o beneficio para la innovación nacional, representan un obstáculo para acceder a las contrataciones del sector público. El financiamiento oficial con fines de investigación no ha sido aprovechado por la empresa, debido a las razones ya expuestas.

3. APLIQUIM: desarrollo del tratamiento de residuos de mercurio con recuperación de productos de valor⁴

a) *Presentación de la empresa*

APLIQUIM, Equipos y Productos Químicos Ltda., es una empresa brasileña que se dedica a crear y aplicar soluciones técnicas a los problemas relacionados con la protección del medio ambiente y las actividades industriales en general. Desde su fundación, en 1985, APLIQUIM ha prestado servicios de consultoría y ha actuado en los campos de la fabricación de equipos y el procesamiento y descontaminación de residuos. Por lo tanto, además de ser una empresa consultora y fabricante de equipos especiales, APLIQUIM reduce o elimina los problemas ambientales provocados por otras industrias y contribuye a la conservación del medio ambiente y al desarrollo sostenido por la vía de destruir los residuos y transformarlos en materias primas.

Así, mientras las demás industrias consumen materias primas y buscan reducir al mínimo y controlar los residuos que producen, APLIQUIM recibe residuos, los trata, recupera los productos reciclables y los reintroduce en el mercado bajo la forma de materias primas para otras industrias.

En la actualidad APLIQUIM cuenta aproximadamente con 70 empleados, además de sus socios, que son profesionales con amplia experiencia industrial en Brasil y en el exterior. La empresa posee dos fábricas: i) una industria mecánica en São Bernardo do Campo, en la región del Gran São Paulo, donde se diseñan y fabrican equipos e instalaciones industriales para uso propio o de terceros; y ii) una planta industrial en Paulínia, municipio ubicado a unos 130 km de la ciudad de São Paulo, donde se procesan residuos y se producen materiales reciclables a partir de ellos.

Las oficinas de APLIQUIM, en las que se concentran la administración y las actividades comerciales de la empresa, están situadas en la ciudad de São Paulo.

Entre sus clientes tradicionales se incluyen nombres conocidos internacionalmente, como Alcan, Becton Dickinson, Ciba Geigy, Du Pont, Duracell, General Electric, GTE Sylvania, ICI, Osram, Philips,

⁴ Sobre la base de Cyro Eyer do Valle (APLIQUIM), Equipos y Productos Químicos Ltda., *Empresas líderes en la creación, aplicación y difusión de tecnologías ambientalmente racionales en América Latina: el caso del tratamiento y reciclaje de los residuos de mercurio realizados por la empresa APLIQUIM de Brasil* (LC/R.1278), Santiago de Chile, CEPAL, 21 de junio de 1993.

Rhône Poulenc y Solvay, además de grandes grupos industriales brasileños, como Petróleo Brasileiro (PETROBRAS), Carbocloro S.A. Industrias Químicas, Poliolefinas S.A., Companhia de Papel e Celulosa y otros.

APLIQUIM adquirió renombre en todo Brasil como la única empresa capacitada para procesar y descontaminar residuos de mercurio. Industrias importantes que utilizan el mercurio en sus procesos o productos le entregan dichos residuos para su transformación en materias inertes y mercurio metálico. Mediante el tratamiento de esos residuos tóxicos, APLIQUIM ha producido mercurio secundario en una cantidad que equivale a más de 20% del consumo industrial de ese metal en Brasil.

Por otra parte, APLIQUIM ha afirmado su presencia en el mercado como empresa diseñadora y fabricante de equipos especiales (no en serie); entre éstos se incluyen diversas innovaciones tecnológicas, algunas de las cuales han sido objeto de solicitudes de patente.

Si bien es más conocida por su actividad de procesar y descontaminar residuos de mercurio, APLIQUIM se dedica también a buscar soluciones a diversos problemas ambientales, tales como la descontaminación de transformadores que contienen PCB (bifenilos policlorados, también conocidos comercialmente como Askarel), el reciclaje de arenas de fundición, la descontaminación de carbones activados y su posterior reactivación, y el tratamiento de los efluentes contaminados con metales pesados que generan las instalaciones de galvanoplastia y anodización, entre otros.

Para encarar los desafíos ambientales que le competen, siempre que es posible APLIQUIM adopta un enfoque de reciclaje y reaprovechamiento total de los materiales recuperados, gracias a lo cual los residuos procesados se transforman en materias primas y retornan al ciclo productivo.

En 1992, debido a su manera de abordar estas materias, APLIQUIM fue seleccionada entre 82 proyectos concursantes y obtuvo el Primer Premio de Conservación Ambiental y Desarrollo, instituido por la *Gazeta mercantil*, un importante periódico brasileño de negocios y finanzas.

b) *Identificación de las tecnologías elaboradas por la empresa*

El mercurio es uno de los elementos contaminantes más peligrosos entre los presentes en los residuos tóxicos industriales y en diversos productos descartados de los residuos urbanos. Son conocidos sus efectos sobre el sistema nervioso humano y se teme su presencia en la cadena

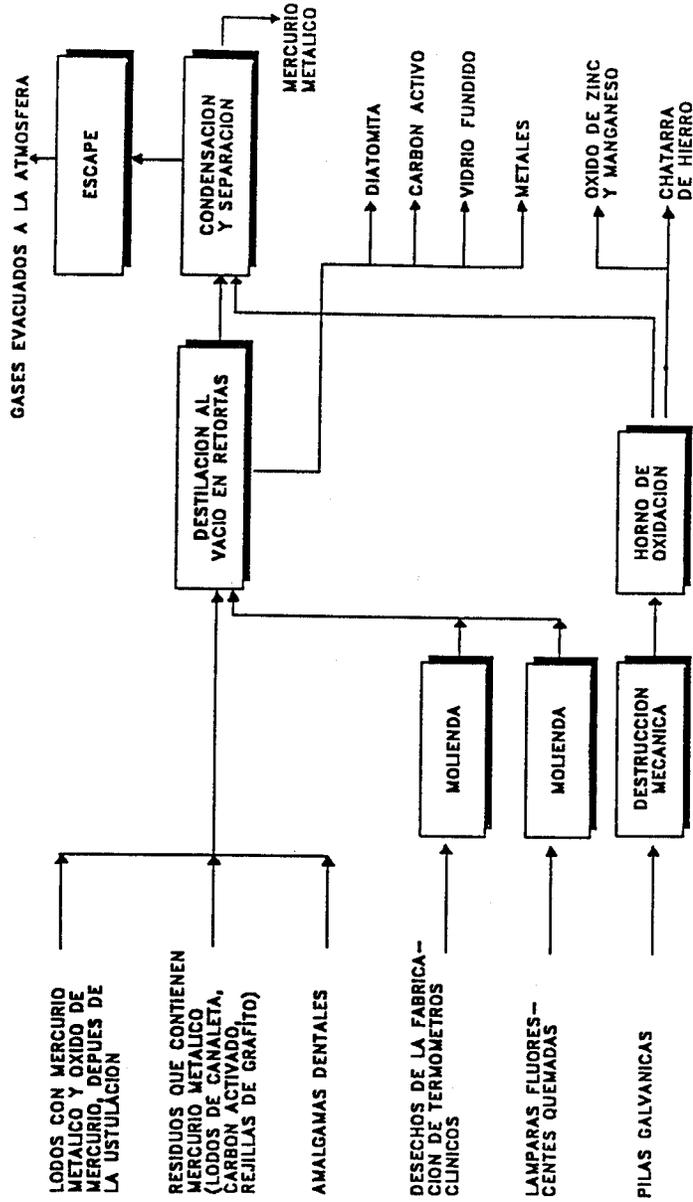
alimenticia. La utilización de mercurio en innumerables procesos industriales produce una cantidad importante de residuos peligrosos, que deben ser almacenados por las empresas que los generan o depositados en vertederos controlados, en los que no siempre se permite depositar residuos de este tipo. En algunos países, la existencia de minas subterráneas fuera de explotación permite que los residuos de mercurio y otros igualmente peligrosos sean acondicionados en tambores cerrados que se depositan en su interior. Sin embargo, esta técnica es cuestionada por muchos, debido a los riesgos que podría acarrear en el futuro. En la industria, las principales fuentes generadoras de residuos de mercurio son las fábricas de cloro-soda, y las dedicadas a la producción de PVC (que utiliza catalizadores impregnados con mercurio), de lámparas fluorescentes y de vapor de mercurio, termómetros clínicos y pilas galvánicas. Otros generadores de residuos de mercurio son los laboratorios de análisis, los productores de pesticidas que contienen mercurio (actualmente prohibidos) y los consultorios dentales. En los residuos urbanos, el mercurio está presente fundamentalmente en las lámparas y pilas eliminadas por los hogares.

APLIQUIM elaboró tecnologías para descontaminar los residuos de mercurio generados por las diversas fuentes citadas e instaló su propia central para el tratamiento de esos materiales y el reciclaje de los productos recuperados. En este informe se reseña solamente la tecnología que sirvió de base a los adelantos posteriores, es decir, la destinada a procesar, descontaminar y reciclar los residuos de mercurio sólidos generados en las instalaciones de tratamiento de efluentes de las plantas de producción de cloro-soda, que utilizan el proceso de células de mercurio.

Las soluciones ideadas para las otras fuentes de residuos son módulos o extensiones de esta tecnología básica descrita en el informe, cuyo esquema se presenta en el gráfico 2. La tecnología descrita se concibió en 1985 para resolver el problema de los residuos sólidos de la firma Carbocloro, como se indica más adelante. El material recibido en la planta de APLIQUIM consiste en un lodo que contiene aproximadamente 50% de agua. Los sólidos son una mezcla de tierras diatomáceas utilizadas como material filtrante, con alrededor de 1% de mercurio en forma de sulfuro. Los materiales obtenidos tras el procesamiento son tierras diatomáceas limpias (con una proporción de mercurio muy inferior a la que determina la legislación ambiental vigente) y mercurio metálico, suficientemente puro como para retornarlo a cualquiera de las industrias que lo utilizan en sus procesos y productos. Parte de las aguas extraídas durante el proceso de tratamiento de los residuos se evapora en una operación de presecado y el resto se extrae al vacío, mediante un proceso de destilación en retortas que permite recuperar el mercurio.

Gráfico 2

DIAGRAMA SIMPLIFICADO DE LOS SISTEMAS DE DESCONTAMINACIÓN Y RECICLAJE DE RESIDUOS



Fuente: APLIQUIM, Brasil.

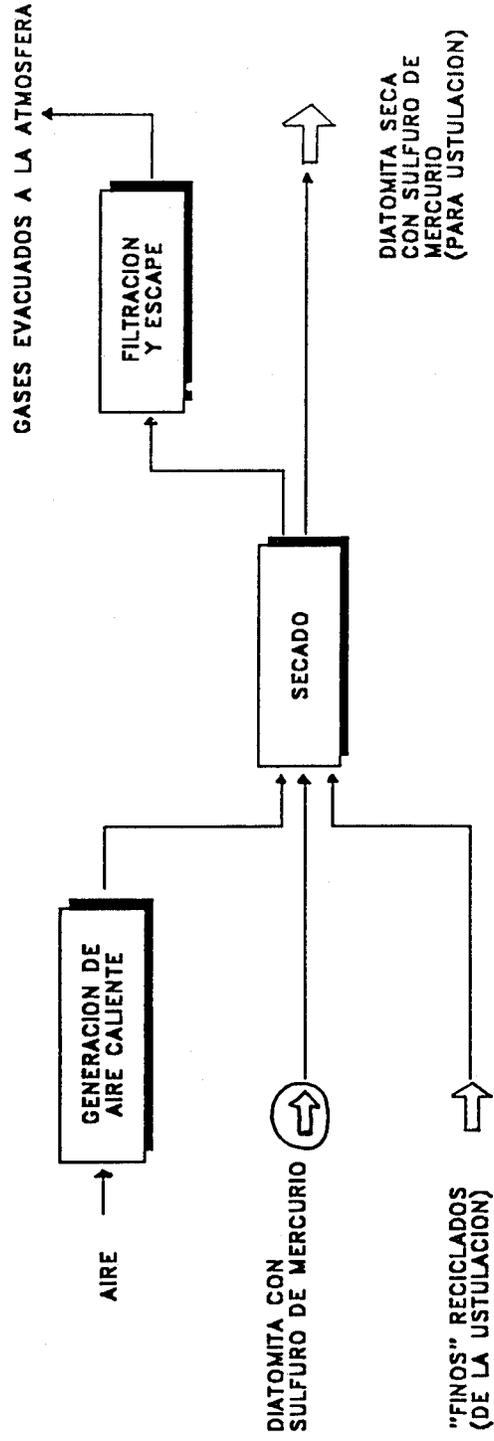
El residuo recibido, que tiene la consistencia de un lodo y es de coloración oscura a causa del sulfuro, se almacena inicialmente en silos. A continuación se somete a una operación de presecado en un secador rotatorio horizontal, calentado eléctricamente o, en su defecto, con combustóleo (*fuel-oil*) (véase el gráfico 3).

El producto de este secado se transfiere a un horno de ustulación, en el que la temperatura y el oxígeno del aire transforman el mercurio en óxido de mercurio, que luego se descompone en mercurio metálico, en forma de vapor, y oxígeno. La tierra diatomácea circula dentro del horno contra la corriente de aire y así es precalentada, lo que asegura la eficiencia térmica de la operación. Al salir del horno, esta tierra está descontaminada. El horno de ustulación posee módulos de resistencias eléctricas que calientan la masa de residuo mientras ésta se revuelve por medio de una rosca alimentadora giratoria. Después de pasar por un separador gas-sólido y dos ciclones en serie, los gases de escape del horno, que contienen vapores de mercurio metálico, óxido de mercurio, anhídridos sulfuroso y sulfúrico, aire en exceso y partículas sólidas (polvo de tierra diatomácea), se lavan en un lavador ácido. El material particulado, el óxido de mercurio y el mercurio metálico se recuperan en forma de lodo en el sistema de lavado. Los gases ácidos, ya sin la presencia de mercurio, se dirigen hacia un lavador alcalino donde los anhídridos sulfuroso y sulfúrico se neutralizan con soda cáustica, produciendo sulfato de sodio. Los gases así purificados pasan luego por un separador de partículas antes de ser evacuados a la atmósfera. Conviene subrayar que todo este sistema, que incluye el horno de ustulación, el separador, los ciclones y los lavadores de gases (véase el gráfico 4), funciona con una presión inferior a la atmosférica; esto garantiza que cualquier orificio o abertura en el sistema hará entrar aire ambiental impidiendo así el vaciamiento de aire y gases contaminados al exterior. A continuación los lodos de mercurio extraídos de los lavadores se transfieren a una instalación de destilación en que se utiliza una retorta vertical al vacío calentada eléctricamente, concebida y proyectada por APLIQUIM tal como todos los demás equipos descritos (véase el gráfico 5).

Después de un ciclo de operación discontinua (*batch*), que tiene una duración aproximada de 36 horas, el mercurio se recoge en un condensador acoplado a la retorta y luego se envasa en garrafas metálicas (*flasks*) de 34.5 kg de capacidad. Una vez enfriado, el material inerte que queda en la retorta se utiliza para fabricar bloques de construcción. El lodo introducido en la retorta pierde su agua en forma de vapor, que se condensa, junto con el mercurio metálico, en el condensador del sistema. El agua recuperada no se desecha, sino que se utiliza para reponer la que consumen los sistemas de refrigeración del proceso, de modo tal que no existe generación de efluentes líquidos en toda la planta. El material

Gráfico 3

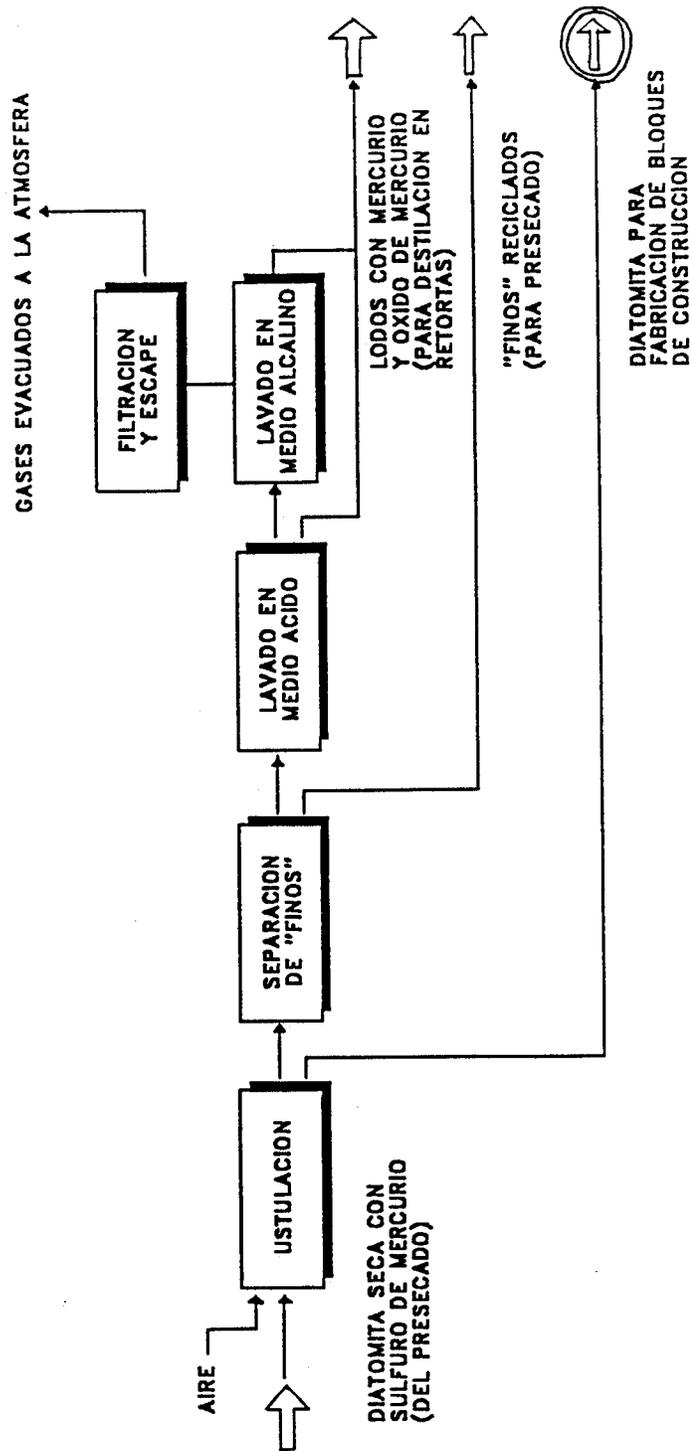
PRESECADO



Fuente: APLIQUIM, Brasil.

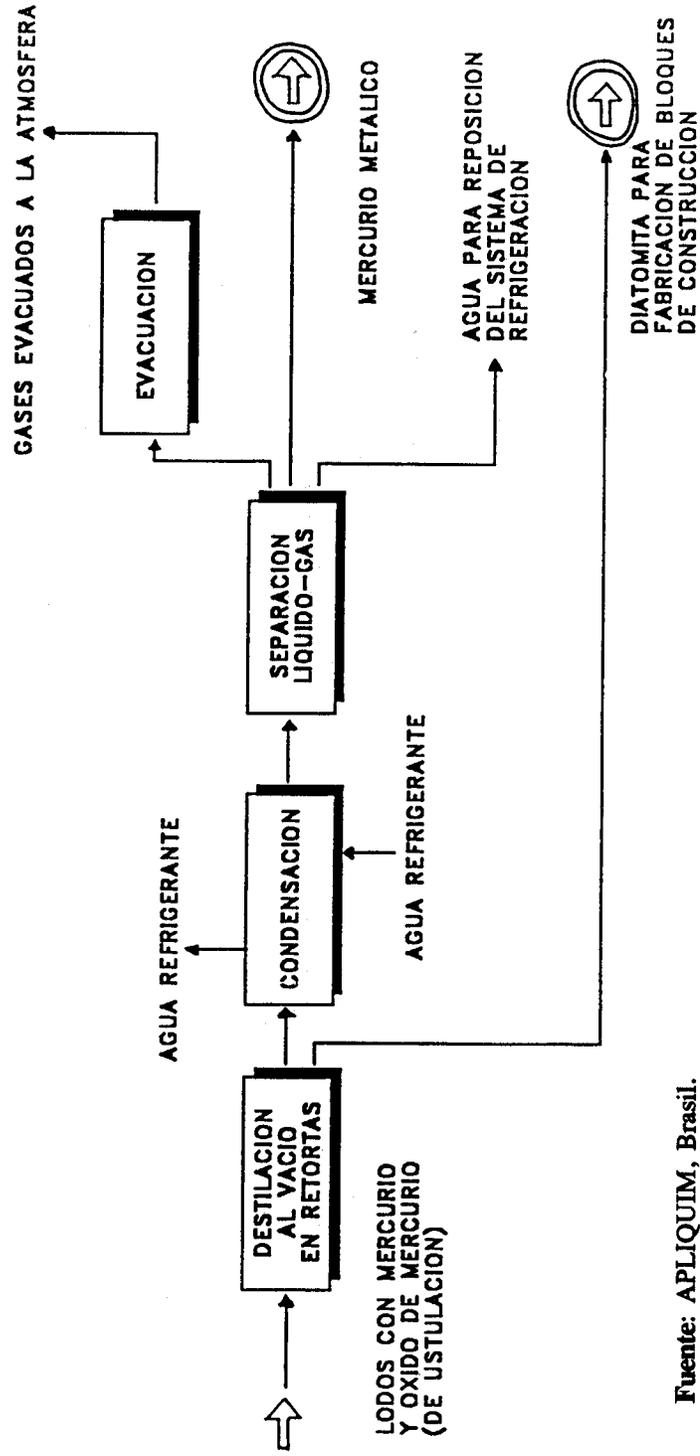
Gráfico 4

USTULACIÓN



Fuente: APLIQUIM, Brasil.

DESTILACIÓN AL VACÍO EN RETORTAS



Fuente: APLIQUIM, Brasil.

sólido obtenido del proceso de tratamiento descrito es tierra diatomácea, que se analiza antes de su venta o utilización dentro de la empresa. La prueba de lixiviación a que se someten las muestras recogidas permite clasificar el material como atóxico, ya que la presencia de mercurio alcanza a niveles de apenas 0.01 a 0.02 ppm, muy inferiores al límite de 0.1 ppm establecido en la legislación ambiental.

c) *Evolución de la tecnología*

En APLIQUIM la acumulación de experiencia en materias ambientales se remonta al decenio de 1970, cuando uno de los socios actuales, el ingeniero Adolfo Jose Cattaneo, encontró una solución para el tratamiento de los efluentes de mercurio de la industria Carbocloro, importante productora brasileña de cloro y soda. La planta de Carbocloro está ubicada en el Estado de São Paulo, en el municipio de Cubatão, donde existe un gran polo industrial junto al puerto de Santos, el de mayor movimiento en Brasil. Hasta esa fecha, los efluentes de Carbocloro, contaminados con mercurio procedente de sus células de electrólisis, se vertían en el mar. El sistema de tratamiento proyectado por el ingeniero Cattaneo, entonces funcionario de una empresa de consultores en ingeniería de São Paulo, fue implantado con gran éxito, ya que la calidad de los efluentes tratados pasó a responder, incluso en Brasil, a las exigencias de las normas ambientales más rigurosas vigentes en el mundo en esa época. Según el nuevo sistema, una filtración a través de tierras diatomáceas retenía el mercurio en forma de sulfuro. Como prueba de la excelencia del proceso, antes de verter las aguas efluentes de ese tratamiento, se hicieron circular por un acuario ornamental instalado en el recinto de la industria.

En 1985, Carbocloro volvió a recurrir al ingeniero Cattaneo, quien entonces ya había establecido su propia oficina de consultoría, la Expro Ingeniería Ltda. Ahora se trataba de buscar una solución para disponer definitivamente de los lodos de filtrado, compuestos de tierra diatomácea, mercurio y humedad, que desde hacía varios años la industria venía acumulando en silos cerrados especiales, que llegaron a contener más de 2 000 toneladas en total. Tras pruebas en el laboratorio y en la planta piloto, Carbocloro escogió la solución tecnológica propuesta por el ingeniero Cattaneo para descontaminar esos lodos, en vez de un proceso menos eficiente presentado por otra firma consultora.

Con el objeto de utilizar la tecnología desarrollada y tratar en forma industrial los residuos de Carbocloro, en enero de 1985 se constituyó una nueva sociedad, APLIQUIM Equipos y Productos Químicos Ltda., empresa independiente cuyos socios eran ingenieros con amplia experiencia en el diseño y la operación de industrias de proceso.

Por tratarse de una tecnología nueva y específica, que requería equipos exclusivos no disponibles en el mercado, desde un comienzo los socios de APLIQUIM tuvieron que enfrentar dos grandes desafíos: instalar una planta para el tratamiento de los residuos y, además, montar una fábrica para producir sus propios equipos. Hasta el día de hoy en esta última se diseñan, fabrican y prueban todos los equipos necesarios para la primera, así como también equipos para vender a terceros.

Una vez resuelto el problema de la descontaminación de los lodos generados por las industrias de cloro-soda que en sus líneas de producción utilizan la tecnología de las células de mercurio, APLIQUIM empezó a ser conocida y consultada por otras empresas y sectores industriales que también producían residuos contaminados con mercurio y otros metales pesados. Ante esos nuevos retos, en la planta de APLIQUIM se comenzó a incorporar nuevos módulos de proceso a la solución tecnológica básica anteriormente descrita, y se produjeron unidades para:

- fundir termómetros clínicos desechados, reaprovechando el vidrio;
- descontaminar vidrios de lámparas fluorescentes desechadas, reaprovechando el vidrio;
- extraer zinc, en forma de óxido, de la amalgama generada como residuo de la fabricación de pilas galvánicas;
- descontaminar catalizadores con base de carbón activado impregnado con cloruro de mercurio;
- destruir residuos de pesticidas con contenido de mercurio;
- recuperar la plata en desechos de amalgamas procedentes de consultorios dentales.

Estos procesos permiten la recuperación total del mercurio contenido en los residuos, en forma de mercurio metálico; éste luego se comercializa conjuntamente con las industrias consumidoras, con la autorización del Instituto Brasileño del Medio Ambiente y los Recursos Naturales Renovables (IBAMA).

La fábrica de APLIQUIM ha sido visitada por los responsables en materia de seguridad y protección ambiental de las casas matrices de algunos de sus clientes multinacionales. Esos especialistas han manifestado su plena satisfacción con los criterios de seguridad adoptados, que responden a las normas internacionales y a las rigurosas normas ambientales de la Compañía de Tecnología de Saneamiento Ambiental (CETESB), organismo del gobierno del Estado de São Paulo. Cabe añadir que la capacidad de procesamiento de residuos de mercurio de la planta de APLIQUIM en Paulínia supera las 80 toneladas mensuales. Hasta la fecha en que fue elaborado el informe ya se habían procesado más de 2 000 toneladas de residuos de mercurio procedentes sólo de Carbocloro, el primer cliente de APLIQUIM.

Cabe destacar también que, aunque ya ha recibido consultas sobre la posibilidad de tratar en Brasil residuos generados en el exterior, APLIQUIM no ha aceptado hacerlo por considerar improcedente la práctica de importar residuos tóxicos. Sin embargo, la empresa está dispuesta a transferir su tecnología para que se instalen en otros países unidades equivalentes a las que posee en Brasil. La experiencia de APLIQUIM en el tratamiento de residuos contaminados con metales pesados fue presentada en la Conferencia de la ONUDI sobre un Desarrollo Industrial Ecológicamente Sostenible, que tuvo lugar durante la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (Rio de Janeiro, 1992).

d) *Estrategia de la empresa en el campo de la tecnología*

APLIQUIM fue fundada por ingenieros con amplia experiencia previa en sus respectivas áreas profesionales, quienes orientaron su espíritu creativo y emprendedor hacia la solución de los problemas que les planteaban sus clientes. Esta experiencia de los fundadores hizo de APLIQUIM una empresa diferente, dedicada a crear tecnologías nuevas con enfoques heterodoxos. Las tecnologías que utiliza APLIQUIM para tratar residuos son de elaboración propia y fueron concebidas para las condiciones imperantes en Brasil. Se trata de soluciones técnicas que permiten reducir al mínimo las necesidades de incineración y de disposición en vertederos controlados; además, requieren inversiones relativamente modestas, condiciones todas muy importantes para los países en desarrollo.

Varias de esas tecnologías ya se están utilizando en las propias instalaciones de APLIQUIM o en las que la empresa ha diseñado y fabricado para sus clientes. Algunas de estas tecnologías, dado su carácter innovador, están protegidas por patentes. Entre las tecnologías con que cuenta APLIQUIM merecen destacarse las siguientes:

- procesos para el tratamiento de residuos contaminados con mercurio, que permiten recuperar el metal y neutralizar los materiales sobrantes hasta un nivel de descontaminación que hace posible utilizarlos como materiales reciclables o eliminarlos en vertederos no controlados;
- proceso para destruir pilas alcalinas y Leclanché desechadas, con separación y descontaminación de sus materiales constituyentes, mediante el cual se producen materiales reciclables y se recupera el mercurio contenido;
- proceso para destruir lámparas fluorescentes desechadas, con separación y descontaminación del vidrio y de los metales recuperados y extracción del mercurio que contienen;

- proceso para descontaminar transformadores que contienen PCB, posibilitando la eliminación, como chatarra, de sus partes metálicas.

APLIQUIM también se ha abocado al estudio de otras soluciones técnicas relacionadas con la descontaminación de arenas, aceites, catalizadores, solventes y lodos contaminados con metales pesados y otros materiales nocivos para el medio ambiente. Además del ámbito de los procesos químicos, en el cual tiende a centrarse su actividad, APLIQUIM ha estado trabajando en la elaboración de una serie de dispositivos y equipos mecánicos para la seguridad y protección ambientales. La política interna de la empresa prevé el licenciamiento de patentes propias a terceros, siempre que sea mutuamente conveniente para las partes y el receptor tenga credibilidad técnica y comercial.

Además de las tecnologías de que ya dispone y de los servicios que actualmente presta a sus clientes industriales, APLIQUIM está dispuesta a colaborar con otras empresas, entidades públicas y asociaciones, en Brasil y en el exterior, que deseen contar con su participación en el tratamiento de residuos y en el desarrollo de procesos y equipos que apunten a la protección ambiental. La política de la empresa en materia de recursos humanos persigue estimular entre sus empleados el espíritu que guió la fundación de APLIQUIM, para seguir buscando nuevas soluciones tecnológicas que constituyan, al mismo tiempo, un proceso para el tratamiento de un residuo y una forma de reciclar y reutilizar los productos de valor que el tratamiento de este residuo pueda liberar.

Su reducido personal —que incluye seis ingenieros, además de sus propios socios— está permanentemente analizando nuevas soluciones para los problemas ambientales que le plantean sus clientes, e incluso algunas entidades oficiales.

e) *Relaciones con centros de investigación tecnológica*

Hasta el presente, las tecnologías que posee APLIQUIM han sido desarrolladas íntegramente con recursos propios, sin recurrir a fondos o recursos del gobierno o de organismos privados. En algunos casos la empresa contó con el decisivo apoyo de clientes, que anticiparon el pago de contratos de prestación de servicios incluso en la fase de desarrollo del proceso y de fabricación de los equipos necesarios para dar cumplimiento a esos contratos.

APLIQUIM se ha relacionado con algunos centros de investigación y tecnología con el fin de complementar sus conocimientos y experiencia y desarrollar los métodos de trabajo que resulten más adecuados para sus actividades. Mantiene un convenio con el Departamento de Toxicología del Área de Salud Ocupacional de la Universidad Estadual de Campinas,

renombrado centro universitario de São Paulo y Brasil, con el objeto de evaluar las condiciones de salud de las personas que trabajan con residuos tóxicos, especialmente con mercurio, en instalaciones de la empresa. A solicitud del Centro de Tecnología Mineral, dependencia del Consejo Nacional de Investigaciones, organismo del gobierno federal de Brasil, APLIQUIM trabajó conjuntamente con ese Centro en el diseño y fabricación de una cámara de retención y recuperación de mercurio para ser instalada en las regiones donde existen explotaciones auríferas artesanales. La finalidad de este equipo es controlar el problema de la contaminación con mercurio en los lugares de compra del metal, ya que allí se negocia el oro extraído aún contaminado con el mercurio que los mineros utilizan en su precaria purificación. APLIQUIM ha mantenido una fructífera relación con el Instituto de Investigaciones Tecnológicas, órgano del gobierno estadual de São Paulo, y participa en reuniones técnicas y seminarios en el marco del Programa del Medio Ambiente que ese Instituto dirige.

4. TERMOVENT: proyecto de incineración de residuos hospitalarios sin contaminación atmosférica y con recuperación de calor⁵

a) *Presentación de la empresa*

TERMOVENT Proyectos Agroindustriales, S.C. tuvo su origen en los departamentos de ingeniería de proyectos de dos empresas filiales fabricantes de equipos de proceso, que decidieron formar una firma independiente, dedicada exclusivamente a la preparación y realización de proyectos. La mayoría del personal de ingeniería que pasó a integrar la nueva empresa tenía más de 20 años de experiencia en materia de diseño, fabricación, instalación y operación de equipos y sistemas en las áreas de calefacción, ventilación, enfriamiento, refrigeración y control de contaminación. En la actualidad, TERMOVENT diseña y construye instalaciones y plantas completas "llave en mano" para la

⁵ Sobre la base de Rodrigo Diez de Sollano (TERMOVENT Proyectos Agroindustriales, S.C.), *Empresas líderes en desarrollo, aplicación y difusión de tecnologías ambientalmente racionales en América Latina: proyecto de incineración de residuos hospitalarios sin contaminación atmosférica y con recuperación de calor para la fabricación de alimentos de ganado en la empresa TERMOVENT Proyectos Agroindustriales, S.C., México* (LC/R.1296), Santiago de Chile, CEPAL, 31 de agosto de 1993.

industrialización de productos del agro. La empresa actúa principalmente en México y en otros países latinoamericanos.

b) Descripción de la tecnología desarrollada por la empresa

El proceso desarrollado consta de las siguientes operaciones, que se indican en el gráfico 6:

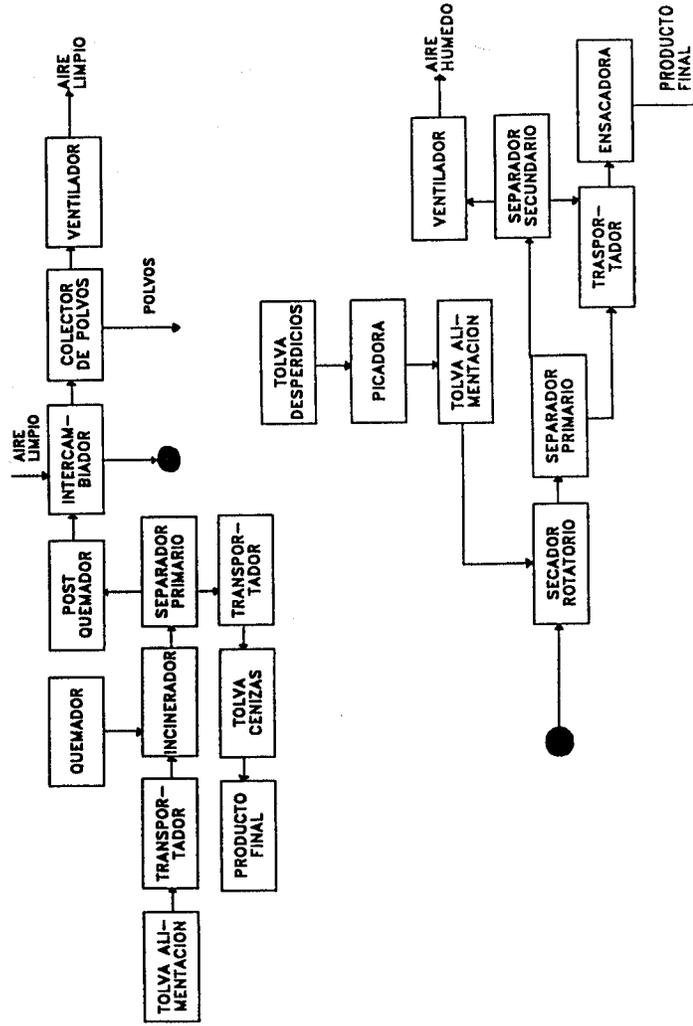
- incineración de residuos contaminados con gérmenes provenientes de hospitales hasta transformarlos en cenizas inertes;
- postquemado de los gases de combustión que produce el incinerador para asegurar su conversión en CO₂ y vapor de agua;
- recuperación del calor generado por ambos procesos mediante un intercambiador de calor que permite que los gases de combustión calienten un flujo de aire limpio;
- colección en seco de polvos de los gases de combustión fríos a la salida del intercambiador de calor;
- expulsión a la atmósfera de gases de combustión limpios y fríos;
- utilización del aire limpio y caliente proveniente del intercambiador de calor en un deshidratador de desperdicios vegetales de los mercados urbanos, para luego emplearlos como parte de alimento para ganado;
- expulsión a la atmósfera de aire limpio, frío y húmedo.

La originalidad del sistema consiste en que combina la incineración de residuos con gérmenes peligrosos, sin causar contaminación atmosférica, con la utilización del calor generado por esta operación para deshidratar los desechos de frutas y legumbres de los mercados, otros residuos urbanos importantes, y poder así transformarlos en alimento para ganado.

La incineración se efectúa en un equipo rotatorio cuyo diseño permite una estrecha mezcla entre los gases de combustión y el aire (provenientes de una cámara previa) con los materiales que serán quemados. De esta manera se asegura una incineración completa y uniforme. Los volúmenes de aire pueden ser regulados para mantener constante la relación estequiométrica de la combustión. Con el objeto de asegurar un óptimo funcionamiento del proceso, el sistema cuenta con una serie de controles y registradores de operación. Las temperaturas de incineración y posquemado (superiores a 1 000°C) aseguran la destrucción de los gérmenes y la transformación de los gases de combustión y sólidos en productos no contaminantes.

El personal que efectúa la operación no entra en contacto en ningún momento con los desperdicios contaminados con gérmenes. Estos residuos se transportan a la planta de incineración en recipientes cerrados de material combustible, lo que permite incinerar los embalajes junto con

Gráfico 6
 PROYECTO INCINERADOR-SECADOR PARA RESIDUOS HOSPITALARIOS Y
 DESPERDICIOS DE ALIMENTOS



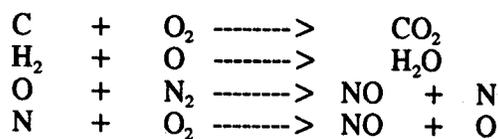
Fuente: TERMOVENT, México.

su contenido. Esta tecnología es actualmente la más adecuada para controlar la contaminación provocada por residuos hospitalarios. En general, la alternativa consiste en recoger esos desechos, junto con los demás desperdicios urbanos, para depositarlos en los rellenos "sanitarios". Esta mezcla de residuos de distinta procedencia conlleva graves riesgos para la salud de las personas que entran en contacto con ellos. Además, los residuos hospitalarios pueden dar origen a filtraciones de sustancias nocivas en los rellenos sanitarios y así contaminar las napas subterráneas, que constituyen fuentes potenciales de agua potable. En el marco del proyecto, el equipo técnico de TERMOVENT estudió también otras opciones para el almacenamiento "seguro" de residuos hospitalarios, pero fueron descartadas debido a sus riesgos inherentes. El proyecto incluyó actividades de capacitación del personal hospitalario en el manejo y clasificación de los desperdicios, especialmente los plásticos, para evitar la incineración de productos clorados, que generan gases peligrosos. Las reacciones químicas del proceso indican la forma en que se controla la contaminación. La combustión es un proceso químico mediante el cual el carbón, el hidrógeno, el azufre y el nitrógeno ligados al combustible son oxidados y se convierten en dióxido de carbono, agua, dióxido de azufre y varios óxidos del nitrógeno. Si existe cloro en el combustible o en los productos que se incineran, este elemento, al ser oxidado, puede transformarse en ácido clorhídrico.

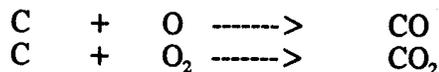
El proceso de combustión genera los siguientes productos:

- partículas sólidas;
- óxidos de nitrógeno, producidos por la oxidación del nitrógeno del aire de la combustión y la oxidación del nitrógeno del combustible durante la incineración;
- gases ácidos (HCl, SO₂, HF).

Las reacciones químicas que ocurren durante la combustión son las siguientes:



Con un cierto porcentaje de exceso de aire se garantiza una combustión completa y resultan las siguientes reacciones:



Con el fin de evitar la formación de óxidos de nitrógeno, el proceso se regula de modo que no se produzcan presiones ni

temperaturas elevadas. Además, los desechos que contienen cloro se separan de los destinados al incinerador, para asegurar que no se contamine la atmósfera con compuestos clorados.

Por las características reseñadas puede considerarse que esta tecnología es aceptable tanto desde el punto de vista ambiental como económico.

c) *Historia del desarrollo de la tecnología y gestión tecnológica*

A medida que la ciudad de Guadalajara, en México, ha ido creciendo, también ha aumentado el número de hospitales y, por consiguiente, el volumen de residuos peligrosos por contaminación con gérmenes. Algunos hospitales empezaron a incinerar sus desperdicios con equipos poco eficientes y a baja temperatura, que si bien resuelven el problema de los gérmenes, contribuyen a la contaminación del aire. Además, sus costos de operación son altos y se produce un gran desperdicio de energía. Por otra parte, los reglamentos sobre el control de la contaminación se han vuelto progresivamente más estrictos, lo que ha obligado a las entidades públicas y a las empresas a buscar soluciones. En particular, los gobiernos municipales y estatales encargaron a empresas privadas el estudio de posibles alternativas para el manejo racional de estos desperdicios.

Como resultado de estos trabajos surgieron compañías interesadas en el manejo global de los desechos hospitalarios de la ciudad. Una de estas firmas contrató los servicios de TERMOVENT Proyectos Agroindustriales para desarrollar una tecnología apropiada y los equipos necesarios para implementarla. En el contrato se incluyó una cláusula de no exclusividad respecto del uso de dicha tecnología, por lo que es posible ofrecerla a otros municipios o empresas que enfrentan problemas similares. Durante el diseño del sistema y de los equipos uno de los principales escollos que hubo que superar fue el de la insuficiente información sobre las características técnicas de los desperdicios de hospitales. Este problema se resolvió mediante investigaciones directas.

En el caso de este proyecto hubo un proceso formal de investigación y desarrollo tecnológico. El planteamiento inicial del problema era cómo manejar la basura peligrosa de los hospitales y cumplir al mismo tiempo las normas vigentes, además de hacer rentable la operación, en la medida de lo posible. El trabajo de investigación y desarrollo tecnológico fue realizado tanto por encargo del cliente como por decisión propia de TERMOVENT, adoptada después de haber detectado las necesidades del mercado. En el marco del proyecto se analizaron las alternativas mencionadas anteriormente e incluso se consideró la posible aplicación de biotecnología. Sin embargo, hubo que

descartar esa posibilidad porque no se encontró una solución tecnológica suficientemente madura como para aplicarla comercialmente. Por esta razón se optó por utilizar la tecnología de incineración, tratando de conciliar los requerimientos ambientales con el criterio de rentabilidad económica.

En el desarrollo del proyecto un factor muy importante fue la experiencia con que contaba la empresa en el campo de la recuperación de energía en ingenios azucareros y en otras industrias. También fue valiosa su vocación y experiencia como proyectista de procesos agroindustriales, lo que le permitió percibir las ventajas de una solución que combinara la recuperación de calor con la deshidratación de desperdicios vegetales. Una vez planteada la solución global, se discutió con el cliente para llegar a un acuerdo sobre el alcance que habría de darse al diseño detallado de los equipos, que iba a formar parte de la segunda etapa del proyecto. Para ello se realizaron pruebas piloto a escala y, sobre la base de esos resultados y de diseños previos, se elaboró la ingeniería de detalle de los equipos, hasta llegar a sus especificaciones y planos de fabricación. Paralelamente, se diseñó el sistema de control, para lo cual se aprovechó la experiencia acumulada en materia de hornos, calderas y deshidratadores para otros usos. El trabajo efectuado por la empresa en calidad de proyectista se completó al entregarse a los contratistas de la construcción los planos y especificaciones de los equipos y sistemas de control, los diagramas de instalación y las instrucciones para la operación del sistema.

En cuanto a su política de recursos humanos, la empresa incentiva el desarrollo continuo del personal mediante la participación en cursos, seminarios, estudios de posgrado y otras actividades de actualización del conocimiento. Por otra parte, la disponibilidad permanente de libros, revistas y otras publicaciones estimula la creatividad de los empleados y los mantiene al día en su campo de actividad.

d) *Relaciones con los centros de investigación tecnológica del país e influencia de las políticas nacionales de fomento tecnológico*

En el caso de TERMOVENT, la tecnología fue desarrollada exclusivamente con los recursos humanos de la empresa. Sin embargo, se recurrió a bibliotecas y bancos de datos de universidades. Además, el hecho de que varios miembros de la empresa fueran a la vez profesores universitarios facilitó un intercambio de información que enriqueció y aceleró bastante las actividades de investigación y desarrollo tecnológicos. En otros casos se suscribieron acuerdos formales con instituciones universitarias para intercambiar información o realizar

investigaciones por encargo de TERMOVENT. La empresa no recibió ningún apoyo oficial, aparte de haber tenido acceso a los Servicios de Consulta a Bancos de Información (SECOBI) del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México. Finalmente, se puede mencionar que la tecnología no se patentó; en su lugar, se prefirió firmar un convenio sobre su uso con el cliente y mantener reservado el resultado del desarrollo tecnológico.

IV. TECNOLOGÍAS LIMPIAS PARA APLICACIONES INDUSTRIALES, AGRÍCOLAS Y PESQUERAS

Los desarrollos de tecnologías limpias que se exponen en esta sección se refieren a cuatro casos: i) adaptación de procesos en el proyecto de una nueva planta industrial de anhídrido sulfuroso de la empresa QUIMETAL; ii) diseño de nuevos equipos para el uso eficiente y ambientalmente seguro de anhídrido sulfuroso en la conservación de fruta de exportación, realizado por la empresa PROQUIVI; iii) mejoramiento del proceso de fabricación electrometalúrgica de aluminio en la empresa ALUAR; y iv) un nuevo proceso de fabricación de harina de pescado aplicado por un grupo de empresas pesqueras que formaron Maestranza Iquique. En los informes presentados por las dos últimas empresas se incluye una descripción de los sistemas de gestión ambiental que han implantado. En el caso de ALUAR, se reseñan sus procedimientos de auditoría interna, la evaluación del impacto ambiental directo e indirecto provocado por la fábrica de aluminio y sus formas de comunicación con la comunidad local. En cuanto a las empresas pesqueras, su gestión ambiental se refiere esencialmente a programas de investigación sobre los recursos marinos que constituyen la base de su actividad económica.

1. QUIMETAL: adaptación de tecnologías ambientalmente seguras para la fabricación de anhídrido sulfuroso¹

a) *Presentación de la empresa innovadora*

La empresa inició sus operaciones en 1951 como una sencilla planta formuladora de pesticidas, aunque ya desde los años cuarenta

¹ Sobre la base de Hans Hanke (QUIMETAL), *Empresas líderes en desarrollo, aplicación y difusión de tecnologías ambientalmente racionales en América Latina: el caso del desarrollo de la fabricación de anhídrido sulfuroso por la empresa QUIMETAL, Chile* (LC/R.1248/Rev.1), Santiago de Chile, CEPAL, 14 de mayo de 1993.

existía una instalación rudimentaria para la fabricación de sulfato de cobre. Mediante el desarrollo y perfeccionamiento de tecnologías de producción, paulatinamente QUIMETAL logró una sólida posición en el complejo campo de los productos químicos. Actualmente abastece de diversas formulaciones de fungicidas cúpricos, azufre y otros productos industriales a importantes distribuidores internacionales.

La apertura comercial de Chile acarreó momentos difíciles para la empresa, que debió realizar un gran esfuerzo hasta lograr finalmente adecuarse a un marco de competencia internacional con productos de calidad y un nuevo modelo de gestión comercial a nivel interno y externo, caracterizado por un mayor dinamismo, una mejor penetración con el mercado y una más amplia cooperación técnica con el cliente. Los resultados de los últimos ejercicios revelan que el desarrollo de sus actividades industriales, sobre todo en lo relacionado con la diversificación de productos, fue acertado.

En la actualidad la red de clientes abarca diversos sectores industriales en prácticamente todos los continentes. La empresa abastece a fabricantes de pigmentos con sales cúpricas y molibdatos; al sector agrícola con fungicidas cúpricos basados en azufre micronizado, con desinfectantes de semilla y preservantes de uva de mesa (generador de SO₂); al sector pecuario con sales cúpricas como aditivos de dietas alimenticias; a empresas forestales con preservantes de madera tipo CCA y CCB, y sales antimancha; y a las industrias del vidrio y de los cosméticos con selenio metálico.

En 1991, las exportaciones de QUIMETAL alcanzaron a 7.3 millones de dólares y las ventas en el país a 3.8 millones de dólares, lo que da un total de 11.1 millones de dólares.

La formación de la empresa conjunta Hickson-Quimetal Latinoamérica Ltda., en asociación paritaria con el destacado grupo Hickson Timber Products Ltd. de Inglaterra, sociedad líder en el mercado de preservantes de la madera, es una demostración del nivel logrado por QUIMETAL.

La consolidación en 1991 del proyecto MININCO es otro fruto del empuje empresarial de QUIMETAL. En respuesta a la demanda creada por el desarrollo forestal chileno, esta inversión permitió construir una planta con capacidad para producir 4 200 toneladas anuales de anhídrido sulfuroso destinadas al abastecimiento directo de las empresas productoras de celulosa.

b) *Orígenes del proyecto de la nueva planta de anhídrido sulfuroso*

A fines de los años ochenta maduraron dos grandes proyectos de fabricación de celulosa en el sur de Chile: Celulosa del Pacífico S.A.

(CELPAC), en Mininco, y Forestal Santa Fé, en Nacimiento. Ambas plantas iban a requerir grandes cantidades de anhídrido sulfuroso para sus procesos de fabricación. Actualmente, el funcionamiento de la mayoría de las nuevas plantas de celulosa que se construyen en el mundo se basa en el proceso del sulfato, que permite la recirculación de productos químicos en el proceso, y evita así la descarga de productos orgánicos y anorgánicos en el ambiente. El proceso del sulfato requiere anhídrido sulfuroso como insumo en la fase del blanqueo de la celulosa.

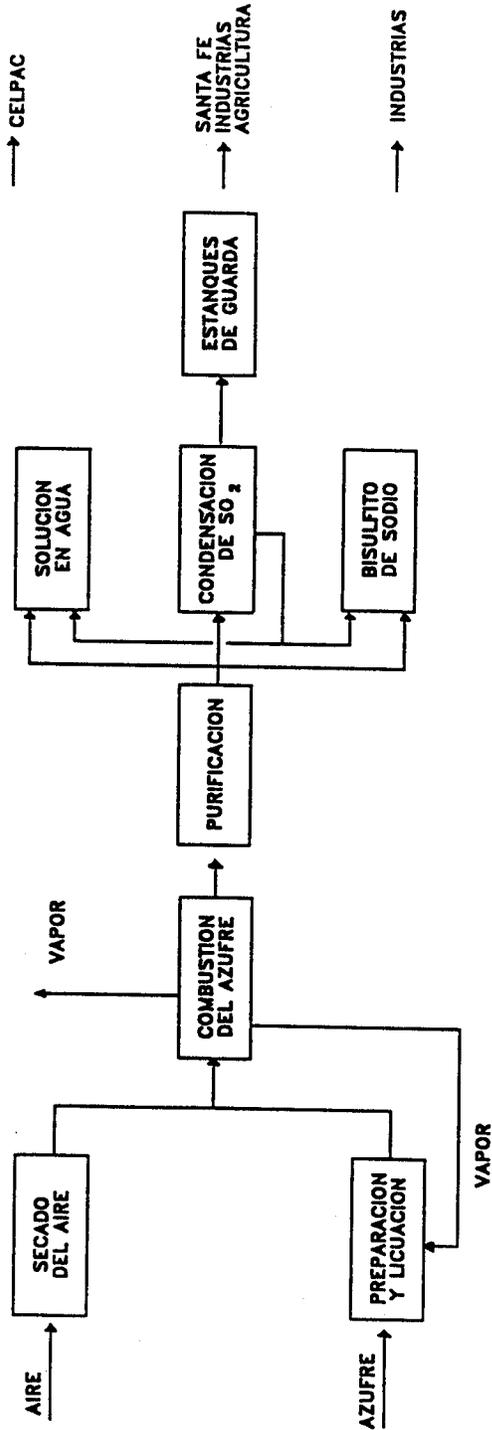
En 1989, CELPAC inició sus contactos con QUIMETAL y, como resultado de las negociaciones entabladas, se firmó un contrato de suministro de largo plazo. Paralelamente, se llevaron adelante conversaciones con Forestal Santa Fé, que culminaron con la suscripción de un convenio similar. En 1990 se dio comienzo a la construcción de la planta de anhídrido sulfuroso en Mininco, una localidad situada 580 km al sur de Santiago; se decidió instalarla en terrenos contiguos a la planta de CELPAC, considerando que ésta sería la mayor consumidora y el anhídrido sulfuroso se le podría suministrar por tubería, en solución acuosa. En cambio, a la planta de Forestal Santa Fé, por estar más apartada, se podría transportar el anhídrido sulfuroso en forma licuada en camiones cisternas. Por último, la planta de Mininco fue concebida para producir también bisulfito de sodio. Las instalaciones se pusieron en funcionamiento en marzo de 1992 y durante los primeros nueve meses de operación la planta respondió con gran flexibilidad a las fluctuaciones de la demanda. En algunos meses Forestal Santa Fé sobrepasó el consumo proyectado, pero gracias a que algunas instalaciones, entre ellas las de frío, pudieron funcionar bastante por encima de su capacidad de diseño, fue posible satisfacer la sobredemanda.

c) *El proceso de fabricación y las características técnico-económicas del proyecto*

Entre los distintos procesos básicos que existen para la fabricación de anhídrido sulfuroso, se optó por el más limpio, que consiste fundamentalmente en la oxidación de azufre. El gráfico 7 muestra un esquema simplificado del proceso y el gráfico 8 un diagrama de flujos de la planta de Mininco, que fue diseñada para producir un total de 4 200 toneladas anuales de anhídrido sulfuroso en forma de gas, con una concentración de 16% a 18%. Este gas constituye el insumo para elaborar los tres productos finales de la planta, de acuerdo con las siguientes proporciones: 2 075 toneladas anuales para la producción de solución acuosa de anhídrido sulfuroso, 1 300 toneladas para la de anhídrido sulfuroso licuado y 825 toneladas para la de bisulfito de sodio.

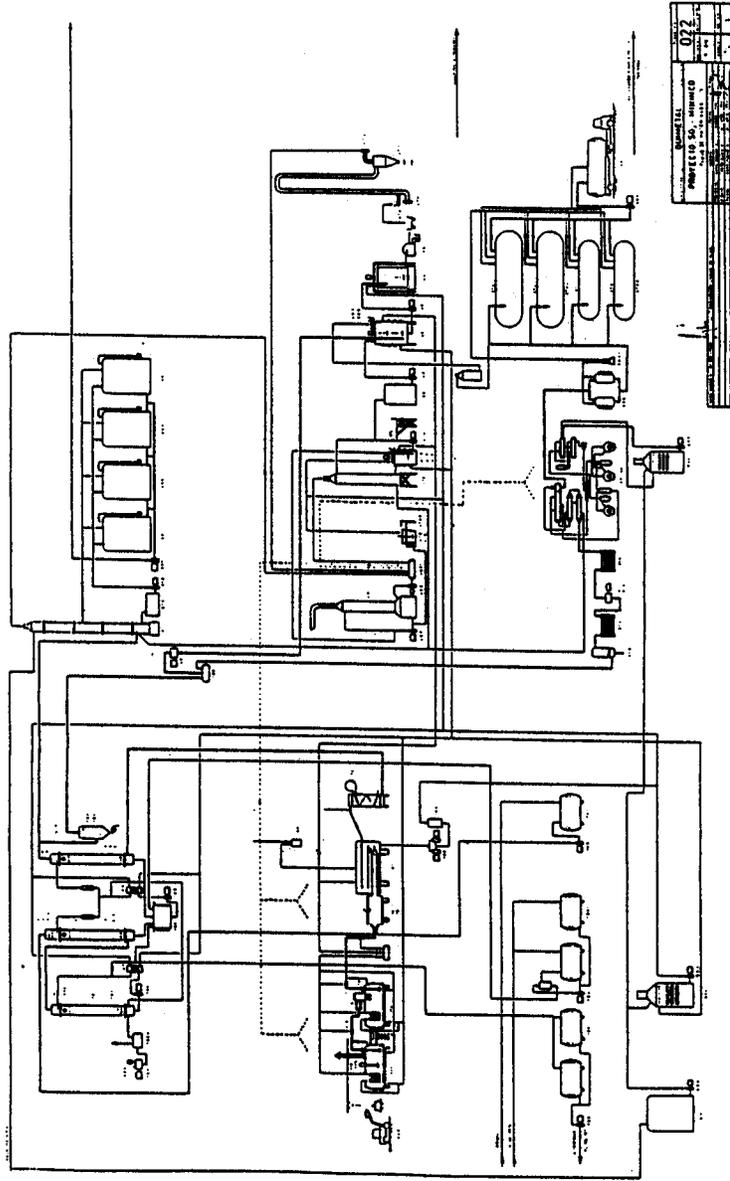
Gráfico 7

ESQUEMA SIMPLIFICADO DE LA PRODUCCIÓN DE ANHÍDRIDO SULFUROSO Y BISULFITO DE SODIO EN LA PLANTA DE MININCO



Fuente: QUIMETAL Ltda. C.P.A., Chile.

Gráfico 8
DIAGRAMA DE FLUJO DE LA PLANTA DE ANHÍDRIDO SULFUROSO DE MININCO



Fuente: QUIMETAL Ltda. C.P.A., Chile.

La materia prima principal es azufre en colpas que, una vez licuado, se quema en un horno. El aire de combustión es secado previamente para eliminar toda traza de humedad.

Uno de los equipos centrales del proceso es el quemador que efectúa la combustión entre el azufre y el aire. El producto es un gas que contiene 18% de SO_2 , 79.5% de N_2 y un resto de 2.5% de O_2 . La combustión es altamente exotérmica y el gas alcanza una temperatura de 1 500°C. El gas se enfría en una caldera de diseño especial y se genera vapor a una presión de siete atmósferas. A la salida de la caldera, el gas atraviesa un intercambiador de calor y luego entra a una torre de absorción que elimina las trazas de SO_3 . Desde allí el gas se envía a las secciones de la planta en que se elaboran los productos finales.

El anhídrido sulfuroso en solución acuosa se produce en una torre en la que el gas pasa en contracorriente al agua de proceso. Desde allí se envía a una serie de estanques de guarda y luego se bombea por cañería a la fábrica de Celulosa del Pacífico. El resto del gas que escapa de la torre de solución consiste básicamente en nitrógeno y algo de oxígeno. Como la concentración de anhídrido sulfuroso es normalmente inferior a 200 ppm, el gas residual podría ser liberado directamente a la atmósfera. Sin embargo, previendo que esta concentración pudiera fluctuar como consecuencia de una momentánea anomalía del proceso, el gas de escape es tratado en una torre de lavado con carbonato de sodio, que absorbe cualquier resto de anhídrido sulfuroso.

El anhídrido sulfuroso licuado se obtiene en la planta de frío que funciona a una temperatura de menos 55°C. El producto se almacena en una serie de estanques de guarda a una presión de tres a cuatro atmósferas. Desde allí se transporta en camiones cisternas a la planta de celulosa de Forestal Santa Fé y a los centros de distribución que mantiene QUIMETAL a lo largo del país.

El bisulfito de sodio se elabora en otra sección de la planta. El gas de proceso se envía primero a una solución de carbonato de sodio, que absorbe el anhídrido sulfuroso, por lo que el gas de escape podría disiparse directamente en la atmósfera. Sin embargo, como una medida de precaución, también es pasado previamente por la torre de lavado. En una segunda etapa del proceso, la solución va a un reactor donde se agrega más carbonato de sodio y anhídrido sulfuroso hasta formar, por sobresaturación, una lechada de bisulfito de sodio. Una centrífuga elimina gran parte del agua y luego el producto se somete a un proceso de secado usando el vapor de la caldera de recuperación. Finalmente se obtiene un polvo seco y fino que es envasado en sacos; éstos se apilan en paletas de carga y se guardan en la bodega de productos terminados hasta su despacho.

El consumo de energía eléctrica es de 135 kWh por tonelada de anhídrido sulfuroso en solución y de 410 kWh por tonelada de anhídrido

sulfuroso licuado. El consumo de agua de proceso es de 100 000 litros por tonelada de anhídrido sulfuroso en solución.

d) *Protección del medio ambiente y prevención de accidentes*

En principio, una industria química puede provocar contaminación por emisión de gases o partículas, efluentes líquidos, residuos sólidos o ruidos. En la planta de Mininco, para prevenir situaciones de este tipo, la contaminación atmosférica que podría originar un escape de anhídrido sulfuroso es controlada mediante operaciones de absorción y de lavado de gases. El nitrógeno que sale de la planta de lavado contiene menos de 200 ppm de anhídrido sulfuroso, en circunstancias que las normas aplicadas en Chile permiten hasta 1 000 ppm. A título de comparación se puede mencionar que una caldera alimentada con combustóleo N° 6 puede emitir 2 000 ppm de anhídrido sulfuroso.

El peligro de contaminación por efluentes líquidos no existe, ya que en la planta no se generan líquidos residuales. En cuanto a residuos sólidos sólo se prevé que una cierta cantidad de azufre en colpas pueda estar contaminada. Este producto será vendido a otras industrias interesadas. Por último, la planta produce algo de ruido. Como no existen poblaciones establecidas en el entorno, por el momento sólo se brinda protección acústica al personal de la planta.

También se han tratado de minimizar, mediante precauciones apropiadas, los riesgos de accidente que presenta la planta de Mininco. Fundamentalmente, el mayor peligro radica en los depósitos de anhídrido sulfuroso licuado y en solución, así como en los de petróleo. El más alto riesgo corresponde probablemente al almacenamiento de anhídrido sulfuroso líquido, que puede alcanzar a 200 toneladas. Con el objeto de prevenir cualquier accidente se decidió, en primer lugar, encargar la fabricación de los estanques de guarda a una empresa nacional de gran prestigio. En segundo lugar, en las especificaciones del proyecto se adoptaron coeficientes de seguridad apropiados. Así, se fijó una presión de prueba de 12 atmósferas, considerando como base una presión de trabajo de 8 atmósferas, según diseño. Sin embargo, durante el funcionamiento de la planta las presiones observadas no sobrepasaron 3.5 atmósferas. Estas fueron las principales medidas de seguridad adoptadas con respecto a los estanques de anhídrido sulfuroso licuado, aunque no las únicas. En cuanto a los otros depósitos de la planta, se decidió colocarlos dentro de una piscina cuyo volumen permitiera recibir el contenido de un estanque en caso de que una rotura ocasionase un derrame.

e) *Gestión estratégica y tecnológica*

La producción y formulación de productos químicos en condiciones razonables exige hoy una conciencia empresarial que logre conciliar el desarrollo y el crecimiento económico con la buena calidad de los productos, la preservación del medio ambiente y un manejo de los recursos humanos que apunte a mejorar la calidad de vida. La empresa no sólo necesita la confianza del cliente, sino la de su entorno laboral, de su comunidad y, evidentemente, de sus socios. En este sentido, QUIMETAL, que en 1991 cumplió 40 años de continuo ejercicio empresarial, ha logrado consolidar su posición como una empresa de productos químicos líder en la economía chilena.

La industria tuvo un origen casi artesanal en los años cuarenta, cuando empezó a fabricar sulfato de cobre en Santiago. A principios de la década de los cincuenta, varios acontecimientos provocaron una transformación de la empresa. En primer lugar, se produjo un cambio de dueños, a raíz de lo cual se incorporaron nuevos productos al programa de fabricación. Luego se suscribió un convenio de asistencia técnica con la firma Schering A.G., de Berlín, con el objeto de formular en Chile algunos productos fitosanitarios. Por último, los nuevos dueños contrataron como gerente de producción a un especialista alemán en productos fitosanitarios, bajo cuya dirección técnica se diversificó considerablemente la fabricación de productos químicos inorgánicos. A principios de los años sesenta cambiaron de nuevo los dueños, al ser adquirida la industria por la Compañía Electro Metalúrgica S.A. y por el gerente de producción de la empresa. Una vez más se diversificó el programa de producción al incluirse el trióxido de molibdeno, sales protectoras de la madera, óxido de cobre y otros. Hacia fines de los años setenta se incursionó en el aprovechamiento de residuos mineros y se desarrolló una tecnología propia para fabricar selenio al 99.5%.

En 1963 la empresa empezó a exportar oxiclورو en grado técnico y fungicida, inicialmente a los mercados de Brasil, Colombia y Venezuela. Posteriormente, al sumarse Alemania, Taiwán y varios países centroamericanos, entre otros, al conjunto de los compradores tradicionales, las exportaciones aumentaron sustancialmente. Fue así que la producción de selenio se destinó íntegramente a la exportación. A mediados de la década de los ochenta se logró un especial éxito con la fabricación y exportación de otros compuestos cúpricos, utilizados como materia prima en la fabricación de pigmentos azules. En la actualidad, QUIMETAL es un proveedor de este producto que está a la vanguardia mundial y abastece a industrias de gran prestigio en Estados Unidos, Alemania, Italia y países del Extremo oriente.

En los últimos años, QUIMETAL ha desarrollado procesos de fabricación y comercializado una serie de nuevos productos. De especial

aceptación han sido los papelillos "Preserva Uvas", que impiden la propagación de la botritis en la uva de mesa durante su transporte a los países de destino. Además de venderse en el país, este producto se exporta a Argentina, Australia, Brasil y Grecia, entre otros países. El fungicida, registrado bajo la marca ACOIDAL, tiene creciente demanda en Estados Unidos. Entre los nuevos productos figura también el óxido cuproso, un potente fungicida para ciertas plantaciones. Uno de los últimos productos que la empresa ha lanzado al mercado es el inhibidor de mancha azul en madera aserrada, NP-1, destinado a reemplazar los productos a base de pentaclorofenol, cuyo uso ha sido prohibido en los principales países industrializados. Como ya se mencionó, con este objeto QUIMETAL formó una empresa conjunta con un prestigiado grupo inglés.

Estos antecedentes demuestran que, en el curso de su existencia, QUIMETAL ha impulsado una vigorosa diversificación productiva. A partir de cierto momento logró insertarse con éxito en el mercado mundial. En gran parte, ha desarrollado sus propias tecnologías o ha adaptado las que estaban disponibles. Asimismo, cuando las circunstancias lo hacían aconsejable, ha recurrido a acuerdos de licencia o a la formación de empresas conjuntas como mecanismos para adquirir y complementar tecnologías. Además, ha acumulado una gran experiencia operativa en algunos procesos de fabricación, lo que permitió que su equipo técnico encarara con éxito el diseño y la ingeniería de varios proyectos, entre ellos el de la nueva planta de anhídrido sulfuroso.

La fabricación de anhídrido sulfuroso licuado comenzó en 1963 y la de bisulfito de sodio incluso diez años antes, en la fábrica de Santiago. Como el diseño de estas plantas era bastante primitivo, en 1985 se decidió parar la producción. Cuando se presentó la posibilidad de abastecer de anhídrido sulfuroso a dos grandes productores de celulosa, surgió el proyecto de construir una planta moderna. Aunque QUIMETAL poseía conocimientos de proceso, teniendo presente la responsabilidad que significaba suministrar un producto en grandes cantidades y en forma prácticamente continua, se optó por buscar apoyo de terceros. En un principio se sostuvieron conversaciones con una firma sueca, especializada en la construcción de plantas de anhídrido sulfuroso, pero la tecnología ofrecida no incluía la licuación en frío, que era un aspecto esencial del proyecto. Por lo tanto se consideraron otras alternativas.

Para obtener la tecnología necesaria se estableció entonces contacto con la firma Lurgi de Alemania, con la que finalmente se llegó a un acuerdo para el suministro de ingeniería básica. Además, Lurgi ofreció proveer un moderno quemador de azufre, que era uno de los elementos básicos del proyecto. A partir de los antecedentes proporcionados por Lurgi, el equipo técnico de QUIMETAL elaboró la ingeniería de detalle.

Esto significó, entre otras cosas, ajustar las escalas de producción, calcular los parámetros básicos de las distintas operaciones unitarias, establecer las características de los equipos, especificar los materiales y seleccionar los proveedores. De esta manera, QUIMETAL fue generando su propio acervo tecnológico, complementario de la ingeniería básica original. Lurgi le reconoció a QUIMETAL derechos de propiedad intelectual e indicó que éstos se podrían hacer valer en futuros proyectos de terceros. El costo de la asesoría que prestó Lurgi representó 3.8% de la inversión total.

Las características de la gestión tecnológica del proyecto se reflejaron en la procedencia de la maquinaria y el equipo. En términos de valor, 27% de estos componentes, incluyendo algunos con altas exigencias técnicas, como la caldera, el horno, los estanques de anhídrido sulfuroso licuado, ventiladores, bombas y equipos de acero inoxidable, provino de fuentes locales. La proporción suministrada por proveedores de otros países latinoamericanos también fue considerable: 20% del valor de los equipos fue de origen brasileño y 4% de origen argentino.

Apéndice

Comparación entre el antiguo y el nuevo proceso de fabricación de anhídrido sulfuroso utilizado por QUIMETAL

A. Descripción de los procesos de fabricación

El antiguo proceso consta de las siguientes etapas:

- combustión de azufre con aire no previamente secado;
- lavado de los gases con agua;
- producción de bisulfito de sodio por inyección de gas a una solución de soda cáustica; y
- descomposición del bisulfito de sodio con ácido sulfúrico.

Con este proceso se obtienen los siguientes productos y residuos:

- Anhídrido sulfuroso con una concentración de 98%. Este gas pasa por torres de secado con ácido sulfúrico concentrado. Luego se condensa a SO₂ 100% licuado, en una planta de frío. Una pequeña cantidad de gas (5%) es retornada a la producción de bisulfito.
- Una solución saturada de sulfato de sodio y de bisulfato de sodio con un alto grado de acidez por el exceso de ácido sulfúrico. Es sumamente difícil deshacerse de esta solución.

El nuevo proceso comprende las siguientes operaciones:

- combustión de azufre con aire seco;
- purificación del gas SO₂ con una concentración de 18% con ácido sulfúrico;
- formación de solución acuosa de SO₂;
- formación de bisulfito;
- planta de frío para obtener SO₂ licuado 100%.

B. Comparación de los consumos específicos de materias primas y energía

	Proceso antiguo	Proceso nuevo
Azufre	580 kg/t SO ₂	540 kg/t SO ₂
Soda cáustica	630 kg/t SO ₂	-----
Ácido sulfúrico	1 300 kg/t SO ₂	-----
Energía (Kwh)	250 kwh/t SO ₂	388 kwh/t SO ₂
Agua	40 m ³ /t SO ₂	2.3 m ³ /t SO ₂

2. PROQUIVI: desarrollo de tecnologías limpias para el uso de anhídrido sulfuroso en la conservación de fruta de exportación²

a) *Presentación de la empresa*

El origen de la empresa se remonta a 1936, año en que se fundó la industria química Romero y Cía. A mediados de los años cuarenta, esta compañía se vinculó con la firma Raab Rochette Roca y Cía. Ltda. con el objeto de fabricar productos químicos para la industria vinícola.

² Sobre la base de Cristián Raab (Productos Químicos y Vinícolas y Cía. Ltda (PROQUIVI)), *Empresas líderes en desarrollo, aplicación y difusión de tecnologías ambientalmente racionales en América Latina: el caso del desarrollo de tecnologías para la gasificación de uva de exportación por la empresa PROQUIVI, Chile (LC/R.1247)*, Santiago de Chile, CEPAL, 18 de enero de 1993.

Como consecuencia, el anhídrido sulfuroso, producto de uso corriente en esta industria, adquirió bastante importancia en el programa de producción. En los primeros años de la década de los setenta, la empresa cambió su nombre a Productos Químicos y Vinícolas y Cía. Ltda. (PROQUIVI). A principios de los años ochenta, la firma se convirtió finalmente en propiedad de cuatro socios, uno de los cuales asumió la gerencia, el señor Cristián Raab, ingeniero mecánico de profesión. Fue entonces cuando surgió la idea de desarrollar nuevas tecnologías que permitieran a los clientes de la empresa mejorar el uso del anhídrido sulfuroso.

b) Descripción de las nuevas tecnologías

Con el objeto de prevenir una infección con el hongo *Botrytis Cinerea*, la uva de exportación se expone tradicionalmente a una atmósfera cargada de anhídrido sulfuroso antes de proceder a su acondicionamiento y embalaje. Este proceso, que se efectúa convencionalmente en cámaras de gasificación, comprende las siguientes operaciones: primero, se carga una cámara con uva cosechada, utilizando para ello un carro de transporte que trae las cajas cosechadoras desde el parronal. Tras cerrar la cámara, se inyecta anhídrido sulfuroso y se hacen funcionar ventiladores de circulación interna durante un cierto tiempo, para generar una atmósfera modificada. Una vez terminado el proceso, se abre una escotilla para evacuar los gases de la cámara. En el caso de una cámara típica, esta práctica implica una pérdida de anhídrido sulfuroso de aproximadamente 90%, lo cual redundaría en perjuicios económicos para el productor o exportador de uva, en daños ecológicos del entorno y en riesgos de salud para los trabajadores de la planta de embalaje. Además, como la uva gasificada se manipula nuevamente durante el embalaje, está expuesta a nuevas infecciones. Finalmente, 10% de la uva gasificada se descarta por presentar defectos o daños. En el sistema tradicional, el anhídrido sulfuroso necesario para crear la atmósfera modificada se dosifica mediante un cilindro de acero instalado sobre una balanza, procedimiento que ofrece poca confiabilidad y precisión. Existe una alta probabilidad de inyectar una cantidad de gas mayor o menor que la requerida, lo que afecta la eficiencia del proceso y la uniformidad de la calidad del producto.

El conocimiento de esta realidad dio origen al desarrollo de dos tecnologías que se materializaron en el diseño, fabricación e introducción en el mercado de dos aparatos, el Sulfodosificador y el Dosigas. El Sulfodosificador es un dispositivo que reemplaza ventajosamente el sistema de dosificación por pesaje con balanzas, es más fácil de manejar, altamente confiable y permite la aplicación de dosis precisas. Además,

resulta más barato que una balanza. El Sulfodosificador consiste en un cilindro de vidrio graduado con una capacidad de 1.5 kg, sellado en ambos extremos por tapas metálicas. El diseño debía responder a exigencias técnicas bastante elevadas, ya que para mantener el anhídrido sulfuroso en estado líquido el cilindro de vidrio tenía que ser capaz de resistir presiones de hasta seis atmósferas. Además, se requería que el aparato fuera confiable, a prueba de filtraciones y seguro contra explosiones. En un período de tres años la empresa logró desarrollar un producto que respondía plenamente a esas exigencias. En 1986, el Sulfodosificador se registró como modelo industrial en Chile. Su éxito comercial y su desempeño operativo superaron sobradamente las expectativas y, en los cinco años siguientes a su lanzamiento, se vendieron más de mil unidades y no se informó de ningún accidente.

El buen resultado obtenido con el Sulfodosificador indujo a la gerencia de la empresa a intensificar los esfuerzos de investigación y desarrollo en el campo de la gasificación de uva de exportación. Una idea innovadora fue la de utilizar la misma caja de uva embalada como cámara de gasificación. Para ello era necesario introducir en la caja, sin evacuarlo posteriormente, gas en cantidad suficiente como para crear la atmósfera modificada que estipula la práctica común.³ El aparato que se diseñara debía responder a varios requisitos. Primero, tenía que permitir la dosificación precisa de cantidades muy pequeñas de gas, por ejemplo 50 cm³, equivalentes a 0.18 gr en condiciones atmosféricas normales. Luego, los componentes en contacto con el anhídrido sulfuroso debían ser resistentes a su agresividad química. Además, había que encontrar una forma adecuada y práctica de introducir el gas dentro de las cajas de exportación. Por último, el proceso tenía que ser eficiente para poder tratar, por ejemplo, de 700 a 800 cajas por hora.

A partir de esos requisitos se desarrolló un sistema que fue denominado "gasificación caja por caja", y el equipo correspondiente, el Dosigas. Éste consta básicamente de un gabinete con los siguientes elementos: un depósito de gas, que normalmente es un Sulfodosificador; un sistema dosificador electrónico graduable para cantidades que varían entre 0 y 80 cc; un mezclador de gas con aire y un compresor; una fuente de poder de 220/12 V con un rectificador CC/CA; una tarjeta impresa con un programa electrónico del ciclo de aplicación y una pistola con lanza o aguja para pinchar las bolsas que envuelven la uva dentro de las cajas. El aparato fue registrado en 1988 como patente de invención en el país. En comparación con el sistema de gasificación en cámara, no hay emisión de gas a la atmósfera, lo que significa un aprovechamiento

³ Esta cantidad se calcula mediante la fórmula de Nelson; la concentración recomendada de anhídrido sulfuroso es igual a 0.5%.

de 100% del anhídrido sulfuroso. El número de aparatos utilizados industrialmente aumentó de ocho unidades en la temporada 1989/1990, a 30 unidades en la de 1991/1992 y a fines de ese último año estaba en proceso de fabricación una serie de 50 aparatos.

Además de las ventajas económicas y ecológicas mencionadas anteriormente, la gasificación caja por caja tiene otras características que permiten asegurar una mejor calidad del producto exportado y una más alta eficiencia operativa. Así, la innovación se distingue por una uniformidad total de la gasificación, mientras que en la cámara el efecto sobre la uva es variable, dependiendo de su ubicación espacial en el interior; luego, con el Dosigas la uva no es manipulada después de la gasificación y, por lo tanto, no está expuesta a una nueva infección; además, se esterilizan los materiales de embalaje dentro de las cajas; por último, con el nuevo procedimiento es posible eliminar la fase rápida de los sobres emisores de anhídrido sulfuroso del tipo "Preserva Uvas" que se colocan en las cajas de exportación.

En el anexo a este informe se presenta una estimación del ahorro que significa la gasificación caja por caja en comparación con el sistema tradicional de las cámaras. Los resultados de este ejercicio indican que la inversión en un equipo Dosigas se amortiza normalmente en dos temporadas de cosecha, e incluso en menos tiempo, según las circunstancias. Hasta fines de la temporada frutícola 1991/1992 se habían tratado más de 3 millones de cajas de exportación con el nuevo sistema. El total de los despachos fue recibido sin un solo rechazo en el lugar de destino, hecho que avala la plena satisfacción de los usuarios.

c) *La gestión tecnológica*

Las investigaciones dirigidas al mejoramiento del proceso de gasificación de uva de exportación fueron iniciadas por varios motivos. En primer lugar, existió una voluntad de dar servicio a los usuarios de uno de los productos principales de la empresa, el anhídrido sulfuroso, empleado para gasificar la uva de exportación. Esta aspiración trascendía el afán inmediato de ser un proveedor confiable. Cuando la gerencia de PROQUIVI conoció los procesos de acondicionamiento de la uva de exportación en las plantas de embalaje, no tardó en darse cuenta de que el rendimiento del anhídrido sulfuroso utilizado en la gasificación era extraordinariamente bajo, con el agravante de que las emisiones de este gas a la atmósfera provocaban un visible daño ecológico en el entorno. Además, la competencia entre los proveedores del gas era intensa, lo que se reflejaba en los márgenes de comercialización y alentaba la búsqueda de negocios alternativos. Surgió entonces, primero, la idea de optimizar el procedimiento de inyección del gas a las cámaras de gasificación y,

luego, el concepto bastante más original de modificar el proceso, utilizando las cajas de exportación, una vez embalada la uva, como cámaras de gasificación en miniatura. El paso de las ideas a las actividades de investigación y desarrollo tecnológicos fue facilitado por el hecho de que el gerente de la empresa era ingeniero mecánico, con una dilatada experiencia en la industria metalúrgica y metalmeccánica del país.

Para el diseño y la construcción de ambos aparatos fue necesario llevar a cabo las siguientes actividades de investigación y desarrollo: cálculo de los parámetros fundamentales de los sistemas, tales como cantidades, presiones y caudales teóricos del gas; diseño funcional y especificación de los materiales y componentes; estudio de las opciones de abastecimiento: fabricación, compra de componentes de catálogo y normalizados o subcontratación; diseño y fabricación de algunos componentes críticos; construcción de los prototipos, experimentación en el taller y pruebas en el terreno; investigación y corrección de fallas y, por último, simplificación del diseño y eliminación de componentes prescindibles. Una de las dificultades técnicas que hubo que superar durante el desarrollo del Dosigas fue el de la corrosión de la válvula principal por efecto del anhídrido sulfuroso. Originalmente, esta válvula era un producto de catálogo adquirido en el mercado, pero al detectarse problemas de corrosión durante el funcionamiento de los aparatos, se modificó el diseño de la pieza y se procedió a fabricarla bajo responsabilidad propia.

El desarrollo del Sulfodosificador requirió tres años de investigación y trabajo; en cambio el del Dosigas, que es tecnológicamente más complejo, demoró cinco años. El distinto grado de originalidad entre ambos aparatos se refleja en las formas de su registro como propiedad intelectual: el Sulfodosificador fue registrado como modelo industrial, mientras que el Dosigas obtuvo una patente de invención. La gasificación caja por caja representa una innovación mayor que el cambio del aparato dosificador utilizado en el sistema de las cámaras de gasificación. Por consiguiente, la comercialización del Dosigas ha planteado mayores desafíos.

En el marco del proyecto de gasificación caja por caja se contrataron dos estudios con centros nacionales de investigación tecnológica: el Laboratorio de Post Cosecha de la Facultad de Agronomía de la Pontificia Universidad Católica de Chile y la Fundación Chile. La finalidad de ambos estudios fue establecer la validez del sistema de gasificación caja por caja como alternativa a la gasificación en cámara. Otro propósito era determinar en forma experimental la cantidad exacta de gas que se debía inyectar a una caja de exportación para asegurar la protección sanitaria de su contenido. Uno de los estudios se benefició del apoyo otorgado a la empresa por el Fondo Nacional de Desarrollo

Científico y Tecnológico (FONDECYT). El desarrollo de las tecnologías de gasificación fue bastante oneroso para PROQUIVI. Los trabajos estuvieron a cargo del gerente de la empresa y de un pequeño equipo de técnicos mecánicos y eléctricos. Además, se contó con un taller electromecánico para la construcción y prueba de los prototipos. Como ya se ha comprobado la validez de la innovación en el campo de la gasificación de uva de exportación, la empresa proyecta profundizar los estudios con el objeto de afinar la tecnología en beneficio de los usuarios y el medio ambiente.

Apéndice

Comparación de costos entre los sistemas de gasificación en cámara y caja por caja

A. En cámara

En una cámara típica se gasifican:

50 cajas cosecheras, que representan	<i>Kg de uva</i>
Menos: uva rechazada (10%)	650
	- 65
	585

Aplicando la fórmula Nelson, para 585 kg de uva de exportación se requiere 0.141 kg de gas SO₂ y para 1 000 cajas de exportación, equivalentes a 8 200 kg de uva, 1.976 kg de SO₂. De esta última cantidad, 1.623 kg se pierden en el ambiente, 0.225 kg queda adherido a las cajas y sólo se aprovecha 0.128 kg.

Cálculo para 1 000 cajas:

	<i>Dólares</i>
1.976 kg SO ₂ a 0.85 dólares por kg	1.68
1 000 generadores (2 fases)	10.00
	11.68

B. Caja por caja

	<i>Dólares</i>
0.128 kg a 0.85 dólares por kg	0.11
1 000 generadores (1 fase)	7.00
	7.11

De acuerdo con estos cálculos, el segundo sistema de gasificación permitiría una economía de 4.57 dólares por cada mil cajas.

El costo de un equipo Dosigas es de 2 000 dólares; por consiguiente, se financia con la gasificación de 437 mil cajas, lo que representa 625 horas de trabajo, vale decir, dos temporadas.

En la comparación no se contabilizaron las economías adicionales con respecto a necesidades de mano de obra y tiempos muertos que implicaba el sistema tradicional de gasificación en cámara.

Además, la inversión que requiere una cámara de gasificación bien construida es 40% superior al costo de un Dosigas.

3. ALUAR: desarrollo de tecnologías electrometalúrgicas y adopción de sistemas de gestión sustentable⁴

a) *Sustentabilidad ambiental en la industria del aluminio*

i) *El proceso Hall-Heroult.* Desde su descubrimiento y patentación hace ya 106 años, el método de producción del aluminio primario ha experimentado una sucesión casi continua de innovaciones, pero ninguna de ellas revolucionaria. Así, los avances se han centrado en el aumento del tamaño de las celdas electrolíticas, la automatización del control del proceso y la captación y recuperación de los efluentes. Puesto que en esta industria el número de unidades de producción (reactores electroquímicos, celdas o cubas de electrólisis) es muy grande, una modesta contribución al mejoramiento del proceso en una celda puede redundar en considerables ganancias económicas a nivel de la planta en su conjunto.

El proceso para la obtención del aluminio consiste en la electrólisis de una solución fundida de alúmina en criolita, a la cual se le agregan aditivos, principalmente AlF_3 y CaF_2 , para hacer descender el punto de fusión de la mezcla. Como ánodos se emplean electrodos de carbón que, debido a que se consumen durante el proceso, tienen que cumplir requisitos de pureza muy estrictos. El cátodo lo constituye el aluminio líquido, más denso que el electrólito fundido, que yace en el fondo de la cuba. El fondo y las paredes de la cuba son de bloques de carbono convenientemente dispuestos y ligados entre sí por medio de una pasta de carbono, para así configurar un recipiente hermético. El conjunto está

⁴ Sobre la base de Jorge Ares, Alfredo Calandra y Osvaldo Cobo (ALUAR, Aluminio Argentino S.A.I.C.), *Empresas líderes en desarrollo, aplicación y difusión de tecnologías ambientalmente racionales en América Latina: el caso de ALUAR, Aluminio Argentino S.A.I.C.* (LC/R.1275), Santiago de Chile, CEPAL, 15 de junio de 1993.

contenido en una fuerte estructura metálica aislada térmica y eléctricamente de los bloques de carbono. La electrólisis, que se realiza a temperaturas cercanas a los 960°C, genera dióxido de carbono en el ánodo y aluminio líquido en el cátodo. La corriente eléctrica no sólo produce las transformaciones químicas en las interfases anódica y catódica, sino también el calor necesario para mantener fundido el sistema. El balance térmico se mantiene mediante la regulación de la distancia entre el ánodo y el cátodo.

La alúmina es introducida a la cuba en forma discontinua. La cantidad de alúmina que se agrega al baño en cada operación y la frecuencia de las cargas dependen de los métodos adoptados para ejecutar la tarea. La alúmina ingresa al baño electrolítico y se disuelve en éste ayudada por la agitación que produce el desprendimiento gaseoso en los ánodos y por el movimiento de los fluidos impulsados por la interacción de elevados amperajes e intensos campos magnéticos. Si la alúmina que se consume en forma continua en la reacción electroquímica no es repuesta en el momento oportuno, el voltaje de la cuba evoluciona (la corriente de la serie permanece esencialmente constante) hasta permitir la descomposición del electrolito. Se produce así el llamado "efecto anódico", porque la descarga de productos fluorados en el ánodo provoca una especie de pasivación que hace que el voltaje crezca en un orden de magnitud, consumiendo una gran cantidad de energía. El efecto anódico es extinguido mediante el agregado de alúmina fresca y una conexión transitoria de la cuba en cortocircuito. Normalmente, en cada cuba se producen dos efectos anódicos por día, si el agregado de alúmina es masivo, caso en el que ésta no se disuelve totalmente. Como el efecto anódico reduce la acumulación de alúmina no disuelta, en la industria es usado corrientemente, a pesar de su elevado costo energético. En la empresa ALUAR se estudió extensamente el mecanismo desencadenante del efecto anódico, así como sus características prácticas; los resultados de esos trabajos se han dado a conocer en diversas publicaciones.

ii) *Orígenes de la protección ambiental en la industria del aluminio.* Las primeras plantas producían pequeñas cantidades de aluminio en cubas de baja eficiencia. En la década de los treinta, comúnmente la capacidad anual de las plantas de aluminio todavía era de unos pocos miles de toneladas. A partir de 1935, las mejoras introducidas en el diseño de los reactores y el extraordinario atractivo que adquirió el aluminio por su capacidad para reemplazar numerosos otros materiales, hicieron posible que aumentara el tamaño medio de las plantas hasta alcanzar capacidades del orden de las 50 000 toneladas por año. En la misma época, en Europa y Estados Unidos, se observó que los humos emanados del proceso de electrólisis podían dañar la vegetación circundante. Sin embargo, nunca se detectaron casos en los

cuales se hubiera visto comprometida la salud de la comunidad local o de las personas ocupadas en el proceso.

Como consecuencia de la detección temprana de estos inconvenientes, en la industria se hizo habitual analizar los efectos externos de sus efluentes. Al mismo tiempo, se comenzaron a desarrollar sistemas de tratamiento de humos para reducir su contenido de compuestos fluorados. Las primeras tentativas se centraron en el uso de nieblas de agua para interceptar la corriente de humos y abatir parte de sus componentes sólidos y gaseosos. Sin embargo, la eficiencia de estos sistemas era baja y, además, se generaban residuos líquidos de difícil disposición, cuya toxicidad impedía que fueran descargados en cursos de agua de uso múltiple, especialmente si éstos eran fuentes de agua de consumo.

La solución definitiva al problema de las emisiones de materiales fluorados se encontró al considerar la posibilidad de recuperarlos y reutilizarlos como materia prima en el proceso de electrólisis. El equipo para este proceso consta de un reactor donde la corriente de humos se pone en contacto con un lecho fluidificado de alúmina "fresca", de modo tal que los gases fluorados se absorben en sitios activos de la misma y de sus impurezas de sodio. Los componentes particulados de los humos son retenidos por medio de filtros de manga convencionales. Durante los años sesenta se desarrollaron e incorporaron a este proceso algunas variantes de ingeniería, lo que en la década siguiente provocó una rápida difusión de los sistemas "secos" de control de los humos de electrólisis. La extensión de esta tendencia al resto del mundo determinó que en la actualidad existan sólo muy pocas plantas que aún no cuentan con sistemas de abatimiento de humos. Esto sucede únicamente en lugares poco poblados, con explotaciones agrícolas de baja intensidad en las inmediaciones de las plantas industriales y con predominio de condiciones meteorológicas favorables a la dispersión de las emisiones, casos que se dan, por ejemplo, en Europa del este. Sin embargo, incluso estas plantas industriales tendrán que adoptar sistemas de control en un futuro cercano, considerando la necesidad de conservar el clima global.

b) *Las características del proyecto ALUAR y la política empresarial sobre medio ambiente y desarrollo sustentable*

i) *La gestión del proyecto.* El proyecto ALUAR fue concebido durante los primeros años de la década de los setenta, cuando la tecnología de los sistemas secos estaba en proceso de desarrollo y ya existía consenso acerca de las limitaciones de los sistemas húmedos de retención. Al mismo tiempo, se empezaba a percibir que otros desarrollos de ingeniería destinados a mejorar el control del proceso de

electrólisis y a aumentar la eficiencia del uso de energía en las cubas electrolíticas iban a hacer necesario modificar la estructura de las cubas, hasta entonces relativamente simple, para lograr todos esos propósitos en forma simultánea. En la planta de ALUAR la alúmina era descargada originalmente en el costado lateral de las cubas, sobre la costra de baño endurecida, utilizando para esto vehículos con recipientes de almacenaje. Desde allí ingresaba al baño con ayuda de otro vehículo provisto de un pistón neumático que rompía la costra (alimentación lateral). Esta tarea se repetía en todas las cubas cada dos horas, lo que producía alteraciones cíclicas importantes de los parámetros de marcha del proceso.

En ALUAR las cubas operan con una corriente de 163 000 amperios y están distribuidas en cuatro salas de electrólisis, que sumadas tienen una longitud de dos kilómetros y medio. Esto permite formarse una idea de la magnitud del movimiento de materia prima que hay que realizar, ya que en cada cuba se producen diariamente 1 200 kg de aluminio y se consumen 2 100 kg de alúmina y unos 500 kg de carbón de los ánodos. De acuerdo con estas condiciones, el proyecto ALUAR se concibió desde sus comienzos con miras a efectuar una transferencia ordenada de tecnología en los años venideros. Las instalaciones de la planta debían ser suficientemente flexibles como para poder incorporar los nuevos métodos de control de proceso a medida que éstos fueran probados por la experiencia de otros productores de aluminio primario. Con el doble propósito de incorporar tecnología en forma sistemática y de desarrollar componentes tecnológicos intermedios que pudiesen ser producidos localmente, se creó una importante capacidad profesional y técnica. Fue así que se formó la Gerencia de Investigación y Desarrollo y se contrató a cerca de 50 profesionales con experiencia, reclutados en centros de investigación de excelencia, tanto en el país como en el exterior.

Entre sus diversas instalaciones, la planta de ALUAR cuenta con 400 cubas electrolíticas ubicadas en cuatro salas. Además, dispone de laboratorios de investigación y desarrollo y de control de calidad. La primera colada de metal se realizó en 1974. En 1978 entró en servicio la central hidroeléctrica de Futaleufú y, al año siguiente, la planta de ALUAR alcanzó su plena capacidad de producción. Como resultado de la incorporación de tecnología en el control y operación de las cubas y en otras áreas del proceso, en los años siguientes la producción aumentó 22%, aproximadamente. De este modo, la capacidad actual de la planta es de 170 000 toneladas anuales de aluminio. Dado que en la Argentina no existía una industria que produjera alúmina primaria, fue necesario prever la importación de ese material en condiciones económicas, por un puerto de aguas profundas, con bajos costos operativos. Estas consideraciones determinaron que se seleccionara la costa patagónica

norte para construir el muelle Almirante Storni en el interior del Golfo Nuevo, junto a la ciudad de Puerto Madryn, 1 350 km al sur de Buenos Aires. Además, esta localización permitía utilizar energía hidroeléctrica generada por la central de Futaleufú, ubicada en la región cordillerana, al sur de la provincia de Chubut. Cabe recordar que ese momento ya se habían producido las primeras crisis de abastecimiento de minerales energéticos fósiles, lo que hacía prever que la producción de aluminio no sería posible en el futuro sin recurrir a la energía hidroeléctrica.

ii) *Principios y procedimientos de gestión ambiental.* La innovación en ALUAR no es producto del esfuerzo de un área aislada de la empresa, sino de una planificación cuidadosa y de acciones orientadas a introducir cambios en los planos tecnológico, estructural, gerencial y de infraestructura, entre otros. Las metas de este proceso son aumentar la eficiencia de las operaciones, asegurar la rentabilidad de las inversiones, fortalecer la capacidad de crecimiento y competitividad internacional de la empresa y, además, proteger el medio ambiente. Dos de los objetivos fundamentales de la empresa son mantener su capacidad de exportación y defender de la competencia externa su posición en el mercado interno.

En ALUAR, la protección ambiental forma parte de las actividades de investigación y desarrollo tecnológicos. Por una parte, la adopción de criterios y estándares definidos en otros países debe ser guiada por el conocimiento básico de la ecología local y de sus elementos singulares; por la otra, ante la gama de los nuevos adelantos mundiales, es necesario incorporar aquellos que la propia percepción de los problemas ambientales identifica como pertinentes. Estas consideraciones fueron la base de los principales criterios que orientaron el desarrollo de las innovaciones de ALUAR, como se verá más adelante,

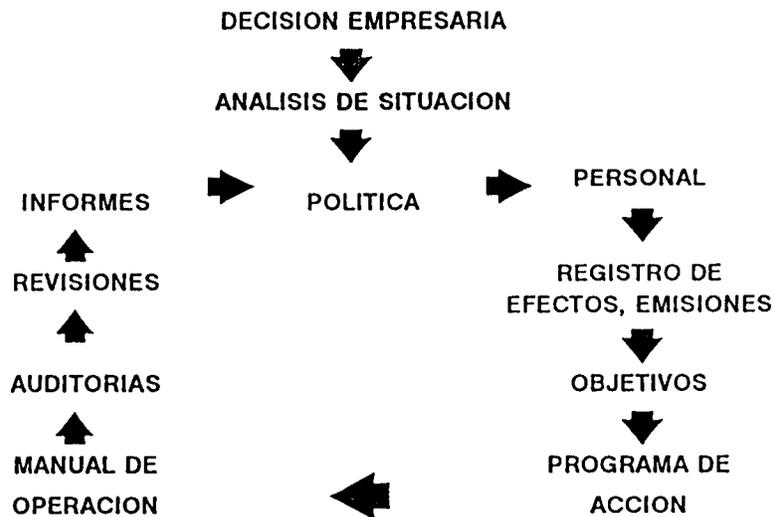
Desde un principio, la dirección de la compañía adoptó una clara posición con respecto a la protección del medio ambiente. Por consiguiente, se implantó un sistema de gestión ambiental en la empresa y se otorgó una alta prioridad a las inversiones destinadas a proteger en forma efectiva el medio ambiente. Además, se formuló una política que implica el compromiso de todo el personal de la planta de Puerto Madryn, desde la gerencia de planta hasta el último nivel operacional. En la declaración que hace la empresa sobre su política ambiental se indica que la protección ambiental, por su importancia, deberá ser considerada en todas las actividades que la empresa realice, y que se tomarán las acciones necesarias que permitan cumplir o preceder a las disposiciones o leyes ambientales. Además, se expresa que se cooperará con las autoridades responsables del medio ambiente para desarrollar leyes y estándares ambientales efectivos y adecuados a cada necesidad. Finalmente, se puntualiza que es responsabilidad de todos los empleados de ALUAR comprender y promover esta política, así como ayudar a su implementación.

Esta declaración contiene varios conceptos fundamentales para una operación industrial ambientalmente sostenible. En primer lugar, se reconoce que todas las actividades de la empresa son potencialmente importantes desde el punto de vista ambiental. Esto hace posible establecer normas administrativas sobre actividades que, en principio, no estarían relacionadas con la ingeniería clásica de saneamiento. Por ejemplo, es esencial que en el área de mantenimiento de la planta se prevean mecanismos de respuesta rápida para dar atención prioritaria a determinadas áreas de operación, tales como las instalaciones de control de efluentes o las de transporte de materias primas desde el muelle hasta el recinto de la fábrica. Otro sector del cual depende en alto grado el desempeño ambiental de las operaciones es el de los suministros, ya que es por intermedio de esta gerencia que se toman las decisiones relativas al transporte de materias primas y de productos secundarios. También son muy relevantes para la protección del medio ambiente áreas tales como las de proyectos, métodos, control de calidad e ingeniería de procesos. El gráfico 9 muestra el ciclo administrativo para la adopción de decisiones relativas a la gestión ambiental en ALUAR.

En segundo lugar, la política ambiental de la empresa determina que las medidas correctivas deben tender a anticiparse a la ley escrita. Este principio está orientado a procurar el cambio de aquellas condiciones operacionales que en otros países ya hayan sido reconocidas como inaceptables a la luz de los avances científicos y tecnológicos. Como la legislación ambiental en la Argentina acusa un rezago con respecto a las normativas ambientales de países con mayor experiencia industrial, la compañía ha tenido que incorporar, en calidad de normas internas, criterios y límites de emisión que aún no están consagrados en la legislación nacional. Es por este motivo que en ALUAR el control ambiental fue concebido como una actividad de investigación y desarrollo, criterio que ha permitido incorporar rápidamente los adelantos suscitados por la creciente percepción científica de efectos ambientales hasta hace poco inadvertidos.

En tercer lugar, la política ambiental de ALUAR establece que todos sus empleados deben cooperar con las autoridades responsables del medio ambiente. Esta directriz implica un reconocimiento de que la autoridad que regula el área ambiental actúa en función de intereses comunes (salud, calidad de vida), que coinciden con los intereses individuales de las personas que trabajan en la compañía. En un mundo crecientemente consciente de sus límites ambientales, no es posible lograr un clima laboral de excelencia si el personal de la empresa percibe que este tipo de valores están en riesgo. Éste es el punto en el que el control ambiental se convierte en un elemento más de la gestión de calidad total. Si la industria coopera con otras entidades en la elaboración de la normativa ambiental, se puede aprovechar su profundo conocimiento de

Gráfico 9
EL SISTEMA DE GESTIÓN AMBIENTAL DE ALUAR



Fuente: ALUAR.

los procesos y su experiencia en otras materias, lo cual conduce finalmente a la formulación de reglas claras y efectivas.

En el marco de esta política, en 1974 se creó el Departamento de Investigación Ambiental, adscrito a la Gerencia de Investigación y Desarrollo. Su función es incorporar a la gestión y operación de la empresa los adelantos que se van produciendo en materia de criterios de evaluación del impacto ambiental, como consecuencia de una percepción e interpretación cada vez mejor de los efectos de las actividades industriales en el medio ambiente. Como las interacciones con el ambiente están fuertemente determinadas por las condiciones ecológicas locales, es necesario efectuar prospecciones y estudios del medio circundante, a fin de que esta incorporación de criterios y estándares tenga una justificación racional y trascienda la mera adopción rutinaria de preceptos formulados para otras regiones o circunstancias.

En el Departamento de Investigación Ambiental laboran actualmente cuatro personas y cuenta con un presupuesto anual cercano a los 200 000 dólares. Los primeros análisis ambientales se centraron en diversos compartimientos ambientales, en los que se tomaron muestras del aire, suelos, vegetación, aguas costeras y sedimentos. La finalidad de los trabajos era conocer las concentraciones habituales de elementos que se dan naturalmente y que, a la vez, son componentes de las materias

primas o de los efluentes característicos de la industria, tales como el aluminio y sus óxidos, los compuestos inorgánicos fluorados y las sustancias orgánicas semivolátiles.

Como parte de sus actividades de cooperación para minimizar los impactos secundarios de la planta de ALUAR, es decir, de aquellos generados por otras operaciones iniciadas a raíz de la instalación de dicha planta en Puerto Madryn, recientemente ALUAR ha establecido contactos a nivel técnico con los organismos nacionales de investigación ecológica que trabajan en esa localidad, con diversas agrupaciones conservacionistas de la región y con las autoridades de fiscalización ambiental del territorio de Chubut. El propósito de estas acciones es llegar a constituir un foro técnico mixto que pueda formular criterios adicionales para la estimación del impacto ambiental de diversas actividades que se realizan en el ámbito local. Algunos temas de una futura agenda de cooperación son la conservación del paisaje, la planificación de la construcción urbana, el uso ordenado de las áreas costeras, y la conservación de la vegetación y de la fauna.

Hasta ahora, en la literatura internacional se han publicado una veintena de trabajos científicos sobre distintos aspectos atinentes al impacto ambiental de la producción de aluminio en Puerto Madryn. Esto tiene por finalidad fomentar el intercambio de experiencias técnicas y el desarrollo de criterios que conduzcan a la adopción de una política ambiental proactiva dentro de la industria. ALUAR, conjuntamente con otras empresas líderes en el ámbito internacional, son miembros del Comité Ambiental del Instituto Internacional del Aluminio Primario (IPAI), con sede en Londres. El Comité Ambiental del IPAI, que mantiene una activa relación con diversos organismos internacionales en materia de protección del medio ambiente y desarrollo sostenible, ha contribuido a la formulación de los criterios adoptados al respecto por el PNUMA en 1982 y la ONUDI en 1992.

c) *Adopción y desarrollo de nuevas tecnologías de proceso y modalidades de gestión ambientalmente racionales*

i) *Innovaciones en materia de procesos: el sector de electrólisis.*

En el curso de los años se ha introducido una serie de innovaciones en el sector de electrólisis, que constituye el proceso medular de la elaboración del aluminio. Algunos de los avances más importantes se refirieron a las aplicaciones de modelación matemática, la alimentación puntual de cubas, el control automático, los cerramientos de cubas y el tratamiento de humos.

En el área de las aplicaciones de modelación matemática se realizó una serie de estudios sobre la estabilidad magneto-hidrodinámica de los

fluidos dentro de la cuba, cuyos resultados indicaron que era posible mejorar su funcionamiento. En efecto, los campos magnéticos creados por la corriente eléctrica que circula por los conductores interactúan con la corriente que atraviesa el baño electrolítico y el cátodo de aluminio fundido, generando fuerzas que ponen en movimiento los líquidos contenidos en la cuba. Este movimiento provoca una pérdida de la eficiencia de la corriente y, por consiguiente, de la productividad.

Desde los primeros años de funcionamiento de la planta de ALUAR se ha trabajado en modelos de simulación que representan las complejas interacciones entre los componentes eléctricos, magnéticos, fluidodinámicos, térmicos y de transporte de masa que se producen dentro de la cuba. Gran parte de los resultados de estos trabajos fueron publicados en la literatura técnica. En la práctica, se ejecutaron dos proyectos basados en el uso de los modelos eléctrico y magneto-fluidodinámico, ambos con resultados muy satisfactorios. Por una parte, se corrigieron algunas distorsiones magnéticas que formaban parte del diseño original de la cuba. Esto se logró mediante la incorporación de un circuito eléctrico adicional de compensación magnética, independiente del de la serie electrolítica. Este nuevo circuito rodea las cubas y sus características fueron definidas por el modelo. De esta manera se obtuvo una mayor estabilidad de marcha, lo que aumentó la eficiencia de la corriente en 2% y redujo el consumo de energía eléctrica en 1 000 Kwh por tonelada de aluminio, aproximadamente. Como consecuencia de esta modificación respecto del consumo de energía y con el fin de mantener el balance entre el calor entregado a la cuba y el disipado por la periferia de la misma, fue necesario remodelar la aislación térmica. Esto provocó una relocalización de las isoterms en el interior del fondo catódico, lo que redujo las posibilidades de que éste se dañara e incrementó la vida útil media de las cubas.

El segundo proyecto basado en la modelación matemática consistió en completar la segunda serie electrolítica, que sólo contaba con 184 cubas, si bien el edificio estaba en condiciones de albergar 200, como en el caso de la primera serie. Se planteó la idea de lograr la misma situación magneto-hidrodinámica que en el resto de la sala, pero sin recurrir a circuitos adicionales de compensación, sino por la vía de definir una configuración apropiada de los conductores. Mediante sucesivas aproximaciones fue posible diseñar y construir las denominadas "cubas autocompensadas". Éstas demostraron un mejor aprovechamiento de los materiales y la energía; en una prueba que duró más de cuatro años, se comprobó que estaban en condiciones de funcionar con un rendimiento similar al del resto de las cubas.

El proyecto sobre la alimentación puntual de las cubas se relacionó con el tema de la modelación matemática. La disponibilidad de cubas con

un adecuado grado de estabilidad magnética sirvió de base para incorporar un método de alimentación de alúmina con las siguientes características:

- fácil de automatizar (elimina operaciones manuales y con vehículos);
- permite la dosificación en pequeñas cantidades (evita las perturbaciones y reduce la frecuencia de aparición de los efectos anódicos);
- se puede ejecutar por la zona central de la cuba (posibilita cerramientos de alta eficiencia de captación) en cuatro puntos (alimentación puntual);
- requiere recipientes fijos, que puedan ser recargados diariamente, instalados en cada cuba para que sirvan como depósitos de alúmina.

Los primeros equipos de rotura y alimentación puntual se construyeron en 1984. Estos prototipos fueron luego perfeccionados hasta llegar al modelo final. La clave de la innovación fue compatibilizar el limitado espacio disponible con las exigencias impuestas al equipo por el proceso y por la capacidad del sistema de provisión de alúmina desde los silos. La estructura portante de los equipos, que se apoya en las columnas ubicadas entre las cubas, sirve para captar los humos emitidos por éstas y enviarlos al sistema de extracción de gases. Sobre dicha estructura van colocadas dos tolvas de alúmina, de dos toneladas de capacidad cada una, y otra más pequeña para los aditivos del baño electrolítico. Cada tolva de alúmina está provista de dos pistones rompecostras y dos válvulas dosificadoras de alúmina, todos accionados neumáticamente.

La tolva de aditivos posee dos dosificadores similares a los que llevan las de alúmina. Estos dosificadores constituyen una característica novedosa del diseño mecánico de los equipos de alimentación puntual. Cada cuba ALUAR utiliza seis de estos sistemas, cuatro para la alúmina y dos para los aditivos. Los dosificadores, cuando reciben la señal del sistema de control automático, deben descargar cantidades precisas de mineral en los puntos de alimentación. Para lograr este efecto, en ALUAR se desarrolló un nuevo concepto basado en el principio de fluidificación del mineral. Esta operación tiene lugar dentro de un recipiente de forma adecuada y permite una alimentación aún más precisa que los dosificadores convencionales. Como es sencillo, el nuevo equipo no está sujeto a desgaste y tampoco requiere mantenimiento. Si se considera que en la planta hay 2 400 dosificadores que operan simultáneamente, es fácil percibir las ventajas del nuevo sistema.

En cuanto al tema del control automático, puede observarse que ciertas operaciones en la cuba electrolítica han sido automatizadas por

medio de un conjunto de microcomputadoras y mecanismos desarrollados específicamente para reemplazar el control que habitualmente se realiza en forma manual y con el apoyo de vehículos y puentes grúa. Junto con el cerramiento de las cubas, este sistema permite captar los humos para enviarlos a la planta de tratamiento. La estructura del sistema de control automático de las cubas está distribuida y jerarquizada, con dos niveles de control. El sistema fue diseñado en forma conjunta por FATE Electrónica y ALUAR. Los programas de control instalados en la memoria de los microprocesadores tienen por objeto mantener la concentración de alúmina disuelta dentro de un estrecho rango de valores y, a la vez, controlar la distancia entre el ánodo y el cátodo de la cuba. El algoritmo también toma a su cargo el mantenimiento de la composición del baño, para lo cual establece la frecuencia del agregado de aditivos desde la tolva correspondiente sobre la base de los análisis de laboratorio y los consumos históricos de cada cuba.

Los resultados obtenidos muestran una disminución de las variaciones de temperatura que en el pasado estuvieron vinculadas a cambios en el contenido de alúmina y en la composición del baño. El número actual de efectos anódicos es de uno en cuatro días y se aprecia un descenso de la tensión de marcha de unos 50 mv. Todos estos avances han permitido mejorar en casi 2% el rendimiento de la corriente y el consumo de energía ha bajado en 500 Kwh por tonelada de aluminio.

Sobre la base de la experiencia ganada con el control automático de cubas de rotura lateral se procedió a plantear las estrategias de control que serían deseables en el marco de la nueva tecnología. El uso sistemático de simuladores de proceso facilitó enormemente los desarrollos en esta área. Estos equipos generan señales equivalentes a las de una cuba de electrólisis (simulación de cuba) y, simultáneamente, transmiten dichas señales a un sistema de control. Este último debe ser capaz de ejecutar acciones de control (como modificar la alimentación de Al_2O_3 o la distancia ánodo-cátodo) en respuesta a la interpretación de las señales ingresadas. El sistema de simulación de cuba, a su vez, es capaz de modificar las señales que genera de acuerdo con las acciones de control ejecutadas, con lo cual se cierra el círculo de control. Existen dos clases de simuladores: los de proceso y los de control de proceso, dependiendo de si el sistema de control es análogo al usado para una cuba de la línea (en cuyo caso la conexión entre el simulador de cuba y el controlador se efectúa por medio de una interfase de conversión digital-analógica) o si el controlador es, a su vez, una simulación digital. En el primer caso se trabaja en tiempo real, en tanto que en el segundo el incremento temporal es ficticio y fijado por la simulación. El primero es ampliamente aplicado en la evaluación y control de los programas (*software*) y equipos (*hardware*) computacionales de control, mientras

que el segundo ha probado su eficacia para establecer criterios en la estrategia de control.

El cerramiento de cubas y la aspiración de humos completan la serie de proyectos. Estas soluciones producen un cambio significativo en el ambiente de trabajo y permiten recuperar los productos emitidos durante el funcionamiento de las cubas. El sistema de cerramiento de cubas consta de un conjunto de tapas removibles de aluminio. Como éstas descansan en el bastidor de soporte de los equipos de alimentación puntual, poseen una aislación eléctrica en la parte inferior del apoyo sobre la cuba. Las tapas son paneles livianos que pueden retirarse fácilmente para acceder a la cuba, realizar las tareas de rutina y volver a colocarlas.

Los gases son aspirados por medio de una tubería que desciende hasta debajo del piso de la sala y que desde allí se extiende lateralmente para alcanzar el colector general. La planta de tratamiento emplea el proceso denominado seco (*dry scrubbing*), en el que se usa como agente de retención la misma alúmina que luego es electrolizada en las cubas. La tecnología provino del exterior. La planta está compuesta por cuatro módulos independientes, cada uno con capacidad para tratar los gases de 100 cubas. Los módulos están ubicados de tal manera que se minimiza el tamaño de los colectores de gases y la pérdida de carga a lo largo de los mismos.

ii) *La adopción de técnicas de gestión: la prospección y la auditoría ambiental.* La gestión ambiental de ALUAR se apoya en una serie de antecedentes que el Departamento de Investigación Ambiental elabora en forma regular. Con este objeto se llevan registros de datos, se preparan estadísticas ambientales y, por último, se evalúa el conjunto de estas informaciones sobre la base de las normas establecidas en los países líderes de la producción de aluminio primario en América del Norte y la Comunidad Europea. Con la misma finalidad, se analizan los riesgos ambientales inherentes a determinadas operaciones. Además, periódicamente se preparan estudios ambientales con el objeto de conocer los mecanismos de circulación de materiales en los ecosistemas locales, evaluar la eficacia del control ambiental en las distintas áreas operacionales y proporcionar elementos para una comunicación efectiva dentro de la compañía y entre ella y la comunidad local. En relación con este último aspecto, el propósito es entregar información sobre los cambios ambientales observados en el entorno de Puerto Madryn como consecuencia directa o indirecta del funcionamiento de la planta de aluminio.

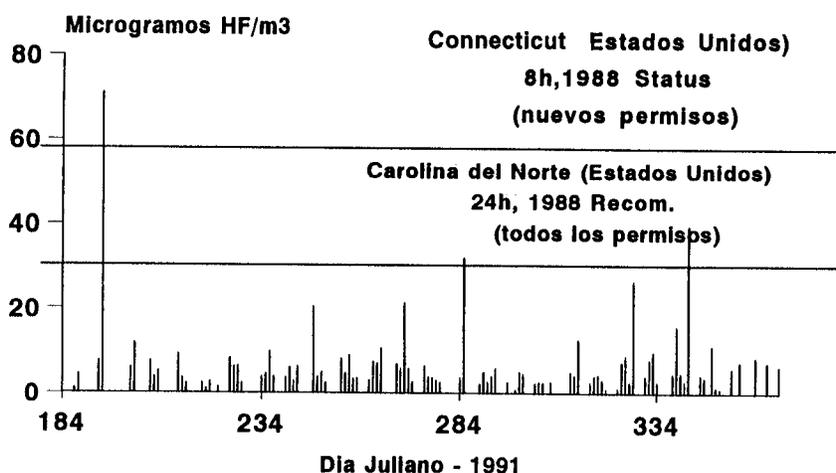
A continuación se describen las actividades que se realizan en las áreas de monitoreo del aire, control de efluentes líquidos, control de emisiones por opacidad, mediciones de polvo en suspensión, controles de emisión, control meteorológico computarizado y monitoreo del ambiente marino.

Para el monitoreo del aire se utilizan tres estaciones dotadas de muestreadores de alto y mediano volumen que operan en forma continua. Dos de ellas están instaladas en las poblaciones más cercanas. Los datos, que son analizados diariamente, permiten conocer la concentración total de fluoruros inorgánicos, partículas y compuestos orgánicos volátiles. En este caso, la finalidad de la rutina no es la auditoría interna, sino la comunicación externa, para informar sobre la medida en que se ha logrado reducir los niveles de inmisión mediante el control de las emisiones. Los valores registrados en el pasado satisfacen las normas ambientales y criterios técnicos vigentes en países con una legislación ambiental avanzada y, por lo tanto, indican que no existe riesgo alguno para la comunidad. En el gráfico 10 se muestran los niveles detectados en la estación externa más cercana al recinto de la planta durante el segundo semestre de 1991. A título comparativo, se presentan también los niveles fijados por ley en dos estados de los Estados Unidos. Ni las leyes federales de la Argentina, ni las de la provincia de Chubut, establecen valores máximos permisibles para este tipo de emisiones. Además, apenas a 650 m de la estación de muestreo en referencia la medición de las concentraciones de contaminantes muestra valores equivalentes a sólo una décima parte de los indicados en el gráfico.

Otra emisión que se vigila constantemente es la de hidrocarburos aromáticos policíclicos, cuya fuente es la planta de cocción de ánodos. Las concentraciones atmosféricas se miden por intermedio de varios compuestos marcadores, entre ellos el benzo-a-pireno. Los valores estimados para distintos lugares de la planta y su entorno, mediante mediciones puntuales y modelos de dispersión, son muy inferiores a los que se indican como adecuados en la legislación de algunos países europeos, tales como Alemania (10 ng/m³). En Estados Unidos aún no se ha fijado un valor límite para este tipo de emisiones, y tampoco se encuentran antecedentes al respecto en la legislación argentina.

En cuanto al control de los efluentes líquidos de la planta, se debe señalar que su volumen no es muy importante, con un caudal total de 18 m³/hora. Además, no provienen del proceso de producción de aluminio, sino de los servicios sanitarios de la planta y de algunas operaciones de lavado. Las aguas sanitarias son tratadas en una planta de tres etapas y las de lavado son sometidas a un proceso de eliminación de grasas en una planta especial. Durante la estación cálida, las aguas sanitarias se utilizan en su totalidad para riego dentro del perímetro de la planta. Mediante el monitoreo de los sedimentos y aguas del ambiente marino costero se ha podido verificar que el balance químico de estos sistemas no está experimentando modificaciones que justifiquen advertir sobre un riesgo ecológico. En invierno, las aguas servidas se descargan al área costera, después de someterlas a tratamiento, de acuerdo con las

Gráfico 10
CONCENTRACIÓN ATMOSFÉRICA DE FLUORUROS GASEOSOS:
MEDIDAS REGISTRADAS* EN EL ENTORNO DE LA PLANTA
ALUAR Y NIVELES DE REFERENCIA DE NORMAS APLICADAS
EN ESTADOS UNIDOS



Fuente: ALUAR.

* Promedio de 24 horas.

normas en vigencia en la provincia de Chubut. En éstas se fijan límites para la acidez, los sólidos en suspensión, el contenido bacteriano y la demanda de cloro. Éstos y otros parámetros de las descargas son controlados periódicamente.

En lo que respecta al control de las emisiones por opacidad, en la planta se han identificado 62 lugares que serían emisores potenciales de polvos o humos en el caso de que los respectivos sistemas de control ambiental sufrieran una avería. Entre las fuentes potenciales de emisión figuran chimeneas, torres de transferencia, cintas de transporte, tolvas y estibas semitemporarias. En estos lugares se realizan inspecciones diarias de opacidad, basadas en la escala Benarie. Las observaciones se comunican en forma computarizada al sector operacional responsable y al área de mantenimiento. Además, mensualmente se envía a las distintas gerencias el promedio de los valores registrados durante el período anterior. Estas actividades constituyen una auditoría interna del control de las emisiones ambientales. Durante la última década también han permitido fijar criterios para la toma de decisiones en materia de inversiones en control ambiental.

En cuanto al polvo en suspensión, se puede señalar que éste se origina en la zona debido al carácter árido y ventoso del clima y al

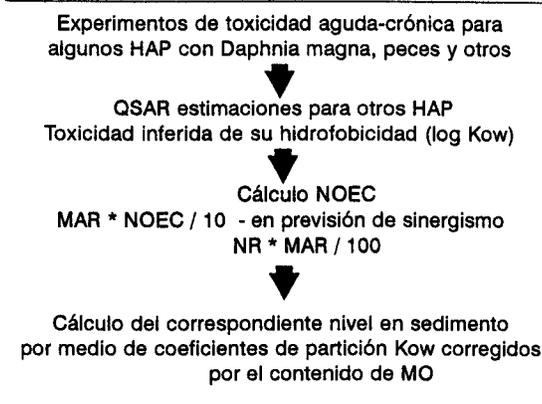
crecimiento de la ciudad de Puerto Madryn. Como el material básico para la producción de aluminio es la alúmina, que también es pulverulenta, se mantiene un control de las cantidades de polvo suspendido en la atmósfera por medio de una red de trampas estáticas direccionales. Éstas son recorridas y analizadas cada 15 días. El muestreo se hace con vistas a la comunicación de resultados y también para evaluar las variaciones que ocurren en la circulación de materiales en la región.

Los controles de emisión de la fábrica se realizan en sus cinco chimeneas principales, que corresponden a las cuatro plantas de electrólisis y a la de cocción de ánodos. Hay, además, otras chimeneas más pequeñas, pertenecientes a instalaciones auxiliares. Con una periodicidad de 40 días, estas chimeneas son muestreadas con equipos instrumentales, según criterios técnicos internacionalmente aceptados. Los datos se utilizan con fines de comunicación externa o de auditoría interna de control ambiental, según corresponda.

En el área del control meteorológico computarizado, los datos obtenidos mediante monitoreo ambiental son utilizados para validar modelos de dispersión del tipo normalizado en la reglamentación del Organismo de Protección del Medio Ambiente (Estados Unidos). Con este objeto, dentro de la planta se mantiene una estación climatológica computarizada, con sensores de velocidad y dirección de viento, temperatura y humedad del aire, y radiación global.

Con respecto al monitoreo del ambiente marino cabe mencionar que, si bien ni a nivel local ni en otras plantas de aluminio hay indicios de que las operaciones puedan afectar el medio marino próximo, recientemente se ha observado que los impactos secundarios de una planta de aluminio, derivados de cambios en el medio urbano, sí podrían hacerlo. Con el fin de establecer una comunicación adecuada con la comunidad sobre este tema, se mantiene un programa de muestreo mensual del ambiente marino, realizado por medio de trampas de agua y de sedimento suspendido. Este programa, que se mantuvo durante el período 1976-1980, fue reactivado en enero de 1991. Sobre muchos de los aspectos relacionados con el impacto de las emisiones en el ambiente marino aún no existe legislación, ni siquiera en los países más avanzados. Recientemente se han establecido algunos criterios de riesgo sobre la base de información del tipo relación cualitativa estructura-actividad (*Qualitative Structure-Activity Relationship (QSAR)*), en el marco de la protección de las costas del Mar del Norte (véase el gráfico 11). Al aplicar estos criterios al análisis de los datos recogidos en las prospecciones del medio marino frente a la planta de ALUAR se concluye que los niveles registrados no implican riesgos ecológicos atribuibles a la actividad de la planta (véase el gráfico 12).

Gráfico 11
FUNDAMENTOS DE LA ESTIMACIÓN DE RIESGO
ECOLÓGICO DE HIDROCARBUROS AROMÁTICOS
POLICÍCLICOS (HAP)



Fuente: ALUAR.

Notas

QSAR (*Qualitative Structure Activity Relationship*): designa un conjunto de modelos matemáticos que relacionan la estructura química de una sustancia con su actividad toxicológica. Estos modelos permiten estimar el comportamiento de una sustancia determinada en el ambiente.

KOW - *Coficiente de Partición Octanol-Agua*: este coeficiente, característico de diversas sustancias riesgosas, permite estimar la distribución de su concentración en un medio acuático y sus sedimentos.

NOEC (*Non Observable Effect Concentration*): concentración de una sustancia tóxica determinada que en experimentos de laboratorio no demuestra ejercer efectos en animales.

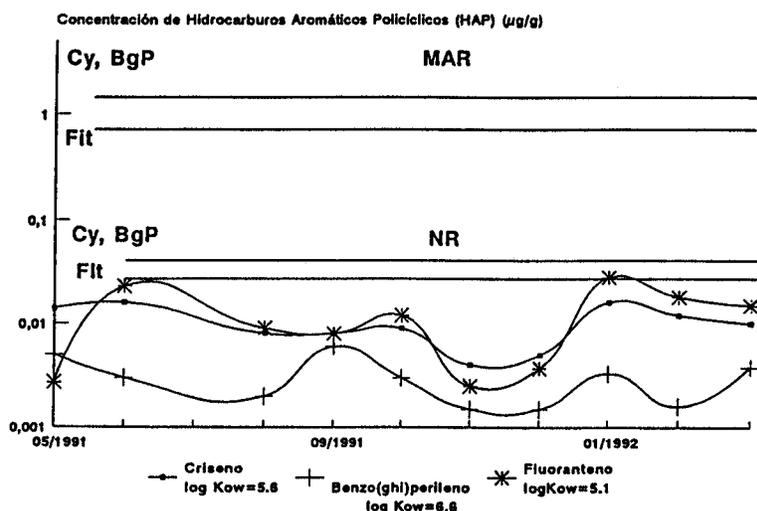
MAR - *Máximo Riesgo Aceptable*: nivel de riesgo considerado aceptable a partir del supuesto de que un ser humano puede ser hasta 10 veces más sensible que la especie sometida a experimentación.

NR - *Riesgo Insignificante*: nivel de riesgo determinado al aplicar un factor de incertidumbre más alto con el objeto de considerar otras circunstancias, tales como la protección de los miembros más sensibles de una población y la presencia de sustancias carcinogénicas.

MO - *Materiales Oxidables*: medida de contaminación basada en la demanda química de oxígeno (COD) y la demanda bioquímica de oxígeno (BOD₅), según la fórmula:

$$MO = \frac{COD + 2 BOD_5}{3}$$

Gráfico 12
CONCENTRACIÓN DE HIDROCARBUROS AROMÁTICOS
POLICÍCLICOS EN SEDIMENTOS EN BAHÍA NUEVA



Fuente: Zadelhoff *et al.*, 1991.

Notas MAR - Nivel de máximo riesgo aceptable.

NR - Nivel de riesgo insignificante.

d) Aspectos estratégicos y económicos de la política empresarial de sustentabilidad

Quando se hacen análisis económicos de las inversiones destinadas a la protección ambiental, lo primero que se suele examinar es si los menores niveles de emisiones, logrados o previstos, cumplen las normas prescritas en la legislación vigente. En la Argentina, las leyes ambientales no fijan los niveles de emisión tolerables para la operación de la industria del aluminio primario. En tal contexto, a los empresarios sólo les cabe basar sus decisiones en una bien fundada ética ambiental, o bien en el valor económico que representan los materiales recuperables. Además, el criterio de anticiparse a la legislación se torna importante como elemento de la política empresarial de sustentabilidad.

En el caso de emisiones de materiales con un valor económico, sea en el mercado o como materias primas reciclables dentro del propio proceso, es sencillo calcular la rentabilidad de las inversiones. Para determinarla es necesario conocer las pérdidas que se producen habitualmente en la planta, lo cual se realiza mediante prospecciones en las fuentes de emisión. En estas prospecciones se miden los caudales de flujos, así como algunas otras variables. Sin embargo, la rentabilidad determinada por estos métodos relativamente convencionales en ocasiones

resulta insuficiente para justificar una inversión en equipos de control ambiental. En el campo de la economía clásica, este asunto aún no ha sido completamente resuelto. En el fondo, el problema consiste en los equivalentes monetarios de valores tales como la preservación de la biodiversidad, la calidad del paisaje y la disminución del riesgo ambiental por debajo de los niveles mínimos aceptables. En algunos países se ha procurado desarrollar este tipo de análisis en el marco de la metodología de cálculo costo-beneficio.

En el cuadro 2 se muestran las inversiones efectuadas por ALUAR en las áreas de control de emisiones, reciclaje de residuos y transporte ambientalmente seguro de materias primas. Las cifras corresponden a valores actualizados de las inversiones realizadas desde que la planta dio comienzo a su operación. Como puede observarse, la mayor parte de la inversión corresponde al conjunto de las plantas de tratamiento de los humos de electrólisis y la planta piloto. Estas plantas de tratamiento, que dan servicio al conjunto de las cubas electrolíticas, funcionan de acuerdo con el principio de procesamiento seco por adsorción en lecho de alúmina fluidificada. La tecnología básica, desarrollada por FLÄKT, fue adaptada a las condiciones de la planta de ALUAR. Para tal efecto se instaló una serie de cubas prototipo y un módulo piloto de 16 cubas que funcionaron en forma experimental durante el período 1979-1981 y suministraron gran parte de la información requerida para efectuar el cerramiento y captación de humos en las salas de electrólisis, sin necesidad de detener o reducir la producción.

Como ya se ha mencionado, en la industria del aluminio los humos de electrólisis suelen tratarse actualmente mediante sistemas de absorción seca. Los correspondientes análisis de costos y de rentabilidad son, en general, enfocados desde el punto de vista de la recuperación de materiales fluorados. El gráfico 13 muestra las estimaciones realizadas en el caso de ALUAR.⁵

En el futuro, el análisis económico debería incluir una serie de otros aspectos relacionados con la preservación ambiental. A título de ejemplo puede mencionarse que en la política comercial de los países

⁵ De la cifra de inversión correspondiente a las 4 plantas de tratamiento de humos de electrólisis y planta piloto que figura en el cuadro 2 se deriva sólo en orden de magnitud el valor de amortización y de una tasa de interés de 10% anual del gráfico 14. Una posible explicación de esta diferencia sería que los valores en dólares de ambos cálculos se refirieran a distintos años, o que para el cálculo del valor de amortización e interés del gráfico no se hubiera tomado en cuenta la inversión en la planta piloto o no se hubiese incluido el valor de alguna otra partida por no estar directamente relacionada con el tratamiento de los humos de electrólisis. Otra explicación sería que el valor del gráfico en realidad no incluyera el interés sobre el capital invertido, como se indica en el gráfico (nota del editor).

Cuadro 2

**ALUAR: INVERSIONES EN INSTALACIONES DE
PROTECCIÓN AMBIENTAL**

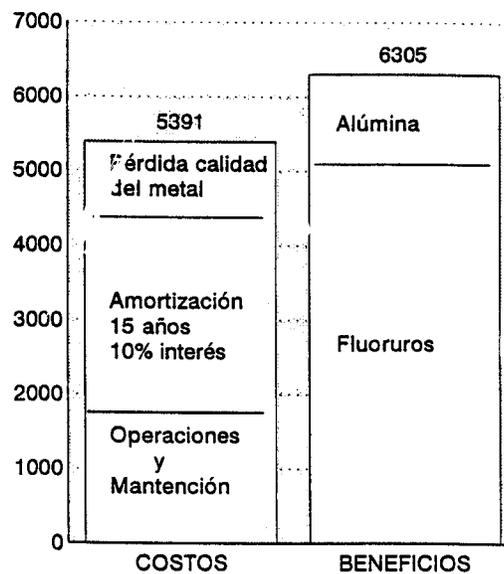
Instalación	Inversión (miles de dólares)
Plantas (4) de tratamiento de humos de electrólisis y planta piloto	42 600
Sistema neumático de transporte de alúmina	10 000
Planta de reciclaje del baño electrolítico	1 400
Planta de reciclaje de ánodos	2 500
Filtros	2 900
Control de emisiones en molienda de brea	200
Plantas (2) de efluentes líquidos	400
Departamento de Investigación Ambiental	250
Total	60 250

Fuente: ALUAR, Aluminio Argentino S.A.I.C.

importadores de aluminio se observa una creciente tendencia a requerir que los exportadores cumplan la certificación de la Organización Internacional de Normalización (ISO), serie 9000. Desde el año 1991, la ISO trabaja, conjuntamente con el grupo estratégico de asesoría sobre medio ambiente (*Strategic Advisory Group on Environment* (SAGE)), en la elaboración de una norma internacional relativa a la gestión ambiental en el marco de la serie 9000. En el proyecto de esta norma se propone la adopción de sistemas administrativos para la toma de decisiones empresariales, la formulación de planes de acción, la adopción de procedimientos de monitoreo y auditoría, así como la documentación de los procedimientos en forma de manuales de operación y otras guías.

La adopción del sistema ISO de gestión ambiental constituiría, sin duda, una medida para penetrar en los mercados de países cuyos sistemas de protección ambiental se han desarrollado con mayor velocidad que en la Argentina. Aun si la legislación argentina continuara manteniendo un rezago relativo en materia ambiental comparada con la de países más industrializados, la puesta en práctica de un buen sistema de gestión

Gráfico 13
RECUPERACIÓN DE INVERSIONES
EN PLANTAS DE TRATAMIENTO
DE HUMOS DE ELECTRÓLISIS EN ALUAR
(Miles de dólares por año)



Fuente: ALUAR.

ambiental, por la vía del mecanismo de calificación de la ISO, podría ser la llave para acceder a esos mercados en un futuro no muy lejano. Esta posibilidad debería tomarse en cuenta en los análisis económicos de proyectos e inversiones relacionados con la protección ambiental, aunque aún no se vislumbra claramente cómo podría formalizarse una metodología.

e) Conclusiones

El permanente esfuerzo por adaptar nuevas tecnologías en el área de electrólisis que ALUAR ha desplegado desde la puesta en servicio de la planta de Puerto Madryn le ha permitido aumentar en forma significativa la productividad y la eficiencia de su operación. Al mismo tiempo, se ha logrado eliminar la contaminación de la atmósfera y de los ambientes de trabajo que originaban los humos de electrólisis.

En la reseña sobre los criterios que guían la política ambiental y de desarrollo sostenible de ALUAR se aprecia que ésta ha adoptado, como marco de referencia, la evolución de las normas internacionales respecto de la producción de aluminio primario, así como los adelantos

logrados por industrias similares en otras partes del mundo. El funcionamiento de la planta de ALUAR conforme a los principios del desarrollo sostenible se sustenta en un ciclo administrativo cuyos componentes esenciales son la decisión gerencial de priorizar la protección del medio ambiente, la formulación de planes de acción basados en la recopilación de datos y la prospección del ambiente circundante, así como la puesta en práctica de la auditoría ambiental interna como elemento indispensable de la gestión ambiental. Las inversiones de ALUAR en sistemas de protección ambiental pueden considerarse recuperables en un escenario de mercados de capital con tasas de interés estables, debido al valor que representan las sustancias recuperadas como materias primas. Además, estas inversiones generan beneficios adicionales, tales como el fortalecimiento de la competitividad internacional de la empresa, dada la evolución previsible de la normativa ambiental y a la luz de los compromisos sobre la preservación del medio ambiente global suscritos por los gobiernos.

4. MAESTRANZA IQUIQUE y CORPESCA: desarrollo de tecnologías limpias y sistemas de gestión sustentable en la industria pesquera⁶

a) *Caracterización de la rama industrial*

Las favorables condiciones oceanográficas que ofrecen las costas del Pacífico sur oriental han permitido que en Chile se desarrolle una gran industria pesquera. Si bien la actividad pesquera ha existido en este país desde hace mucho tiempo, su desarrollo industrial sostenido comenzó en la década de 1950, cuando en los puertos de Arica e Iquique en la zona norte se instalaron las primeras plantas elaboradoras de harina y aceite de pescado, sustentadas en la explotación de los abundantes recursos pelágicos allí existentes.

En el curso de los años, la industria pesquera se expandió desde el norte de Chile hacia otros puertos situados más al sur, y también se diversificó la explotación en cuanto a rubros industriales y especies marinas. En esa forma, la actividad pesquera ha alcanzado un relevante significado económico y social en el país y en las regiones donde están instalados sus principales centros de operación.

⁶ Sobre la base de Ernesto Ezquerra (SIGMA), *Empresas líderes en desarrollo, aplicación y difusión de tecnologías ambientalmente racionales en América Latina: el caso de Maestranza Iquique, S.A.-Hetland Process- y empresas pesqueras asociadas a CORPESCA, Chile (LC/R.1152/Rev.2)*, Santiago de Chile, CEPAL, 14 de mayo de 1993.

Entre los años 1975 y 1990 el producto geográfico pesquero creció 292%, tasa sustancialmente más alta que la registrada por el producto geográfico nacional, que en el mismo período aumentó sólo 65%. En algunas regiones del país la incidencia de la actividad pesquera industrial es realmente significativa; en 1988 la participación del sector en el PGB de la I Región alcanzó a 25.4%, en la II Región, a 15.9%, en la V Región, a 11%, y en la VIII Región, a 27.5% (véanse los gráficos 14 y 15).

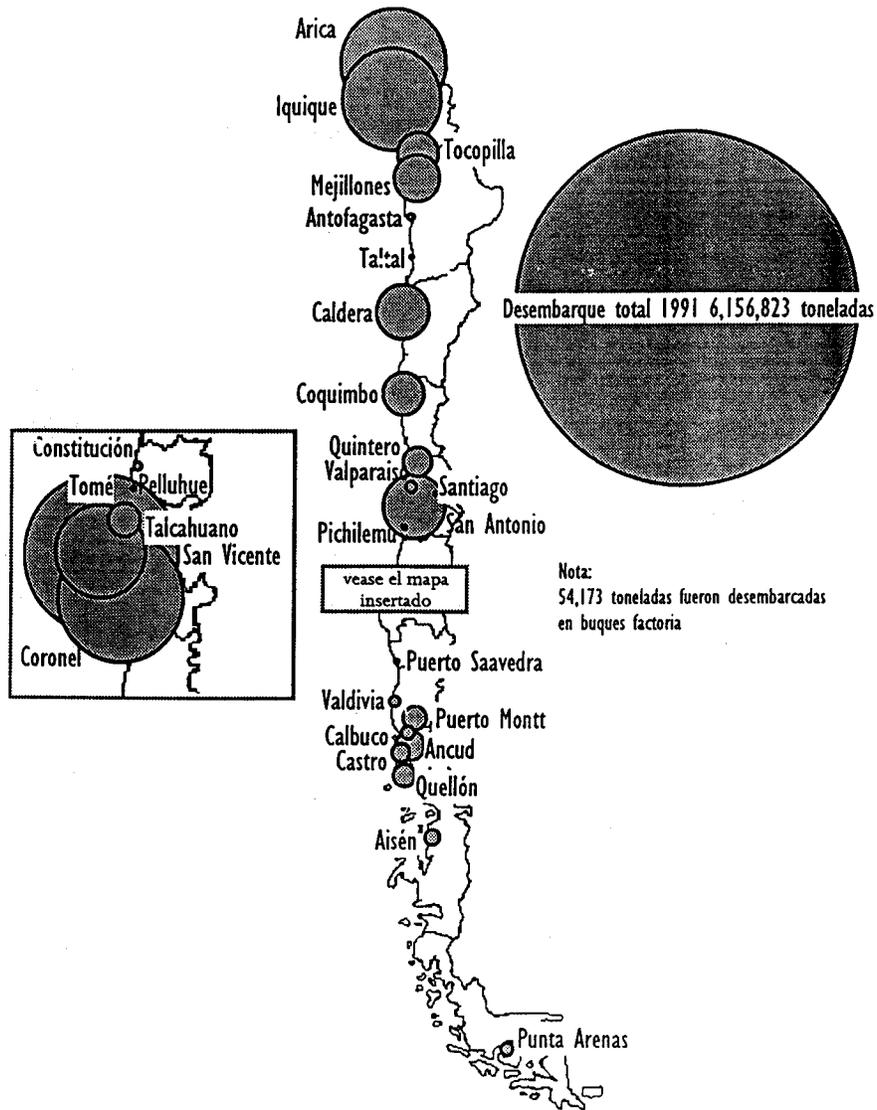
En el cuadro 3 se presenta, en forma sintética, la estructura de la industria pesquera de Chile en el año 1989. El sector está constituido sólo por empresas privadas. Los centros de operación se localizan de acuerdo con las condiciones ambientales y la disponibilidad potencial de los recursos marinos que requiere la actividad. Es por esto que la industria productora de harina y aceite de pescado ha centrado sus operaciones básicamente en las Regiones I, II y VIII, en tanto que los centros de cultivo de salmonídeos están localizados en las Regiones X y XI. Otros subsectores, como conservería, productos marinos congelados y cultivos de algas y de moluscos se distribuyen entre las Regiones antes mencionadas y, además, en la III, IV, V y XII.

El gran desarrollo de la industria pesquera ha llevado al país a una posición de liderazgo mundial como proveedor de productos del mar. En 1991 sus exportaciones anuales superaron los 1 100 millones de dólares; se destacan muy especialmente las de harina de pescado, con un promedio de 425 millones de dólares anuales en el período 1986-1990. En la economía chilena, el sector pesquero es la segunda fuente de divisas, después de la minería.

El sector pesquero ha crecido sobre la base de la explotación de especies pelágicas: jurel, anchoveta, sardina española y caballa, entre otras; en los últimos cinco años el promedio de los desembarques anuales de estas especies se ha mantenido en torno de cinco millones de toneladas, volumen que representa más de 90% de las capturas totales en el país. La abundancia de estos peces de carne grasa y oscura han permitido el surgimiento de un importante sector industrial, cuya actividad se centra en el proceso de reducción para elaborar harinas y aceites de pescado.

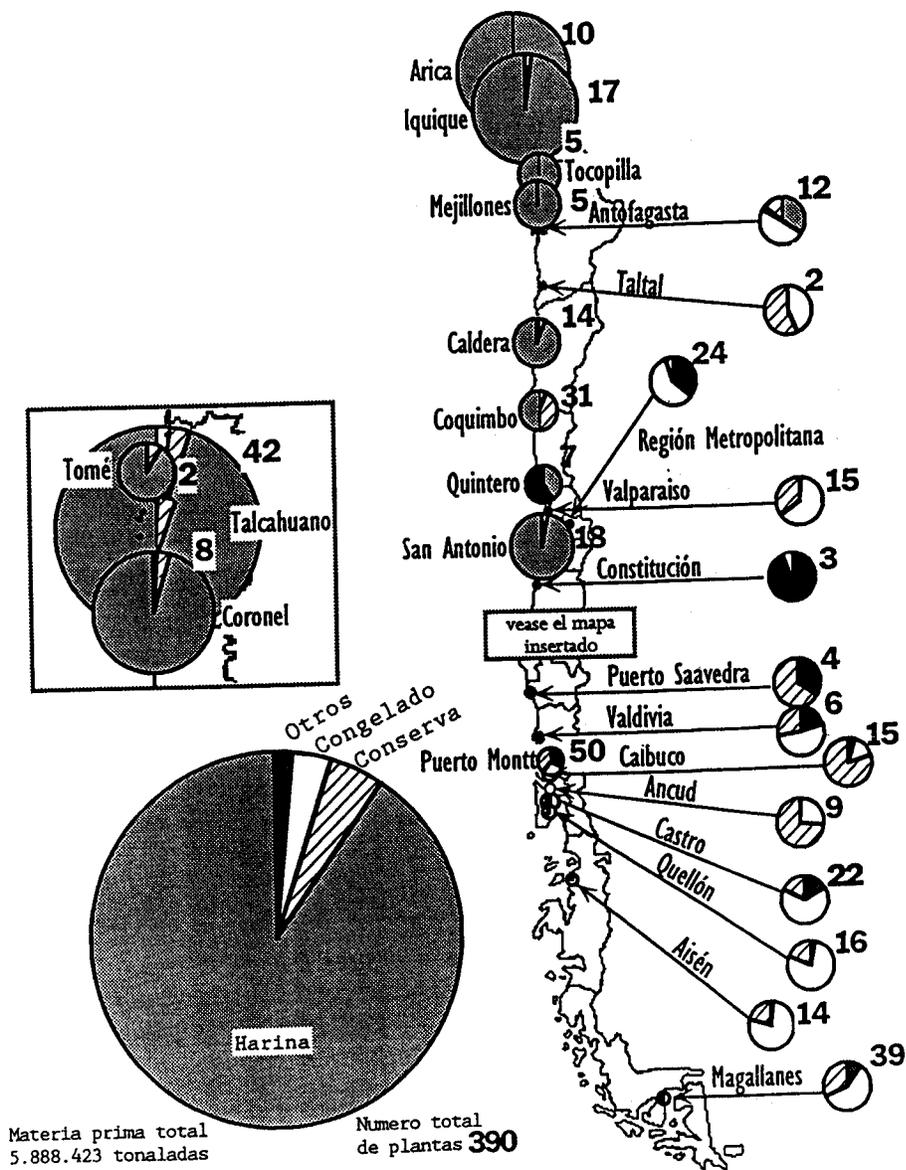
Por su contenido graso y carne oscura, la demanda de estas especies en el mercado de consumo directo es limitada. Sin embargo, cabe destacar su elevado factor de conversión de proteínas, pues la harina de pescado de alta calidad presenta los mayores índices de eficiencia alimenticia por efecto de conversión al utilizarse en centros de cultivo acuícola para la crianza y desarrollo de especies finas, como anguilas, camarones y salmones, cuyo valor en los mercados de consumo humano es sustancialmente más alto.

Gráfico 14
CHILE: DESEMBARQUE DE PESCA, 1991



Fuente: Armada de Chile, Dirección General de Territorio Marino y Marina Mercante, Boletín estadístico marítimo. Edición 1992.

Gráfico 15
CHILE: INDUSTRIAS PROCESADORAS DE PESCA, NÚMERO
DE PLANTAS, UBICACIÓN Y MATERIA PRIMA POR
LÍNEA DE ELABORACIÓN, 1991



Fuente: Chile, Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción, Servicio Nacional de Pesca, Anuario Estadístico de Pesca, 1991.

Cuadro 3

CHILE: ESTRUCTURA DE LA INDUSTRIA PESQUERA, 1989

Plantas productoras de harina y aceite de pescado	46
Plantas conserveras	114
Plantas congeladoras	169
Centros de cultivo salmonídeo	247
Centros de cultivo de algas	120
Centros de cultivo de moluscos	110
Número de barcos	
factoría	12
de pesca industrial	480
Capacidad de bodega (m ³)	150 000
Inversión en plantas y flota, según valor libro (millones de dólares)	2 500
Número de empleos	
directos en sector industrial	28 000
indirectos	50 000
en sector artesanal	40 000
Desembarques (promedio 1986-1990, miles de toneladas)	5 500
Valor de la producción total (millones de dólares)	1.150

Fuente: SIGMA.

Gracias al desarrollo de las harinas especiales de alta calidad, en el cultivo acuícola de algunas especies de camarones se ha logrado un factor de conversión superior a 1.0 por unidad de alimentación. Esto demuestra que, dada la eficiencia que alcanzan como fuente de proteínas, el proceso de reducción de las especies pelágicas las devuelve indirectamente al mercado de consumo humano tras incorporar un alto valor agregado.

En la industria pesquera productora de harina y aceite de pescado se destaca un grupo de empresas asociadas con vistas a comercializar estos productos en los mercados internacionales; se trata de la Corporación de Productores de Harina de Pescado, CORPESCA, S.A. Forman parte de esta entidad, creada en 1964 por las principales compañías que operaban en la zona norte, seis empresas: Empresa Pesquera Eperva, S.A., Pesquera Indo, S.A., Pesquera Iquique, S.A., Sociedad Pesquera Guanaye Ltda., Pesquera Punta Angamos, S.A. y Pesquera Tocopilla, S.A. Disponen en total de 13 plantas, 11 de ellas localizadas en las Regiones I y II.

La distribución de las plantas por puertos es la siguiente: tres en Arica, cuatro en Iquique, dos en Tocopilla, dos en Mejillones, una en Talcahuano y una en Coronel. En 1990, la capacidad de proceso conjunta de estas plantas superaba las 1 000 t/hora; su capacidad individual fluctuaba entre 70 y 150 t/hora, lo que significa que entre ellas figuran las instalaciones de mayor importancia a nivel nacional. La flota está integrada por cerca de 100 embarcaciones. CORPESCA genera 7 000 empleos directos y su producción de harina de pescado representó 40% del total nacional en el período 1985-1990, porcentaje que refleja la importancia de esta entidad en el sector pesquero.

b) *El proceso de innovación tecnológica*

Los cambios observados en la estructura y organización del mercado, más los desafíos que con creciente claridad planteaba la problemática del desarrollo sustentable, indujeron a las empresas de CORPESCA a seguir una política coherente de búsqueda y adaptación de tecnologías industriales para producir harinas de pescado especiales, que compatibilizaran la eficiencia económica con el cuidado del ambiente.

Estas compañías, por su similitud de intereses, han mantenido un contacto permanente y sistemático desde hace 30 años, y han canalizado recursos humanos y financieros para desarrollar una activa política de investigación —a nivel de ingeniería básica y de los recursos pesqueros— que trasciende las faenas operativas y de mantenimiento. Esto explica que ahora dispongan de tecnologías industriales para producir harinas especiales sin alterar las condiciones del medio ambiente, y también de información sobre los recursos hidrobiológicos en que se sustenta su actividad.

En los años cincuenta, las tecnologías disponibles para la elaboración de harina y aceite de pescado eran rudimentarias, por lo cual sus efluentes líquidos ejercían un fuerte impacto en el medio ambiente como resultado de la emanación de olores y emisión de sólidos. Sin embargo, tras constantes investigaciones, transferencias tecnológicas desde países más desarrollados e inversiones en el ámbito industrial, profesionales nacionales con experiencia en el rubro fueron innovando hasta desarrollar un proceso industrial que ha colocado a estas empresas pesqueras en un alto plano tecnológico y que les permite producir harinas crecientemente específicas, de acuerdo con los más exigentes estándares de calidad y con un adecuado cuidado del ambiente.

Por otra parte, el mercado experimenta un proceso de cambio muy significativo. Tradicionalmente, la harina de pescado se comercializaba en los mercados internacionales como un producto básico (*commodity*), sin ninguna otra especificación, que se valoraba por ser una fuente de

proteínas. Sin embargo, a partir de la década de 1980 se ha manifestado una clara tendencia en favor de la demanda y oferta de harinas especiales o *prime*.

Esta variación fue el resultado de investigaciones que comprobaron que mediante la combinación de distintas fórmulas y tratamientos de las harinas de pescado como fuente de proteínas, los acuicultores y criadores de ganado, porcinos y aves de corral, entre otros, podían lograr mejoras respecto del crecimiento y engorda de los animales. Esto dependía de factores como el contenido proteico, la digestibilidad de la proteína y el nitrógeno total volátil. De esta constatación surgió un nuevo mercado de harinas de pescado especiales, más competitivo, en el que se valoran la calidad y las características específicas del producto; si bien el nombre genérico de harina de pescado se mantiene, ya no es un producto básico, sino múltiples productos diferenciados. En este contexto, en el que resulta indispensable contar con preparados y fórmulas específicas que respondan óptimamente a exigencias particulares y precisas, las industrias productoras de harina de pescado debieron enfrentar una demanda que exigía otros sistemas de producción y tecnologías para producir las llamadas harinas especiales, que varían según la utilización y el tipo de alimentación al que se destinen.

Como consecuencia de este proceso, y de su constante interés en adecuarse a los cambios y nuevas tendencias, las empresas asociadas a CORPESCA redefinieron sus estrategias de comercialización para orientarse hacia el consumidor final y no hacia los grandes compradores o comerciantes (*traders*). El gran mercado internacional, donde se transa el producto básico harina de pescado, tiende sistemáticamente a perder importancia, para comenzar a segmentarse según los sectores compradores: acuicultura, criaderos de aves, engorda de ganado, elaboradores de alimentos y otros.

c) *Estrategia y actuación de las empresas líderes*

Desde el punto de vista de la adaptabilidad a los nuevos requerimientos del mercado, así como de la constante necesidad de innovar y desarrollar nuevas tecnologías para producir con mayor eficiencia económica y social, las industrias vinculadas a CORPESCA lograron importantes resultados.

En el curso del constante proceso de innovación tecnológica que les ha permitido desarrollar su actividad en forma sustentable, para las empresas pesqueras asociadas a CORPESCA existe un hito destacado que marca la superación de los problemas de emanación de olores y emisión de sólidos en sus efluentes líquidos —aspectos ambientalmente muy controversiales para esta industria—, el fin de su dependencia tecnológica

de países más desarrollados que proveían a la industria pesquera chilena de equipos y procesos, y un incremento de la productividad del factor tecnología. Se trata de la definición y desarrollo de la ingeniería básica de un nuevo proceso industrial para producir harinas y aceites de pescado sin afectar al medio ambiente y con una mayor eficiencia económica, avance logrado por los departamentos de ingeniería de las empresas chilenas Pesquera Eperva, S.A. y Pesquera Indo, S.A. en el primer quinquenio de los años ochenta.

Este proyecto de diseño industrial prototipo fue presentado a varias empresas internacionales de bienes de capital para su desarrollo, pero de todas ellas sólo una, Hetland Process (H.P.), lo consideró factible. Se debe señalar que esta compañía se originó de la fusión de Brodr Hetland y Myrens Verksted, ambas con más de 75 años de experiencia en la fabricación de equipos para producir harina y aceite de pescado. Es, a su vez, una división de Kvaerner Eureka —perteneciente al grupo Kvaerner—, organización de larga trayectoria y gran prestigio en la fabricación de bienes de capital para diversos sectores productivos.

Fue así que se llegó a un convenio con Hetland Process para desarrollar el diseño y construir la maquinaria a partir de la ingeniería básica elaborada por Eperva e Indo. En 1986, la iniciativa se concretó con la construcción y puesta en marcha en la Pesquera Punta Angamos, localizada en Mejillones, de una planta reductora de alta eficiencia económica y que no genera impacto ambiental.

La eficacia del nuevo prototipo de diseño industrial aplicado en la planta de Pesquera Punta Angamos, S.A. fue reconocida internacionalmente y avalada por su adopción en Dinamarca, Noruega y Japón, países que tradicionalmente habían liderado el progreso tecnológico en la industria pesquera de reducción a nivel mundial.

En ese contexto, en 1987 Eperva, Indo y Kvaerner Eureka A/S —división de Hetland Process de Noruega— decidieron crear la Maestranza Iquique, S.A. Con la firma noruega se suscribió un contrato de asistencia técnica y supervisión de acuerdo con el cual debía entregar, en un primera etapa, conocimientos prácticos (*knowhow*) sobre metodología de análisis de proyectos y de producción. Así, Maestranza Iquique inició la fabricación de estos equipos, que ya se han instalado en las plantas de Empresa Pesquera Eperva de Arica e Iquique y en la planta de Pesquera Guanaye en Talcahuano. Además, se han exportado equipos y proyectos de ingeniería básica a Perú —país de gran desarrollo pesquero— para ser instalados en fábricas de harina y aceite de pescado.

Este trabajo conjunto de empresas y especialistas chilenos y noruegos, iniciado a mediados de los años ochenta, imprimió un impulso adicional y decisivo al permanente proceso de desarrollo e innovación tecnológica de las industrias pesqueras asociadas a CORPESCA. Fue así que se obtuvieron importantes resultados en cuanto a la fabricación de

equipos para procesos industriales de alta tecnología, que permiten lograr productos de alta calidad, un mayor rendimiento de la materia prima y un menor consumo de energía, además de no alterar el ambiente.

d) Descripción general del proceso de producción

Para entender la forma en que las industrias pesqueras asociadas a CORPESCA fueron llevando adelante su proceso de expansión en un marco de desarrollo sustentable, es importante conocer la operación industrial básica para la elaboración de harina y aceite de pescado. En general, el proceso consta de las siguientes etapas: descarga de materia prima, almacenamiento, cocimiento, prensado, secado, molienda y ensaque. Inicialmente, en los procesos industriales no se trataban los flujos de líquidos secundarios, generados principalmente en las etapas de almacenamiento, cocimiento y prensado. Esto sucedía porque el objetivo prioritario era lograr un producto de calidad aceptable, lo que era en sí el primer gran desafío tecnológico y económico. Una vez superada esa primera fase, las industrias integrantes de CORPESCA comenzaron a realizar investigaciones con vistas a desarrollar nuevas tecnologías que optimizaran el proceso; algunas de éstas fueron vitales para la subsistencia de la actividad.

Los logros en cuanto a eficiencia económica e impacto en el medio ambiente pueden resumirse como sigue:

- centrifugación primaria y secundaria de licor de prensa: se obtienen sólidos y aceite de pescado; se baja de 25% a 7% el contenido de sólidos en el efluente (agua de cola);
- decantación y filtración de agua de descarga: se obtienen sólidos de pescado; se baja de 2% a menos de 0.04% el contenido de sólidos en el efluente;
- evaporación del agua de cola: se obtiene concentrado de proteínas solubles —que se agrega a la harina— y se baja de 7% a 0% el contenido de sólidos del efluente;
- desodorización de gases de secado: en una primera etapa se redujo el nivel de vapor de agua y se disminuyó el volumen y temperatura de los gases mediante su lavado con agua de mar;
- finalmente, gracias a una completa renovación de la tecnología de los equipos industriales de cocción, secado y evaporación —más la incorporación de equipos auxiliares— se eliminó totalmente la emisión de gases a la atmósfera.

La incorporación de cada tratamiento significó, simultáneamente, el logro de un beneficio económico y la eliminación de fuentes de emanación que alteraban el medio ambiente. Complementando las acciones e innovaciones descritas, en las plantas pesqueras se ha aplicado

una serie de procedimientos orientados a erradicar todas las fuentes de olores. Entre estas medidas cabe mencionar:

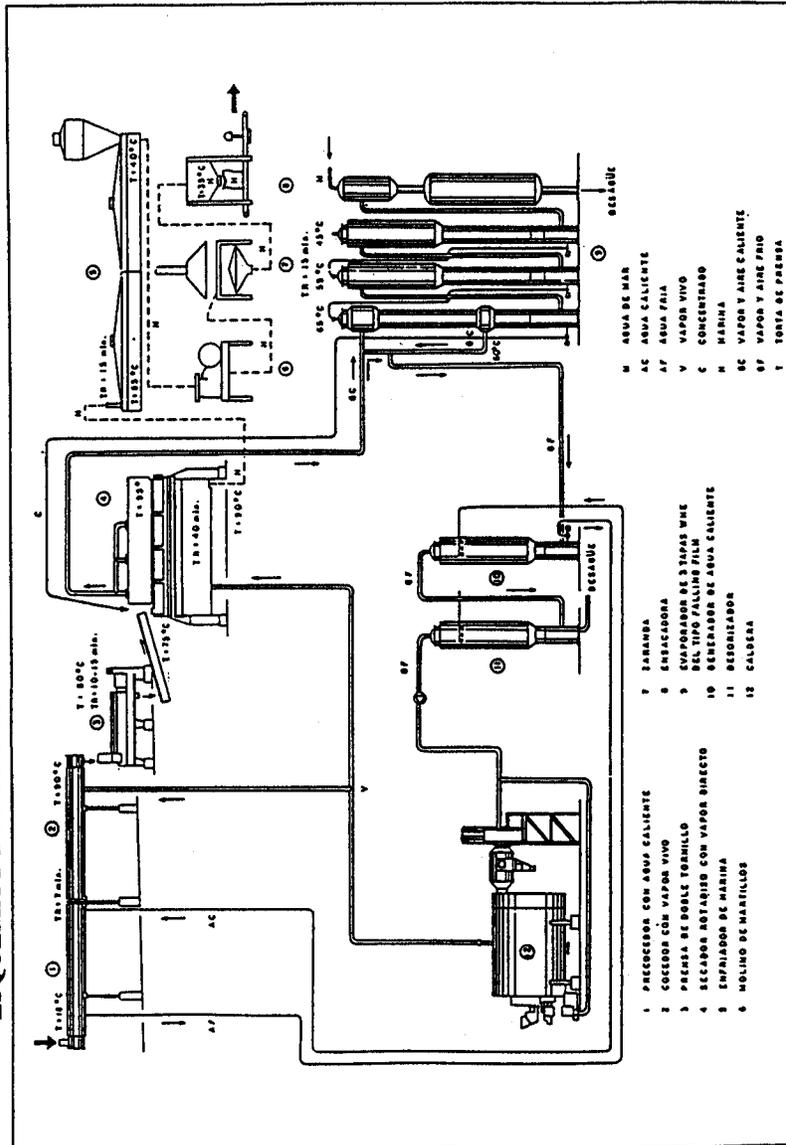
- programa de aseo e higiene de las plantas, para inhibir el desarrollo de gérmenes que aceleran la descomposición de la materia prima y aumentan la emisión de olores durante el proceso;
- regulación de las velocidades de operación para optimizar el secado y disminuir así las emanaciones de gases con olor;
- optimización de los equipos desodorizadores mediante el uso de rellenos que mejoran el intercambio y reducen las emanaciones.

Sin embargo, de todas las medidas puestas en práctica para eliminar el problema de las emanaciones de olores, lo que permitió su completa eliminación fue la tecnología desarrollada por ingenieros de empresas vinculadas a CORPESCA, con la colaboración de un firma extranjera. Esta tecnología consiste en aplicar un proceso integral de cocción, secado y evaporación en el que los vapores residuales de secado se utilizan como medio de calefacción, y la evaporación y cocción se realizan mediante una cascada termodinámica. De esta forma, los gases con olor son condensados y enfriados, pero no con aporte de energía extra, sino mediante la recuperación de energía residual en forma útil. Finalmente, la pequeña porción remanente de gases se incinera. Así, se eliminan por completo las emisiones de gases con olor.

El proceso de producción de harina y aceite de pescado que ofrece Maestranza Iquique consiste en una planta concebida como una unidad termodinámica, totalmente controlada por un computador programable, que comparada con una planta tradicional, permite obtener un producto de mejor calidad, con un mayor rendimiento y homogeneidad, un menor consumo de energía y sin evacuar vapores a la atmósfera. La planta industrial está compuesta básicamente por un precocedor de agua caliente, un cocedor con vapor vivo, una prensa de doble tornillo, un secador Rotadisc con vapor vivo, un evaporador de tres etapas WHE del tipo *falling film*, un generador de agua caliente del tipo gas-líquido directo, y calderas (véase el gráfico 16). Las calderas alimentan vapor vivo al cocedor y al secador. La humedad extraída de la harina en el secador es evacuada en forma de vapor mezclado con una pequeña porción de aire y sirve como medio de calefacción para el evaporador de tres etapas y el generador de agua caliente. El generador de agua caliente opera en circuito cerrado con el precocedor. De este modo se obtiene un sistema equilibrado automáticamente por el computador, que opera como unidad termodinámica en cascada, requiere alimentación de vapor vivo sólo en los secadores y en el cocedor, y no descarga vapores a la atmósfera.

Las principales ventajas del proceso de producción de Maestranza Iquique se refieren a rendimiento de harina con respecto a cantidad de materia prima, control de costos y consumo de energía. Como resultado

Gráfico 16
ESQUEMA DE PRODUCCIÓN DEL PROCESO MAESTRANZA IQUIQUE S.A.



de un proceso global controlado automáticamente y de las características propias del proceso diseñado se logra una harina con más alto porcentaje de proteínas y lisina y mayor digestibilidad que el producto estándar obtenido mediante el proceso tradicional. Además, esta calidad es homogénea y estable, ya que el control automático permite que todas las variables del proceso sean controladas varias veces por minuto; finalmente, como el proceso puede ser debidamente ajustado para cada tipo de materia prima, la calidad no depende de las variaciones estacionales o de las especies procesadas.

El uso del secador con calefacción por vapor indirecto elimina las pérdidas de finos y el daño térmico a las pequeñas partículas del producto. Por otra parte, la baja velocidad del flujo de vapor en la cámara superior del secador evita el arrastre de partículas hacia la atmósfera, los sistemas desodorizadores o los condensadores. Por último, al estar controlado automáticamente, el sistema es más estable, lo que minimiza las mermas en etapas intermedias por desajustes del proceso. El control automático permite un proceso estable y completamente ajustado a las condiciones prefijadas. A su vez, esto posibilita un eficiente control de los costos del proceso. Además, la intervención humana directa disminuye los errores o falta de control. El óptimo uso de la energía en sucesivas etapas y el mejor rendimiento termodinámico de los equipos han hecho posible un ahorro de 25% a 28% en el consumo de energía.

e) *La investigación sobre los recursos marinos y su ambiente*

La fuente básica que sustenta la industria pesquera reductora son los recursos marinos renovables, que se caracterizan por ser migratorios, muy sensibles a los cambios ambientales y de comportamiento fluctuante; sin estas especies, la actividad sencillamente no existiría. Por lo tanto, en el contexto de un desarrollo sustentable, para la industria pesquera es de gran relevancia la preservación de los recursos pelágicos y el conocimiento de su ambiente. Cabe destacar que las empresas asociadas a CORPESCA también han dedicado esfuerzo, tiempo y recursos a este cometido. Prácticamente desde sus orígenes, y con especial énfasis a partir del año 1980, se han ejecutado diversos programas de investigación, tanto directamente como mediante convenios con universidades y otros organismos especializados, a fin de recoger antecedentes y mantener una constante vigilancia del medio marino y los recursos que sustentan la actividad pesquera en el tiempo.

Las empresas asociadas a CORPESCA realizan programas de investigación sobre la biomasa y las condiciones oceanográficas de la costa chilena. Desde sus inicios han dedicado esfuerzos y financiamiento

al estudio de las especies que utilizan para su producción, como una forma concreta de abordar con seriedad científica una actividad económica basada en la explotación de recursos renovables. Las empresas enfrentan este desafío realizando investigaciones con sus propios profesionales y también mediante esfuerzos cooperativos llevados adelante conjuntamente con el Departamento de Ciencias del Mar de la Universidad Arturo Prat de Iquique, el Instituto de Fomento Pesquero (filial de la CORFO), la Universidad Católica de Valparaíso y otros organismos especializados.

Las investigaciones realizadas por medio de cruceros mensuales de monitoreo en barcos propios y naves científicas, permiten recopilar información sobre las variaciones de factores tales como la temperatura, la salinidad y la transparencia del agua de mar, cuya incidencia en la pesca son muy importantes. Asimismo, se obtienen antecedentes seriados sobre la distribución y abundancia del desove de las principales especies pelágicas y, por medio del monitoreo acústico, se procura estimar la biomasa global de los recursos. Otros programas de investigación se centran en el análisis biológico de las capturas descargadas en las plantas, su composición porcentual y el examen de longitud, peso y fase de madurez sexual. Además, se ha dado especial énfasis a los estudios sobre rendimiento operacional, en los que se determina la relación índice de captura por unidad de esfuerzo. Asimismo, se recibe información actualizada y en tiempo real de los satélites de la Administración Nacional del Océano y de la Atmósfera (NOAA GOSTCOMP), del Programa sobre océanos tropicales y la atmósfera mundial (TOGA), del Centro de Análisis Climático de los Estados Unidos y de la Comisión Permanente del Pacífico Sur. Toda esta información, única en Chile, permite un adecuado conocimiento de los recursos y del mar patrimonial y representa una importante contribución de las empresas al desarrollo del país.

Con respecto a la historia de estas actividades de investigación se puede mencionar que en 1981 las industrias pesqueras afiliadas a CORPESCA comenzaron a estudiar en forma sistemática parámetros ambientales y biológicos pertinentes a la actividad pesquera y a ordenar los conocimientos científicos de utilidad para la misma.

En 1985 esta labor ya había adquirido tal importancia que atrajo la atención del sector oficial y los técnicos de las empresas fueron incorporados a las reuniones y comités de análisis creados a nivel público para estudiar el estado de los recursos pesqueros.

Ese mismo año, la Empresa Pesquera Eperva y Pesquera Indo dieron mayor impulso a los cruceros de carácter mensual efectuados en la zona norte, y Pesquera Guanaye inició una serie de cruceros estacionales, con el apoyo del Instituto de Fomento Pesquero (IFOP). En 1986 ambas series de cruceros biológico-oceanográficos y acústicos

fueron refundidos en un solo programa, financiado por ambas empresas, a las que se agregaron Pesquera Iquique, Pesquera Tocopilla y Pesquera Punta Angamos. De acuerdo con un convenio suscrito con la Universidad Arturo Prat, de Iquique, desde mediados de 1987 los cruceros se realizan en el marco del Programa de Investigaciones Pesqueras Conjuntas (INPESCON).

Luego, las empresas iniciaron un plan de investigaciones a largo plazo que han permitido resolver algunos de los problemas científicos relacionados con los recursos pesqueros que se explotan actualmente. Estos planes, cuya finalidad es lograr un mayor conocimiento de la biomasa y sus ciclos de vida, incluyen investigaciones oceanográficas y biológicas de los recursos pesqueros; son revisados anualmente y cuentan con un presupuesto anual que ya asciende a 2 millones de dólares.

Las investigaciones biológico-oceanográficas pesqueras que, directa o indirectamente, realizan las empresas asociadas a CORPESCA, tienen por propósito: i) caracterizar el medio oceánico y su variabilidad; ii) hacer evaluaciones acústicas de la biomasa de los principales recursos pesqueros; iii) conocer los aspectos biológicos básicos de las especies pelágicas; iv) efectuar estudios sobre reclutamiento de las principales especies; y v) evaluar el impacto ambiental de la industria pesquera.

f) *El entorno institucional y social*

En las empresas asociadas a CORPESCA las decisiones con respecto a investigación, tanto industrial como sobre los recursos marinos, han sido el resultado de un proceso que forma parte de una planificación estratégica de largo plazo y se insertan en su constante búsqueda de innovaciones. Las determinaciones de estas empresas respecto de la eliminación de desexternalidades ambientales no han sido adoptadas en cumplimiento de disposiciones legales o institucionales, ni tampoco en respuesta a presiones de tipo social. Si bien es cierto que con los sistemas de procesamiento industrial del pasado se producían algunos problemas de emanación de humos con olor y de efluentes líquidos con algún porcentaje de materia orgánica, las autoridades no mostraban una voluntad política clara y consistente que incentivara u obligara a buscar soluciones radicales en este campo. Aunque se podrían mencionar iniciativas parciales o puntuales al respecto, como por ejemplo, ciertas disposiciones administrativas con las que se pretendía regular las emanaciones de olores, no formaban parte de un programa más amplio centrado en la problemática del desarrollo sustentable. Recién en 1991 se comenzó a trabajar, a nivel gubernamental, en un proyecto de ley orientado a proteger el medio ambiente.

Por su parte, la comunidad de los puertos donde están instaladas las plantas nunca ha ejercido presiones importantes sobre las industrias ni demostrado alta capacidad de movilización o agitación. Sólo se han conocido opiniones puntuales de personas, en mayor o menor grado conocidas, que manifiestan sus críticas ante los problemas mencionados, a través de los medios de comunicación social. Sólo desde fines de la década de 1980, cuando la preocupación por el medio ambiente a nivel nacional comenzó a motivar la organización y movilización de grupos ecologistas, en los puertos se generó una mayor presión sobre las industrias pesqueras. Sin embargo, en esa misma época las empresas ya habían empezado a desarrollar e instalar nuevas tecnologías, que permitían superar las desexternalidades ambientales de los procesos productivos. En este plano, se destacan las inversiones en nuevos equipos industriales realizadas por la Empresa Pesquera Eperva en sus plantas de Arica e Iquique, con el fin de controlar efluentes líquidos y gaseosos, así como malos olores.

g) *Hacia una política de desarrollo sustentable*

Desde sus inicios, el complejo industrial pesquero relacionado con CORPESCA asumió los riesgos y costos que involucran la investigación y la innovación, y buscó en forma sistemática nuevas alternativas industriales que permitieran mejorar los rendimientos económicos y eliminar cualquier impacto ambiental de los procesos productivos. Así, en un contexto de desarrollo sustentable, la industria pesquera de reducción identificó tres aspectos que, en general, han sido motivo de preocupación: la emanación de olores, el desecho de sólidos y la preservación de los recursos.

Para entender los eventuales problemas de índole ambiental relacionados con los dos primeros aspectos se debe tener en cuenta que el proceso de elaboración de harina de pescado consiste básicamente en deshidratar peces, cuyo contenido de agua excede de 70%. Esto exigió prolongadas investigaciones para desarrollar nuevas tecnologías en equipos de cocción, secado y evaporación del pescado, hasta que finalmente fue posible eliminar por completo la emisión de humos con olor, mediante el uso de energía residual para tratarlos y la incineración del gas remanente. En la actualidad, siete plantas de empresas asociadas a CORPESCA han adoptado, total o parcialmente, esta tecnología, con una inversión promedio que supera los 5 millones de dólares cada una. Entre ellas pueden mencionarse las dos plantas de Pesquera Eperva, en Arica e Iquique, la de Pesquera Punta Angamos, la planta de Pesquera Guanaye en Coronel y la de Pesquera Iquique en Talcahuano; recientemente también se han introducido innovaciones en la planta de Pesquera Indo en Iquique.

Otro motivo de preocupación era la existencia de residuos líquidos con materias sólidas orgánicas que se descargaban al medio en vez de recuperarlas. Las industrias integrantes de CORPESCA, tras aplicar innovadores procesos de deshidratación, decantación y recuperación de sólidos, han logrado una importante depuración de los residuos líquidos que van al mar, cuyo contenido de sólidos eliminados directamente disminuyó 175 veces, de 7% a 0.04%. Así, en la actualidad puede decirse fundadamente que los efluentes líquidos vertidos al mar por la mayoría de las plantas pesqueras tienen un impacto principalmente visual, pero no producen deterioro ambiental.

La iniciativa de enfrentar el problema de la contaminación ambiental surgió de la confluencia de varios intereses. Por una parte, las empresas sentían la creciente necesidad de acceder al mercado de las harinas especiales, lo que implicaba incorporar nuevos procesos; por otra parte, estaban interesadas en responder a las inquietudes de algunos sectores de la comunidad local respecto del problema de los malos olores y de los emisarios. Paralelamente a la incorporación de sistemas eficaces de control ambiental de la población y de la sociedad organizada, han surgido exigencias con respecto a la problemática ambiental. Si bien a nivel oficial actualmente no hay una política ni normas claras sobre la materia —se carece de un cuerpo legal único y coherente—, existe mayor sensibilidad social respecto del tema, lo que ha motivado la imposición de normas en forma puntual, sin seguir una línea predeterminada.

Cabe destacar que en la actualidad las empresas pesqueras cumplen normas más exigentes que los niveles fijados por la autoridad. Se han buscado fórmulas y llegado a convenios con la comunidad local, tal como sucedió en la ciudad de Iquique, donde la industria pesquera, la autoridad y los grupos sociales han fijado metas y plazos para eliminar los malos olores. Con respecto a los emisarios, en conjunto con la gobernación marítima de Iquique y Arica se está estudiando la solución definitiva del problema. Desde un punto de vista económico, la eficiencia de las innovaciones tecnológicas se ha manifestado en un notable mejoramiento del rendimiento productivo de la materia prima, que se incrementó de 15% a 29%. Todas las innovaciones han sido el resultado conjunto de la investigación en el plano de la ingeniería nacional y de un proceso de transferencia tecnológica, lo que corresponde plenamente al concepto de desarrollo sustentable (elimina un problema de índole ambiental) y proporciona un claro beneficio a un grupo de empresas que asumió los gastos y riesgos de la innovación y logró disminuir los costos del proceso productivo y mejorar la calidad del producto final.

En síntesis, las industrias pesqueras asociadas a CORPESCA han demostrado que aplicar una política de investigación y desarrollo a largo plazo les ha permitido incorporar constantemente mejores tecnologías —tanto en el proceso industrial como en la captura— y estudiar

objetivamente el estado de los recursos pesqueros que constituyen la base de sustentación de su actividad. Su acción ha sido motivada por el convencimiento de que son las empresas las que deben liderar, definir y practicar la acción empresarial en el marco del concepto de desarrollo sustentable.

Apéndice

El proceso de elaboración de harina de pescado y el medio ambiente

Control de efluentes líquidos: dado que la materia prima de este proceso de reducción tiene un contenido de agua que alcanza a 70%, también el tema de la evacuación de líquidos ha originado cierta controversia desde el punto de vista ambiental. En sus inicios, la industria pesquera utilizó técnicas que no permitían la recuperación de diversos desechos líquidos que contenían materias sólidas; por falta de tratamiento, tales residuos derivaban directamente al mar. Dos de estos problemas eran la no recuperación del agua de cola, residuo líquido generado tras el proceso de prensado, y la no recuperación de partículas sólidas de pescado. Esto hacía que los rendimientos del proceso productivo fuesen bajos y que no se lograra la calidad más adecuada.

Las empresas asociadas a CORPESCA desarrollaron equipos para un aprovechamiento integral de la materia prima, incluyendo la totalidad de los residuos que antes se perdían e iban al mar. Como resultado, ahora los efluentes líquidos vertidos prácticamente no llevan partículas sólidas, lo que ha eliminado el problema ambiental que esto generaba. También mejoró el rendimiento de la producción de harina de pescado, que aumentó de 15% en sus comienzos a valores superiores a 26% en la actualidad.

En el presente, los líquidos que las industrias pesqueras vierten directamente al mar provienen sólo de las siguientes fuentes:

Agua de bombeo de la descarga: para el traslado del pescado desde los barcos a las plantas en tierra se utiliza un sistema de descarga líquida, lo que significa que la pesca es bombeada junto con el agua de mar desde lanchones de descarga situados entre 200 y 400 metros de la línea de costa. Sin embargo, como el proceso requiere grandes volúmenes de agua, al devolver ésta al mar por medio de ductos, contiene una cantidad mínima de partículas sólidas y sangre.

Como resultado de la instalación de equipos recuperadores de sólidos en las plantas, el agua retorna con una adición de sólidos

orgánicos inferior a 0.04% por encima del contenido de sales del agua. Sin embargo, cabe mencionar que los sólidos solubles que tiñen el agua de color rojo tienen un evidente efecto antiestético. Es por eso que actualmente se está estudiando la instalación de colectores que evacúen en puntos alejados de la costa, donde el nivel de dispersión de la pluma sea elevado, lo que eliminará definitivamente el impacto visual que provocan estos líquidos.

Agua de sangre: otra fuente de fluidos en los procesos originales eran los pozos de almacenamiento, donde se producían líquidos por autólisis del pescado. Sin embargo, por su rico contenido proteico, las empresas buscaron fórmulas para recuperar este fluido, lo que se logró por medio de evaporadores que lo tratan. Actualmente, este proceso es imprescindible para la producción de harina de tipo integral.

Agua de cola: este líquido se generaba durante el proceso de cocción y prensado del pescado. Sin embargo, su riqueza en proteínas solubles y aceites llevó a diseñar equipos que, mediante procedimientos de centrifugación y evaporación incorporados al proceso, ahora los recuperan en su totalidad, lo que permite elevar el contenido proteico de la harina.

Agua de enfriamiento: el agua bombeada directamente del mar y usada para condensar los vapores de agua de los equipos desodorizadores convencionales constituía otra fuente generadora de líquidos, pero fue totalmente eliminada luego de la puesta en marcha de la nueva tecnología de aprovechamiento integral de los gases.

También se emplea agua para condensar la columna barométrica del evaporador; sin embargo, como no entra en contacto con partículas sólidas, no sufre adición alguna de sustancias sólidas o líquidas y vuelve al mar con las mismas características con que ingresa, excepto por su temperatura, que se eleva entre 10 y 15 grados.

Este punto también ha dado origen a diversas especulaciones acerca de una supuesta baja de los niveles de oxígeno a raíz de este calentamiento. No obstante, según investigaciones realizadas para medir el oxígeno en el mar, en la costa de la zona norte de Chile la conjunción de la contracorriente subsuperficial de Gunther con focos activos de surgencias costera produce una depleción natural de oxígeno en la capa superficial, por lo tanto, este efecto obedece a un fenómeno natural, en el que a la industria no le cabe responsabilidad.

Agua de limpieza: en el proceso de limpieza y sanitizado de las plantas y equipos se utiliza agua de mar, que regresa a su lugar de origen con adición de partículas orgánicas mínimas. Las empresas vinculadas a CORPESCA, con la asesoría de instituciones especializadas, han efectuado investigaciones que han permitido desarrollar detergentes y sanitizantes que cumplen con las normas internacionales en cuanto a biodegradabilidad.

V. GESTIÓN SUSTENTABLE DE RECURSOS NATURALES Y APROVECHAMIENTO DE BIOMASA COMO FUENTE RENOVABLE DE ENERGÍA

La gestión sustentable de los recursos naturales es de especial relevancia para América Latina. En cuanto a la biomasa, actualmente es considerada como una de las fuentes energéticas con mayores perspectivas futuras debido a que es renovable y no contribuye a la formación de anhídrido carbónico, el principal causante del efecto de invernadero. El primer estudio de caso incluido en esta sección se refiere a la empresa Aracruz Celulose y su aplicación de las ciencias biológicas al desarrollo de plantaciones de eucalipto y a la gestión sustentable de su amplio territorio de operación, en la que también se incluyen componentes de desarrollo social, como apoyo a los agricultores, educación y comunicación, vivienda y salud. El segundo estudio de caso es el de la empresa JULIO BERKES S.A., y relata el desarrollo de tecnologías para quemar leña de plantaciones y muchos otros materiales sólidos, en particular desechos agroindustriales, en forma eficiente y, por lo tanto, con un bajo nivel de emisión. Estos materiales son utilizados en calderas industriales y otros equipos técnicos fabricados por la firma.

1. ARACRUZ CELULOSE: aplicación de las ciencias biológicas al desarrollo de plantaciones forestales y la gestión sustentable del territorio¹

a) *Presentación de la empresa*

El proyecto Aracruz, que responde a una concepción integrada, comprende plantaciones de eucalipto, una fábrica de celulosa, una planta

¹ Sobre la base de Aracruz Celulose, S.A., *Empresas líderes en desarrollo, aplicación y difusión de tecnologías ambientalmente racionales en América Latina: gestión sustentable de las plantaciones de eucalipto en la empresa Aracruz Celulose, S.A., Brasil* (LC/R.1291), Santiago de Chile, CEPAL, 30 de julio de 1993.

electroquímica, una estructura portuaria y un barrio residencial. La inversión total alcanzó a 3 000 millones de dólares. Aracruz Celulose es una sociedad de cartera (*holding*) de un grupo que controla seis empresas de capital nacional, y cuenta con más de 2 000 accionistas. La fábrica de celulosa, ubicada en el municipio de Aracruz, a 65 km de Vitória (Espírito Santo) tiene una capacidad instalada para producir 1 025 000 t de celulosa blanqueada de eucalipto. El 80% de su producción se comercializa en aproximadamente 20 países en todos los continentes.

Las actividades se iniciaron en mayo de 1967, con la plantación de los primeros bosques de eucalipto en el municipio de Aracruz. Actualmente, el proyecto forestal abarca una superficie de casi 131 000 ha de plantaciones de eucalipto para producción industrial, distribuidas en tres grandes zonas: 38 000 ha en Aracruz, 45 000 ha en São Mateus, en el Estado de Espírito Santo, y 48 000 ha al sur de Bahía, intercaladas con 55 000 ha de reservas naturales en que están representados varios ecosistemas.

b) *Situación económica y ecológica del territorio con anterioridad a la llegada de la empresa*

Espírito Santo tiene una superficie de 4 559 700 ha, territorio que los colonos ocuparon lentamente. Hasta mediados del siglo pasado, la colonización se limitaba a la zona del litoral y al cultivo de la caña de azúcar. En esa época, el Estado poseía el 80% de la superficie de bosques primitivos.

"...El principal impulso a la ocupación territorial fue la expansión de la actividad cafetalera, que tuvo lugar a partir de 1850, con la devastación consiguiente del área de bosques primitivos, a causa del proceso exhaustivo de explotación de la tierra para implantar el nuevo cultivo".

De este modo, a partir de 1850 comenzó el proceso de estructuración territorial del estado, con predominio de la pequeña y mediana propiedad, situación que fue determinada por los siguientes factores causales principales:

Primero, al declinar la actividad azucarera en la región centromeridional, su lugar fue ocupado por el cultivo del café, que se extendió en pequeñas propiedades cedidas por el gobierno para el asentamiento de colonos inmigrantes extranjeros, principalmente italianos y alemanes; éstos impusieron el modelo de explotación basado en el minifundio, históricamente utilizado en sus países de origen. Así, además del café, los cultivos de subsistencia también pasaron a constituir actividades importantes.

Segundo, como consecuencia de las crisis del café ocurridas durante los períodos 1897-1910 y 1913-1918, las grandes haciendas de monocultivos del sur quedaron descapitalizadas y, como no emprendieron otras actividades agrícolas de sustitución, la mayoría de los propietarios se vieron obligados a subdividir y vender sus terrenos.

Tercero, la colonización real del norte comenzó en 1928, a partir de la construcción del puente sobre el río Doce, lo que permitió la ocupación de las tierras de acuerdo con un modelo basado principalmente en el minifundio y en el cultivo del café y de productos de subsistencia, así como en la explotación de la madera (Gobierno del Estado de Espírito Santo/Banco de Desenvolvimento do Espírito Santo/SEAG, 1989).

A comienzos de los años sesenta, el cultivo del café ya presentaba signos evidentes de agotamiento debido al creciente empobrecimiento de los suelos provocado por el carácter predatorio de su expansión, a la falta de nuevas áreas al norte del Estado y a los precios desfavorables del grano en el mercado internacional.

El nuevo panorama de la agricultura del estado se caracterizó por una menor actividad agraria, la baja de los ingresos, la descapitalización y la acumulación de mano de obra excedente en las áreas rurales. En esa época, la crianza de animales aparecía como la alternativa más viable.

La opción por la ganadería extensiva determinó una forma de explotación que aceleró el proceso de devastación de los bosques y matorrales aún existentes y configuró el esquema actual de utilización del suelo en el estado, del cual 41.2% está dedicado a pastizales.

La región escogida como base territorial de los primeros bosques de Aracruz, en 1967, se caracterizaba por un grave estancamiento económico y un cuadro generalizado de degradación ambiental, provocados por ciclos inadecuados de explotación. Como resultado de esta situación, el exuberante bosque con árboles de hojas semiperennes acabó siendo reemplazado por áreas cubiertas por gramíneas y malezas. Además, los suelos de la región, naturalmente poco fértiles, se empobrecieron aún más.

Estos factores, unidos a la falta de experiencia en la región con respecto a plantaciones de eucalipto y a la carencia de material genético adaptado a las condiciones locales, determinaron que la productividad fuera inicialmente insignificante. Esto puso en evidencia la necesidad de generar conocimientos propios mediante investigación pura y aplicada, con miras a asegurar un ascenso constante de la productividad.

c) *Investigación forestal e innovación tecnológica*

En 1973, la empresa Aracruz inició su programa de mejoramiento genético mediante la introducción y evaluación de 55 especies y

2 160 variedades de eucalipto originarias de Australia e Indonesia; el objeto era mantener un programa de corto, mediano y largo plazo que garantizara la generación de colonias genéticamente mejoradas y adaptadas a los fines de la empresa.

Esta rama de investigación permitió constituir siete sementeras, dos de ellas destinadas a la producción de semillas híbridas interespecíficas, a partir del cruce de *Eucalyptus grandis* con *Eucalyptus urophylla*, las dos especies de mejor rendimiento entre las 55 evaluadas. Aracruz logró producir experimentalmente semillas híbridas interespecíficas en gran escala. Este hecho, junto con la calidad de la semilla obtenida, hizo posible comercializarla tanto en Brasil como en otros países, incluso la propia Australia, a un precio casi seis veces mayor que el normal del mercado.

Sin embargo, la actividad pionera de producción de semillas genéticamente mejoradas sólo se concretó a partir de 1985, vale decir, 12 años después de la primera introducción del material genético. Este período corresponde al ciclo biológico de mejoramiento del eucalipto, que comienza con la introducción de nuevos genotipos, seguida de la evaluación hasta la edad de corte (siete años); la selección de árboles superiores; la creación de sementeras y el inicio de la producción de semillas. En las condiciones climáticas de Aracruz, esto normalmente ocurre a los cuatro años.

Dado que ya se sabía que se necesitaba un largo período para producir colonias genéticamente superiores, Aracruz diversificó hacia ramas más audaces su estrategia de investigación con fines de mejoramiento. Asimismo, en 1975 se iniciaron los estudios para perfeccionar el método de propagación vegetativa mediante el enraizado de estacas, que ya se aplicaba en otros países, aunque sólo a escala experimental.

Los investigadores de Aracruz, al observar que existían árboles muy superiores en las plantaciones iniciales, emprendieron la difícil tarea de producir bosques a partir de la propagación vegetativa o clonal de dichos árboles. En síntesis, Aracruz aplicó una técnica que, en los años setenta, sólo se utilizaba en proyectos de investigación. Este avance fue reconocido por la comunidad científica internacional y en 1984 Aracruz recibió el Premio Marcus Wallenberg, otorgado por la fundación sueca del mismo nombre. En términos prácticos, a partir de 1979 la empresa pudo iniciar el establecimiento de bosques clonales de elevada productividad comparados con los obtenidos mediante el trasplante de árboles producidos por semillas en viveros.

En 1986 la tala de las primeras plantaciones clonales corroboró las expectativas que había generado la investigación. Además de una mayor productividad de madera, el consumo específico de madera por tonelada de celulosa se redujo de 4.87 m³ a 4.26 m³, con un aumento

significativo de la producción de celulosa por unidad de área plantada de eucalipto.

Las plantaciones clonales, debido a su homogeneidad, también hicieron posible lograr aumentos del orden de 22% en las operaciones de explotación forestal, contribuyeron a reducir costos y a impulsar el progreso tecnológico.

En 1986 se comenzó a perfeccionar aún más la selección de clones para las plantaciones industriales, mediante la realización de experimentos en el terreno para evaluar la interacción entre genotipo y medio ambiente. En 1992 concluyó el séptimo año consecutivo de experimentación de este tipo, con un total de 254 clones evaluados por lo menos en ocho escenarios distintos, representativos de los macroambientes que existen en las áreas de operación de la empresa.

Gracias a este trabajo se han identificado clones que se comportan bien en la mayoría de los suelos de Aracruz y otros adaptados a condiciones específicas, especialmente ambientes marginales. Esta selección se hace sobre la base de la producción de celulosa por hectárea, que es el resultado del rendimiento forestal e industrial del clon; esto significa alta productividad de la madera, con una calidad que corresponda a los límites fijados para la producción de celulosa de alta calidad.

La elección de los materiales genéticos más adecuados a cada condición ambiental ha generado expectativas de lograr incrementos de celulosa por hectárea que van desde 6% hasta 23%, según el ambiente. Los datos del actual inventario de las plantaciones de Aracruz demostraron que el incremento anual medio de celulosa es del orden de 8.5 toneladas por hectárea, comparado con aumentos anuales que varían entre 1.25 y 6.25 toneladas de celulosa por hectárea en países como Portugal y España.

Últimamente, se introdujo la biotecnología, con un programa multidisciplinario orientado a alcanzar autonomía tecnológica selectiva en sectores considerados prioritarios para el desarrollo de la empresa. La concentración de estos esfuerzos, que incorporan disciplinas como fisiología y química vegetal, genética forestal y biología molecular, ha permitido tanto la formación de recursos humanos como una transferencia rápida de los resultados de la investigación al sector productivo.

Entre los programas de investigación en esta área se incluyen la embriogénesis de células somáticas, la formación de nuevo de yemas adventicias y el desarrollo forzado de yemas auxiliares, la producción de tejidos indiferenciados y callos celulares, la rizogénesis en cultivo de brotes y microestacas, el cultivo y la selección de linajes de células y protoplastos, el desarrollo de sistemas para la transformación genética

mediante la transferencia indirecta de genes, por medio de vectores, y directa, con el método biolístico, así como los estudios preliminares para las manipulaciones biotecnológicas de la composición y estructura de los materiales lignocelulósicos de eucalipto.

Gracias al dominio de las técnicas de cultivo *in vitro* se han logrado varios objetivos; algunos ejemplos son: multiplicación de linajes de hermanos carnales de árboles superiores de gran potencial forestal para la formación de sementeras y futuros ciclos de cruzamiento; establecimiento de condiciones favorables para el rejuvenecimiento y la regeneración de plantas a partir de tejidos y órganos provenientes de árboles superiores y el posterior cultivo de brotes; rápida generación de material celular homogéneo que permita la selección de variedades específicas para la condición expuesta al cultivo; superación del período de inactividad de las semillas y recuperación de híbridos raros provenientes de cruces incompatibles; aislamiento y cultivo de protoplastos para utilizarlos en sistemas de transformación genética o en estudios de formación de materiales lignocelulósicos de la pared celular.

A partir de la obtención del material genético adaptado a las condiciones locales se realizaron muchas actividades, principalmente mediante una administración forestal adecuada a cada situación, con miras a alcanzar, en forma continua, el doble objetivo de producir mejor madera para celulosa de alta calidad y de conservar los recursos naturales.

Esas actividades evolucionaron a lo largo de los años y pueden sintetizarse en las siguientes medidas:

- las plantaciones clonales se hacen en mosaicos y se procura evitar que haya más de 50 ha contiguas sembradas con un mismo clon. Esta práctica, unida a la selección de genotipos adaptados a cada condición, disminuye la vulnerabilidad genética de los bosques plantados por la empresa Aracruz y aumenta las defensas contra la proliferación de enfermedades y plagas de insectos;
- se fomenta continuamente la biodiversidad mediante la mantención y el enriquecimiento de las áreas de conservación natural integradas a las plantaciones de eucalipto;
- la selección de clones para un buen raleo natural garantiza la rápida protección del suelo mediante la incorporación natural de residuos como hojas, ramas y cortezas; además, propicia el ciclo efectivo de nutrientes y el aumento del contenido de materia orgánica en el suelo;
- el conocimiento del comportamiento clonal y del suelo mediante la vigilancia permanente de la producción de biomasa y de la fertilidad del suelo permite una fertilización específica de cada

lugar, lo que evita el empobrecimiento del suelo, mantiene o aumenta la productividad de las plantaciones durante varios ciclos consecutivos, e incluso garantiza la utilización futura de las tierras para otros tipos de cultivos;

- el alto crecimiento inicial y la adaptación local de los clones de eucalipto permite minimizar las interferencias con equipos, maquinaria y herbicidas para eliminar las malezas que pueden causar infección en la fase de crecimiento inicial;
- la técnica de clonación hace posible reproducir en gran escala árboles seleccionados de acuerdo con su eficiencia en la utilización del agua y elementos nutritivos del suelo;
- la uniformidad de las plantaciones clonales aumenta significativamente la calidad de las operaciones forestales de tala y transporte de madera, a la vez que reduce los costos de explotación;
- la tecnología de la clonación, a la que actualmente tienen acceso los pequeños agricultores de la región, mediante un programa de fomento forestal, ha hecho posible utilizar áreas marginales, degradadas o inapropiadas para la agricultura y la ganadería, usar mejor el suelo e incorporar estas tierras al proceso productivo, con un aumento importante del ingreso familiar;
- la optimización operacional de la lucha contra las hormigas cortadoras, basada en un sistema de vigilancia, además de disminuir en 70% el costo de operación, ha corroborado la minimización de los efectos ambientales;
- la lucha preventiva contra las plagas y enfermedades, también basada en un sistema de vigilancia, permite la detección y el seguimiento de los focos primarios, lo que hace posible la toma de decisiones de acción y el establecimiento de procedimientos diferenciados para las plagas permanentes y esporádicas. La eficiencia de este sistema se refleja en el hecho de que sólo es necesario intervenir en menos de 0.02% de los casos; los demás se combaten naturalmente, gracias al control biológico que ejerce la biodiversidad;
- dada la necesidad de adoptar también medidas curativas, se ha recurrido al control biológico. Una de las medidas en ese sentido fue la invención, en 1990, de un nuevo equipo motorizado para la aplicación del *Bacillus thuringiensis* (bacteria patógena para las orugas defoliadoras) en forma de polvo seco; su empleo se tradujo en incrementos muy significativos de la eficiencia (normalmente hasta 100%) en la protección de las plantaciones forestales, y en un rendimiento operacional casi cinco veces mayor que el obtenido con los métodos terrestres habituales; esto hizo que el costo de aplicación se volviera competitivo con respecto al método aéreo.

Se ha contribuido así a evitar el empleo de insecticidas químicos, que pueden perturbar el equilibrio ecológico como resultado de la eliminación inmediata de los enemigos naturales de las plagas y el surgimiento de resistencia a largo plazo.

Los progresos realizados por la empresa Aracruz durante sus 25 años de existencia no han sido fortuitos. Las investigaciones se iniciaron un año después de la instalación de la empresa y siempre se caracterizaron por resultados prácticos en materia de productividad y equilibrio ambiental. Actualmente, la gerencia de tecnología forestal cuenta con dos funcionarios con título de doctor, dos con el de magister y dos ingenieros forestales. El presupuesto anual es de aproximadamente 2.5% de las ventas totales de Aracruz Forestal, subsidiaria de Aracruz Celulose que se ocupa de las actividades forestales.

Con el fin de complementar los recursos propios, para parte del desarrollo tecnológico se buscó base científica y orientación en universidades e instituciones nacionales e internacionales, con las cuales la empresa mantiene un intercambio permanente y colabora prestando su apoyo para cursos y tesis de posgrado.

La velocidad de las innovaciones y la globalización de los mercados exigen un mejoramiento constante de productos y procesos para enfrentar el creciente nivel de competencia. Las dificultades que debe superar un centro de investigación y desarrollo para producir estas innovaciones en forma independiente son cada vez mayores. Por ejemplo, para este tipo de centros se vuelven actividades imprescindibles el registro de las principales fuentes de tecnología en esferas de importancia para la empresa, el seguimiento de la evolución de las tecnologías estratégicas y la realización de estudios con la cooperación de esas fuentes.

Los objetivos y metas propuestos forman parte de un plan maestro o estratégico del Centro de investigación pura y aplicada de Aracruz. La planificación se basa en el análisis de la tecnología y los procesos que serán desarrollados, así como de la posición competitiva de la empresa, además de una evaluación interna de la capacidad de realización del Centro que es efectuada por la auditoría tecnológica. De esta manera se esclarecen la misión y las directrices para el área de investigación y desarrollo y se priorizan los proyectos.

Se mantienen convenios, intercambios tecnológicos y asesoramiento con diversas instituciones, principalmente con miras a desarrollar investigaciones básicas. Gracias a esta estrategia se han ahorrado recursos humanos e inversiones propias y se han logrado resultados directos en las diferentes especializaciones, como se muestra en el cuadro 4.

Cuadro 4

INTERCAMBIO TECNOLÓGICO DE ARACRUZ CON OTRAS EMPRESAS E INSTITUCIONES CIENTÍFICAS-TECNOLÓGICAS

INSTITUCIÓN	OBJETIVOS
<p>Empresa Capixaba de Pesquisa Agropecuária (EMCAPA)</p>	<p>Identificación de material genético adaptado a las diversas regiones del Estado de São Paulo</p>
<ul style="list-style-type: none"> - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) - Serviço Nacional de Levantamento e de Conservação de Solos (SNLCS) - CNPF 	<ul style="list-style-type: none"> - Levantamiento, planimetría, unidad de manejo para 125 000 hectáreas - Introducción de especies, plantas y vástagos de eucalipto
<ul style="list-style-type: none"> - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiros" (ESALQ)/ Universidad de São Paulo (USP) 	<p>Normalización y control de calidad de los análisis de material vegetal</p>
<p>ESALQ/Centro de Energia Nuclear na Agricultura/USP</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Climatología - Balance hídrico
<p>Instituto Agronômico</p>	<p>Normalización y control de calidad de los análisis de suelos</p>
<p>Instituto de Pesquisa e Estudos Forestais (IPEF)/USP</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Obtención de híbridos de eucalipto mediante intercambio con empresas cooperadoras - Sugerencias y seguimiento de investigaciones en silvicultura alternativa y ecología forestal - Programa cooperativo sobre especies nativas: producción de plantas, modelos silviculturales y pastizales con más de una especie forrajera - Administración de la fauna y sectores forestales

Cuadro 4 (cont.)

INSTITUCIÓN	OBJETIVOS
Sociedade de Investigaçao Florestal (SIF)/ Universidad Nacional de Viçosa (UFV)	<ul style="list-style-type: none"> - Desarrollo de metodología en electroforesis e identificación de marcadores isoenzimáticos para ayudar en la selección de árboles superiores y la calidad de las semillas de alta calidad - Apoyo a la tesis de maestría sobre la identificación de hongos micorrízicos que actúan para aumentar la productividad de plantíos clonales de eucalipto - Asesoramiento a las áreas de suelo y nutrición de plantas
FEA/USP	Asesoramiento para elaborar el informe anual y el plan maestro de la gerencia de tecnología
Instituto de Investigaciones Tecnológicas (IPT)/USP	Identificación de clones de <i>Eucalyptus</i> y <i>Toona cilata</i> potenciales para aserraderos y mobiliario
Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP)/Botucatu	Evaluación de la experiencia actual y dimensionamiento de los equipos para limpieza de arados y suelos
UNESP/Rio Claro	Estudios de la fauna avícola
Universidade Federal do Espírito Santo (UFES)	<ul style="list-style-type: none"> - Estudios de flores - Estudios de peces y herpetofauna - Calidad del agua - Hidrología
Instituto de Investigaciones Espaciales (INPE)	Teleobservación
Museo de Biologia Mello Leitão (MBML)	Proyecto Tití
Centro de Primatologia do Rio de Janeiro (CPRJ)/Fundación Estatal de Ingeniería del Medio Ambiente, Rio de Janeiro	Zoología/primatología

Cuadro 4 (concl.)

INSTITUCIÓN	OBJETIVOS
Universidad de Oxford, Inglaterra	<ul style="list-style-type: none"> - Doctorado en genética forestal - Correlación de parámetros genéticos para selección y propagación de árboles
Universidad de Rutgers, Estados Unidos	<ul style="list-style-type: none"> - Doctorado en fisiología vegetal - Optimización de procesos productivos celulares y moleculares
Universidad Estatal de Carolina del Norte, Estados Unidos	<ul style="list-style-type: none"> - Doctorado en genética molecular - Obtención de marcadores moleculares para selección de árboles
Zobel Forestry Associates, Estados Unidos	Seguimiento del programa de mejoramiento genético a largo plazo
Central America and Mexico Coniferous Resources Cooperative (Estados Unidos)	Conservación y experimentos con coníferas de Centroamérica y México en condiciones locales
CSIRO, Australia	Intercambio de material genético de <i>Eucalyptus Spp</i>
Queensland Forestry Department, Australia	Intercambio de material genético de <i>Eucalyptus</i> y <i>Pinus</i>
Association Fôret-Cellulose (Francia)	Experimentos con semillas híbridas e intercambio tecnológico en propagación asexual
Smurfit Cartón, Colombia	Intercambio de material genético de <i>Eucalyptus spp</i>
Interforest AB, Tailandia	Intercambio de material genético de <i>Eucalyptus Spp</i>

d) *Gestión del medio ambiente*

La empresa Aracruz basa su gestión del medio ambiente en tres principios fundamentales: equilibrio ecológico, lucha preventiva y optimización operacional.

El equilibrio ecológico es fundamental y se logra principalmente mediante el mantenimiento y la administración de las reservas naturales existentes y la recuperación de nuevas áreas con vegetación natural, intercaladas todas ellas con las plantaciones de eucalipto.

Con el apoyo de universidades, institutos de investigación y consultores se ha estado realizando un programa experimental de planificación ambiental, que ha servido de modelo a otras empresas forestales brasileñas.

Uno de los propósitos de la planificación es elaborar diagnósticos de la situación del medio ambiente en las áreas de la empresa. De esta manera se sientan las bases para iniciar actividades dirigidas al mejoramiento, el mantenimiento y la interacción de los ecosistemas existentes.

Un resultado práctico de esta política se aprecia en la lucha natural contra las plagas de insectos que atacan el eucalipto. La continuidad del contacto entre las dos formaciones boscosas, la vegetación natural y las plantaciones de eucalipto, permite una mejor integración y mayores intercambios biológicos.

En el marco de proyectos de recuperación de función y de forma en áreas de importancia ecológica se plantan anualmente 1.5 millones de árboles de casi 150 especies forestales nativas, predominantemente frutales, con miras a abastecer de alimento a la fauna silvestre que habita en la región; de esta manera se restablece la cadena biológica.

Este cuidado ecológico permanente, que representa inversiones considerables, asegura el mantenimiento de una hectárea de reserva natural por cada 2.4 ha de plantaciones de eucalipto.

La integración de estos ambientes naturales con las plantaciones de eucalipto configura un conjunto de hábitat diversos; hasta diciembre de 1992, mediante programas periódicos de vigilancia de la fauna, se consignó la presencia de 359 especies de aves, 81 de peces, 32 de reptiles, 31 de anfibios, 43 de mamíferos, 468 de insectos y 28 de crustáceos.

De las 359 especies de aves identificadas, 45 pertenecían a la selva atlántica de Espírito Santo, 11 estaban amenazadas de extinción y 40 eran migratorias. Se identificaron asimismo 225 especies de aves que habitan en áreas plantadas con eucalipto con sotobosque formado; de éstas, 30 se consideran depredadoras de insectos que eventualmente pueden convertirse en plagas.

En total, la comparación con los antecedentes científicos disponibles (de 1935 a 1990), revela que las aves que viven en la zona de Aracruz corresponden a 50% de las especies ya identificadas en Espírito Santo y a 22% de las conocidas en todo el territorio nacional.

En 1992 la empresa Aracruz inició una labor inédita con el fin de reintroducir el tití (*Callithrix geoffroyi*) en sus áreas de conservación. En el segundo semestre de 1993 comenzarán a funcionar: i) el Centro de estudios y reintroducción de animales salvajes (CEREAIS), para lo cual se ha suscrito un convenio con el Instituto Brasileño del Medio Ambiente y los Recursos Naturales Renovables (IBAMA); y ii) la Unidad para la cría de animales salvajes amenazados de extinción, ambos con la finalidad de repoblar con especies animales las reservas naturales de la empresa. De esta manera aumentará la diversidad biológica en sus áreas de dominio.

En 1993 se inició asimismo un proyecto de vigilancia de microcuencas hidrográficas, con miras a evaluar la interacción entre eucalipto y medio ambiente y obtener respuestas concretas a preguntas de suma importancia en materia de equilibrio hídrico, relación entre fauna, flora y eucalipto, producción y productividad, eficiencia de los procesos utilizados, absorción de nutrientes y degradación de suelos, además de investigar alternativas técnicas y funcionales de la gestión forestal.

e) *Fomento forestal*

En mayo de 1990 la empresa Aracruz dio comienzo a un programa de plantación de bosques de eucalipto para productores rurales de Espírito Santo y Minas Gerais. En el marco de este programa se suscribieron contratos de compra-venta de madera que será destinada a las operaciones industriales de Aracruz.

El programa de fomento forestal se ha fijado como meta para 1996 la plantación por parte de terceros, mediante libre adhesión, de un conjunto de parcelas no menores de cinco hectáreas, con una extensión total de 32 000 ha. El programa contribuye asimismo a desconcentrar bosques homogéneos, además de reducir la presión sobre el resto de los bosques naturales, con la posibilidad de aprovechar los subproductos forestales para la generación de energía.

Al mismo tiempo, se procura recuperar áreas marginales, degradadas o impropias para la agricultura y crianza de animales, utilizar mejor el suelo e incorporar tales tierras al proceso productivo.

La empresa, mediante contratos en que garantiza la compra de toda la madera producida, se compromete a proporcionar plantas seleccionadas, abonos y cebo formicida. Además, adelanta recursos

financieros para sufragar el costo del establecimiento y el mantenimiento de las plantaciones. Los recursos financieros adelantados se traducen en metros de madera, que se descuentan íntegramente al productor en el momento de la tala y venta de la producción maderera a la empresa.

El productor se responsabiliza de la plantación, el mantenimiento, la tala y el transporte de la madera hasta las bodegas de la empresa. La madera que entrega debe atenerse a las normas de calidad de Aracruz.

Los expertos de la empresa dan asistencia técnica y supervisan las plantaciones; para ello cuentan con oficinas ubicadas cerca de las bodegas de recepción de la madera, que están distribuidas por todo el estado.

Cabe destacar la importante función social del programa, que presta servicios a pequeños y medianos productores, les garantiza otra fuente de ingresos en un período de crisis de la caicultura local y aprovecha zonas hasta ahora predominantemente improductivas, en general ubicadas en regiones montañosas con gran potencial forestal.

En los contratos se prohíbe la utilización de las áreas de bosques nativos, primarios o secundarios, y se garantiza el respeto a los principios de preservación de los recursos naturales renovables, de acuerdo con prácticas ecológicamente sanas aprobadas previamente por la empresa.

La empresa se ha fijado los siguientes objetivos en materia de fomento forestal:

- ampliar el área forestal productiva;
- aumentar la disponibilidad de madera en las cercanías de las fábricas;
- expandir las existencias estratégicas;
- propiciar el incremento de los ingresos del productor rural.

Hasta diciembre de 1992 se habían suscrito 1 261 contratos que representaban un total de 13 064 ha, con una superficie media de 10.36 ha por propiedad.

f) *Desarrollo regional*

i) *Relaciones laborales.* Durante el período 1960-1970 en los municipios que están dentro del ámbito de acción de la empresa se registraba un débil ritmo de expansión demográfica como resultado del agotamiento y estancamiento de las actividades tradicionales, especialmente de la explotación maderera, que se efectuaba en forma paralela a la expansión de la crianza de animales. Esa época estuvo muy marcada por el éxodo de la población rural hacia los centros urbanos, en busca de nuevas oportunidades de trabajo. Los efectos de ese desplazamiento de población se manifestaron, por una parte, en la

disminución de la población rural y, por la otra, en un acelerado proceso de urbanización, principalmente en Aracruz.

En el decenio de los setenta se reactivó el proceso de expansión demográfica de la región. La recuperación económica, que a su vez determina la dinámica demográfica, fue impulsada por la instalación de grandes proyectos forestales; sus principales efectos se manifestaron en Aracruz, donde la población urbana registró tasas de crecimiento de 125.6% entre 1960 y 1970, y de 232.8% entre 1970 y 1980.

En 1990, casi 60% del contingente ocupado pertenecía a la categoría de asalariados permanentes, mientras que en 1970 esta proporción era de 20.5%, y en 1960 de 1.3%. Queda así de manifiesto que en sus orígenes el proyecto Aracruz contribuyó significativamente a la fijación de la mano de obra local, además de haber atraído a trabajadores de otras regiones del estado que buscaban empleos permanentes.

ii) *Aspectos socioeconómicos*. En 1967 en la región de Aracruz no existían alternativas económicamente viables de uso de suelos, a lo cual se sumaba la baja calidad de los mismos; esta situación se tradujo en una gran oferta de tierras.

Los suelos de las áreas liberadas a causa de la explotación exhaustiva de los bosques naturales, así como de la erradicación de los cafetales improductivos, prácticamente carecían de cubierta vegetal por haber sido sometidos a prácticas agrícolas destructivas. La empresa Aracruz dio prioridad a la adquisición de tierras ociosas.

En 1975 la empresa amplió su base territorial a otros municipios del Estado (São Mateus y Conceição da Barra). En ese año existía en el municipio de Aracruz una superficie cultivable de 98 491 ha, de las cuales 39 417 ha correspondían a pastizales (40%), 11 936 ha eran tierras productivas no utilizadas (12%) y 6 100 ha se dedicaban a labranza (6%). Comparado con 1960, las áreas de labranza habían disminuido (65.4%), debido a la erradicación de los cafetales. Por el contrario, las zonas de cría de animales habían aumentado (117.8%), al igual que los bosques naturales (83%) y los bosques sembrados (35 779 ha).

Entre 1975 y 1985 se registró en Aracruz una significativa expansión (96.8%) de las áreas de labranza, principalmente de cultivos estacionales. En São Mateus y Conceição da Barra, además del aumento de la agricultura estacional, se produjo un aumento del cultivo de la pimienta negra y también de la caña de azúcar, debido a la presencia de tres fábricas de alcohol.

iii) *Finanzas públicas*. La contribución tributaria de las empresas Aracruz ha aumentado considerablemente en los últimos años. Así lo demuestra el hecho de que en 1967 la empresa aportó 13.5 millones de dólares a las arcas públicas y 30.8 millones de dólares en 1991.

Los efectos socioeconómicos de esa contribución son más visibles en la esfera municipal. La recaudación de todos los municipios en la zona de influencia de Aracruz ha mostrado incrementos sustanciales, lo que constituye un indicador del desarrollo económico de la región.

iv) *Infraestructura social*. En el área de la enseñanza, el importante aporte del proyecto Aracruz a la recaudación de impuestos de los municipios ha permitido a éstos destinar mayores montos de recursos a la educación. Además, la empresa ha dado apoyo material y financiero directo a las escuelas y contribuido así a mejorar la enseñanza en los municipios en que actúa.

En cuanto a asistencia médica, Aracruz ha ayudado de manera importante a minimizar el problema del déficit de camas en los hospitales. Ha suscrito convenios con hospitales y clínicas médicas particulares de la localidad y de la capital para la atención de los empleados y sus dependientes, lo que ha permitido aliviar la presión sobre los hospitales de la zona. Dado que por estos servicios Aracruz paga precios reales de mercado, la facturación de dichos establecimientos aumenta y les permite ampliar sus instalaciones y mejorar la calidad de la atención. Además, la empresa coopera sistemáticamente con los hospitales existentes en sus áreas de acción, presta su apoyo para realizar obras de transformación o ampliación y hace donaciones de equipos.

Con respecto a vivienda, la demanda habitacional aumentó considerablemente en las zonas en que actúa la empresa Aracruz. La construcción de viviendas populares por parte de las instituciones oficiales aún no basta para satisfacer el déficit habitacional. La empresa, mediante convenio con la Companhia Habitacional do Espírito Santo (Cohab-ES), impulsó la construcción de 2 006 casas, que fueron adjudicadas prioritariamente a los empleados con menor poder adquisitivo. Aracruz contribuyó mediante la donación de terrenos para construir los conjuntos habitacionales y la prestación de apoyo técnico para elaborar los proyectos en forma conjunta con las instituciones oficiales. Desde 1976 la empresa Aracruz administra 1 179 casas, destinadas exclusivamente a sus funcionarios, a los que concede un subsidio de arriendo.

v) *Beneficios sociales*. Los beneficios sociales del proyecto Aracruz han sido notables. La región en que se encuentra ubicada la empresa ha registrado tasas de desarrollo comparables con las mejores del Brasil.

Actualmente, la empresa Aracruz ocupa a cerca de 6 000 personas, que tienen más de 18 000 dependientes. Del total de empleados, sobre 60% es originario de Espírito Santo, y alrededor de 30% proviene de los Estados de Minas Gerais y Bahía. El uso intensivo de mano de obra local ha contribuido a reducir la migración hacia los grandes centros urbanos.

Al optar por instalarse lejos de las grandes ciudades, la empresa debió realizar inversiones considerables para crear la infraestructura necesaria. Construyó una estructura portuaria y un barrio residencial, abrió cerca de 8 000 km de caminos forestales, instaló sistemas de abastecimiento de agua y centros educacionales y de salud para atender a los empleados, dependientes y habitantes de la región.

En los dos últimos años Aracruz ha construido varios centros de esparcimiento y cultura, escuelas, clínicas médicas y centros de capacitación y formación profesional al norte de Espírito Santo y al sur de Bahía.

Por medio de los centros de capacitación y formación profesional la empresa crea oportunidades de iniciación en el trabajo, especialización profesional, preparación de dirigentes comunitarios, desarrollo sociocultural y formación de educadores a nivel de posgrado. Para ello se realizan diversos programas de instrucción que comprenden desde los espacios sociofamiliares de vestuario, artes y prácticas culinarias hasta talleres de mecánica, electricidad y construcción civil. También se fomentan las charlas socio-informativas, los talleres de informática e incluso las actividades de actualización de conocimientos para profesores del sistema de enseñanza.

A estos centros asisten niños, adolescentes, jóvenes, adultos y personas de edad, así como niños con problemas especiales. Las finalidades son la búsqueda de profesionalización, la manifestación de talentos y la preparación familiar, en un intento por mejorar la calidad de vida, entre otros aspectos.

La importante y continua participación de las comunidades en estos centros demuestra que es posible armonizar los negocios de la empresa con los intereses de la población en la que se inserta.

2. JULIO BERKES: desarrollo de tecnologías de combustión de leña y de biomasa de otros orígenes²

a) *El origen de la empresa*

La empresa metalúrgica Julio Berkes, S.A., dedicada a la calderería liviana y pesada, fue fundada en la década de los cuarenta

² Sobre la base de Jorge Pivel (JULIO BERKES, S.A.), *Empresas líderes en desarrollo, aplicación y difusión de tecnologías ambientalmente racionales en América Latina: el caso del desarrollo de tecnologías de combustión de leña y desechos de diverso origen por la empresa Julio Berkes, S.A., Uruguay (LC/R.1269)*, Santiago de Chile, CEPAL, 10 de mayo de 1993.

por un inmigrante húngaro, quien llegó al Uruguay con amplios conocimientos de las tecnologías más modernas de la época en materia de diseño y construcción de equipos de presión. Uno de los rasgos destacados de su personalidad fue que nunca subordinó la tecnología, las normas de fabricación o los criterios de calidad y seguridad a los aspectos comerciales de los negocios, al punto que prefirió perder contratos antes que ceder en estos principios.

Al cumplir la empresa 30 años de existencia ejemplar, su dueño decidió retirarse de la vida activa. Como no había una adecuada sucesión interna, el fundador de la empresa optó por transferir los activos a tres profesionales más jóvenes, dos de ellos ingenieros industriales y el tercero administrador.

En la misma época en que se transfirió la empresa, en la República Argentina el ingeniero Jacobo Agrest, experto en economía térmica, desarrollaba las bases de una concepción tecnológica denominada Cámara de Combustión Torsional, buscando un sistema que permitiera una combustión eficiente y segura de los combustibles sólidos renovables. Este proceso se conoce actualmente como transformación de energías de tipo dendrítico.

La empresa, que ya se había distinguido por su capacidad de innovación y de búsqueda de nuevas tecnologías, pudo iniciar un proceso de consolidación gracias a que se conjugaron los siguientes factores: primero, la existencia de la empresa creada por el señor Berkes; segundo, la disponibilidad de una nueva tecnología concebida en términos teóricos, cuya repercusión práctica era todavía escasa dado que sólo se habían dado los primeros pasos para su aplicación industrial; y, por último, la realización de esfuerzos complementarios para mejorar la eficiencia de los procesos de combustión en generadores de vapor mediante diseños que respondieran a los más exigentes criterios, tales como la aplicación de hogares de combustión torsional, hogares corrugados, fondos húmedos y ubicación excéntrica del hogar. Al mismo tiempo, se trataba de reducir la concentración de elementos contaminantes en los humos, con vistas a preservar la calidad del medio ambiente.

En síntesis, la sucesión hizo suyo el espíritu que el fundador había imbuido a la empresa y procuró mantenerlo por todos los medios. Como consecuencia, el estilo de trabajo se ha caracterizado por un predominio de los aspectos técnicos, científicos y de conservación ambiental sobre las consideraciones materiales y comerciales. En este marco, la actividad industrial de los últimos 20 años se ha caracterizado por la aplicación de una serie de tecnologías originales. La gestación y el desarrollo de estas tecnologías fueron factores determinantes que situaron a la empresa en una excelente posición para ofrecer a sus clientes soluciones a algunos problemas energéticos que surgieron en los años setenta a raíz de las sucesivas crisis petroleras.

Como Uruguay no dispone de recursos energéticos fósiles, la crisis del petróleo debía resolverse recurriendo, entre otros, a los recursos autóctonos renovables. En ese contexto, la cámara de combustión torsional, que ya había sido patentada con miras a utilizarla con combustibles fósiles o renovables, aportaba un interesante punto de partida. Además, fue necesario abocarse al diseño de distintos conjuntos funcionales con el fin de asegurar una combustión eficiente de los combustibles sólidos. Entre otros cometidos, se trataba de definir los métodos de combustión; de diseñar y adaptar los sistemas de alimentación y control a los distintos tipos de combustibles; y de concebir mecanismos de regulación del aire que apuntaran a optimizar la eficiencia de la combustión, la seguridad operativa y la conservación del medio ambiente.

Como resultado de estos esfuerzos se incorporó al acervo de la empresa un conjunto de tecnologías, actualmente reconocidas y premiadas, que le permiten elaborar proyectos, fabricar equipos, ejecutar trabajos de montaje e interconexión y poner en funcionamiento las instalaciones de las obras realizadas. Hasta ahora se han realizado más de 60 proyectos de transformación o producción de energía, entre los que se incluyen plantas generadoras de vapor, secadores, equipos de transferencia térmica, hornos para cal y otros equipos.

b) *La motivación para desarrollar la tecnología*

En Julio Berkes, S.A. se incorporó y desarrolló tecnología en etapas sucesivas y su acervo tecnológico aún sigue actualizándose en forma permanente. La etapa inicial de este proceso fue ejecutada por el ingeniero Agrest. Después de haber concebido la cámara de combustión torsional como un dispositivo apto para mejorar los procesos de combustión de combustibles sólidos, líquidos y gaseosos, comenzó a analizar el tema desde el punto de vista de la eficiencia. Con tal objeto examinó la simultaneidad de los procesos físico-químicos que tienen lugar en el complejo fenómeno de la combustión.

Como es sabido, la combustión de cualquier material ocurre cuando éste alcanza el estado gaseoso en el curso del proceso de quema, si es que inicialmente no se encuentra en ese estado. Es por eso que, antes de ser quemados, los combustibles líquidos se pulverizan hasta un nivel comparable con el estado gaseoso. En el caso de los combustibles sólidos, sean de pequeña granulometría o en trozos de mayor tamaño, conviene someterlos a un proceso de gasificación y producir el llamado "gas pobre" antes de quemarlos, para así lograr una combustión eficiente. En la quema convencional o directa, los

procesos de pirolización, destilación y oxidación se producen en forma simultánea y en un mismo recinto. Como consecuencia, la combustión no sólo resulta incompleta e ineficiente, sino que además produce contaminación.

Uruguay no posee recursos energéticos fósiles, por lo que depende de su importación y del abastecimiento de recursos renovables locales para generar energía térmica primaria. Con respecto a estos últimos, en el país existen condiciones favorables para la producción de madera en plantaciones forestales. Además, diversas industrias generan volúmenes bastante importantes de desechos de origen vegetal, que constituyen otra fuente de abastecimiento de combustibles. A partir de la primera crisis mundial del petróleo, se volvió especialmente importante aprovechar los recursos renovables locales debido a la particular situación del país en cuanto a abastecimiento energético, así como también al hecho de que su economía es pequeña y poco diversificada. En consecuencia, la búsqueda de tecnologías que permitieran una combustión eficiente de combustibles sólidos, en particular renovables, adquirió gran relevancia en esos momentos.

Un primer análisis condujo a dos conclusiones principales. La primera era que el tema no había suscitado mucho interés en los países desarrollados que, a diferencia del Uruguay, tenían economías sólidas, estructuradas para trasladar, y no absorber, los efectos negativos de las crisis petroleras. Además, algunos de ellos disponían de abundantes recursos fósiles en sus propios territorios. Debido a esas circunstancias, los países desarrollados no habían tenido estímulos para buscar alternativas energéticas basadas en recursos renovables y, por lo tanto, en los años setenta las tecnologías disponibles en ese campo no estaban actualizadas. Además, se constató que no existía una solución satisfactoria para dos problemas conexos: lograr una combustión eficiente y, a la vez, limpia.

La segunda conclusión era que se debía recurrir a la capacidad creativa del país para desarrollar una tecnología que respondiera a las condiciones específicas requeridas. El primer paso fue identificar tecnologías que fueran teóricamente apropiadas, a la vez que auspiciosas, para generar soluciones industriales. Esta investigación determinó que había que centrarse en las nuevas tecnologías ya mencionadas: gasificación de la madera y la cámara de combustión torsional. En el primer caso, el esfuerzo de desarrollo se orientaba a adecuar un proceso físico-químico conocido para utilizarlo en calderas y otras aplicaciones térmicas industriales. En el segundo, el objetivo consistía en optimizar las condiciones aerodinámicas para la quema de combustibles, en particular de los de pequeña granulometría.

c) *El desarrollo del equipo de gasificación y de la cámara de combustión torsional*

Cuando la empresa comenzó a incorporar los trabajos originales del ingeniero Agrest, ya contaba con una amplia experiencia en la construcción de generadores convencionales de vapor, de los cuales hasta entonces había fabricado más de 200 unidades. A partir de ese momento, se integró al diseño de los equipos una serie de innovaciones que permitieron fabricar un producto de primera línea en comparación con la oferta tanto nacional como internacional. Son ejemplos de estas innovaciones los hogares corrugados y los fondos húmedos.

Sin embargo, aunque esas calderas de vapor incluían interesantes conceptos de diseño y elementos innovadores patentados, por sí mismas no aseguraban una combustión adecuada de todos los materiales sólidos renovables, en particular de la leña en rollos o en grandes trozos. Por lo tanto, llegó un momento en que la empresa se propuso investigar las posibilidades de aplicar el concepto de la gasificación al aprovechamiento de la leña como combustible. Como se mencionó anteriormente, para ello había que separar las fases de pirolización y gasificación del combustible de la etapa de combustión propiamente dicha. Como resultado de esta investigación se desarrolló un novedoso gasógeno, cuya concepción se basaba en la materialización de tres principios. En primer lugar, se eliminaron los dispositivos convencionalmente utilizados para depurar los gases de gasógeno, ya que las experiencias indicaban que en este caso dicha operación era innecesaria. En segundo lugar, los materiales refractarios comúnmente utilizados se reemplazaron por una camisa refrigerada. Los materiales refractarios sufrían un continuo deterioro, debían ser renovados con frecuencia y, por lo tanto, su uso era antieconómico. Por último, se buscó simplificar las operaciones de carga de leña y de evacuación de cenizas, así como lograr un funcionamiento más versátil y confiable.

La cámara de combustión torsional se presentó como una solución para optimizar algunos de los factores que gobiernan la combustión, tales como la turbulencia de la mezcla aire-combustible y el tiempo de residencia de esta mezcla dentro de la cámara de combustión. Estas condiciones permiten trabajar con un exceso mínimo de aire y asegurar, a la vez, una combustión completa. De este modo se logra un proceso de combustión de máxima eficiencia y un alto grado de limpieza y seguridad en el funcionamiento de los equipos.

El sistema consiste en mantener las partículas combustibles en sustentación aerodinámica dentro de la zona de combustión por medio de un movimiento de rotación. Este movimiento produce una turbulencia en la mezcla combustible, efecto que facilita la disgregación de las partículas y los mecanismos de intercambio. Además, en una cámara de combustión

torsional el tiempo de permanencia de la mezcla combustible en la zona de alta temperatura es 30 veces menor que el correspondiente en una cámara de combustión convencional. Se producen así mejores condiciones para la pirolización o pérdida de volátiles de las partículas combustibles y la gasificación del carbono fijo. El resultado es una combustión prácticamente perfecta, con un mínimo exceso de aire y total ausencia de partículas carbonosas, lo que equivale a máxima eficiencia y limpieza y mínimo costo operativo y de mantenimiento. Además, la turbulencia trae aparejada una uniformación de las temperaturas en la mezcla combustible, lo que determina que las cenizas se fundan en mínimo grado. De esta manera, parte de las cenizas se separan y evacúan en la propia cámara de combustión, lo que se traduce en economía operativa.

Desde el punto de vista estructural, la cámara de combustión torsional consta de una pared de agua, compuesta por una doble camisa o por tubos, comunicada al sistema agua-vapor de la caldera. La utilización de materiales refractarios es mínima, lo que ha permitido prácticamente eliminar los costos de mantenimiento por este concepto. Otra característica estructural es que la cámara lleva una parte envolvente exterior que constituye un múltiple de aire con varias filas de toberas. A través de este sistema y mediante un ventilador forzado se inyecta a la cámara la mezcla de aire con el combustible. Por su disposición tangencial, las toberas imprimen el movimiento característico ya mencionado a la mezcla aire-combustible en el interior de la cámara.

La cámara torsional se presta especialmente para quemar combustibles sólidos de pequeña granulometría, tales como aserrín, viruta y cáscaras de arroz, de girasol o de algodón. El tamaño de las partículas no debe superar una magnitud determinada para permitir su sustentación aerodinámica. No obstante, también ha demostrado tener grandes ventajas en el caso de combustibles líquidos, tales como combustóleo, y especialmente con gas de leña, en complementación con el gasógeno. Al utilizar estos combustibles las características de la cámara torsional permiten obtener una combustión de alto rendimiento y estabilidad, con excesos de aire inferiores a 10%, independientemente de las variaciones de calidad del combustible. También es posible usar simultáneamente combustibles con distintas características, como por ejemplo una combinación de gas de leña con combustóleo o combustible sólido. La cámara torsional es aplicable a calderas de cualquier tipo, con capacidad hasta de 100 toneladas de vapor por hora, sean instalaciones nuevas o ya existentes, unidades de humo o acuatubulares. También sirve como solución para secadores u hornos, ya sea con utilización directa de los gases, o por vía indirecta mediante intercambiadores.

d) *El control de emisiones contaminantes y pérdidas energéticas*

Al aumentar la eficiencia de un proceso de combustión también mejoran las condiciones para la protección del medio ambiente. Esto obedece a dos razones fundamentales: en primer lugar, el aumento de la eficiencia se traduce en una reducción de la cantidad de partículas carbonosas no quemadas, que en gran parte son arrastradas a la atmósfera por los gases de combustión. En segundo lugar, una combustión eficiente también se caracteriza por generar un menor volumen de gases de escape o humos que una quema convencional. Por consiguiente, se reduce la pérdida de calor a través de los gases de escape y, además, se requiere menos energía eléctrica para impulsar los ventiladores, lo que constituye una ventaja desde el punto de vista ambiental.

Cuando se utilizan combustibles sólidos renovables es más difícil alcanzar altos grados de eficiencia que con otros combustibles. Básicamente, la solución consiste en separar física y temporalmente el proceso de formación de gas pobre del proceso de combustión. Esto permite inyectar cantidades de aire primario y secundario muy próximas a las teóricamente necesarias, lo que hace posible lograr el punto óptimo de funcionamiento en cada etapa del proceso. Técnicamente esto se realiza mediante sistemas de regulación automática de las entradas de aire y de la salida de gases de escape o humos.

La eficiencia económica y ambiental de la tecnología de combustión descrita se refleja en las siguientes cifras: en primer lugar, se reemplaza un kg de combustóleo por sólo 2.9 a 3.2 kg de leña de eucalipto con un 30% de humedad. En segundo lugar, el exceso de aire con respecto a la cantidad teóricamente necesaria fluctúa entre 7% y 10%, un índice excelente que permite mantener bajo el volumen de los gases de escape y reducir en 40% la potencia eléctrica instalada, en comparación con los sistemas convencionales. Por último, la combustión completa que asegura este concepto tecnológico disminuye la emisión de partículas sólidas a niveles mínimos. En el caso de la quema de leña, el total de cenizas representa sólo 1.2% del peso de la leña; de ese total, 0.6% sale por el cenicero del gasificador y el 0.6% restante queda atrapado en los gases de escape de la caldera.³

³ Estas cifras no indican la concentración de material particulado ni de otras sustancias dañinas en los gases de escape. Por otra parte, cabe señalar que en Uruguay y en muchos otros lugares en América Latina existen condiciones favorables de dispersión atmosférica debido al régimen de vientos predominante (nota del editor).

e) *Aplicaciones industriales*

El conjunto de estos conceptos teóricos constituye la base de la tecnología desarrollada por Julio Berkes S.A. para quemar combustibles sólidos renovables con un grado razonable de eficiencia y una adecuada protección del medio ambiente. Esta tecnología fue reconocida como una verdadera innovación por una auditoría internacional realizada en el marco de un certamen del Programa de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED-D) sobre empresas innovadoras iberoamericanas. La demostración del alcance industrial práctico de esta tecnología fue posibilitada por la capacidad técnica de la empresa para proyectar y fabricar los correspondientes equipos.

Los diseños de los equipos principales fueron protegidos por patentes uruguayas. Así, la patente N° U 753 registra el equipo gasificador sin refractarios y la N° U 834, la cámara torsional de combustión. Además, la firma dispone de numerosos diseños y procedimientos originales para hogares corrugados, válvulas rotativas y sistemas de alimentación de combustibles.

Los diferentes elementos constitutivos de una instalación destinada a transformar energía dendrítica son diseñados para cada proyecto, tomando en cuenta las características operacionales específicas del cliente. La versatilidad de la tecnología queda demostrada por la amplia gama de actividades industriales que la han adoptado (véase el cuadro 5).

En la mayoría de los casos, las instalaciones admiten la eventual utilización de combustibles fósiles, si así lo aconsejara las condiciones del mercado internacional del petróleo en un momento determinado.

f) *La gestión tecnológica en la empresa*

La eficacia del desarrollo tecnológico descrito está avalada por la exitosa puesta en funcionamiento de más de 60 instalaciones industriales desde el año 1980. Los factores que determinaron estos resultados fueron varios. En primer lugar, la tecnología fue desarrollada por un equipo de técnicos con formación universitaria. Dado que gran parte de los desarrollos requería traducir ciertos conceptos teóricos a aplicaciones industriales, la presencia de este factor fue muy importante. En segundo lugar, se dio la circunstancia de que los técnicos eran, a la vez, empresarios metalúrgicos con una sólida experiencia en el campo de los generadores de vapor y otros equipos térmicos similares. Tercero, los proyectos de inversión en instalaciones concebidas de acuerdo con la nueva tecnología mostraron tasas de retorno sumamente elevadas debido a que el costo de los combustibles renovables que ésta permitía utilizar eficientemente era bastante inferior al de los combustibles fósiles. Esto

determinó que se contara con una demanda potencial de cierta importancia. En cuarto lugar, dado que en el país existían excelentes condiciones para producir leña en plantaciones forestales, la disponibilidad de una tecnología apta para utilizar ese recurso a escala industrial impulsó considerablemente los planes de forestación y el aprovechamiento de terrenos no idóneos para la agricultura. Por último, otra circunstancia favorable fue la receptividad que mostraron los clientes de la empresa en la fase inicial de introducción de las innovaciones al mercado. El hecho de ser ellos también pioneros e innovadores fue un factor de especial relevancia.

Cuadro 5

INDUSTRIAS USUARIAS DE INSTALACIONES DE TRANSFORMACIÓN DE ENERGÍA DENDRÍTICA

Industrias pesqueras

Industrias del cuero

Industrias agroindustriales y alimenticias:

**Industrias textiles:
Tintorerías industriales**

Secaderos de pellets
Secaderos de té
Industrias lácteas
Industrias de embutidos
Molinos harineros
Ingenios azucareros
Industrias aceiteras
Plantas frigoríficas

**Industrias químicas:
Fábricas de jabón**

**Industrias de materiales de construcción:
Fábricas de cal**

Fuente: JULIO BERKES, S.A.

Los equipos de la empresa Julio Berkes, S.A. normalmente son diseñados y fabricados a pedido, no en forma masiva o seriada sobre la base de los resultados de un único proceso de investigación y desarrollo tecnológico. Cada nuevo proyecto difiere sustancialmente de los anteriores, lo que significa que la mayoría demanda considerable trabajo de ingeniería, asimilable a actividades de investigación y desarrollo. Esto determina que la asignación de recursos humanos a estas actividades sea comparativamente intensiva y que su incidencia en los costos o el valor de venta también sea elevada: entre un mínimo de 4% y un máximo de un 40% en proyectos muy complejos.

Mediante la actual vinculación con instituciones como la Universidad de la República y el Laboratorio Tecnológico del Uruguay se busca desarrollar en forma compartida proyectos más novedosos que los perfeccionamientos que normalmente surgen de la ejecución de contratos comerciales.

g) *Aceptación pública y privada de la innovación y perspectivas de cooperación*

En general se constata que la introducción y aceptación de innovaciones tecnológicas en el medio local no es fácil. Algunos de los obstáculos más comunes son el carácter conservador del medio industrial, así como el predominio en los negocios de las consideraciones comerciales y de las relaciones personales preexistentes. Sin embargo, la empresa pudo superar esos impedimentos, a lo cual también contribuyó, como ya se dijo, la actitud pionera de algunos de sus clientes, que le permitió crear una base suficiente para luego realizar un número considerable de instalaciones. Así, las expectativas iniciales se han cumplido con creces y, con el correr del tiempo, ha habido reconocimientos en forma de premios nacionales e internacionales a la innovación.

Sin embargo, el tamaño y las peculiares características del mercado local impiden asegurar una consolidación económica que permita emprender sistemáticamente nuevos desarrollos tecnológicos en campos afines. Estas condiciones limitan incluso los esfuerzos por explorar la aplicación de las tecnologías propias a otras áreas industriales, como la cogeneración térmica de vapor y energía eléctrica y la utilización como combustible de los residuos de los beneficios de café, el bagazo de caña de azúcar, los desechos forestales y el gas natural.

Como ya se ha señalado, la infraestructura científico-tecnológica ha constituido un apoyo para los nuevos proyectos innovadores, aunque se debe mencionar que en el momento en que se inició el desarrollo de las tecnologías que la empresa posee actualmente aún no estaban dadas las condiciones mínimas de relacionamiento.

Para el desarrollo de sus tecnologías la empresa no se ha beneficiado de incentivos o apoyos gubernamentales. Como se indica en un reciente estudio sobre las empresas innovadoras en Iberoamérica, eso tal vez se deba al hecho de que, salvo excepciones, el empresario innovador muestra un alto grado de independencia y escasa preocupación por los factores externos que pudieran ayudarlo (Waissbluth, Testart y Buitelaar, 1992).

En estos momentos se piensa que sólo alguna gestión de apoyo internacional haría posible alcanzar el potencial necesario para

proyectarse hacia el exterior. En realidad, se tiene la percepción de que muy pocos industriales o usuarios del exterior se interesarían en invertir en una tecnología desarrollada en un país latinoamericano y no inventada antes en el mundo industrializado. Por lo tanto, una tecnología uruguaya sería vista en el extranjero con más suspicacia todavía que dentro del país.

En la perspectiva del desarrollo socioeconómico y sustentable, la tecnología desarrollada podría ser de especial relevancia para numerosos países de América Latina y de otras regiones en desarrollo, como India, China y la mayoría de los países africanos. Sus aplicaciones potenciales exceden ampliamente las que ofrecen algunas de las opciones mencionadas por organizaciones internacionales, como la FAO, o por organismos no gubernamentales. Esta tecnología ha sido reconocida y premiada, pero aún no se ha aprovechado en gran escala para aliviar algunas de las carencias que sufren los sectores pobres en América Latina y en otros países subdesarrollados. Esto contrasta con el importante uso que se le ha dado en la industria privada del Uruguay.

La cooperación científica mundial y el respaldo de las organizaciones internacionales competentes podrían ser decisivos para hacer realidad estas aplicaciones. El apoyo incondicional que la empresa presta a estos esfuerzos queda de manifiesto en un informe sobre temas similares que, a instancias de la CEPAL, se entregó recientemente en la República de El Salvador.

h) *El significado de la tecnología para el desarrollo sustentable*

Desde el punto de vista del desarrollo sustentable, las tecnologías desarrolladas por Julio Berkes S.A. en el campo de la combustión de recursos naturales renovables y desechos de biomasa son de gran trascendencia. En primer lugar, hacen posible reducir la vulnerabilidad externa de los países carentes de recursos energéticos fósiles al permitir su sustitución económica por recursos renovables autóctonos. Si estos últimos pueden ser producidos en condiciones comparativamente ventajosas, las tecnologías desarrolladas contribuirían a asegurar o restituir la competitividad internacional de las industrias que hacen uso intensivo de energía térmica. En segundo lugar, posibilitan la recuperación productiva de tierras degradadas o inadecuadas para la explotación agropecuaria por otros motivos, pero utilizables con fines de forestación. La producción de leña para ser utilizada como combustible también puede contribuir a dignificar la tarea de los forestadores, alentar la radicación de mano de obra en el medio rural y hacer rentable el trabajo en el monte.

A lo anterior se agrega que, a diferencia de los combustibles fósiles, la biomasa utilizada como fuente energética, sea en forma de leña de plantaciones y bosques manejados sustentablemente o de desechos agroindustriales, no contribuye al cambio climático global. Por el contrario, actualmente la biomasa se percibe como una fuente energética alternativa a la de los recursos fósiles. En efecto, en su proceso de crecimiento un árbol o planta absorbe tanto gas carbónico como posteriormente entrega a la atmósfera durante su combustión, de modo que se renueva el balance de anhídrido carbónico y resulta neutro. Además, la nueva tecnología asegura una combustión comparativamente limpia, con mínimas emisiones de partículas y de gases que puedan dañar el medio ambiente local o regional.

VI. REFLEXIONES FINALES: GESTIÓN EMPRESARIAL Y POLÍTICAS PÚBLICAS DE APOYO AL DESARROLLO, APLICACIÓN Y DIFUSIÓN DE TECNOLOGÍAS AMBIENTALMENTE RACIONALES

El análisis de las experiencias de un conjunto de empresas latinoamericanas en el campo del desarrollo, aplicación y difusión de tecnologías ambientalmente racionales, incluidos los sistemas de gestión sustentable, así como el examen de los efectos de políticas ambientales y de apoyo a la innovación y difusión tecnológicas observados en la industria de países desarrollados, han dado pie a la formulación tentativa de las siguientes conclusiones.

Los países latinoamericanos, como los de otras regiones del mundo, enfrentan el desafío de la sustentabilidad del desarrollo; entre las condiciones que éste implica figuran la protección del medio ambiente y la gestión cuidadosa de los recursos naturales. En la mayoría de los países desarrollados, las fuerzas que se inspiran en estos ideales ya contribuyen a una profunda transformación tecnológica de las estructuras de producción y distribución. Una de las manifestaciones de esta transformación es el surgimiento de una demanda o mercado de nuevos bienes y servicios denominados "ambientales", "verdes" o "limpios".

En estas circunstancias, la nueva demanda de productos y servicios relacionados con el medio ambiente, que frecuentemente son requeridos para reemplazar bienes convencionales, constituye a la vez una oportunidad y un desafío para las empresas y empresarios latinoamericanos. Aunque siempre habrá competencia por parte de los países avanzados, las empresas locales pueden participar en el abastecimiento de este nuevo mercado. Una forma de acceder a él sería mediante esfuerzos en las áreas de investigación y desarrollo tecnológicos, ingeniería y mercadeo.

No obstante esta afirmación, es importante preguntarse si en la región realmente se justifica o no realizar esfuerzos de investigación y desarrollo tecnológicos en tal sentido. ¿No sería acaso más racional adoptar simplemente las soluciones disponibles en los países tecnológicamente más avanzados? Si bien no se trata de "reinventar la

rueda", varias razones llevan a considerar que la disyuntiva que se enfrenta es sólo aparente. Dependiendo de las circunstancias, en algunas ocasiones será funcional adoptar tecnologías ya desarrolladas y probadas en otros lugares, y en otras se justificará emprender un desarrollo propio o adaptar una tecnología existente. La racionalidad del segundo camino depende de varias condiciones. Éstas se dan, en primer lugar, cuando existen situaciones ecológicas y problemas de contaminación ambiental específicos. En tal caso, lo sensato sería que los agentes locales no sólo participaran en la búsqueda de soluciones imaginativas, sino incluso que tomaran la iniciativa. En segundo lugar, cuando constatándose una realidad como la anterior, no hay evidencias de que exista una tecnología adecuada o sí la hay, pero tiene un costo comparativamente elevado, caso en que también se justificaría abocarse a un desarrollo nuevo o adaptativo y, por ende, poner en juego las capacidades de innovación endógena. Con frecuencia éstas existen, sea dentro de una empresa o entre sus proveedores o clientes, o bien entre consultores o centros académicos y tecnológicos a los que la empresa puede tener acceso. Por último, la movilización de la capacidad creativa propia, tanto en forma de actividades de investigación y desarrollo tecnológicos y de ingeniería, como mediante una adecuada gestión de los recursos humanos, tiene para una empresa el atractivo de que puede fortalecer su posición en el mercado. En lo fundamental, esta argumentación no es distinta de la que se ha esgrimido en favor de un desarrollo tecnológico endógeno en general, pero la incorporación al desarrollo de la temática del medio ambiente ofrece una nueva oportunidad para insistir en ella.

El desarrollo de nuevos productos y procesos ambientalmente racionales puede originarse en el interior de una empresa establecida o constituir la base para la creación de una nueva empresa. En el primer caso, pudiera ser que se gestara como consecuencia de una auditoría ambiental, propuesta entre los principios de gestión ambiental por la Cámara de Comercio Internacional en la Carta de las Empresas para un Desarrollo Sostenido. En realidad, la auditoría ambiental podría tener un alcance bastante importante como instrumento de manejo empresarial si se considera que es posible que la mayoría de los productos y procesos actualmente en uso tengan algún impacto negativo en la salud y el medio ambiente. En el caso de los productos, la búsqueda se orientaría entonces hacia variedades o sustitutos más biodegradables, menos tóxicos o más fáciles de recuperar y reciclar. En cuanto a los procesos, los esfuerzos estarían dirigidos a su optimización, modificación o completo reemplazo, con el fin de reducir al mínimo la generación de residuos y usar eficientemente la energía y los recursos naturales.

Una empresa que busca el fortalecimiento de su capacidad competitiva, o simplemente la expansión de sus negocios, también puede centrar sus esfuerzos en una diversificación, especialización o

reestructuración de su actividad productiva. Los mercados de bienes y servicios ambientales, que ya están surgiendo en varios países latinoamericanos, ofrecen campos propicios para el desarrollo de nuevas líneas de productos. Las mismas perspectivas se estarían abriendo para la creación de nuevas empresas. Estas oportunidades pueden ser aprovechadas por jóvenes profesionales, hombres de negocios e inversionistas, así como por empresas dedicadas a otros rubros y grupos empresariales que deseen diversificarse.

En su gestión, la creación de una nueva empresa es parecida al desarrollo de una nueva línea de productos en una empresa establecida. Frecuentemente, el desarrollo de un nuevo negocio comienza con una prospección del mercado y una evaluación de las capacidades potenciales con que se cuenta dentro de la empresa o de su grupo fundador. En cuanto a la prospección del mercado, en el caso de los productos destinados a la protección del medio ambiente y a la valoración de los recursos naturales, hay que tener en cuenta que en la mayoría de los países latinoamericanos habría que basarse en proyecciones, ya que esta demanda aún se encuentra en un estado incipiente. Dada la apertura de los mercados latinoamericanos, también sería necesario considerar la posible oferta externa, en especial la de algunos países desarrollados, que podría hacer su aparición una vez que la demanda local creciera y se volviera evidente. Al evaluar el potencial empresarial habría que prestar particular atención al conocimiento al que se tenga acceso y a la capacidad existente para plasmar estos factores en proyectos y acciones.

En el momento de formular el plan de negocios será preciso tomar una decisión estratégica respecto del origen de la tecnología de los productos que se pretende elaborar. En principio, las opciones serían tres, aunque en la práctica muchas veces se darán combinaciones de ellas. Una primera opción es basar la fabricación en tecnologías que sean de dominio público o formen parte de las disciplinas de la ingeniería. Una forma de acceder a este acervo tecnológico es mediante lo que se ha denominado "reingeniería", término que, en el fondo, significa hacer una copia sofisticada. La segunda opción consiste en fabricar sobre la base de licencias o diseños proporcionados por una empresa extranjera. Por último, está la opción de elaborar productos diseñados a partir de la propia investigación y desarrollo tecnológicos. Esta última alternativa ofrece la ventaja de otorgar a la empresa que logra el desarrollo un firme fundamento para posicionarse en el mercado. Incluso en el caso de que se opte por adquirir una licencia de fabricación, a la empresa le conviene, e incluso le puede ser indispensable, contar con una capacidad propia de investigación y desarrollo tecnológicos o, de lo contrario, de ingeniería conceptual o de proyecto. Por otra parte, nada se opone a que una empresa en posesión de esta capacidad suscriba un acuerdo de cooperación tecnológica con una firma extranjera, siempre que esta

vinculación se oriente a fortalecer su propia capacidad. Las distintas opciones estratégicas de una empresa o equipo de proyecto también tienen que ver con la alternativa entre adoptar conscientemente una posición de liderazgo tecnológico o una de seguimiento en este campo.

Al examinar el potencial acceso al conocimiento de una empresa establecida o en formación, en particular en el ámbito tecnológico, habrá que estudiar las posibilidades de establecer relaciones con centros tecnológicos, instituciones académicas y otras entidades competentes. Los esfuerzos deberán dirigirse a mantener un contacto sistémico con estas instituciones, lo que significa que tenga cierta permanencia en el tiempo y se establezca a partir de una complementariedad entre las partes, ya que ello contribuiría en gran medida a formar y complementar la capacidad tecnológica de las empresas en las áreas consideradas. Las alianzas estratégicas que pudieran acordarse con otras empresas del país tendrían finalidades similares.

En los sucesivos planteamientos sobre el desarrollo en la década de los noventa y más allá propuestos por la CEPAL, así como en la Carta de las Empresas para el Desarrollo Sostenible elaborada por la Cámara de Comercio Internacional, se aboga por la participación del sector privado en la formulación de las políticas públicas, en particular en el campo de las normas destinadas a fomentar la protección del medio ambiente y a la gestión racional de los recursos naturales.

Las reglamentaciones sobre el medio ambiente y la gestión de los recursos naturales deben formularse sobre la base del conocimiento con respecto al funcionamiento de los ecosistemas, el impacto local, nacional y global que generan las distintas fuentes emisoras, la institucionalidad existente y los compromisos asumidos por los gobiernos y los diversos agentes sociales. Por lo tanto, las propuestas que se plantean a continuación, basadas principalmente en las experiencias de un conjunto de empresas latinoamericanas y en el examen de los efectos de algunas políticas y programas aplicados en los países desarrollados, son necesariamente esquemáticas y sólo pretenden aportar algunos elementos de reflexión para el diseño de políticas tendientes a fomentar el desarrollo y la difusión de tecnologías ambientalmente racionales en la región.

Las propuestas que se presentan son las siguientes:

1. Permitir que el sector privado participe en el diseño de las políticas nacionales sobre el medio ambiente y los recursos naturales y en la elaboración de las reglamentaciones y normas correspondientes. En primer lugar, esto significa entablar un diálogo entre el sector público y el privado y trabajar en equipo. Con respecto a los resultados de estas actividades ambas partes deben asumir firmes compromisos. A la autoridad le corresponde empeñarse al máximo para que las propuestas elaboradas en

conjunto obtengan el necesario respaldo legal y se reflejen en procedimientos administrativos expeditos. A las empresas les compete acatar las normas acordadas por consenso y apoyar constructivamente a su cumplimiento. Este enfoque sistémico de las relaciones entre el sector público y el privado, que en la actualidad tiene mucha difusión, pero se practica poco, redundaría en una reducción del costo social y en un fortalecimiento de la competitividad internacional de las empresas.

2. Las reglamentaciones que se elaboren para el control de la contaminación y la gestión racional de los recursos naturales deberían contemplar plazos suficientes para dar cumplimiento a las normas y acuerdos, de modo que las empresas afectadas tengan tiempo para definir y adecuar sus planes de investigación e inversión. Dentro de estos marcos, convendría fijar metas y etapas susceptibles de ser revisadas periódicamente sobre la base, entre otros factores, de la coyuntura económica del país y de los sectores productivos comprometidos, así como de la aparición de nuevas alternativas tecnológicas.
3. La normativa ambiental adoptada debería distinguir entre cuencas geográficas o hidrográficas, ecosistemas y actividades industriales con el objeto de facilitar el logro de una calidad ambiental aceptable y de minimizar los costos de control de la contaminación y de regulación. Además, convendría que la normativa contemplara, desde un principio, el conjunto de las áreas más importantes del medio ambiente: la protección del aire, el agua y los suelos y el control de la generación y disposición de residuos. Así se evitaría repetir los errores cometidos en los países desarrollados, donde se estableció primero el control de la contaminación atmosférica, lo que condujo a un agravamiento de la contaminación hídrica y, luego, la regulación de ésta provocó un problema de generación de residuos. Sin embargo, la compartimentación institucional que existe en los países latinoamericanos dificultaría considerablemente la materialización de esta propuesta. Por ejemplo, los departamentos encargados del agua potable y de sanidad suelen tener atribuciones legales sobre la protección de las aguas, mientras que son otras las dependencias de la administración pública que se ocupan del control de la contaminación atmosférica y de regular la generación de residuos.
4. La política ambiental debería facilitar la innovación y la difusión de tecnologías ambientalmente racionales, especialmente en el campo de las tecnologías limpias. La razón es que estas últimas tienden a reducir en su misma fuente la generación de residuos y la producción de sustancias peligrosas. Además, con frecuencia son más eficientes que las tecnologías tradicionales en el uso de

- insumos y de energía, y reducen los costos de producción. Por otra parte, las tecnologías limpias suelen ser específicas a los distintos sectores industriales. Por lo tanto, sería recomendable que a las políticas sectoriales de reestructuración o modernización industrial aplicadas se les incorporaran normas ambientales orientadas a fomentar la adopción de tecnologías limpias.
5. En lo posible habría que evitar la formulación de normas que prescriban el uso de determinadas tecnologías, debido a que esto significa frenar la innovación y el desarrollo tecnológicos. Aun reconociendo que, en ciertas circunstancias, las normas tecnológicas son recomendables porque facilitan la fiscalización, en general son preferibles las normas basadas en el rendimiento (del tipo *performance based standards*) u otros instrumentos similares, especialmente los incentivos económicos. Estos últimos, aparte de ser más eficientes, tienden a estimular la innovación y el desarrollo tecnológicos.
 6. Además de propiciar, cuando sea posible y funcional, la incorporación al sistema de regulación ambiental de incentivos económicos, y también de su contrapartida, los desincentivos económicos, habría que otorgar prioridad a la aplicación de fórmulas flexibles de administración y fiscalización de la normativa ambiental, como por ejemplo la concertación de acuerdos con empresas que se fijen determinados objetivos con respecto a niveles de reducción de emisiones o de calidad ambiental.
 7. Con el objeto de fomentar el desarrollo de tecnologías ambientales y la innovación en este campo sería conveniente revisar los reglamentos que rigen las adquisiciones y contrataciones públicas. La calificación de las ofertas no debería basarse exclusivamente en una comparación de los precios, sino también incluir una evaluación técnico-económica de las soluciones propuestas.
 8. Fomentar el desarrollo y la difusión de tecnologías ambientalmente racionales y, en particular, de tecnologías limpias, mediante las siguientes medidas de apoyo, entre otras: i) creación de redes y servicios de información y asistencia técnica y científica en el plano nacional y vinculación de éstos con las fuentes de información existentes en países desarrollados y organizaciones internacionales; ii) organización de misiones comerciales y exhibiciones de tecnologías ambientalmente racionales en ferias industriales; iii) fomento de la interacción entre las empresas del sector privado y la infraestructura científico-tecnológica, con fines de educación, actualización de conocimientos y realización de proyectos de investigación y desarrollo tecnológico; y iv) creación de fondos y utilización de esos recursos para otorgar subsidios que

actúen como catalizadores para poner en marcha proyectos de desarrollo tecnológico y de innovación. El apoyo debería orientarse preferentemente hacia la pequeña y mediana industria. Por otra parte, se procuraría proporcionar a las empresas dichos servicios de información, de asistencia técnica y de otros tipos sobre una base de costos compartidos y también que estos servicios pudieran ser traspasados al sector privado tan pronto fuera posible.

9. Propiciar la concertación y puesta en práctica de acuerdos de cooperación tecnológica entre empresas en los planos regional y global, y establecer programas de asistencia técnica internacional que complementen estos esfuerzos en campos tales como la capacitación y la formación de personal.

Anexo

GLOSARIO

- Adsorción:** uno de los principios más aplicados para el control de determinadas emisiones, como por ejemplo los vapores orgánicos; en el proceso de adsorción, los componentes nocivos de un gas son retenidos por una sustancia porosa; los adsorbentes más comunes son el carbón activado, la sílica gel y la alúmina.
- Aeróbico:** designa los procesos de degradación que se desarrollan en presencia del oxígeno del aire.
- Agua de cola:** un líquido rico en proteínas que se genera en la etapa de cocción y prensado de la fabricación de harina de pescado; en los procesos antiguos era evacuada como un residuo y constituía una fuente de contaminación; en los sistemas modernos los productos de valor son recuperados y recirculados en el proceso productivo.
- Aguas servidas:** son los efluentes líquidos, de origen doméstico o industrial, contaminados con agentes patógenos, productos tóxicos, materias grasas y diversos tipos de residuos, según el caso.
- Alúmina:** compuesto de aluminio obtenido mediante el procesamiento de la bauxita y empleado para la elaboración de aluminio.
- Anaeróbico:** se aplica a procesos de tratamiento biológico de efluentes líquidos que se realizan en ausencia de oxígeno.
- Análisis de impacto ambiental:** instrumento de gestión y de fiscalización mediante el cual se procura prever el impacto que un proyecto de inversión podría ejercer en el medio ambiente y encontrar soluciones para reducir los efectos indeseables o inaceptables.
- Anhídrido sulfuroso:** es el dióxido de azufre que frecuentemente está presente en las emisiones de los procesos metalúrgicos y de combustión. Es el causante de las lluvias ácidas y uno de los componentes de la contaminación atmosférica (*smog*). Como producto industrial el anhídrido sulfuroso es utilizado para preservar alimentos, como producto intermedio en la producción

de ácido sulfúrico y otras sustancias químicas y como producto auxiliar en la fabricación de celulosa de papel.

Auditoría ambiental: es un instrumento de gestión cuyo propósito es evaluar el comportamiento o *performance* de una empresa en materia ambiental.

Biodiversidad: la variedad y variabilidad de los genes, especies, poblaciones y ecosistemas. Gran parte de los bienes y servicios esenciales —alimentos, vestuario, vivienda, medicamentos y sustento espiritual— dependen de los recursos biológicos que resultan de la biodiversidad. A pesar de los crecientes esfuerzos realizados en los últimos 20 años, la diversidad biológica continúa perdiéndose en el mundo, principalmente a raíz de la destrucción de los hábitat, el exceso de cultivo, la contaminación y la introducción de plantas y animales ajenos e inconvenientes (Programa 21, Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo). A fines de 1993 entró en vigor el Convenio sobre la Diversidad Biológica, firmado en julio de 1992, con ocasión de la Conferencia mencionada o Cumbre de la Tierra. El propósito de este convenio es conservar la diversidad biológica, lo que por primera vez se está reconociendo como una preocupación común de la humanidad y como una parte integral del proceso de desarrollo.

Biomasa: masa o volumen total del conjunto de los organismos o de algún grupo de organismos que viven en un determinado hábitat o lugar. Se aplica a plantas y animales.

Botritis: una infección fungosa que ataca en particular a la uva de mesa y afecta su calidad.

Capacidad de regeneración: es la capacidad que tienen ciertos cuerpos receptores de sustancias contaminantes para degradarlas mediante procesos naturales y así recuperar su anterior estado natural.

Células somáticas: células diferenciadas que constituyen los tejidos corporales de las plantas y animales multicelulares.

Clonaje: una técnica de propagación de plantas que consiste en usar, en vez de semillas, partes de la planta que se quiere reproducir. El clonaje permite conservar todo el potencial genético del árbol madre que se ha seleccionado por sus óptimas características forestales e industriales, tales como vigor, forma, resistencia a plagas y enfermedades y calidad de su madera.

Clon: línea de células, todas ellas surgidas de una misma célula mediante división nuclear caracterizada por replicación de los cromosomas y formación de dos núcleos hijos idénticos.

Compuestos orgánicos volátiles: se trata de hidrocarburos que son emitidos a la atmósfera; en las ciudades se originan principalmente en las fuentes móviles (vehículos automotores) y, en menor grado,

- en procesos industriales y pérdidas por evaporación que se producen en operaciones como recubrimiento de superficies, desengrase, litografía y distribución de combustibles, entre otras.
- Contaminación:** la introducción al medio ambiente o la presencia de sustancias o energía cuya naturaleza, ubicación o cantidad produce efectos ambientales indeseables. También la alteración de algún componente del medio ambiente o sus organismos vivientes como resultado del aporte de sustancias dañinas.
- Control biológico:** control de plagas en cultivos o plantaciones mediante la utilización o protección de especies no dañinas.
- Cultivo *in vitro*:** cultivo de tejido que se hace crecer en un medio artificial, separado de la planta madre que lo originó. El valor del cultivo *in vitro* como método de propagación de plantas depende de la capacidad del tejido original para diferenciar raíces y brotes o desarrollar pequeñas estructuras semejantes a embriones a partir de células individuales y agregaciones de células.
- De la cuna a la tumba:** designación de un enfoque que consiste en considerar los impactos ambientales que genera un determinado producto tomando en cuenta su ciclo de vida total, desde la etapa de elaboración, o incluso desde la extracción de las materias primas, hasta el término de su vida útil y el aprovechamiento y disposición final de los residuos.
- Desodorización:** operación o proceso mediante el cual se eliminan las sustancias que provocan olores en emisiones atmosféricas.
- Digestibilidad:** grado de aprovechamiento de una harina de pescado como alimento de animales. Las mediciones suelen hacerse *in vivo* en pollitos (test de crecimiento) o en peces y animales seleccionados, tales como salmones, truchas visones y ratas.
- Dry scrubbing:** proceso de limpieza aplicado a los humos de electrólisis en la industria del aluminio; los humos atraviesan una capa de alúmina que tiene la propiedad de absorber los fluoruros; la alúmina se aprovecha luego como materia prima en el proceso de electrólisis.
- Ecosistema:** una comunidad biológica y su entorno químico y físico inmediato. Energía y alimentos son transferidos en circuitos de un miembro a otro de esta comunidad.
- Efecto de invernadero:** algunos gases, tales como anhídrido carbónico, vapor de agua, metano, óxidos de nitrógeno y clorofluorcarbonos (CFC), forman una capa aislante alrededor del planeta. Estos gases son generados en gran parte por la actividad del hombre. La capa aislante deja atravesar la radiación solar hacia la tierra, pero atrapa en alguna medida la radiación reflejada de la tierra. El mismo fenómeno tiene lugar en los invernaderos de plantas. El efecto es natural y necesario para mantener una temperatura suficiente para

el sostenimiento de la vida en la tierra. Por otra parte, si la generación de estos gases continuara a los ritmos actuales, la temperatura promedio de la tierra tendería a aumentar y con ello se producirían cambios climáticos y de otra naturaleza que, a su vez, ocasionarían trastornos importantes en muchos lugares del mundo.

Especies pelágicas: son especies de peces de carne oscura y alto contenido graso, tales como el jurel, la anchoveta, la sardina española y la caballa. Por estas características su demanda en el mercado de consumo directo es limitada y se destinan principalmente a la elaboración de harina y aceite de pescado.

Facultativo: se aplica a los procesos de tratamiento biológico de aguas servidas en que los organismos pueden funcionar en presencia o ausencia de oxígeno molecular.

Filtro percolador: es un filtro en que el líquido tratado fluye o gotea hacia abajo a través de un medio filtrante.

Fitopedológico: se aplica a procesos de tratamiento físico, químico y biológico que tienen lugar en un ecosistema o filtro compuesto de tierras, agua y plantas.

Genotipo: constitución genética de una célula individual u organismo en relación con un único rasgo o conjunto de rasgos; suma total de todos los genes presentes en un individuo.

Harina de pescado: producto de alto contenido proteico utilizado para elaborar alimentos para animales.

Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP): una familia de hidrocarburos aromáticos de varios anillos fusionados; el compuesto más estudiado de esta familia es el benzo-a-pireno, que es un precursor en el metabolismo del cáncer; estos compuestos, que se forman por la combustión incompleta de otros hidrocarburos, se encuentran bastante difundidos en el medio ambiente y provienen de fuentes tales como los gases de escape de los automóviles, las estufas a leña, el humo de los cigarrillos y la preparación de comida con carbón vegetal.

Incineración: es un método que permite destruir una amplia gama de sustancias dañinas y residuos mediante quema. El proceso no está exento de riesgos. Bajo ciertas condiciones pueden producirse dioxinas, que son emitidas junto con los gases de escape, en particular cuando la quema incluye hidrocarburos clorados, tales como PVC. No obstante, se considera que una incineración a elevada temperatura y cuidadosamente controlada constituye la mejor opción para eliminar algunos residuos tóxicos y peligrosos.

Informe Brundtland: informe preparado en 1987 por la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo. Esta Comisión, auspiciada por las Naciones Unidas, tenía el mandato de elaborar

una agenda global para el cambio y definir la forma en que se podría alcanzar el desarrollo sustentable. La Comisión fue presidida por Gro Harlem Brundtland, entonces Primer Ministro de Noruega.

Lodo activado: el procedimiento de lodo activado se emplea para tratar aguas servidas. Fue desarrollado en Inglaterra en 1914 e implica la generación de una masa activa de microorganismos capaces de descomponer y estabilizar las aguas servidas por vía aeróbica.

Mercurio: metal pesado tóxico que causa perturbaciones nerviosas en los adultos y daños cerebrales en los niños.

Metanización: proceso de conversión bacteriana que constituye una etapa de la digestión anaeróbica de aguas servidas; en este proceso el hidrógeno y ácido acético formados en la etapa anterior de acidificación son convertidos en gas de metano y anhídrido carbónico.

Monitoreo: mediciones realizadas en forma continua o regular en determinados entornos con el objeto de vigilar los niveles de elementos contaminantes presentes y el cumplimiento de las normas ambientales.

Ozono: una forma molecular de oxígeno que tiene efectos benéficos o adversos dependiendo de su ubicación. En la atmósfera, a nivel del suelo, es un componente del *smog* fotoquímico y puede ocasionar dificultades respiratorias. En la estratósfera, el ozono absorbe parte de la radiación ultravioleta que es dañina para el hombre y la naturaleza.

Patogenicidad: aptitud para producir enfermedad.

Pedrisca: filtro de arena o piedritas que se usa en el tratamiento de efluentes líquidos.

Pentaclorofenol: un biocida usado para tratar maderas a fin de prevenir la descomposición por hongos y la infestación por termitas. El producto es tóxico y provoca dermatitis y trastornos en el funcionamiento del hígado.

Ppm o partes por mil: medida de concentración de gases o líquidos.

Qualitative Structure-Activity Relationship (QSAR): el término QSAR designa un conjunto de modelos matemáticos que permiten anticipar aproximadamente el efecto que produce en el medio ambiente una sustancia química determinada. Estos modelos se basan en las relaciones existentes entre la estructura química de las sustancias y su actividad toxicológica.

Reciclaje: proceso mediante el cual se reintroducen los residuos o desechos a los circuitos de la producción y del consumo, ya sea dentro de una planta o en un espacio económico más amplio; con frecuencia el reciclaje requiere que los residuos o desechos sean

- sometidos a procesos de tratamiento con el objeto de separar las sustancias y componentes que son aprovechables.
- Relación estequiométrica:** relación que indica las cantidades de las distintas sustancias que intervienen en una reacción química.
- Residuos:** productos móviles de los cuales sus dueños desean o deben deshacerse; se generan en forma no intencionada en procesos productivos, de distribución y de consumo.
- Rizogénesis:** método de propagación de plantas a partir de rizomas, que son estructuras especializadas de tallo en las cuales el eje de la planta crece horizontalmente, justo abajo o sobre la superficie del suelo.
- Semillas híbridas interespecíficas:** semillas descendientes de dos variedades distintas de una misma especie; a su vez, especie es un grupo de plantas que en la naturaleza se cruzan o pueden cruzarse entre ellas y se hallan reproductivamente aisladas de todos los demás grupos similares.
- Tecnologías limpias:** son tecnologías de proceso y de producto que consideran el conjunto de las etapas de un proceso productivo y el ciclo de vida de los productos, con el objeto minimizar la generación de residuos, el consumo de energía y los riesgos para la salud humana y el medio ambiente.
- Tecnologías ambiental o ecológicamente racionales:** son tecnologías que "protegen el medio ambiente, son menos contaminantes, utilizan todos los recursos en forma más sostenible, reciclan una mayor porción de sus desechos y productos y tratan los desechos residuales en forma más aceptable que las tecnologías que han venido a sustituir" (Naciones Unidas, 1993b).
- Tierras diatomáceas:** mineral de óxido de silicio que se generó en la época geológica terciaria a partir de las carcasas de algas unicelulares; se utiliza como medio filtrante, material para el almacenaje de ácidos, aislante térmico y acústico e ingrediente de explosivos.
- Vinhoto:** expresión en portugués que designa un residuo líquido generado durante la fabricación de azúcar.

Bibliografía

- Almeida, C. (1993), Development and transfer of environmentally sound technologies in manufacturing: A survey, UNCTAD Discussion Papers, N° 58 (UNCTAD/OSG/DP/058), Ginebra.
- Aracruz Celulose S.A. (1991), "Programa de fomento florestal: cenários municipais", Aracruz, Brasil, inédito.
- Aracruz: um exemplo de desenvolvimento sustentável. Tecnologia, conservação do meio ambiente, qualidade de vida*, Vitória, 1991.
- Banco Mundial (1992), *Informe sobre el desarrollo mundial, 1992*, Washington, D.C.
- Batista, P.R. (1988), "Impactos socioeconômicos do projeto Aracruz", Aracruz, inédito.
- Betts, M. (1991), The practical interpretation and application of the polluter pays principle (LC/R.1008(Sem.61/15)), Santiago de Chile, CEPAL.
- CCI (Cámara de Comercio Internacional) (1991), *Carta de las Empresas para un Desarrollo Sostenido: Principios para la Gestión Ambiental*, publicación 210/356 A, París.
- CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe) (1994), Políticas para la gestión ambientalmente adecuada de los residuos: el caso de los residuos sólidos urbanos en Chile a la luz de la experiencia internacional (LC/R.1428), Santiago de Chile, CEPAL, 11 de agosto.
- _____ (1992), El manejo de las aguas en las áreas metropolitanas de América Latina (LC/R.1156), Santiago de Chile.
- _____ (1991), *El desarrollo sustentable: transformación productiva, equidad y medio ambiente* (LC/G.1648/Rev.2-P), Santiago de Chile, mayo. Publicación de las Naciones Unidas, N° de venta: S.91.II.G.5.
- _____ (1990a), *Transformación productiva con equidad. La tarea prioritaria del desarrollo de América Latina y el Caribe en los años noventa* (LC/G.1601-P), Santiago de Chile, marzo. Publicación de las Naciones Unidas, N° de venta: S.90.II.G.6.
- _____ (1990b), *Impacto ambiental de la contaminación hídrica producida por la Refinería Estatal Esmeraldas: análisis técnico-económico*, serie Estudios e informes de la CEPAL, N° 80 (LC/G.1637-P), Santiago de Chile. Publicación de las Naciones Unidas, N° de venta: S.90.II.G.11.
- _____ (1985), *Los recursos hídricos de América Latina y el Caribe y su aprovechamiento*, serie Estudios e informes de la CEPAL, N° 53 (LC/G.1358), Santiago de Chile, agosto.

- Comisión de Desarrollo y Medio Ambiente de América Latina y el Caribe (1990), *Nuestra propia agenda*, Washington, D.C., Banco Interamericano de Desarrollo/Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (BID/PNUD).
- Cubillo, G. (1993), Análisis de la legislación chilena sobre residuos industriales sólidos (LC/R.1301), Santiago de Chile, Unidad Conjunta CEPAL/PNUMA de Desarrollo y Medio Ambiente.
- Durán de la Fuente, H. (1991), "Contaminación industrial y urbana: opciones de política", *Revista de la CEPAL*, N° 44 (LC/G.1667-P), Santiago de Chile, CEPAL, agosto.
- Gobierno del Estado de Espírito Santo/Banco de Desenvolvimento do Espírito Santo (BANDES)/SEAG (1989), *Programa de desenvolvimento florestal do Espírito Santo*, 2 vols., Vitória, Brasil.
- Goosmann, G. (1991), Introduction to waste management (LC/R.1014(Sem.61/20)), Santiago de Chile.
- Goosmann, G. y H. Sutter (1991), Concepts for the reduction o industrial wastes (LC/R.1013(Sem.61/19)), Santiago de Chile.
- Heaton, G., R. Repetto y R. Sobin (1991), *Transforming Technology: An Agenda for Environmentally Sustainable Growth in the 21st Century*, Washington, D.C., Instituto Mundial de Recursos (WRI).
- Katz, Jorge M. (1989), "La teoría del cambio tecnológico y su adecuación al caso de los países de industrialización tardía", *Reestructuración industrial y cambio tecnológico: consecuencias para América Latina*, serie Estudios e Informes de la CEPAL, N° 74, (LC/G.1439/Rev.1-P), Santiago de Chile. Publicación de las Naciones Unidas, N° de venta: S.89.II.G.13.
- Klink, J., Y. Krozer y A. Nentjes (1989), "The effects of economic instruments on technological development" (ENVWA/SEM.3/R,19), documento presentado al Seminar on Economic Implications of Low-waste Technology, La Haya, Comisión Económica para Europa (CEPE).
- Lettinga, G. y otros (1980), "Use of the upflow sludge blanket (USB) reactor concept for biological wastewater treatment, especially for anaerobic treatment", *Biotechnology and Bioengineering*, vol. 22, N° 4.
- Naciones Unidas (1993a), "Mexico: Governments girds for tougher battle against polluters", *Development Business*, N° 369, 30 de junio.
- _____ (1993b), "Resoluciones aprobadas por la Conferencia", *Informe de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (A/CONF.151/26/Rev.1)*, vol. 1, Rio de Janeiro. Publicación de las Naciones Unidas, N° de venta: S.93.I.8, Nueva York.
- _____ (1992), "Environmentally sound technology for sustainable development, *Advanced Technology Assessment System*, N° 7 (ST/STD/ATAS/7), Nueva York. Publicación de las Naciones Unidas, N° de venta: E.92.II.A.6.
- OCDE (Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos) (1992), *The OECD Environment Industry: Situation, Prospects and Government Policies* (OCDE/GD(92)1), París.
- _____ (1985), *Environmental Policy and Technical Change*, París.
- ONUDI (Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial) (1992), *Proceedings of the Conference on Ecologically Sustainable Industrial Development* (PI 112), Viena.

- Palmer, K.L. y D.R. Simpson (1993), "Environmental policy as industrial policy", *Resources*, N° 112, Washington, D.C., Resources for the Future.
- Pearce, D., A. Markandya y E.B. Barbier (1990), *Blueprint for a Green Economy*, Londres.
- Pessali, E. (1992), *Situação ambiental do Espírito Santo*.
- Porter, M. E. (1985), *Competitive Advantage, Creating and Sustaining Superior Performance*, Nueva York.
- _____ (1991), "America's green strategy", *Scientific American*, abril.
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) (1991), "Final report: Seminar on the promotion of cleaner production", *Proceedings of the Conference on Ecologically Sustainable Industrial Development*, Copenhagen, Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONU/IDI), Dinamarca, octubre.
- Rocha, H.C. y A.M. Morandi (1991), *Cafecultura e grande indústria: A transição no Espírito Santo, 1955-1985*, Vitória, Fundação Ceciliano Abel de Almeida.
- Schmidheiny, S. (1992), *Cambiando el rumbo: una perspectiva global del empresariado para el desarrollo y el medio ambiente*, México, D.F., Fondo de Cultura Económica (FCE).
- Souza, M.E. (1987), "Criteria for the utilization design and operation of UASB reactors", *Water Science and Technology*, vol. 18, N° 12.
- Souza, M.E. y A.D. Garcia Jr. (1986), "Utilização de digestores anaeróbios de fluxo ascendente para o tratamento de vinhoto", *Revista DAE*, vol. 46, N° 145.
- Souza, M.E. y otros (1987), "Demonstração em escala real da tecnologia de tratamento de esgoto doméstico por digestor anaeróbio de fluxo ascendente: primeiros resultados", *Anais do 14 Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, Rio de Janeiro, ABES
- Souza, M.E. y S.M.M. Vieira (1986), "Uso do reator UASB para tratamento de esgoto sanitário", *Revista DAE*, vol. 46, N° 145.
- Valenzuela F., Rafael (1991), "El que contamina paga", *Revista de la CEPAL*, N° 45 (LC/G.1687-P), Santiago de Chile, CEPAL, diciembre.
- VDI Nachrichten* (1994), "Verbrennung so gut wie Recycling?", vol. 48, N° 30, Düsseldorf, 29 de julio.
- Vieira, S.M.M. (1988), "Anaerobic treatment of domestic sewage in Brazil: Research results and full scale experience" *Anaerobic Digestion, 1988*, E.R. Hall y P.N. Hobson (comps.), Oxford, Perhamon Press.
- _____ (1984), "Tratamento de esgotos por digestores anaeróbios de fluxo ascendente" *Revista DAE*, vol. 44, N° 139.
- Vieira, S.M.M. y A.D. Garcia Jr. (1992a), "Sewage treatment by UASB reactor. Operation results and recommendations for design and utilization", *Water Science and Technology*, vol. 25, N° 7.
- _____ (1992b), "Tratamento anaeróbio de esgotos domésticos", *Revista ambiente*, vol. 6, N° 1.
- Vieira, S.M.M. y M.E. Souza (1986), "Development of technology for the use of the UASB reactor in domestic sewage treatment", *Water Science and Technology*, vol. 18, N° 12.
- Vieira, S.M.M. y otros (1987), "Tratamento de esgotos por digestão anaeróbia", *Ambiente*, vol. 1, N° 3.

- Vieira, S.M.M. y P. Alem S° (1983), "Resultados de operação e recomendações para o projeto de sistemas de decanto-digestor e filtro anaeróbico para o tratamento de esgotos sanitários", *Revista DAE*, vol. 44, N° 135.
- Vieira, S.M.M., C.E.M. Pacheco y M.E. Souza (1987), "Efeito da variação de vazão em digestor anaeróbico de fluxo ascendente tratando esgoto doméstico", *Anais do 14 Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, Rio de Janeiro, ABES.
- Waissbluth S., M., E. Testart T., R. Buitelaar (1992), *Cien empresas innovadoras en Iberoamérica*, Valparaíso, Chile, Programa de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED-D).
- Wheeler, D. (1992), *The Economics of Industrial Pollution Control, An International Perspective*, Industry Series Paper N° 60, Washington, D.C., Banco Mundial, enero.



Publicaciones de la CEPAL

COMISION ECONOMICA PARA AMERICA LATINA Y EL CARIBE
Casilla 179-D Santiago de Chile

PUBLICACIONES PERIODICAS

Revista de la CEPAL

La *Revista* se inició en 1976 como parte del Programa de Publicaciones de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe, con el propósito de contribuir al examen de los problemas del desarrollo socioeconómico de la región. Las opiniones expresadas en los artículos firmados, incluidas las colaboraciones de los funcionarios de la Secretaría, son las de los autores y, por lo tanto, no reflejan necesariamente los puntos de vista de la Organización.

La *Revista de la CEPAL* se publica en español e inglés tres veces por año.

Los precios de suscripción anual vigentes para 1994 son de US\$16 para la versión en español y de US\$18 para la versión en inglés. El precio por ejemplar suelto es de US\$10 para ambas versiones.

Los precios de suscripción por dos años (1994-1995) son de US\$30 para la versión español y de US\$34 para la versión inglés.

Estudio Económico de América Latina y el Caribe

1980,	664 pp.
1981,	863 pp.
1982, vol. I	693 pp.
1982, vol. II	199 pp.
1983, vol. I	694 pp.
1983, vol. II	179 pp.
1984, vol. I	702 pp.
1984, vol. II	233 pp.
1985,	672 pp.
1986,	734 pp.
1987,	692 pp.

Economic Survey of Latin America and the Caribbean

1980,	629 pp.
1981,	837 pp.
1982, vol. I	658 pp.
1982, vol. II	186 pp.
1983, vol. I	686 pp.
1983, vol. II	166 pp.
1984, vol. I	685 pp.
1984, vol. II	216 pp.
1985,	660 pp.
1986,	729 pp.
1987,	685 pp.

1988,	741 pp.	1988,	637 pp.
1989,	821 pp.	1989,	678 pp.
1990, vol. I	260 pp.	1990, vol. I	248 pp.
1990, vol. II	590 pp.	1990, vol. II	472 pp.
1991, vol. I	299 pp.	1991, vol. I	281 pp.
1991, vol. II	602 pp.	1991, vol. II	455 pp.
1992, vol. I	297 pp.	1992, vol. I	286 pp.
1992, vol. II	579 pp.	1992, vol. II	467 pp.
1993, vol. I	289 pp.		
1993, vol. II	532 pp.		

(También hay ejemplares de años anteriores)

**Anuario Estadístico de América Latina y el Caribe /
Statistical Yearbook for Latin America and the Caribbean (bilingüe)**

1980,	617 pp.	1988,	782 pp.
1981,	727 pp.	1989,	770 pp.
1982/1983,	749 pp.	1990,	782 pp.
1984,	761 pp.	1991,	856 pp.
1985,	792 pp.	1992,	868 pp.
1986,	782 pp.	1993,	860 pp.
1987,	714 pp.	1994,	863 pp.

(También hay ejemplares de años anteriores)

Libros de la CEPAL

- 1 *Manual de proyectos de desarrollo económico*, 1958, 5ª ed. 1980, 264 pp.
- 1 *Manual on economic development projects*, 1958, 2ª ed. 1972, 242 pp.
- 2 *América Latina en el umbral de los años ochenta*, 1979, 2ª ed. 1980, 203 pp.
- 3 *Agua, desarrollo y medio ambiente en América Latina*, 1980, 443 pp.
- 4 *Los bancos transnacionales y el financiamiento externo de América Latina. La experiencia del Perú*, 1980, 265 pp.
- 4 *Transnational banks and the external finance of Latin America: the experience of Peru*, 1985, 342 pp.
- 5 *La dimensión ambiental en los estilos de desarrollo de América Latina*, por Osvaldo Sunkel, 1981, 2ª ed. 1984, 136 pp.
- 6 *La mujer y el desarrollo: guía para la planificación de programas y proyectos*, 1984, 115 pp.
- 6 *Women and development: guidelines for programme and project planning*, 1982, 3ª ed. 1984, 123 pp.
- 7 *África y América Latina: perspectivas de la cooperación interregional*, 1983, 286 pp.
- 8 *Sobrevivencia campesina en ecosistemas de altura*, vols. I y II, 1983, 720 pp.
- 9 *La mujer en el sector popular urbano. América Latina y el Caribe*, 1984, 349 pp.
- 10 *Avances en la interpretación ambiental del desarrollo agrícola de América Latina*, 1985, 236 pp.
- 11 *El decenio de la mujer en el escenario latinoamericano*, 1986, 216 pp.
- 11 *The decade for women in Latin America and the Caribbean: background and prospects*, 1988, 215 pp.
- 12 *América Latina: sistema monetario internacional y financiamiento externo*, 1986, 416 pp.
- 12 *Latin America: international monetary system and external financing*, 1986, 405 pp.

- 13 *Raúl Prebisch: Un aporte al estudio de su pensamiento*, 1987, 146 pp.
- 14 *Cooperativismo latinoamericano: antecedentes y perspectivas*, 1989, 371 pp.
- 15 *CEPAL, 40 años (1948-1988)*, 1988, 85 pp.
- 15 ***ECLAC 40 Years (1948-1988)***, 1989, 83 pp.
- 16 *América Latina en la economía mundial*, 1988, 321 pp.
- 17 *Gestión para el desarrollo de cuencas de alta montaña en la zona andina*, 1988, 187 pp.
- 18 *Políticas macroeconómicas y brecha externa: América Latina en los años ochenta*, 1989, 201 pp.
- 19 *CEPAL, Bibliografía, 1948-1988*, 1989, 648 pp.
- 20 *Desarrollo agrícola y participación campesina*, 1989, 404 pp.
- 21 *Planificación y gestión del desarrollo en áreas de expansión de la frontera agropecuaria en América Latina*, 1989, 113 pp.
- 22 *Transformación ocupacional y crisis social en América Latina*, 1989, 243 pp.
- 23 *La crisis urbana en América Latina y el Caribe: reflexiones sobre alternativas de solución*, 1990, 197 pp.
- 24 ***The environmental dimension in development planning I***, 1991, 302 pp.
- 25 *Transformación productiva con equidad*, 1990, 3ª ed. 1991, 185 pp.
- 25 ***Changing production patterns with social equity***, 1990, 3ª ed. 1991, 177 pp.
- 26 *América Latina y el Caribe: opciones para reducir el peso de la deuda*, 1990, 118 pp.
- 26 ***Latin America and the Caribbean: options to reduce the debt burden***, 1990, 110 pp.
- 27 *Los grandes cambios y la crisis. Impacto sobre la mujer en América Latina y el Caribe*, 1991, 271 pp.
- 27 ***Major changes and crisis. The impact on women in Latin America and the Caribbean***, 1992, 279 pp.
- 28 ***A collection of documents on economic relations between the United States and Central America, 1906-1956***, 1991, 398 pp.
- 29 *Inventarios y cuentas del patrimonio natural en América Latina y el Caribe*, 1991, 335 pp.
- 30 *Evaluaciones del impacto ambiental en América Latina y el Caribe*, 1991, 232 pp.
- 31 *El desarrollo sustentable: transformación productiva, equidad y medio ambiente*, 1991, 146 pp.
- 31 ***Sustainable development: changing production patterns, social equity and the environment***, 1991, 146 pp.
- 32 *Equidad y transformación productiva: un enfoque integrado*, 1993, 254 pp.
- 33 *Educación y conocimiento: eje de la transformación productiva con equidad*, 1992, 269 pp.
- 33 ***Education and knowledge: basic pillars of changing production patterns with social equity***, 1993, 257 pp.
- 34 *Ensayos sobre coordinación de políticas macroeconómicas*, 1992, 249 pp.
- 35 *Población, equidad y transformación productiva*, 1993, 158 pp.
- 35 ***Population, social equity and changing production patterns***, 1993, 153 pp.
- 36 *Cambios en el perfil de las familias. La experiencia regional*, 1993, 434 pp.
- 37 *Familia y futuro: un programa regional en América Latina y el Caribe*, 1994, 137 pp.
- 39 *El regionalismo abierto en América Latina y el Caribe*, 1994, 109 pp.
- 39 ***Open regionalism in Latin America and the Caribbean***, 1994, 103 pp.
- 40 *Políticas para mejorar la inserción en la economía mundial*, 1995, 314 pp.

SERIES MONOGRAFICAS

Cuadernos de la C E P A L

- 1 *América Latina: el nuevo escenario regional y mundial / Latin America: the new regional and world setting*, (bilingüe), 1975, 2ª ed. 1985, 103 pp.
- 2 *Las evoluciones regionales de la estrategia internacional del desarrollo*, 1975, 2ª ed. 1984, 73 pp.

- 2 *Regional appraisals of the international development strategy*, 1975, 2ª ed. 1985, 82 pp.
- 3 *Desarrollo humano, cambio social y crecimiento en América Latina*, 1975, 2ª ed. 1984, 103 pp.
- 4 *Relaciones comerciales, crisis monetaria e integración económica en América Latina*, 1975, 85 pp.
- 5 *Síntesis de la segunda evaluación regional de la estrategia internacional del desarrollo*, 1975, 72 pp.
- 6 *Dinero de valor constante. Concepto, problemas y experiencias*, por Jorge Rose, 1975, 2ª ed. 1984, 43 pp.
- 7 *La coyuntura internacional y el sector externo*, 1975, 2ª ed. 1983, 106 pp.
- 8 *La industrialización latinoamericana en los años setenta*, 1975, 2ª ed. 1984, 116 pp.
- 9 *Dos estudios sobre inflación 1972-1974. La inflación en los países centrales. América Latina y la inflación importada*, 1975, 2ª ed. 1984, 57 pp.
- s/n *Canada and the foreign firm*, D. Pollock, 1976, 43 pp.
- 10 *Reactivación del mercado común centroamericano*, 1976, 2ª ed. 1984, 149 pp.
- 11 *Integración y cooperación entre países en desarrollo en el ámbito agrícola*, por Germánico Salgado, 1976, 2ª ed. 1985, 62 pp.
- 12 *Temas del nuevo orden económico internacional*, 1976, 2ª ed. 1984, 85 pp.
- 13 *En torno a las ideas de la CEPAL: desarrollo, industrialización y comercio exterior*, 1977, 2ª ed. 1985, 57 pp.
- 14 *En torno a las ideas de la CEPAL: problemas de la industrialización en América Latina*, 1977, 2ª ed. 1984, 46 pp.
- 15 *Los recursos hidráulicos de América Latina. Informe regional*, 1977, 2ª ed. 1984, 75 pp.
- 15 *The water resources of Latin America. Regional report*, 1977, 2ª ed. 1985, 79 pp.
- 16 *Desarrollo y cambio social en América Latina*, 1977, 2ª ed. 1984, 59 pp.
- 17 *Estrategia internacional de desarrollo y establecimiento de un nuevo orden económico internacional*, 1977, 3ª ed. 1984, 61 pp.
- 17 *International development strategy and establishment of a new international economic order*, 1977, 3ª ed. 1985, 59 pp.
- 18 *Raíces históricas de las estructuras distributivas de América Latina*, por A. di Filippo, 1977, 2ª ed. 1983, 64 pp.
- 19 *Dos estudios sobre endeudamiento externo*, por C. Massad y R. Zahler, 1977, 2ª ed. 1986, 66 pp.
- s/n *United States – Latin American trade and financial relations: some policy recommendations*, S. Weintraub, 1977, 44 pp.
- 20 *Tendencias y proyecciones a largo plazo del desarrollo económico de América Latina*, 1978, 3ª ed. 1985, 134 pp.
- 21 *25 años en la agricultura de América Latina: rasgos principales 1950-1975*, 1978, 2ª ed. 1983, 124 pp.
- 22 *Notas sobre la familia como unidad socioeconómica*, por Carlos A. Borsotti, 1978, 2ª ed. 1984, 60 pp.
- 23 *La organización de la información para la evaluación del desarrollo*, por Juan Sourrouille, 1978, 2ª ed. 1984, 61 pp.
- 24 *Contabilidad nacional a precios constantes en América Latina*, 1978, 2ª ed. 1983, 60 pp.
- s/n *Energy in Latin America: The Historical Record*, J. Mullen, 1978, 66 pp.
- 25 *Ecuador: desafíos y logros de la política económica en la fase de expansión petrolera*, 1979, 2ª ed. 1984, 153 pp.

- 26 *Las transformaciones rurales en América Latina: ¿desarrollo social o marginación?*, 1979, 2ª ed. 1984, 160 pp.
- 27 *La dimensión de la pobreza en América Latina*, por Oscar Altimir, 1979, 2ª ed. 1983, 89 pp.
- 28 *Organización institucional para el control y manejo de la deuda externa. El caso chileno*, por Rodolfo Hoffman, 1979, 35 pp.
- 29 *La política monetaria y el ajuste de la balanza de pagos: tres estudios*, 1979, 2ª ed. 1984, 61 pp.
- 29 ***Monetary policy and balance of payments adjustment: three studies***, 1979, 60 pp.
- 30 *América Latina: las evaluaciones regionales de la estrategia internacional del desarrollo en los años setenta*, 1979, 2ª ed. 1982, 237 pp.
- 31 *Educación, imágenes y estilos de desarrollo*, por G. Rama, 1979, 2ª ed. 1982, 72 pp.
- 32 *Movimientos internacionales de capitales*, por R. H. Arriazu, 1979, 2ª ed. 1984, 90 pp.
- 33 *Informe sobre las inversiones directas extranjeras en América Latina*, por A. E. Calcagno, 1980, 2ª ed. 1982, 114 pp.
- 34 *Las fluctuaciones de la industria manufacturera argentina, 1950-1978*, por D. Heymann, 1980, 2ª ed. 1984, 234 pp.
- 35 *Perspectivas de reajuste industrial: la Comunidad Económica Europea y los países en desarrollo*, por B. Evers, G. de Groot y W. Wagenmans, 1980, 2ª ed. 1984, 69 pp.
- 36 *Un análisis sobre la posibilidad de evaluar la solvencia crediticia de los países en desarrollo*, por A. Saieh, 1980, 2ª ed. 1984, 82 pp.
- 37 *Hacia los censos latinoamericanos de los años ochenta*, 1981, 146 pp.
- s/n ***The economic relations of Latin America with Europe***, 1980, 2ª ed. 1983, 156 pp.
- 38 *Desarrollo regional argentino: la agricultura*, por J. Martín, 1981, 2ª ed. 1984, 111 pp.
- 39 *Estratificación y movilidad ocupacional en América Latina*, por C. Filgueira y C. Geneletti, 1981, 2ª ed. 1985, 162 pp.
- 40 *Programa de acción regional para América Latina en los años ochenta*, 1981, 2ª ed. 1984, 62 pp.
- 40 ***Regional programme of action for Latin America in the 1980s***, 1981, 2ª ed. 1984, 57 pp.
- 41 *El desarrollo de América Latina y sus repercusiones en la educación. Alfabetismo y escolaridad básica*, 1982, 246 pp.
- 42 *América Latina y la economía mundial del café*, 1982, 95 pp.
- 43 *El ciclo ganadero y la economía argentina*, 1983, 160 pp.
- 44 *Las encuestas de hogares en América Latina*, 1983, 122 pp.
- 45 *Las cuentas nacionales en América Latina y el Caribe*, 1983, 100 pp.
- 45 ***National accounts in Latin America and the Caribbean***, 1983, 97 pp.
- 46 *Demanda de equipos para generación, transmisión y transformación eléctrica en América Latina*, 1983, 193 pp.
- 47 *La economía de América Latina en 1982: evolución general, política cambiaria y renegociación de la deuda externa*, 1984, 104 pp.
- 48 *Políticas de ajuste y renegociación de la deuda externa en América Latina*, 1984, 102 pp.
- 49 *La economía de América Latina y el Caribe en 1983: evolución general, crisis y procesos de ajuste*, 1985, 95 pp.
- 49 ***The economy of Latin America and the Caribbean in 1983: main trends, the impact of the crisis and the adjustment processes***, 1985, 93 pp.
- 50 *La CEPAL, encarnación de una esperanza de América Latina*, por Hernán Santa Cruz, 1985, 77 pp.
- 51 *Hacia nuevas modalidades de cooperación económica entre América Latina y el Japón*, 1986, 233 pp.
- 51 ***Towards new forms of economic co-operation between Latin America and Japan***, 1987, 245 pp.

- 52 *Los conceptos básicos del transporte marítimo y la situación de la actividad en América Latina*, 1986, 112 pp.
- 52 ***Basic concepts of maritime transport and its present status in Latin America and the Caribbean***, 1987, 114 pp.
- 53 *Encuestas de ingresos y gastos. Conceptos y métodos en la experiencia latinoamericana*. 1986, 128 pp.
- 54 *Crisis económica y políticas de ajuste, estabilización y crecimiento*, 1986, 123 pp.
- 54 ***The economic crisis: Policies for adjustment, stabilization and growth***, 1986, 125 pp.
- 55 *El desarrollo de América Latina y el Caribe: escollos, requisitos y opciones*, 1987, 184 pp.
- 55 ***Latin American and Caribbean development: obstacles, requirements and options***, 1987, 184 pp.
- 56 *Los bancos transnacionales y el endeudamiento externo en la Argentina*, 1987, 112 pp.
- 57 *El proceso de desarrollo de la pequeña y mediana empresa y su papel en el sistema industrial: el caso de Italia*, 1988, 112 pp.
- 58 *La evolución de la economía de América Latina en 1986*, 1988, 99 pp.
- 58 ***The evolution of the Latin American Economy in 1986***, 1988, 95 pp.
- 59 ***Protectionism: regional negotiation and defence strategies***, 1988, 261 pp.
- 60 *Industrialización en América Latina: de la "caja negra" al "casillero vacío"*, por F. Fajnzylber, 1989, 2ª ed. 1990, 176 pp.
- 60 ***Industrialization in Latin America: from the "Black Box" to the "Empty Box"***, F. Fajnzylber, 1990, 172 pp.
- 61 *Hacia un desarrollo sostenido en América Latina y el Caribe: restricciones y requisitos*, 1989, 94 pp.
- 61 ***Towards sustained development in Latin America and the Caribbean: restrictions and requisites***, 1989, 93 pp.
- 62 *La evolución de la economía de América Latina en 1987*, 1989, 87 pp.
- 62 ***The evolution of the Latin American economy in 1987***, 1989, 84 pp.
- 63 *Elementos para el diseño de políticas industriales y tecnológicas en América Latina*, 1990, 2ª ed. 1991, 172 pp.
- 64 *La industria de transporte regular internacional y la competitividad del comercio exterior de los países de América Latina y el Caribe*, 1989, 132 pp.
- 64 ***The international common-carrier transportation industry and the competitiveness of the foreign trade of the countries of Latin America and the Caribbean***, 1989, 116 pp.
- 65 *Cambios estructurales en los puertos y la competitividad del comercio exterior de América Latina y el Caribe*, 1991, 141 pp.
- 65 ***Structural Changes in Ports and the Competitiveness of Latin American and Caribbean Foreign Trade***, 1990, 126 pp.
- 66 ***The Caribbean: one and divisible***, 1993, 207 pp.
- 67 *La transferencia de recursos externos de América Latina en la posguerra*, 1991, 92 pp.
- 67 ***Postwar transfer of resources abroad by Latin America***, 1992, 90 pp.
- 68 *La reestructuración de empresas públicas: el caso de los puertos de América Latina y el Caribe*, 1992, 148 pp.
- 68 ***The restructuring of public-sector enterprises: the case of Latin American and Caribbean ports***, 1992, 129 pp.
- 69 *Las finanzas públicas de América Latina en la década de 1980*, 1993, 100 pp.
- 69 ***Public Finances in Latin America in the 1980s***, 1993, 96 pp.
- 70 *Canales, cadenas, corredores y competitividad: un enfoque sistémico y su aplicación a seis productos latinoamericanos de exportación*, 1993, 183 pp.
- 71 *Focalización y pobreza*, 1995, 249 pp.
- 73 *El gasto social en América Latina: un examen cuantitativo y cualitativo*, 1995, 167 pp.

Cuadernos Estadísticos de la C E P A L

- 1 *América Latina: relación de precios del intercambio*, 1976, 2ª ed. 1984, 66 pp.
- 2 *Indicadores del desarrollo económico y social en América Latina*, 1976, 2ª ed. 1984, 179 pp.
- 3 *Series históricas del crecimiento de América Latina*, 1978, 2ª ed. 1984, 206 pp.
- 4 *Estadísticas sobre la estructura del gasto de consumo de los hogares según finalidad del gasto, por grupos de ingreso*, 1978, 110 pp. (Agotado, reemplazado por N° 8)
- 5 *El balance de pagos de América Latina, 1950-1977*, 1979, 2ª ed. 1984, 164 pp.
- 6 *Distribución regional del producto interno bruto sectorial en los países de América Latina*, 1981, 2ª ed. 1985, 68 pp.
- 7 *Tablas de insumo-producto en América Latina*, 1983, 383 pp.
- 8 *Estructura del gasto de consumo de los hogares según finalidad del gasto, por grupos de ingreso*, 1984, 146 pp.
- 9 *Origen y destino del comercio exterior de los países de la Asociación Latinoamericana de Integración y del Mercado Común Centroamericano*, 1985, 546 pp.
- 10 *América Latina: balance de pagos, 1950-1984*, 1986, 357 pp.
- 11 *El comercio exterior de bienes de capital en América Latina*, 1986, 288 pp.
- 12 *América Latina: Indices de comercio exterior, 1970-1984*, 1987, 355 pp.
- 13 *América Latina: comercio exterior según la clasificación industrial internacional uniforme de todas las actividades económicas*, 1987, Vol. I, 675 pp; Vol. II, 675 pp.
- 14 *La distribución del ingreso en Colombia. Antecedentes estadísticos y características socioeconómicas de los receptores*, 1988, 156 pp.
- 15 *América Latina y el Caribe: series regionales de cuentas nacionales a precios constantes de 1980*, 1991, 245 pp.
- 16 *Origen y destino del comercio exterior de los países de la Asociación Latinoamericana de Integración*, 1991, 190 pp.
- 17 *Comercio intrazonal de los países de la Asociación de Integración, según capítulos de la clasificación uniforme para el comercio internacional, revisión 2*, 1992, 299 pp.
- 18 *Clasificaciones estadísticas internacionales incorporadas en el Banco de Datos del Comercio Exterior de América Latina y el Caribe de la CEPAL*, 1993, 313 pp.
- 19 *América Latina: comercio exterior según la clasificación industrial internacional uniforme de todas las actividades económicas (CIIU) - Volumen I - Exportaciones*, 1993, 285 pp.
- 19 *América Latina: comercio exterior según la clasificación industrial internacional uniforme de todas las actividades económicas (CIIU) - Volumen II - Importaciones*, 1993, 291 pp.
- 20 *Dirección del comercio exterior de América Latina y el Caribe según principales productos y grupos de productos, 1970-1992*, 1994, 483 pp.

Estudios e Informes de la C E P A L

- 1 *Nicaragua: el impacto de la mutación política*, 1981, 2ª ed. 1982, 126 pp.
- 2 *Perú 1968-1977: la política económica en un proceso de cambio global*, 1981, 2ª ed. 1982, 166 pp.
- 3 *La industrialización de América Latina y la cooperación internacional*, 1981, 170 pp. (Agotado, no será reimpresso.)
- 4 *Estilos de desarrollo, modernización y medio ambiente en la agricultura latinoamericana*, 1981, 4ª ed. 1984, 130 pp.
- 5 *El desarrollo de América Latina en los años ochenta*, 1981, 2ª ed. 1982, 153 pp.
- 5 *Latin American development in the 1980s*, 1981, 2ª ed. 1982, 134 pp.
- 6 *Proyecciones del desarrollo latinoamericano en los años ochenta*, 1981, 3ª ed. 1985, 96 pp.
- 6 *Latin American development projections for the 1980s*, 1982, 2ª ed. 1983, 89 pp.

- 7 *Las relaciones económicas externas de América Latina en los años ochenta*, 1981, 2ª ed. 1982, 180 pp.
- 8 *Integración y cooperación regionales en los años ochenta*, 1982, 2ª ed. 1982, 174 pp.
- 9 *Estrategias de desarrollo sectorial para los años ochenta: industria y agricultura*, 1981, 2ª ed. 1985, 100 pp.
- 10 *Dinámica del subempleo en América Latina*. PREALC, 1981, 2ª ed. 1985, 101 pp.
- 11 *Estilos de desarrollo de la industria manufacturera y medio ambiente en América Latina*, 1982, 2ª ed. 1984, 178 pp.
- 12 *Relaciones económicas de América Latina con los países miembros del "Consejo de Asistencia Mutua Económica"*, 1982, 154 pp.
- 13 *Campesinado y desarrollo agrícola en Bolivia*, 1982, 175 pp.
- 14 *El sector externo: indicadores y análisis de sus fluctuaciones. El caso argentino*, 1982, 2ª ed. 1985, 216 pp.
- 15 *Ingeniería y consultoría en Brasil y el Grupo Andino*, 1982, 320 pp.
- 16 *Cinco estudios sobre la situación de la mujer en América Latina*, 1982, 2ª ed. 1985, 178 pp.
- 16 ***Five studies on the situation of women in Latin America***, 1983, 2ª ed. 1984, 188 pp.
- 17 *Cuentas nacionales y producto material en América Latina*, 1982, 129 pp.
- 18 *El financiamiento de las exportaciones en América Latina*, 1983, 212 pp.
- 19 *Medición del empleo y de los ingresos rurales*, 1982, 2ª ed. 1983, 173 pp.
- 19 ***Measurement of employment and income in rural areas***, 1983, 184 pp.
- 20 *Efectos macroeconómicos de cambios en las barreras al comercio y al movimiento de capitales: un modelo de simulación*, 1982, 68 pp.
- 21 *La empresa pública en la economía: la experiencia argentina*, 1982, 2ª ed. 1985, 134 pp.
- 22 *Las empresas transnacionales en la economía de Chile, 1974-1980*, 1983, 178 pp.
- 23 *La gestión y la informática en las empresas ferroviarias de América Latina y España*, 1983, 195 pp.
- 24 *Establecimiento de empresas de reparación y mantenimiento de contenedores en América Latina y el Caribe*, 1983, 314 pp.
- 24 ***Establishing container repair and maintenance enterprises in Latin America and the Caribbean***, 1983, 236 pp.
- 25 *Agua potable y saneamiento ambiental en América Latina, 1981-1990 / Drinking water supply and sanitation in Latin America, 1981-1990* (bilingüe), 1983, 140 pp.
- 26 *Los bancos transnacionales, el estado y el endeudamiento externo en Bolivia*, 1983, 282 pp.
- 27 *Política económica y procesos de desarrollo. La experiencia argentina entre 1976 y 1981*, 1983, 157 pp.
- 28 *Estilos de desarrollo, energía y medio ambiente: un estudio de caso exploratorio*, 1983, 129 pp.
- 29 *Empresas transnacionales en la industria de alimentos. El caso argentino: cereales y carne*, 1983, 93 pp.
- 30 *Industrialización en Centroamérica, 1960-1980*, 1983, 168 pp.
- 31 *Dos estudios sobre empresas transnacionales en Brasil*, 1983, 141 pp.
- 32 *La crisis económica internacional y su repercusión en América Latina*, 1983, 81 pp.
- 33 *La agricultura campesina en sus relaciones con la industria*, 1984, 120 pp.
- 34 *Cooperación económica entre Brasil y el Grupo Andino: el caso de los minerales y metales no ferrosos*, 1983, 148 pp.
- 35 *La agricultura campesina y el mercado de alimentos: la dependencia externa y sus efectos en una economía abierta*, 1984, 201 pp.
- 36 *El capital extranjero en la economía peruana*, 1984, 178 pp.
- 37 *Dos estudios sobre política arancelaria*, 1984, 96 pp.
- 38 *Estabilización y liberalización económica en el Cono Sur*, 1984, 193 pp.

- 39 *La agricultura campesina y el mercado de alimentos: el caso de Haití y el de la República Dominicana*, 1984, 255 pp.
- 40 *La industria siderúrgica latinoamericana: tendencias y potencial*, 1984, 280 pp.
- 41 *La presencia de las empresas transnacionales en la economía ecuatoriana*, 1984, 77 pp.
- 42 *Precios, salarios y empleo en la Argentina: estadísticas económicas de corto plazo*, 1984, 378 pp.
- 43 *El desarrollo de la seguridad social en América Latina*, 1985, 348 pp.
- 44 **Market structure, firm size and Brazilian exports**, 1985, 104 pp.
- 45 *La planificación del transporte en países de América Latina*, 1985, 247 pp.
- 46 *La crisis en América Latina: su evaluación y perspectivas*, 1985, 119 pp.
- 47 *La juventud en América Latina y el Caribe*, 1985, 181 pp.
- 48 *Desarrollo de los recursos mineros de América Latina*, 1985, 145 pp.
- 48 **Development of the mining resources of Latin America**, 1989, 160 pp.
- 49 *Las relaciones económicas internacionales de América Latina y la cooperación regional*, 1985, 224 pp.
- 50 *América Latina y la economía mundial del algodón*, 1985, 122 pp.
- 51 *Comercio y cooperación entre países de América Latina y países miembros del CAME*, 1985, 90 pp.
- 52 **Trade relations between Brazil and the United States**, 1985, 148 pp.
- 53 *Los recursos hídricos de América Latina y el Caribe y su aprovechamiento*, 1985, 138 pp.
- 53 **The water resources of Latin America and the Caribbean and their utilization**, 1985, 135 pp.
- 54 *La pobreza en América Latina: dimensiones y políticas*, 1985, 155 pp.
- 55 *Políticas de promoción de exportaciones en algunos países de América Latina*, 1985, 207 pp.
- 56 *Las empresas transnacionales en la Argentina*, 1986, 222 pp.
- 57 *El desarrollo frutícola y forestal en Chile y sus derivaciones sociales*, 1986, 227 pp.
- 58 *El cultivo del algodón y la soya en el Paraguay y sus derivaciones sociales*, 1986, 141 pp.
- 59 *Expansión del cultivo de la caña de azúcar y de la ganadería en el nordeste del Brasil un examen del papel de la política pública y de sus derivaciones económicas y sociales*, 1986, 164 pp.
- 60 *Las empresas transnacionales en el desarrollo colombiano*, 1986, 212 pp.
- 61 *Las empresas transnacionales en la economía del Paraguay*, 1987, 115 pp.
- 62 *Problemas de la industria latinoamericana en la fase crítica*, 1986, 113 pp.
- 63 *Relaciones económicas internacionales y cooperación regional de América Latina y el Caribe*, 1987, 272 pp.
- 63 **International economic relations and regional co-operation in Latin America and the Caribbean**, 1987, 267 pp.
- 64 *Tres ensayos sobre inflación y políticas de estabilización*, 1986, 201 pp.
- 65 *La industria farmacéutica y farmoquímica: desarrollo histórico y posibilidades futuras. Argentina, Brasil y México*, 1987, 177 pp.
- 66 *Dos estudios sobre América Latina y el Caribe y la economía internacional*, 1987, 125 pp.
- 67 *Reestructuración de la industria automotriz mundial y perspectivas para América Latina*, 1987, 232 pp.
- 68 *Cooperación latinoamericana en servicios: antecedentes y perspectivas*, 1988, 155 pp.
- 69 *Desarrollo y transformación: estrategia para superar la pobreza*, 1988, 114 pp.
- 69 **Development and change: strategies for vanquishing poverty**, 1988, 114 pp.
- 70 *La evolución económica del Japón y su impacto en América Latina*, 1988, 88 pp.
- 70 **The economic evolution of Japan and its impact on Latin America**, 1990, 79 pp.
- 71 *La gestión de los recursos hídricos en América Latina y el Caribe*, 1989, 256 pp.
- 72 *La evolución del problema de la deuda externa en América Latina y el Caribe*, 1988, 77 pp.
- 72 **The evolution of the external debt problem in Latin America and the Caribbean**, 1988, 69 pp.

- 73 *Agricultura, comercio exterior y cooperación internacional*, 1988, 83 pp.
- 73 ***Agriculture, external trade and international co-operation***, 1989, 79 pp.
- 74 *Reestructuración industrial y cambio tecnológico: consecuencias para América Latina*, 1989, 105 pp.
- 75 *El medio ambiente como factor de desarrollo*, 1989, 2ª ed. 1991, 123 pp.
- 76 *El comportamiento de los bancos transnacionales y la crisis internacional de endeudamiento*, 1989, 214 pp.
- 76 ***Transnational bank behaviour and the international debt crisis***, 1989, 198 pp.
- 77 *Los recursos hídricos de América Latina y del Caribe: planificación, desastres naturales y contaminación*, 1990, 266 pp.
- 77 ***The water resources of Latin America and the Caribbean - Planning hazards and pollution***, 1990, 252 pp.
- 78 *La apertura financiera en Chile y el comportamiento de los bancos transnacionales*, 1990, 132 pp.
- 79 *La industria de bienes de capital en América Latina y el Caribe: su desarrollo en un marco de cooperación regional*, 1991, 235 pp.
- 80 *Impacto ambiental de la contaminación hídrica producida por la Refinería Estatal Esmeraldas: análisis técnico-económico*, 1991, 189 pp.
- 81 *Magnitud de la pobreza en América Latina en los años ochenta*, 1991, 177 pp.
- 82 *América Latina y el Caribe: el manejo de la escasez de agua*, 1991, 148 pp.
- 83 *Reestructuración y desarrollo de la industria automotriz mexicana en los años ochenta: evolución y perspectivas*, 1992, 191 pp.
- 84 *La transformación de la producción en Chile: cuatro ensayos de interpretación*, 1993, 372 pp.
- 85 *Inversión extranjera y empresas transnacionales en la economía de Chile, (1974-1989) Proyectos de inversión y estrategias de las empresas transnacionales*, 1992, 257 pp.
- 86 *Inversión extranjera y empresas transnacionales en la economía de Chile (1974-1989) El papel del capital extranjero y la estrategia nacional de desarrollo*, 1992, 163 pp.
- 87 *Análisis de cadenas agroindustriales en Ecuador y Perú*, 1993, 294 pp.
- 88 *El comercio de manufacturas de América Latina. Evolución y estructura 1962-1989*, 1993, 150, pp.
- 89 *El impacto económico y social de las migraciones en Centroamérica*, 1993, 78 pp.
- 90 *El papel de las empresas transnacionales en la reestructuración industrial de Colombia: una síntesis*, 1993, 131 pp.
- 92 *Reestructuración y desarrollo productivo: desafío y potencial para los años noventa*, 1994, 108 pp.
- 93 *Comercio internacional y medio ambiente. La discusión actual*, 1995, 112 pp.

Serie INFOPLAN: Temas Especiales del Desarrollo

- 1 *Resúmenes de documentos sobre deuda externa*, 1986, 324 pp.
- 2 *Resúmenes de documentos sobre cooperación entre países en desarrollo*, 1986, 189 pp.
- 3 *Resúmenes de documentos sobre recursos hídricos*, 1987, 290 pp.
- 4 *Resúmenes de documentos sobre planificación y medio ambiente*, 1987, 111 pp.
- 5 *Resúmenes de documentos sobre integración económica en América Latina y el Caribe*, 1987, 273 pp.
- 6 *Resúmenes de documentos sobre cooperación entre países en desarrollo, II parte*, 1988, 146 pp.
- 7 *Documentos sobre privatización con énfasis en América Latina*, 1991, 82 pp.
- 8 *Reseñas de documentos sobre desarrollo ambientalmente sustentable*, 1992, 217 pp.
- 9 *MERCOSUR: resúmenes de documentos*, 1993, 119 pp.
- 10 *Políticas sociales: resúmenes de documentos*, 1995, 95 pp.

كيفية الحصول على منشورات الأمم المتحدة

يمكن الحصول على منشورات الأمم المتحدة من المكتبات ودور التوزيع في جميع أنحاء العالم - استعلم منها من المكتبة التي تتعامل معها أو اكتب إلى : الأمم المتحدة ، قسم البيع في نيويورك أو في جنيف .

如何购取联合国出版物

联合国出版物在全世界各地的书店和经销处均有发售。请向书店询问或写信到纽约或日内瓦的联合国销售组。

HOW TO OBTAIN UNITED NATIONS PUBLICATIONS

United Nations publications may be obtained from bookstores and distributors throughout the world. Consult your bookstore or write to: United Nations, Sales Section, New York or Geneva.

COMMENT SE PROCURER LES PUBLICATIONS DES NATIONS UNIES

Les publications des Nations Unies sont en vente dans les librairies et les agences dépositaires du monde entier. Informez-vous auprès de votre libraire ou adressez-vous à : Nations Unies, Section des ventes, New York ou Genève.

КАК ПОЛУЧИТЬ ИЗДАНИЯ ОРГАНИЗАЦИИ ОБЪЕДИНЕННЫХ НАЦИЙ

Издания Организации Объединенных Наций можно купить в книжных магазинах и агентствах во всех районах мира. Наводите справки об изданиях в вашем книжном магазине или пишите по адресу: Организация Объединенных Наций, Секция по продаже изданий, Нью-Йорк или Женева.

COMO CONSEGUIR PUBLICACIONES DE LAS NACIONES UNIDAS

Las publicaciones de las Naciones Unidas están en venta en librerías y casas distribuidoras en todas partes del mundo. Consulte a su librero o diríjase a: Naciones Unidas, Sección de Ventas, Nueva York o Ginebra.

Las publicaciones de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe se pueden adquirir a los distribuidores locales o directamente a través de:

Publicaciones de las Naciones Unidas
Sección de Ventas — DC-2-866
Nueva York, NY, 10017
Estados Unidos de América

Publicaciones de las Naciones Unidas
Sección de Ventas
Palais des Nations
1211 Ginebra 10, Suiza

Unidad de Distribución
CEPAL — Casilla 179-D
Santiago de Chile