

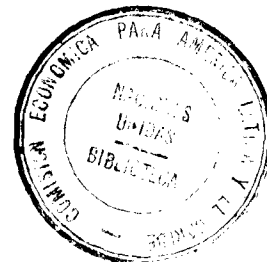


Distribución Restringida
LC/BUE/R.180
Marzo de 1993

CEPAL

Comisión Económica para América Latina y el Caribe

Oficina en Buenos Aires



**EMPRESAS LIDERES EN DESARROLLO, APLICACION
Y DIFUSION DE TECNOLOGIAS AMBIENTALMENTE**

RACIONALES EN AMERICA LATINA:

El caso de ALUAR Aluminio Argentino

Jorge Ares
Alfredo Calandra
Osvaldo Cobo



14 APR 1993

El presente trabajo fue realizado por la Gerencia de Investigación y Desarrollo de ALUAR Aluminio Argentino SAIC, a solicitud del Area de Desarrollo Industrial de la Oficina de la CEPAL en Buenos Aires. Los autores del capítulo I son los señores Alfredo Calandra y Osvaldo Cobo, y del capítulo II, el señor Jorge Ares. Se agradece la colaboración del Sr. Gregorio Krauchik, Gerente de Administración y Planeamiento.

**EMPRESAS LIDERES EN DESARROLLO, APLICACION Y DIFUSION DE
TECNOLOGIAS AMBIENTALMENTE RACIONALES EN AMERICA LATINA:**

El caso de ALUAR Aluminio Argentino

INDICE

1. EL PROCESO DE INNOVACION TECNOLOGICA	1
1.1. Introducción	1
1.2. El proceso Hall-Heroult	1
1.3. La estructura del proyecto de ALUAR	2
1.4. Innovaciones en el sector de electrólisis	3
1.4.1. Modelación matemática - Aplicaciones	3
1.4.2. Alimentación puntual	3
1.4.3. Equipo de rotura y alimentación puntual	4
1.4.4. Cambio en caliente	4
1.4.5. Control Automático	5
1.4.6. Transporte de alúmina en fase densa	6
1.4.7. Cerramiento y planta de tratamiento de humos	6
2. LA PROTECCION AMBIENTAL	7
2.1. El desarrollo ambientalmente sustentable de la industria del aluminio y la instalación de ALUAR en 1974	7
2.2. La política ambiental de ALUAR	8
2.3. Evolución del Plan de inversiones en control ambiental	11
2.4. La prospección y auditoría ambiental como herramientas de gestión	12
2.5. Reflexiones sobre el impacto ambiental de la actividad de ALUAR en Puerto Madryn	17
2.6. Evaluación del rédito generado por las inversiones realizadas en protección ambiental y su impacto en el desarrollo sostenible de ALUAR	18
2.7. Conclusiones	22

1. EL PROCESO DE INNOVACION TECNOLOGICA

1.1. Introducción

La innovación en la empresa no puede ser un hecho aislado de un sector sino que es el resultado de una planificación cuidadosa, seguida de una implementación de cambios a nivel tecnológico, organizativo, gerencial, de infraestructura y otros, con el objetivo de incrementar su efectividad, rentabilidad, capacidad de crecimiento y competitividad general. El objetivo a alcanzar debe ser el de mantener la capacidad de exportar de la empresa y defender el mercado interno frente a la penetración de productos importados sin perturbar el medio ambiente.

En ALUAR, la protección ambiental se considera también una actividad innovativa. Por un lado, la adopción de los criterios y estándares desarrollados en otros países y ambientes debe ser guiada por el conocimiento básico de la ecología local y de sus elementos singulares. Por otra parte, es necesario incorporar los nuevos adelantos y criterios que nuestra percepción de los problemas ambientales indica como relevantes. Como se puede comprobar más abajo éstos fueron los criterios que prevalecieron para el desarrollo de las innovaciones implementadas por ALUAR.

Para facilitar la comprensión de las innovaciones introducidas por ALUAR haremos previamente una somera descripción del proceso industrial empleado universalmente para obtener el aluminio.

1.2. El proceso Hall-Heroult

El proceso de producción de aluminio primario ha sufrido una sucesión casi continua de innovaciones, pero en ningún caso éstas han sido revolucionarias. Así, desde el descubrimiento y patentamiento del método hace ya 106 años, las innovaciones se han centrado en el aumento del tamaño de las celdas electrolíticas, en la implementación de un control automático del proceso y en la captación y recuperación de los efluentes emitidos.

Puesto que el número de unidades de producción (reactores electroquímicos, celdas o cubas de electrólisis) en esta industria es muy grande, una pequeña contribución al mejoramiento del proceso puede conducir a obtener considerables ganancias económicas.

El proceso de obtención de aluminio consiste en la electrólisis de una solución fundida de alúmina en criolita, a la cual se le agregan aditivos, especialmente AlF_3 y CaF_2 , para lograr un descenso del punto de fusión de la mezcla. Se emplean como ánodos, electrodos de carbón que se consumen durante el proceso por lo que deben cumplir requisitos muy estrictos de pureza. Los ánodos son fabricados en un sector de la planta a partir de coque de petróleo nacional, el que es molido, amasado usando brea como ligante, moldeado y finalmente cocido en hornos apropiados.

El cátodo lo constituye el aluminio líquido, más denso que el electrolito fundido, que yace en el fondo de la cuba. El fondo y las paredes de la cuba están formados por bloques de carbono convenientemente dispuestos y ligados entre sí por medio de una pasta de carbono de manera de configurar un recipiente hermético. Todo ello está contenido en una fuerte estructura metálica que se encuentra aislada térmica y eléctricamente de los bloques de carbono mediante ladrillos aislantes y refractarios. El contacto eléctrico se establece mediante conductores de hierro que son fijados a los bloques carbonosos por medio de una colada de arrabio.

La electrólisis se realiza a temperaturas cercanas a los 960°C y se genera dióxido de carbono en

el ánodo y aluminio líquido en el cátodo.

El aluminio producido es extraído diariamente por medio de grandes cucharas revestidas de refractario que succionan el metal de las cubas y lo transportan al sector de Fundición donde es solidificado en diversas formas (lingotes, barrotos y placas).

La corriente eléctrica no solo produce las transformaciones químicas en las interfases anódica y catódica, sino también genera el calor necesario para mantener fundido el sistema. El balance térmico es mantenido mediante la regulación de la distancia existente entre el ánodo y el cátodo.

La alúmina es agregada a la cuba en forma discontinua cuya cantidad y frecuencia dependen de los métodos adoptados para ejecutar la tarea. La alúmina ingresa al baño electrolítico y se disuelve en el mismo ayudada por la agitación producida por 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 produce una suerte de pasivación que lleva al voltaje a crecer en un orden de magnitud, consumiendo una gran cantidad de energía. El mecanismo de comienzo del efecto anódico y sus características prácticas fue extensamente estudiado en la empresa y sus resultados dados a conocer en diversas publicaciones. El efecto anódico es extinguido con el agregado de alúmina fresca y el cortocircuitado transitorio de la cuba. La frecuencia de los EA es normalmente de 2 por día por cuba, si el agregado de alúmina es masivo. Esto hace que en parte la alúmina no se disuelva. En este sentido el EA reduce la acumulación de alúmina no disuelta y, a pesar de su costo energético, es usado corrientemente en la industria.

Antes de las innovaciones la alúmina era descargada en el lateral de las cubas sobre la costra de baño endurecida por medio de vehículos con recipientes de almacenaje. Desde allí se la 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 produciendo alteraciones cíclicas importantes de los parámetros de marcha del proceso.

Las cubas en ALUAR 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 da una idea de la magnitud del movimiento de materia prima que hay que realizar ya que en cada cuba se produce diariamente 1.200 kg de aluminio y se consumen 2.100 kg de alúmina y unos 500 kg de carbón de los ánodos.

1.3. La estructura del proyecto de ALUAR

De acuerdo a estas condiciones, el proyecto de ALUAR se concibió desde sus comienzos como el de una transferencia ordenada de tecnología, que permitiera la flexibilidad suficiente como para poder incorporar los nuevos métodos de control de proceso a medida que éstos fueron siendo probados por la experiencia en otros productores de aluminio primario. Para ello, se optó por una estructura de cuba sencilla, pero factible de adecuada remodelación, y se crearon las condiciones de staff necesarias para permitir la incorporación ordenada de tecnología y el desarrollo de aspectos tecnológicos intermedios factibles de ser realizados localmente. A tal fin, se creó la Gerencia de Investigación y Desarrollo, y se incorporaron a la empresa alrededor de 50 profesionales senior reclutados de centros de investigación de excelencia en el país y en el exterior.

Las instalaciones de la planta consisten en 4 Salas de Electrólisis, con 400 cubas electrolíticas, una

fábrica de ánodos precocidos con instalaciones de molienda, clasificación y cocción y una planta de solidificación con una capacidad de espera y entrega en hornos de 600 toneladas, más instalaciones auxiliares de mantenimiento, laboratorios de investigación y desarrollo y de control de calidad, administración, con una superficie cubierta total de 170.000 m². La primera colada de metal se realizó en 1974, pero la planta operó (mediante la generación de electricidad con turbinas a gas natural) entre 1/3 y 1/2 de su capacidad total hasta 1978, en que se produjo la entrada en servicio de la central hidroeléctrica de Futaleufú, y alcanzó su máxima producción durante 1979, que luego incrementó en aproximadamente 22% como consecuencia de la incorporación de tecnología en el control y operación de las cubas y otras áreas del proceso, hasta alcanzar la capacidad actual de 170.000 ton/año.

1.4. Innovaciones en el sector de electrólisis

1.4.1. Modelación matemática - Aplicaciones

Los estudios que se realizaron sobre la estabilidad magnetohidrodinámica de los fluidos dentro de la cuba 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 origina una pérdida de la eficiencia de corriente y en consecuencia de la productividad.

Desde los primeros años se trabajó en modelos de simulación que representan las complejas interacciones existentes dentro de la cuba entre los componentes eléctricos, magnéticos, fluidodinámicos, térmicos y de transporte de masa. Buena parte de los resultados fueron publicados en la literatura técnica. En la práctica se ejecutaron dos proyectos basados en el uso de los modelos eléctrico y magneto-fluidodinámico que dieron resultados muy satisfactorios.

Por un lado se lograron corregir algunas distorsiones magnéticas presentes en el diseño original de la cuba. Ello se logró incorporando un circuito eléctrico adicional de compensación magnética, independiente del de la serie electrolítica, que rodea las cubas y cuyas características fueron definidas por el modelo. La estabilidad de marcha se tradujo en un incremento de 2% en la eficiencia de corriente y una reducción del orden de los 1000 Kwh/TnAl.

Como consecuencia de esta modificación en el consumo de energía y a los efectos 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 produjo una relocalización de las isoterma en el interior del fondo catódico que redujo las posibilidades de daño del mismo e incrementó la vida media útil de las cubas. El segundo proyecto consistió en completar la segunda serie electrolítica que solo contaba con 184 cubas, estando el edificio en condiciones de albergar 200 como en el caso de la primera serie.

Se planteó la idea de lograr la misma situación magnetohidrodinámica que en el resto de la sala pero sin requerir circuitos adicionales de compensación sino definiendo una configuración apropiada de los conductores. Por sucesivas aproximaciones se llegó a diseñar y construir las denominadas "cubas autocompensadas". Estas presentan un mejor aprovechamiento de los materiales y de la energía y probaron durante más de 4 años ser capaces de operar con similar performance que el resto.

1.4.2. Alimentación puntual

La disponibilidad de cubas con un adecuado grado de estabilidad magnética sirvió de base para incorporar un método de alimentación de alúmina que revestía las siguientes características:

- fácilmente automatizable (elimina operaciones manuales y/o con vehículos).

- dosificable en pequeñas cantidades (evita las perturbaciones y reduce la frecuencia de aparición de los EA)
- ejecutable por la zona central de la cuba (permite aplicar cerramientos de alta eficiencia de captación) en cuatro puntos (Alimentación Puntual).
- requiere recipientes fijos instalados en cada cuba para servir de depósito de alúmina recargables diariamente.

1.4.3. Equipo de rotura y alimentación puntual

Los primeros equipos se construyeron en 1984. Estos prototipos fueron perfeccionándose hasta llegar al modelo final. La clave de la innovación fue compatibilizar el espacio limitado disponible con los requerimientos exigidos al equipo por el proceso y por la capacidad del sistema de provisión de alúmina desde los silos. La estructura portante de los equipos está apoyada en las columnas ubicadas entre las cubas, y sirve además para captar los humos emitidos por la cuba y enviarlos al sistema de extracción de gases. Sobre ella se apoyan dos tolvas de alúmina de una capacidad de 2 ton cada una y una más pequeña para los aditivos del baño electrolítico (600 kg). Cada tolva de alúmina tiene incorporados dos pistones rompecostras y dos válvulas dosificadoras de alúmina todos accionados neumáticamente. Cada una descarga alrededor de 1 kg de alúmina y lo hace con una frecuencia variable entre 2 y 10 minutos. La tolva para los aditivos posee dos dosificadores similares a los de la alúmina pero de menor tamaño que descargan el producto en los dos puntos centrales de alimentación.

Un detalle novedoso dentro del diseño mecánico de los equipos de alimentación puntual, lo constituyen los dosificadores. Cada cuba ALUAR utiliza seis de estos sistemas, cuatro para alúmina y dos para aditivos.

Los dosificadores, cuando reciben la señal del sistema de control automático, deben descargar cantidades precisas de mineral en los puntos de alimentación.

ALUAR desarrolló para sus cubas un nuevo concepto de dosificador. En efecto éste funciona utilizando el principio de fluidificación del mineral dentro de un recipiente de forma adecuada para alimentar con precisión aún mayor que los dosificadores convencionales. Por carecer de mecanismos complejos, no está sujeto a desgaste ni requiere ningún tipo de mantenimiento.

La ventaja de estos dosificadores, se comprende si se considera que en la planta hay 2.400 dosificadores en operación simultánea.

1.4.4. Cambio en caliente

Para iniciar la transformación de las cubas del modo rotura y alimentación lateral al de rotura y alimentación puntual, en forma secuencial y ordenada a lo largo de una línea de cubas, fue necesario desarrollar un sistema de reemplazo de travesaño anódico sobre cubas en marcha que se denominó "Cambio en Caliente".

El mismo consiste en cortocircuitar la cuba, conectar un barramen suplementario al existente en la parte inferior de la cuba para garantizar la continuidad del pasaje de la corriente, reemplazar el travesaño anódico por otro previamente ensanchado y volver a poner en marcha la cuba, en un tiempo tal que la temperatura de la cuba no se reduzca por debajo de valores que imposibilitarían su rearranque. Los ánodos son mantenidos dentro de la cuba en sus posiciones por medio de un dispositivo de fijación transitorio. La gran ventaja de este procedimiento es que no requiere detener la cuba para realizar la transformación. Ello trae aparejado significativos beneficios al minimizar la pérdida de producción y no afectar la vida de las cubas.

Durante un plan sistemático que duró más de 3 años se modificaron las 400 cubas de la planta sin experimentar ninguna pérdida por fallas en la transformación.

1.4.5. Control Automático

La automatización consiste en un conjunto de micro-computadoras y mecanismos desarrollados para efectuar en forma automática ciertas operaciones en la cuba electrolítica que usualmente se realizan en forma manual y mediante el empleo de vehículos y/o puentes grúa. Este sistema junto con el cerramiento de las cubas, permite el posterior tratamiento de los humos emitidos.

El sistema de control automático de cubas de ALUAR está estructurado en forma distribuida y jerárquica con dos niveles de control; el diseño del mismo fue realizado en la Argentina por FATE Electrónica y ALUAR.

Los programas de control instalados en la memoria de los microprocesadores tienen por objetivo el mantener la concentración de Al_2O_3 disuelta en el baño dentro de un estrecho rango de valores deseables, al mismo tiempo que se mantiene bajo control la distancia entre ánodo y cátodo de la cuba, respecto a un valor predefinido.

El algoritmo también toma a su cargo el mantenimiento de la composición de baño estableciendo la frecuencia de agregado desde la tolva de aditivos en base a la información provista por 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 estaban asociados a cambios en el contenido de alúmina y en la composición de baño.

El número actual de efectos anódicos es de 0,25 por día y se aprecia una disminución de la tensión de marcha de unos 50 mv. Todo ello ha permitido mejorar el rendimiento de corriente en casi el 2% y el consumo de energía en 0,5 kwh/kgAl.

En base a la experiencia generada con el control automático de cubas de rotura lateral, se plantearon las estrategias de control que serían deseables dentro del marco de la nueva tecnología.

Los desarrollos efectuados en esta área se vieron fuertemente apoyados por el uso sistemático de simuladores de proceso. Como tal se entiende un sistema capaz, por una parte, de generar señales equivalentes a las de una cuba de electrólisis (simulación de cuba), y por otra parte de emplear dichas señales como alimentación de un sistema de control, capaz de tomar acciones de control (cambiar la alimentación de Al_2O_3 , modificar la distancia ánodo-cátodo), en respuesta a la interpretación hecha de las señales ingresadas. El sistema de simulación de cuba es capaz de modificar, a su vez, las salidas que genera, en respuesta a las acciones de control tomadas, cerrando el lazo de control. Dependiendo si el sistema de control empleado 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 a través de una interfase de conversión digital-analógica), o si el controlador es a su vez una simulación digital, se cuenta con dos clases de simuladores, de Proceso y Control de Proceso. 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 encuentra amplia aplicación en la evaluación y control del software y del hardware de control, mientras que el segundo ha probado su eficacia para establecer criterios en la estrategia de control.

1.4.6. Transporte de alúmina en fase densa

Este es un proyecto complementario del de la alimentación puntual. En efecto resultaba necesario transportar la alúmina a cada cuba. Luego de analizar varias opciones se decidió por un sistema de fase densa pues no requiere vehículos, no produce polvo, es fácilmente automatizable y se adapta muy bien a las tareas que se realizan en las salas de electrólisis.

El sistema de cañerías parte desde las plantas de impulsión de la alúmina que está ubicada en los patios interiores entre Salas e integrado a las plantas de tratamiento de humos y accede a las cubas por la parte inferior para evitar interferencias con los puentes-grúa. La tecnología fue adquirida a una empresa especializada.

1.4.7. Cerramiento y planta de tratamiento de humos

El cerramiento y aspiración de los humos completa el proyecto pues produce un significativo cambio en el ambiente de trabajo y permite recuperar los productos emitidos durante la marcha de las cubas.

El primero se conforma con un conjunto de tapas removibles de aluminio que se apoyan en el bastidor de soporte de los equipos de alimentación puntual y poseen una aislación eléctrica en la parte inferior en el apoyo sobre la cuba.

Las tapas son paneles livianos que pueden retirarse fácilmente para poder acceder a la cuba y realizar las tareas de rutina y volver a colocarlas.

Los gases aspirados son derivados a una tubería que desciende por debajo del piso de la Sala y se desplaza lateralmente para alcanzar el colector general.

La planta de tratamiento emplea el denominado proceso seco ("dry scrubbing") usando como agente de retención la misma alúmina que es luego electrolizada en las cubas. La tecnología fue provista externamente. La planta está conformada por cuatro módulos independientes para 100 cubas cada uno. La ubicación de los módulos es tal que minimiza el tamaño de los colectores de gases y la pérdida de carga a lo largo de los mismos.

2. LA PROTECCION AMBIENTAL

2.1. El desarrollo ambientalmente sustentable de la industria del aluminio y la instalación de ALUAR en 1974.

Las primeras plantas de aluminio producían pequeñas cantidades del metal en cubas de baja eficiencia, y era común en 1930-40 operar con capacidades anuales de unos pocos miles de toneladas. A partir de 1935, las mejoras introducidas en los diseños de los reactores y el extraordinario interés que adquiere el aluminio por su capacidad de reemplazo de numerosos otros materiales, posibilitan un aumento del tamaño medio de los emprendimientos hasta alcanzar las 30-50 mil toneladas de capacidad. En varias regiones de Europa y EE.UU. se detectó al mismo tiempo que los humos desprendidos del proceso de electrólisis podían dañar la vegetación circundante, si bien nunca se detectaron casos en los cuales estuviera comprometida la salud de la comunidad o de las personas ocupadas en el proceso.

Como consecuencia de la detección temprana de estos inconvenientes, se hizo habitual en la industria el análisis de los efectos externos de sus efluentes. Al mismo tiempo, comenzaron a desarrollarse sistemas de tratamiento de los humos que contribuyeran a reducir la cantidad de compuestos fluorados presentes en los mismos. Las primeras tentativas se centraron alrededor del uso de nieblas de agua que interceptan la corriente de humos y abaten parte de los componentes sólidos y gaseosos de los mismos. La eficiencia de estos sistemas es baja, y se generan residuos líquidos de difícil disposición, ya que de vertirse en cursos de agua de utilización múltiple, pueden ocasionar toxicidad a través del agua de consumo.

La solución definitiva a las emisiones de materiales fluorados incorporó la posibilidad de recuperar los mismos y reutilizarlos como materia prima nuevamente en el proceso de electrólisis. El diseño de este proceso consiste en 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 adsorben sobre sitios activos de la misma y de sus impurezas de sodio. Los componentes particulados de los humos son retenidos por medio de filtros de mangas convencionales, ya que la temperatura de los humos rara vez supera los 100 C. Existen algunas variantes de ingeniería para este proceso, que fueron desarrolladas durante los años 1960-, de forma tal que a partir de 1974, por ejemplo, se instalaron habitualmente sistemas de control de humos de electrólisis "secos". La tendencia se extendió en los años siguientes al resto del mundo, existiendo en la actualidad muy pocas (y pequeñas) plantas que aún no cuentan con él. Esto ocurre en lugares del mundo relativamente poco poblados, en Europa del Este, etc., donde la economía agrícola circundante es de baja intensidad y las condiciones meteorológicas permiten una dispersión adecuada de las emisiones. En consideración a la necesidad de conservar el clima global, sin embargo, estas circunstancias seguramente no prevalecerán durante los próximos pocos años.

El proyecto de ALUAR se concibió durante los primeros años de la década de 1970, cuando la tecnología de los sistemas secos estaba en desarrollo, y ya existía consenso acerca de las limitaciones de los sistemas de retención húmedos. Al mismo tiempo, ya existían indicios de que otros desarrollos de ingeniería destinados a mejorar el control del proceso de electrólisis y aumentar la eficiencia del uso de energía en las cubas electrolíticas, iban a determinar la necesidad de modificar la estructura hasta entonces relativamente simple de las cubas, para lograr todos estos propósitos simultáneamente. Dado que en la Argentina no existía un desarrollo de la industria de alúmina primaria, fué necesario prever la importación económica de la misma a través de un puerto de aguas profundas de bajo costo operativo. Estas consideraciones determinaron la selección de la costa patagónica norte para tal fin, y la construcción del muelle Alte. Storni en el interior del Golfo nuevo, junto a la ciudad de Puerto Madryn, a 1350 km al sur de la ciudad de Buenos Aires. Esta localización fue compatible con la utilización de energía hidroeléctrica proveniente de la central de Futaleufú, en la región cordillerana al sur de la provincia de Chubut. Debe

recordarse que ya en aquel momento se habían producido las primeras crisis de abastecimiento de minerales fósiles, y era posible prever que la producción de aluminio no iba a ser posible en el futuro sin el concurso de energía hidroeléctrica.

El clima de la región es semiárido templado, con una precipitación media anual de 169 mm, y la dinámica de la baja atmósfera está dominada por los anticiclones periódicos del Pacífico Sur, que luego de descargar su humedad en el sistema de los Andes, modelan con su influencia el paisaje y el desarrollo de la vegetación. Esta es de tipo meso-a xerofítico, con baja biomasa y productividad de forma tal que no es posible la labranza regular de los suelos. Por ello, la explotación ovina extensiva está difundida en la región, aunque es de media a baja productividad. La ciudad de Puerto Madryn sirvió durante las primeras décadas de este siglo como punto de concentración de la producción lanera, para su exportación por vía terrestre o marítima. En los alrededores de la ciudad misma, no existen actividades agrícolas extendidas, ya que el agua es insuficiente y la población depende de su suministro por medio de un acueducto de 60 km. de longitud desde el río Chubut.

Dentro de la política de recursos humanos para el desarrollo y adopción de tecnología, se incorporó la posibilidad de desarrollar criterios pro-activos respecto de la protección ambiental y los eventuales impactos sobre ella derivados de la instalación y operación de la planta. El Departamento de Investigación Ambiental actúa desde 1974 dentro del ámbito de la Gerencia de Investigación y Desarrollo, y su función es incorporar los criterios de evaluación del impacto ambiental de las operaciones a medida que éstos se van desarrollando como consecuencia de las mejoras en la percepción e interpretación del efecto de las actividades industriales sobre el medio ambiente. Como las interacciones con el ambiente están fuertemente modeladas por las condiciones ecológicas locales, es necesario conducir prospecciones y estudios locales a fin de que esta incorporación sea racionalmente justificada, y trascienda de la adopción más o menos rutinaria de criterios o estándares desarrollados para otras regiones o circunstancias.

Los primeros análisis ambientales se iniciaron en 1974, y se refirieron al estudio de diversos compartimentos ambientales a través de muestreos del aire, suelos, vegetales, aguas costeras y sedimentos. Los trabajos se orientaron a conocer las concentraciones habituales de elementos que ocurren naturalmente y que son también componentes de las materias primas o de los efluentes característicos de la industria: aluminio y sus óxidos, compuestos inorgánicos fluorados y sustancias orgánicas semivolátiles. El Departamento de Investigación Ambiental opera con un staff de cuatro personas y un presupuesto anual de aproximadamente 200.000 dólares. Hasta la fecha, se han producido una veintena de publicaciones científicas en la literatura abierta internacional referidas a distintos aspectos de la evaluación del impacto ambiental de la producción de aluminio en Puerto Madryn. ALUAR conforma con otras empresas líderes en el ámbito internacional, el Comité Ambiental del Instituto Internacional del Aluminio Primario, (IPAI), con sede en Londres. El Instituto es un foro de intercambio de experiencias técnicas y desarrollo de criterios para una política ambiental pro-activa dentro de la industria. El Comité Ambiental del IPAI mantiene una activa interacción con organismos internacionales para la protección del medio ambiente y el desarrollo sostenible, y ha contribuido a desarrollar los criterios en la materia adoptados por UNEP en 1982 y UNIDO en 1992.

2.2. La política ambiental de ALUAR

La Fig. 1 describe el ciclo administrativo mediante el cual se han adoptado las decisiones relativas al gerenciamiento de la protección ambiental. El nodo inicial de este sistema es necesariamente una clara decisión de la dirección de la compañía en el sentido de priorizar el tratamiento y las inversiones necesarias para lograr una protección ambiental efectiva durante las operaciones. Esta decisión se ha materializado en la formulación de una Política Ambiental explícita. Esta ha sido formalizada en forma escrita desde el nivel de la Gerencia de Planta en Puerto Madryn. En su versión de 1990, actualmente en vigencia, expresa

textualmente:

"La protección ambiental, por su importancia, deberá ser considerada en todas las actividades que la empresa realice. En este sentido, se tomarán las acciones necesarias que permitan cumplir o preceder a las disposiciones o leyes ambientales. Además, se cooperará con las autoridades responsables del medio ambiente para desarrollar leyes y standares ambientales efectivos y adecuados a cada necesidad. Es responsabilidad de todos los empleados de ALUAR comprender, promover y asistir a la implementación de esta política".

Esta definición incorpora varios conceptos imprescindibles para lograr 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 normar administrativamente actividades aparentemente no relacionadas con la ingeniería clásica de saneamiento. Por ejemplo, es fundamental que el área de Mantenimiento desarrolle mecanismos de respuesta rápida y prioritaria para la atención de las instalaciones de control de efluentes, o de las máquinas que transportan materias primas desde el muelle hasta el sitio de operación. Otro sector del cual depende la calidad ambiental de las operaciones es el de Suministros, ya que es a través de esta gerencia que se toman las decisiones relativas al transporte de materias primas y de productos secundarios hacia y desde la planta. Un empleado que decide la adjudicación de un traslado de materiales a un transportista contratado puede determinar que un impacto ambiental se genere o no según la calidad del equipo de que éste disponga. La experiencia indica que pueden encontrarse ejemplos de relevancia ambiental en tareas en el área de Proyectos, Métodos, Control de Calidad, Ingeniería de Procesos, etc.



Figura 1. El ciclo administrativo conducente a la toma de decisiones en protección ambiental en ALUAR.

En segundo lugar, la política establece que la protección ambiental debe eventualmente anticiparse a la ley escrita. Esta actitud está orientada a prevenir la eventual tendencia a operar localmente en condiciones que ya son reconocidas como inaceptables de acuerdo a los avances tecnológicos en otros países. En Argentina, donde la legislación ambiental muestra un rezago en el tiempo respecto de otras normativas ambientales en países con mayor experiencia industrial, ha sido necesario incorporar en la forma de standards internos de la compañía criterios y límites de emisión que no están aún en la ley pública escrita, pero pertenecen ya al estado de la técnica en otros países. Por este mismo motivo, el control ambiental se concibe en ALUAR como una actividad de Investigación y Desarrollo, que permite incorporar rápidamente los adelantos que surgen de la creciente percepción científica de efectos ambientales que hasta hace poco habían pasado inadvertidos.

En tercer lugar, se establece que la actitud de todos los empleados de la empresa hacia las autoridades responsables del medio ambiente debe ser cooperativa. Esta definición implica reconocer que la autoridad de aplicación en el área ambiental actúa en función de proteger los intereses comunes (salud, calidad de vida), que son también los intereses de las personas individuales que trabajan en la compañía. En un mundo que es cada vez más conciente de sus límites ambientales, no es posible lograr un clima laboral de excelencia si las personas que trabajan en una empresa percibieran que este tipo de valores están comprometidos para sí o para sus familias. Es en este punto donde el control ambiental se convierte en un elemento más de la gestión de calidad total. En su cooperación con el desarrollo de normativas claras y efectivas, la industria está en la posición de aportar el conocimiento detallado de sus procesos y su propia experiencia.

Para lograr la implementación efectiva de la política ambiental se han definido en ALUAR responsabilidades por niveles. Los siguientes párrafos han sido extraídos de la documentación correspondiente al nivel gerencial. Todo empleado en nivel gerencial debe "... conocer los programas de control ambiental, promover y asegurarse de su aplicación en la Gerencia a su cargo. Conocer los valores máximos permitidos y los standares máximos de sobrecontrol de la compañía...", "...analizar las estadísticas de control ambiental, los informes de emisiones, inmisiones e incidentes, tomando acción en caso de tendencia desfavorable". En el nivel de supervisión de sector, el empleado debe "...conjuntamente con la instrucción y organización de tareas, adiestrar a los operarios para reconocer y corregir fallas de equipos o procedimientos que afecten el control del ambiente...", y "...considerar al personal de contratistas bajo su supervisión directa y comprendido en los generales de sus responsabilidades..."

En la actualidad, cada sector de la compañía debe generar un plan anual de control ambiental. Los lineamientos para la preparación de los planes para 1992-93 han sido ya comunicados, y se basan en la profundización de las siguientes acciones:

1. Minimizar el consumo de materiales ambientalmente peligrosos como grasas, aceites, solventes orgánicos, polvos minerales reactivos, etc. Minimizar la generación de residuos de esta naturaleza.
2. Actualizar informes escritos sobre las actividades, tareas, etc., del sector que puedan tener relevancia ambiental ya sea por emisión de polvos, humos, líquidos residuales, porque usa o genera materiales ambientalmente peligrosos, etc.
3. Mantener en marcha programas de inducción y capacitación regular para estimular el involucramiento individual en mejorar el control ambiental en las tareas críticas, así como detectar otras nuevas que puedan introducirse.
4. Evaluar la gestión del propio sector en el avance logrado en los puntos anteriores durante el ejercicio corriente.

Asimismo, se encuentra en desarrollo el mejoramiento de las condiciones de reposición de algunos

residuos sólidos. Todos estos residuos se estiban dentro de planta, en un área cercada con control administrativo de ingreso, en una zona de drenaje controlado, sobre subsuelo de arcilla calcárea de baja permeabilidad. Como la región se caracteriza por un exceso de la evapotranspiración con respecto a la precipitación, no hay en ella cursos de agua superficiales ni napas cerca de superficie. A partir de 1991 se han preparado áreas niveladas y rodeadas de talud, impermeabilizadas en su interior con manta plástica, a fin de poner más en evidencia el carácter arreico del área de estiba. Esta disposición limita el escurrimiento horizontal del agua de lluvia, que es retenida en cada módulo y evaporada directamente desde su superficie. El sistema se extenderá en forma creciente a la estiba de la totalidad de restos de reconstrucción de cubas y otros residuos similares. Se estima que las obras insumirán una inversión cercana a los 20 \$/tonelada de material residual.

Como parte de su incumbencia en cooperar a minimizar los impactos secundarios de la planta de aluminio, esto es, aquellos generados en Puerto Madryn por otras actividades iniciadas después de su instalación, ALUAR ha realizado recientemente contactos técnicos con organismos de investigación ecológica nacionales que operan en Puerto Madryn, agrupaciones conservacionistas de la región y las autoridades de aplicación en el área ambiental en Chubut, con el fin de conformar un foro técnico mixto para desarrollar criterios adicionales sobre el impacto ambiental de diversas actividades en el área. La conservación del paisaje, la planificación de la construcción urbana, el uso ordenado de las áreas costeras, la conservación de la vegetación y de la fauna, son algunos items de la agenda futura para estos esfuerzos conjuntos.

2.3. Evolución del Plan de inversiones en control ambiental

Desde el comienzo de las operaciones de ALUAR, se instalaron numerosos sistemas de ingeniería de control de las emisiones de polvos y humos en distintos sectores de la planta. A esta primera generación de sistemas de control corresponden los filtros generales del sistema de molienda de ánodos y de restos de los mismos, los del sistema descargador del muelle, el filtro general de cocción de ánodos, las plantas de tratamiento de efluentes líquidos y de algunos de los sistemas de enfriado de escoria. Asimismo se previó la recuperación total y reciclaje de los restos anódicos, a fin de minimizar la generación de residuos sólidos. Este conjunto de inversiones iniciales en sistemas de control ambiental puede estimarse en unos 6 millones de dólares. Con posterioridad fue instalada la planta de molienda de baño electrolítico y sus sistemas de control de emisiones de polvo, por un total estimado de 1,5 millones de dólares. Pero sin duda la inversión unitaria mayor corresponde al sistema de plantas de tratamiento seco por adsorción en lecho de alúmina fluidificado, que en número de 4 sirven a la totalidad de las cubas en operación. Estas plantas fueron seleccionadas de tecnología FLAKT, y en el proceso de la incorporación de esta innovación fue necesario desarrollar algunas cubas prototipo individuales y un módulo piloto de 16 cubas, que funcionaron durante 1979-1981 y suministraron gran parte de la información requerida para incorporar el cerramiento y captación de humos a la operación, sin detener ésta ni reducir su intensidad.

Tabla 1. Instalaciones de control de emisiones, reciclo de residuos y transporte ambientalmente seguro de materias primas en ALUAR.

Instalación	Valor actualizado de inversión (miles de \$)
Plantas (4) de tratamiento de humos de Electrólisis, incluso planta piloto	42.600
Sistema Neumático de transporte de alúmina	10.000
Planta de reciclo de baño electrolítico	1.400
Planta de reciclo de ánodos	2.500
Sistemas de filtros de emisión de molienda	700
Sistemas de filtros descargador de muelle	300
Filtros sistema transferencia de alúmina	500
Filtro general de cocción de ánodos	300
Filtros sistema limpieza de restos anódicos	300
Plantas (2) de efluentes líquidos	400
Filtros y sistema de enfriado de escoria	800
Control emisiones en molienda de brea	200
Departamento de Investigación Ambiental	250
Total	60.250
Complementarias:	
14 ha (110000 árboles) forestadas para riego con aguas cloacales del sector de viviendas del personal	

2.4. La prospección y auditoría ambiental como herramientas de gestión

La política ambiental de ALUAR se apoya en datos y estadísticas ambientales y su interpretación de acuerdo a las normas corrientes en los países que han liderado la producción de aluminio primario en América del Norte y la comunidad europea, y el análisis ecológico de los eventuales riesgos ambientales que podrían crearse. Los estudios ambientales que rutinariamente se realizan tienen como objetivo conocer los mecanismos de circulación de materiales en los ecosistemas locales, servir como auditoría del control

ambiental de las operaciones y como base para una comunicación efectiva dentro de la compañía y con la comunidad local respecto de los distintos cambios ambientales ocurridos en Puerto Madryn, debidos o no a la operación de la planta de aluminio.

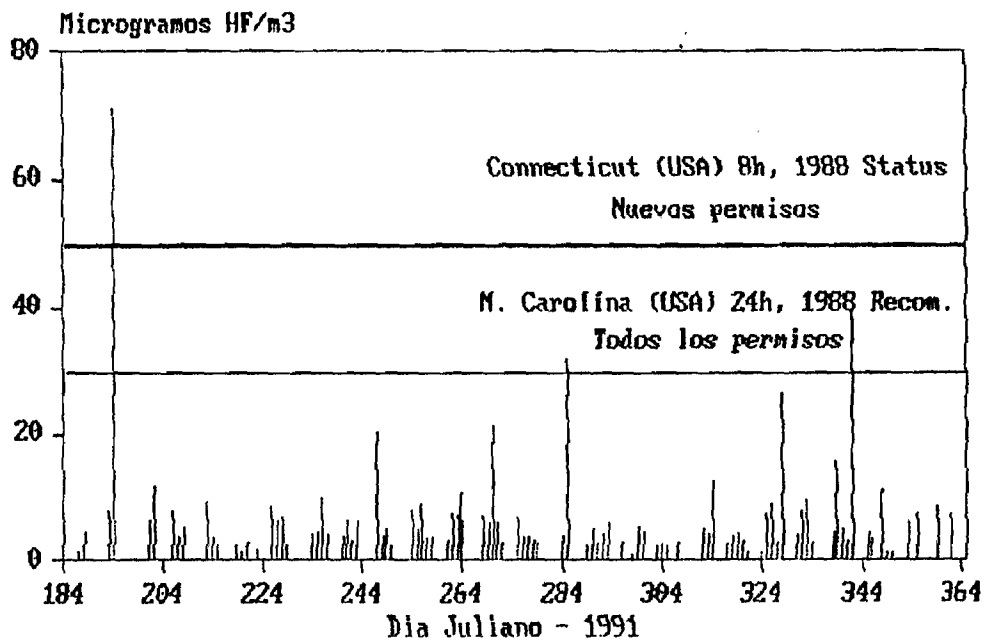
- **Monitoreo del aire.** Se operan tres estaciones instrumentales de muestreo continuo, dentro del área de planta y en dos de los barrios más cercanos. Estas estaciones están equipadas con muestreadores de alto y mediano volumen. En forma diaria, los datos son analizados para conocer la concentración de fluoruros inorgánicos totales, partículas y compuestos orgánicos volátiles. Esta rutina no tiene fines de auditoría interna sino de comunicación de los niveles alcanzados en el control ambiental. Los valores medidos conforman las normas ambientales y/o criterios técnicos habituales en otros países con legislación ambiental detallada para estos casos, y se descarta que puedan crear algún riesgo para la comunidad. En la Fig. 2 se muestran los niveles observados en la estación más cercana al área de planta durante los últimos meses de 1991, y se comparan con algunos valores corrientes establecidos en la legislación de EE.UU. Las leyes federales en la Argentina o del estado del Chubut no fijan valores máximos permisibles para este tipo de emisiones. Puede demostrarse y medirse que los niveles mostrados en la Fig.2 caen a 1/10 de su valor a sólo 650 m del lugar para el cual se muestran los datos, un nivel que también está por debajo de los niveles de riesgo relevantes a las personas o a otros organismos en el área.

Otro tipo de emisiones sobre las que se mantiene una constante evaluación es la que corresponde a la planta de cocción de ánodos. En este caso, se evalúa la emisión de hidrocarburos aromáticos policíclicos a través de varios compuestos marcadores, entre ellos el benzo-a-pireno. En la Fig 3 se muestran los niveles habituales de emisión y la simulación de su dispersión en el área circundante a la planta. Se ve que en todos los casos los niveles de este compuesto en el aire son muy inferiores a los indicados como objetivo adecuado en la legislación de países europeos, que han fijado el criterio de 10 ng/m³. En EEUU no se ha fijado un valor límite aún para este tipo de emisiones. Tampoco en la legislación argentina se encuentran antecedentes respecto de límites aceptables para este grupo de sustancias.

- **Control de efluentes líquidos.** Si bien el proceso de producción de aluminio no genera efluentes líquidos, éstos se generan en menor medida por la red sanitaria interna de planta y algunas operaciones de lavado, totalizando un caudal de 18 m³/hora. Las aguas sanitarias son tratadas en una planta de 3 etapas y las aguas de lavado son desgrasadas en otra planta especial. Durante la estación cálida, la totalidad de las aguas sanitarias se utiliza para irrigación dentro p73 de planta. Mediante el monitoreo de sedimentos y aguas del ambiente marino costero, se verifica que no se han producido modificaciones en su balance químico que justifiquen presumir un riesgo ecológico. En invierno, se descargan al área costera de acuerdo a las normas en vigencia en la prov. de Chubut, que fijan límites para la acidez, sólidos en suspensión, contenido bacteriano y demanda de cloro. Estos y otros parámetros son controlados periódicamente en la descarga.

- **Control de emisiones por opacidad.** Existen en la planta 62 lugares definidos como potencialmente emisores de polvos o humos si los sistemas de control ambiental sufrieran algún incidente. Estos corresponden a chimeneas, torres de transferencia, cintas de transporte, tolvas, estibas semitemporarias, etc. En estos lugares se lleva a cabo una inspección diaria de opacidad por la escala Benarie. Todas las observaciones se comunican en forma computerizada al Sector responsable de la operación y al área de Mantenimiento. Mensualmente, se informa a las gerencias de los valores promedio durante el período anterior. Estas tareas tienen el sentido de una auditoría interna de control ambiental, y han suministrado criterios adicionales para la toma de decisiones respecto del plan de inversiones en control ambiental realizado durante la última década.

**Concentración en Aire de Fluoruros Gaseosos- Planta ALUAR
100 m al NE de las Salas de Cubas**



Promedio de 24 h.

Figura 2. La concentración de Fluoruro de Hidrógeno en aire, un parámetro fundamental de auditoría ambiental en la industria del aluminio primario. Las variaciones diarias se deben a diversas condiciones meteorológicas.

Valores de inmisión de Benzo-a-Pireno Medidos y Calculados

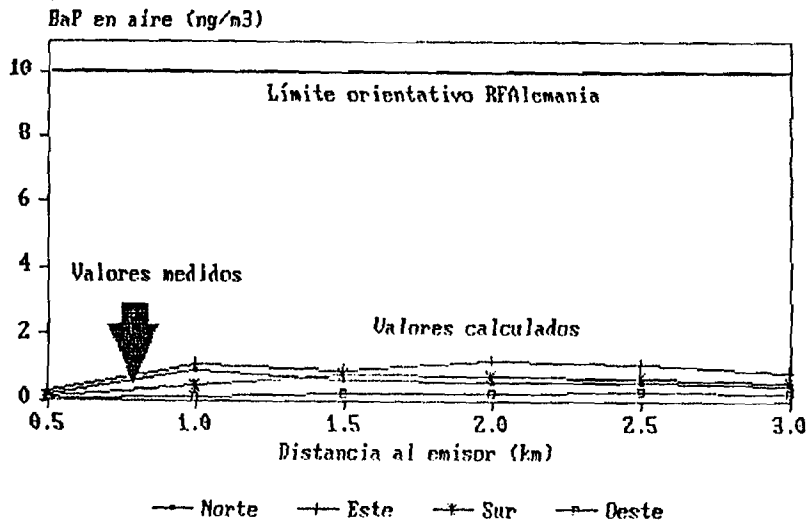


Figura 3. Valores de inmisión de efluentes de la planta de ánodos de ALUAR y su comparación con los valores orientativos de la legislación en la Rep. Fed. de Alemania.

- **Mediciones de polvo en suspensión.** El polvo en suspensión se origina en la zona debido al carácter árido y ventoso del clima y al crecimiento de la planta urbana. Como el material básico (alúmina) para la producción de aluminio es también pulverulento, se mantiene un control de las cantidades de polvo suspendido en la atmósfera por medio de una red de trampas estáticas direccionales. Estas son recorridas y analizadas cada 15 días. El muestreo se hace con fines de comunicación y evaluación de los ritmos de circulación de materiales en la región.

De acuerdo a lo previsible, existe una carga adicional de polvo en el aire dentro y en las proximidades de la planta urbana, pero este hecho es debido a la resuspensión de polvo de las calles no pavimentadas, erosión de las playas, terrenos desmontados para la expansión de la planta urbana, etc. Este fenómeno muestra cómo es necesario analizar a veces también los impactos secundarios que derivan de la industrialización, o sea aquellos cuyo control escapa a la organización administrativa de la industria que ha promovido el desarrollo. En este sentido, ALUAR ha desempeñado un rol en el diálogo con la comunidad, y en la necesidad de proteger y prever este tipo de fenómenos.

- **Controles de emisión.** Existen 5 chimeneas principales en la planta que corresponden a las plantas de electrólisis y de cocción de ánodos. Hay además otras más pequeñas en 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 y auditoría interna de control ambiental, según corresponda.

Fundamentos de la estimación de riesgo ecológico de HAPs

Experimentos de toxicidad aguda-crónica para algunos HAPs con Daphnia magna, Peces, etc.



**QSAR - estimaciones para otros HAPs
Toxicidad Inferida de su hidrofobilidad (log Kow)**



**Cálculo NOEC (No Effect Level Concentrations)
MAR = NOEC / 10 en presencia de sinergismo
NR = MAR / 100**



Cálculo del correspondiente nivel en sedimento por medio de coeficientes de partición Kow corregidos por el contenido de MO

Figura 4. Los criterios de análisis de riesgo ecológico del ambiente marino. Ver también Figura 5.

- **Control meteorológico computarizado.** Los datos de monitoreo ambiental son utilizados para validar modelos de dispersión del tipo normalizado en la legislación de la Environmental Protection Agency (USA). Para ello, se opera dentro de planta una estación climatológica computarizada con sensores de velocidad y dirección del viento, temperatura y humedad del aire y radiación global.

- **Monitoreo del ambiente marino.** Si bien no hay indicios ni antecedentes en otras plantas de aluminio de que las operaciones de éstas puedan afectar el medio marino cercano, recientemente se ha indicado que los impactos secundarios derivados del cambio en la planta urbana sí podrían hacerlo. A fin de desarrollar una comunicación adecuada con la comunidad sobre este tema, se mantiene en operación un programa de muestreo mensual del ambiente marino por medio de trampas de agua y sedimento suspendido. Este programa se desarrolló durante 4 años en 1976-1980 y se reinició en enero de 1991. Muchos de los aspectos relacionados con el impacto de emisiones en el ambiente marino no están legislados aún en los países más avanzados en la materia. Ciertamente no lo están en la legislación ambiental argentina. Recientemente se han desarrollado algunos criterios de riesgo en base a información de tipo QSAR en relación con la protección de las costas del Mar del Norte (Fig. 4). La aplicación de estos criterios al análisis de los datos recogidos en las prospecciones del medio marino frente a la planta de ALUAR, indican que los niveles observables no implican riesgos ecológicos en ese ambiente que puedan atribuirse a la actividad de la planta (Fig. 5).

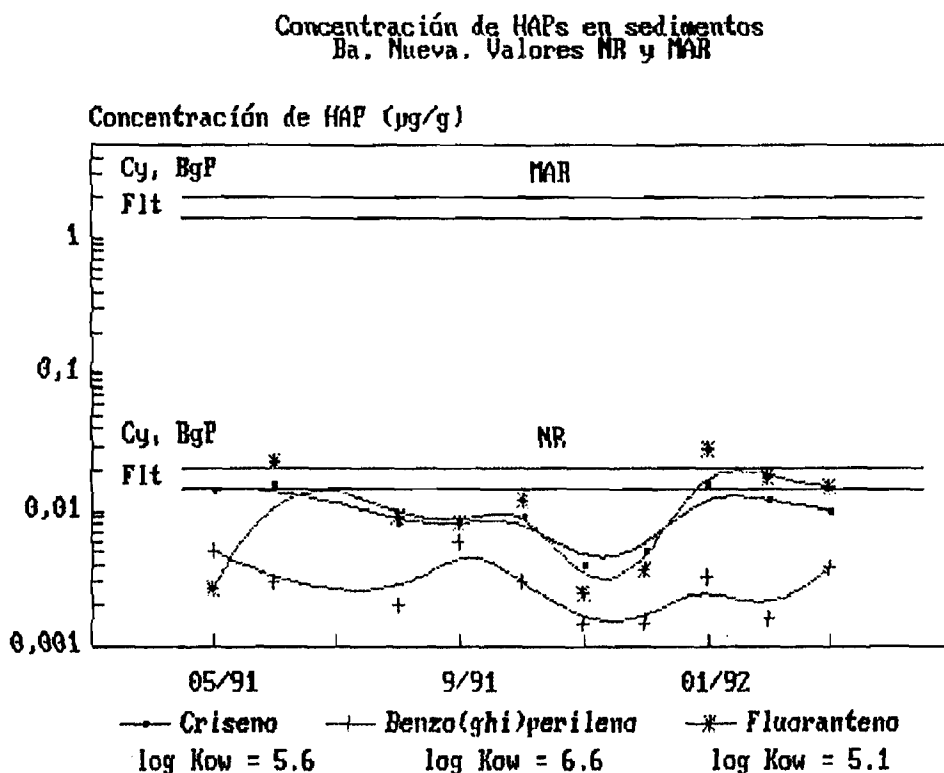


Figura 5. Valores medidos en los sedimentos marinos cercanos a Puerto Madryn y su comparación con los valores MAR (Máximo Riesgo Aceptable) y NR (Riesgo insignificante, no justifica su consideración). Ver también Figura 4.

2.5. Reflexiones sobre el impacto ambiental de la actividad de ALUAR en Puerto Madryn

El impacto ambiental de ALUAR en Puerto Madryn es la suma de las transformaciones que han ocurrido luego de la instalación de la planta de aluminio en la estructura y funcionamiento de los ecosistemas locales. Estos cambios surgen de las modificaciones en el uso del suelo, las aguas costeras, la planta urbana, los sistemas de servicios comunitarios y los flujos de materiales y energía que se producen desde y hacia la región. Para analistas clásicos del impacto ambiental de las actividades humanas como P. Dansereau y H. Odum, es importante analizar los cambios en las fuentes de energía que utiliza el sistema urbano/industrial. En 1970, los niveles tróficos más importantes en los ecosistemas de la región eran los productores y consumidores primarios, y se exportaba la mayor parte de los materiales producidos (lana). En la actualidad, gran parte de la energía utilizada es hidroeléctrica y de gas, hay una acumulación local en forma de materiales, instalaciones e información y se exportan (a los mercados externo e interno) 170.000 ton de aluminio por año.

Para H. Odum, que ha trabajado intensamente en el análisis del impacto ambiental del desarrollo en Amazonía, es importante realizar un balance donde se comparen los flujos habituales de energía, materiales, información y moneda antes y después de las acciones de desarrollo.

Tabla 2. Análisis del impacto ambiental de la transformación urbano- industrial en Puerto Madryn a través de los cambios en los flujos de materiales, energía, valores, cambios demográficos y perfiles de actividad.

	Tipo de ecosistema	
	Pasturil (ca. 1970)	Urbano-Industrial (1974-1992)
Masa de materiales (kg/m ²)	0.1-0.5	100-500
Flujos de energía (kcal/m ² /año)	0.01-0.1	1-10
Flujos de información (1)	Bajo o nulo	Muy elevado
Flujos netos de moneda (\$/m ² /año) (2)	0.001-0.01	1-2
Población (Nº total habit.)	7000	45000
Viviendas	1800	15000
Educación (matrícula)	220	12700
Flujos de material (por muelle, en miles de ton/año)	10-30	720
Diversificación de actividad (no. de empresas por ramo) (3)	2-4	40-

(1) Los flujos de información pueden medirse en unidades normalizadas (bits/tiempo). Sin embargo, esto requiere una discriminación en tipos que escapa a los propósitos de esta descripción. Ejemplos de flujos de información son el traslado de tecnología, de profesionales formados, de patentes, de instrumental con alto valor agregado, etc.

(2) 1\$ = 1 u\$

(3) El perfil de actividades actual incluye además de las originales en la zona a pesqueras-procesadoras, construcciones, metalurgías pesadas, metalurgías livianas, servicios, cosignatarios, estibaje, etc.

En el caso de ALUAR, este análisis puede basarse en la comparación de la estructura ecológica y funciones de un sistema pasturil, tal como prevalecía en la región de P. Madryn antes de 1974, con el sistema urbano industrial actual. Esta comparación se presenta en la Tabla 2.

Otro aspecto de las modificaciones del ambiente en Puerto Madryn que han ocurrido después de la instalación de la planta ALUAR, pero que escapan al control administrativo de la compañía, se refiere al efecto que sobre los ecosistemas costeros tiene el creciente desarrollo del ejido urbano. En este sentido, la compañía se ha identificado en su rol de vecino informado y opera dentro de su sistema de monitoreo ambiental, algunos sensores y sistemas destinados a cuantificar estos fenómenos y contribuir a su toma de conciencia por parte de las autoridades comunales y de la población en general. Una de las consecuencias del crecimiento de la planta urbana más evidentes se refiere al aumento del material particulado suspendido habitualmente en el aire como consecuencia del desmonte de la vegetación natural para edificaciones, el tráfico en caminos y calles vecinales no pavimentadas, etc. La Fig. 6 muestra las tendencias observadas durante los últimos 5 años. Se ve que en general, el nivel de particulado suspendido depende de la cercanía a la planta urbana, y que dentro de la misma pueden generarse cargas de sedimento varias veces superiores a las observadas en lugares aún no perturbados en su periferia. La adecuada cuantificación y posible control de este tipo de modificaciones secundarias constituye sin duda un aspecto muy relevante del desarrollo industrial del litoral patagónico.

Estas descripciones ponen en evidencia que a partir de la transformación urbano-industrial operada en Puerto Madryn luego de la instalación de ALUAR, caben esperarse dos tipos de impactos ambientales. Por un lado, la movilización de materiales y materias primas específicas para la producción de aluminio podrían originar pérdidas contaminantes, aún cuando los flujos de transporte se lleven a cabo con alta eficiencia. A este tipo de efectos se lo ha denominado impacto ambiental primario, y su control y minimización está bajo directo alcance administrativo de ALUAR. Por otra parte, puede definirse un impacto ambiental secundario, originado en las actividades que se establecieron secundariamente como consecuencia de los flujos de materiales, información o instalaciones ya existentes. El control de este tipo de impacto si bien no está en jurisdicción administrativa de ALUAR, le incumbe a partir de la integración de su personal a la comunidad local y de su responsabilidad ética de operar en forma ambientalmente sostenible.

2.6. Evaluación del rédito generado por las inversiones realizadas en protección ambiental y su impacto en el desarrollo sostenible de ALUAR

En el análisis económico de las inversiones conducentes a la protección ambiental, suele considerarse en primera instancia si la reducción de emisiones a alcanzarse satisface la legislación vigente en la materia. En un escenario como en la Argentina, donde la legislación ambiental no fija pautas cuantitativas respecto a cuáles son los niveles de emisión que se considera oportuno alcanzar en relación con la operación de la industria del aluminio primario, es necesario apoyar la decisión empresaria en una bien consolidada ética ambiental interna. Es en este punto donde el criterio de anticipación a la legislación se torna importante como elemento en la política de decisión ambiental.

En el caso de emisiones de materiales que son materias primas o que pueden ser recirculadas como tales al proceso, es sencillo realizar un cálculo de la rentabilidad de las inversiones y su amortización. Para ello, sin embargo, es necesario conocer cuál es la pérdida habitual de la instalación, y en esta etapa se requiere generalmente de prospecciones adecuadas de los puntos de emisión, medición de caudales, etc. La Tabla 3 muestra un ejemplo del cálculo de rentabilidad y recuperación del capital en el caso de sistemas recientemente instalados en ALUAR para la limitación de las emisiones en la limpieza de restos anódicos.

Transporte de Polvo Total por unidad de energía eol. de corte ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{N}^{-1}\cdot\text{km}^{-1}$)

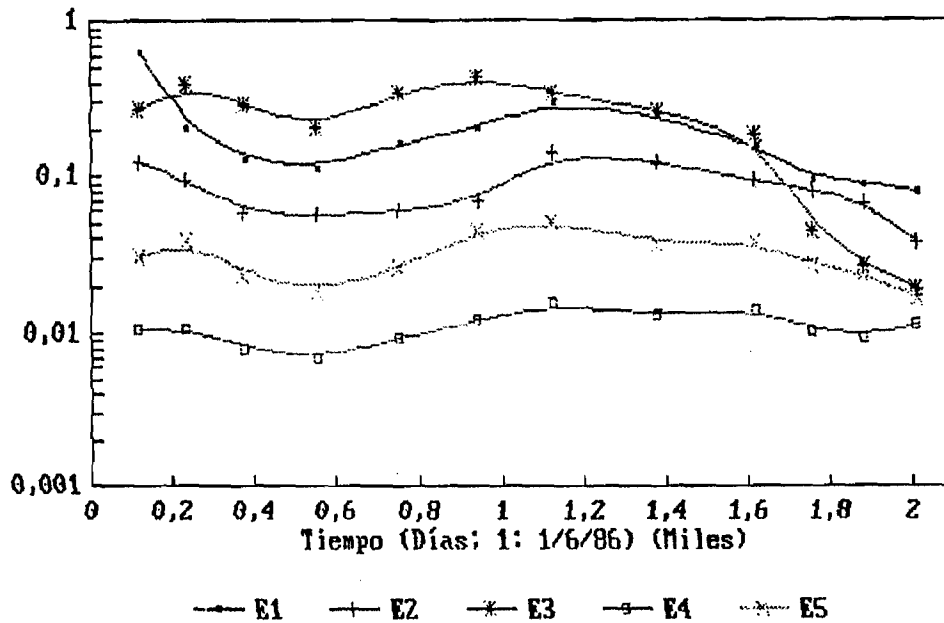


Figura 6. Los niveles de material particulado suspendido en el aire son mayores en las inmediaciones de la planta urbana con respecto a lo que es habitual en el ambiente natural de la región. Las estaciones de muestreo E1 a E5 están ubicadas a distancias crecientes de la ciudad de Madryn. E3 es una estación vecina a un camino no pavimentado cercano al ejido urbano. Los datos corresponden al período 1986-1992.

En otros casos, la rentabilidad de la inversión analizada por estos métodos relativamente convencionales no es suficiente para poner de manifiesto la conveniencia de una decisión relativa al control ambiental. Esta cuestión relativamente irresuelta dentro del campo de la economía clásica, plantea la necesidad de definir los equivalentes monetarios de valores tales como la preservación de la biodiversidad, la calidad del paisaje y la disminución del riesgo ambiental hasta valores por debajo de un umbral definido como "de minimis". En algunos países se ha procurado desarrollar este tipo de análisis en el marco del cálculo de las relaciones costo-beneficio de las medidas de protección ambiental.

Tabla 3. Ejemplo del cálculo de rentabilidad y amortización del capital en el caso de un sistema de captación de emisiones en la limpieza de restos anódicos. (ALUAR, 1992)

1. Recuperación de materiales (en base a emisiones medidas)

Estación de limpieza box 1	2.6 kg/unidad
Estación de limpieza box 2	2.2 kg/unidad
Girabandeja	1.1 kg/unidad

Emisión anual de polvo (6800 unidades/mes): 285 ton/año

Considerando una composición de 60% de alúmina y un mix de trifluoruro de aluminio y criolita de valor unitario u\$ 900/ton, la recuperación anual es de 142.450 u\$/año

2. Inversiones dólares

Filtro	180.000
Ventiladores	26.000
Motores	40.000
Conductos, est. metal.	150.000
Obra eléctrica	60.000
Obra civil	40.000
Total	496.000

Cuota de amortización: (Plazo 15 años, tasa 10% de interés anual)

$$496000 * 0.1314 = 65175 \text{ u\$/año}$$

3. Operación y mantenimiento

Energía (Pot. instalada de aspiración
2 ventil. * 163 Kw/vent.) * 25 días *
*16 horas * 12 meses * 0.025 u\$/Kw/h = 39120 u\$/año

Mangas (530 * 20 u\$/manga * 0.25 años vid. med.)

	2.600 u\$/año
Mantenimiento (Est 3% de la inversión)	14.880 u\$/año
Total	56.600 u\$/año

4. Retorno de la inversión

Se observa un saldo anual positivo de:

Amortización	u\$ -65175
Operación y mantenimiento	u\$ -56600
Recuperación de materiales	u\$ +142450
Saldo	u\$ + 20675

En el caso de la industria del aluminio primario, el análisis de la captación de humos de electrólisis por los sistemas de adsorción seca ha sido abordado siempre desde el punto de vista de la recuperación de materiales fluorados. Existen numerosos antecedentes del análisis de costos y rentabilidad de este tipo de instalaciones. La Fig. 7 muestra las estimaciones correspondientes al caso de los sistemas de tratamientos de humos de electrólisis de ALUAR.

Es posible también incorporar la estimación de otros valores relacionados con la preservación ambiental. Uno de los criterios adicionales a considerar es la creciente tendencia en la política industrial de

países que son potenciales importadores del aluminio producido por ALUAR, de requerir de sus proveedores la satisfacción de la certificación ISO ser. 9.000 en todos los productos. El ISO (International Standard Organization) conjuntamente con el grupo SAGE (Strategic Advisory Group Environment) se encuentran desde 1991 abocados al desarrollo de normas internacionales de Gerenciamiento Ambiental. Existe un borrador avanzado de las mismas (Julio 1992) y se estima que a principios de 1993 este cuerpo normativo estará listo para su aprobación y adopción. La futura norma ISO de Gerenciamiento Ambiental contendrá requerimientos de administración como los descriptos en la Figura 1, relativos a la Decisión Gerencial, la formulación de Planes de Acción, Sistemas de Monitoreo y Auditoría y la Documentación de Procedimientos en la forma de Manuales de Operación, Métodos, etc.

La adopción del sistema ISO de Gerenciamiento Ambiental representará sin duda una oportunidad de ocupar y mantener mercados en países donde los sistemas de protección ambiental se han desarrollado con más velocidad que en la Argentina. Aún si la legislación argentina continuará manteniendo un retardo relativo en materia ambiental en cuanto a las legislaciones de países más industrializados, el buen gerenciamiento ambiental puede ser una cuestión de acceso a mercados en el futuro cercano, a través del mecanismo de calificación ISO. Esta circunstancia debería incluirse en los análisis económicos de proyectos e inversiones en protección ambiental aunque no es claro cómo podría formalizarse su tratamiento.

Tal como se muestra en las Tablas 3 y Fig 7, en general la captación de efluentes está relacionada con el reciclaje de materiales que tienen valor económico y pueden ser utilizados nuevamente en el proceso productivo. Es obvio que la recuperación de materiales con valor constituye un elemento de la gestión general de calidad.

En el marco de una política de protección ambiental del tipo descripto en la Figura 1, es importante analizar también los posibles retornos económicos o en servicios o valores que brindan las auditorías ambientales internas y externas realizadas o requeridas por la misma compañía. La primera y más obvia ventaja de la auditoría ambiental es ayudar a salvaguardar el medio ambiente además de verificar y ayudar en el cumplimiento de las leyes y las reglamentaciones locales, regionales, internacionales, y las políticas y normas de la compañía. De esta manera se reduce también la posibilidad de litigios y riesgos regulatorios (e.g. penalizaciones, reglamentaciones adicionales, etc.). La experiencia en ALUAR ha demostrado que las auditorías ambientales reportan además varios beneficios, entre los que se encuentran:

- Facilitar la comparación y el intercambio de información entre distintas operaciones o con otras compañías de aluminio primario.
- Incrementar la toma de conciencia de los empleados de las políticas y responsabilidades ambientales.
- Identificar el ahorro de costos potenciales, incluyendo aquellos que resultan de la disminución de desechos.
- Evaluar programas de entrenamiento y suministrar datos para ayudar a la capacitación del personal.
- Suministrar una base de información para ser usada en emergencias y evaluar la efectividad de medidas de respuesta a esas emergencias.
- Asegurar una base de datos ambientales adecuada y actualizada para ser tenida en cuenta por parte de la administración en la toma de decisiones relacionadas con modificaciones dentro de la planta, nuevos proyectos, etc.

RECUPERACION DE INVERSIONES EN PLANTAS DE TRATAMIENTO DE HUMOS DE ELECTROLISIS

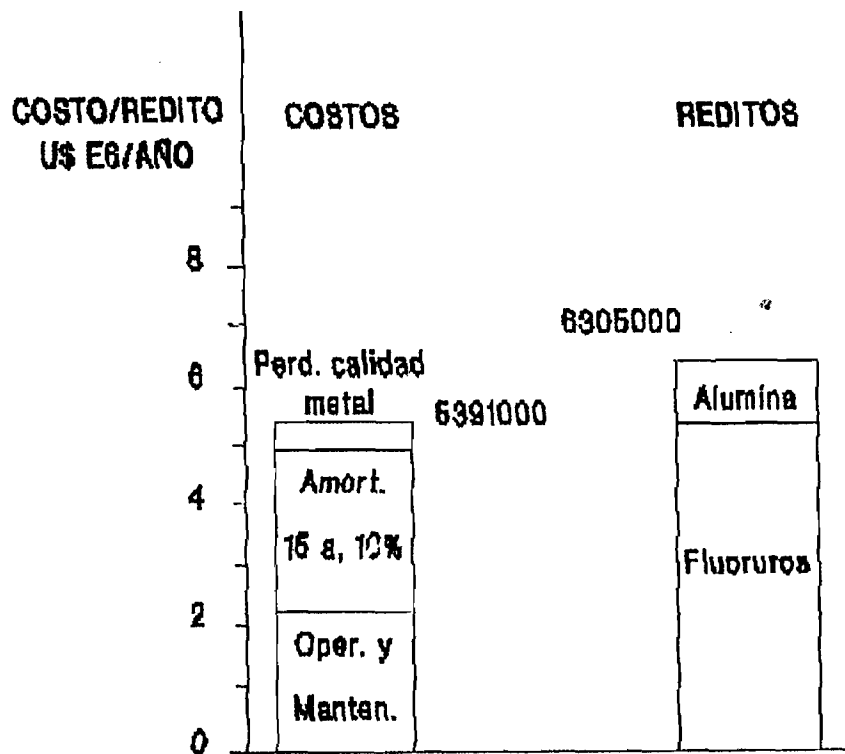


Figura 7. Resumen de un análisis de recuperación de la inversión en plantas de tratamiento de humos de electrólisis en Aluar. Si bien se observa una rentabilidad posible anual, ésta depende fuertemente de las tasas de interés que operen en el mercado durante el plazo de amortización de los equipos.

- Posibilitar que la administración acredite un buen desempeño ambiental.
- Ayudar en el asesoramiento de las relaciones con las autoridades convenciéndolas que se están llevando a cabo auditorías completas y efectivas, informándolas del tipo de procedimiento adoptado.
- Facilitar la obtención de cobertura por parte de los aseguradores para el riesgo de deterioro ambiental.

2.7. Conclusiones

Se ha presentado una reseña de la evolución de las tendencias en política ambiental y desarrollo sostenible de la producción de aluminio primario en Puerto Madryn por ALUAR en el marco de las normas internacionales recientes y los adelantos alcanzados por otras industrias similares a nivel mundial. La operación sostenible de ALUAR está basada en un ciclo administrativo que involucra la decisión gerencial de priorizar la protección del ambiente, la formulación de planes de acción sustentados en la adquisición de datos y la prospección del ambiente circundante, y el ejercicio de la auditoría ambiental interna como un elemento indispensable de la gestión ambiental. Las inversiones realizadas en sistemas de protección ambiental pueden considerarse recuperables en el escenario de mercados de capital con tasas estables y generan beneficios adicionales que se refieren al posicionamiento de la empresa respecto de futuras normativas y compromisos suscriptos a nivel internacional para la preservación del ambiente global.