

---

# *Premio Marcel Brú i Turull de Ingeniería Ambiental*

---

*Cuarta Edición  
Curso 2006-2007*



○○○  
○○○  
○○○  
UPC

*Asignatura de Ingeniería Ambiental*

*ETS de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos  
Universidad Politécnica de Cataluña*

*Barcelona, abril de 2007*





El acto de entrega del Premio “Marcel Brú i Turull” de Ingeniería Ambiental, en su Cuarta Edición del curso 2006-2007, tuvo lugar en la Aula Màster de la Universitat Politècnica de Catalunya, el miércoles 18 de abril de 2007.

Al acto fue presidido por el Prof. Miquel Barceló García, Comissionat per al Desenvolupament Sostenible de la Universitat Politècnica de Catalunya y contó con la participación del Dr. Jorge Wagensberg, Director del Área de Medio Ambiente y Ciencia de la Fundació La Caixa y que pronunció una conferencia con el título de “El gozo intelectual”, de Vicenç y Emi, padres de Marcel, de amigos de la familia y de numerosos alumnos de Ingeniería Ambiental del curso 2006-07 y anteriores.

El premio fue entregado por Vicenç Brú i Emi Turull.

El Comité de Selección de los premios estuvo compuesto por un total de 11 personas, formado por los seis alumnos del Comité Técnico de Ambient 2007 y cinco profesores de la Sección de Ingeniería Sanitaria y Ambiental.

El premio fue otorgado al alumno Jordi Munuera Martínez, por la elaboración del trabajo titulado “Captura y almacenamiento de CO<sub>2</sub>”. En razón de su baja por enfermedad, el premio fue recogido por un miembro del Comité Técnico de Ambient 2007.

Prof. Rafael Mujeriego  
Abril de 2007.





Invitados, premio Marcel Brú i Turull, alumnas premiadas y alumnos organizadores del Premio "Marcel Brú i Turull" de Ingeniería Ambiental, en su cuarta edición del curso 2006-2007.

Reportaje fotográfico amablemente realizado por Ceferino Robledo.



# Premio Marcel Brú i Turull de Ingeniería Ambiental, curso 2006-2007

## CAPTURA Y ALMACENAMIENTO DE CO<sub>2</sub>

Jordi Munuera Martínez

### RESUMEN

La captura y el almacenamiento de CO<sub>2</sub> constituyen técnicas actualmente en desarrollo orientadas a lograr, en un futuro próximo, ser una opción de gran importancia en la estrategia de mitigación de los efectos ocasionados por la emisión de este gas a la atmósfera, favoreciendo el cumplimiento de los compromisos internacionales relativos al control de los gases causantes del efecto invernadero.

La captura i l'emmagatzematge de CO<sub>2</sub> constitueixen tècniques actualment en desenvolupament orientades a aconseguir, en un futur pròxim, ésser una opció de gran importància en l'estratègia de reducció dels efectes causats per l'emissió d'aquest gas a l'atmosfera, afavorint el compliment dels compromisos internacionals relatius al control dels gasos causants de l'efecte hivernacle.

### INTRODUCCION

El protocolo de Kyoto obliga a reducir las emisiones de los gases responsables del efecto invernadero al tiempo que permite el comercio de esas emisiones, atribuyendo de esta manera, un valor económico a las mismas. Las multas a las empresas por sobrepasar los límites serán del orden de 40 €/Tm CO<sub>2</sub> en el periodo 2005-2007 y de 100 €/Tm CO<sub>2</sub> en el periodo 2008-2012. Como consecuencia, las estrategias de reducción a nivel empresarial deberán ser económicamente más rentables que éstas. Una opción a tener en cuenta es la captura y posterior almacenamiento de CO<sub>2</sub> puesto que el dióxido de carbono puede representar el 80% de los gases causantes del efecto invernadero.

Un estudio realizado por el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, en sus siglas inglesas), organismo científico de Naciones Unidas, ha estimado la reducción de emisiones por captura en un 20-40% hacia el 2050.

El secuestro de CO<sub>2</sub> es una tecnología aún en desarrollo que se aplicaría en fuentes emisoras de este gas, como yacimientos de combustibles fósiles, plantas energéticas y determinadas instalaciones

industriales. El gas sería capturado en formaciones geológicas o en el océano; incluso cabe la posibilidad de aplicar procesos físico-químicos para fijarlo en moléculas de algunos compuestos de carbono.

### OBJETIVOS

Los objetivos de este estudio son:

1. Explicar la motivación del desarrollo de la tecnología de captura y almacenamiento de dióxido de carbono.
2. Introducir el tipo de tecnología de captura usado así como sus principios de funcionamiento y las posibles necesidades logísticas para el transporte y almacenamiento.
3. Analizar posibles emplazamientos con potencial confinante de CO<sub>2</sub>.
4. Analizar el actual estado de desarrollo de la propuesta.
5. Predecir los posibles impactos del almacenamiento de CO<sub>2</sub> así como los riesgos de su utilización.

### MOTIVACIÓN Y PROPUESTA FORMAL

A raíz de los acuerdos de Kyoto, los países firmantes del protocolo se comprometieron a reducir las emisiones de gases causantes del efecto invernadero para el 2012. Estos acuerdos y la preocupación por la situación medioambiental actual han llevado a las autoridades competentes a la búsqueda de soluciones a corto y medio plazo. Una de las medidas adoptadas por la Unión Europea ha sido la creación de una bolsa de compra-venta de derechos de emisión de CO<sub>2</sub> en los países miembros, que ha supuesto que la generación del gas, además de un problema medioambiental, sea también un problema económico para los emisores.

Así, abriéndose la posibilidad de comerciar con los derechos de producción/emisión de CO<sub>2</sub>, se planteó en 2003 el estudio de la viabilidad del almacenamiento del gas mediante distintos procedimientos a fin de confinarlo como si de un residuo antropogénico más se tratase. El resultado de este estudio, encargado por el IPCC (Plan

Intergubernamental sobre el Cambio Climático, en sus siglas en inglés), es la ratificación de la viabilidad de la captura y almacenamiento de CO<sub>2</sub> (en adelante CAC), y la redacción de un "Resumen para quienes definen políticas" (RDP; a fecha de 22 de setiembre de 2004).

El texto final señala que el RDP considera la CAC como una opción en la lista de las soluciones posibles para la estabilización de las emisiones atmosféricas de gases de efecto invernadero, aunque señala que ninguna opción técnica otorgará toda la reducción necesaria de emisiones para alcanzar la estabilización en el crecimiento de las emisiones. Además se aprueba que la CAC puede ser aplicada a grandes fuentes de manera que luego el CO<sub>2</sub> puede ser comprimido y transportando para su almacenamiento en formaciones geológicas, el océano o carbonatos minerales, o para su uso en procesos industriales. También señala que la reducción neta de emisiones de CAC depende de la fracción de CO<sub>2</sub> capturada, del aumento en la producción de CO<sub>2</sub> de cualquier energía adicional requerida para la CAC, de cualquier pérdida del transporte, y de la fracción de CO<sub>2</sub> retenida en el almacenamiento a largo plazo.

Francia, Suiza, Alemania, Zambia, y Austria apoyaron declarar en el GTIII-8 (grupo tercero de trabajo del IPCC) que la CAC "podría ser" una opción para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera, mientras que Arabia Saudita, Australia y Estados Unidos expresaron una preferencia por declarar que "es" una opción a la mitigación de las emisiones de CO<sub>2</sub>.

Pese a todo esto, el texto finalmente señala que hay lagunas en el conocimiento sobre algunos aspectos de la CAC. Además indica que aumentar el conocimiento y la experiencia reduciría las incertidumbres y facilitaría la toma de decisión sobre el despliegue de la CAC para la mitigación del cambio climático. Es decir, que las conclusiones alcanzadas dependen en gran medida de que se avance en las próximas décadas en un desarrollo más profundo de la CAC.

## PRINCIPIOS DE LA CAC

La idea se basa en separar el dióxido de carbono de los gases producidos por las fuentes de emisión masivas (centrales eléctricas, instalaciones petrolíferas, producción de acero y cementeras) e inyectarlo en emplazamientos confinantes a suficiente presión como para que se confine de manera inerte.

El primer paso, la captura del dióxido de carbono, se efectúa de diversas maneras, de entre las cuales destacamos las más desarrolladas actualmente:

filtración con membranas, separación por adsorción (adsorción por cambio de temperatura o de presión), separación por criogenización (efectivo para altas concentraciones de CO<sub>2</sub> en los gases de salida, permite obtenerlo de manera directa), captura en precombustión (capturar el CO<sub>2</sub> en el proceso de reformado del gas natural o carbón gasificado para obtener hidrógeno puro, que luego es el que se quema en la turbina) y captura en post-combustión (aumentando el rendimiento de la combustión, para incrementar las concentraciones de salida del CO<sub>2</sub> al 90% y poder extraerlo mediante una solución de aminas reutilizable). Las técnicas de captura, que se recomienda llevar a cabo en las mismas plantas, son económicamente el proceso más costoso y de mayor consumo energético; además no todos los expertos confían en ellas por sus elevados costes de captura y por la caída de rendimiento en las centrales, que afecta, sobre todo, a las más antiguas por la gran cantidad de calor que hay que incorporar a la instalación.

El proceso intermedio consistiría en la licuación del gas, de la misma manera que se licuan gases como el butano o el propano para facilitar su transporte. En el caso de la CAC, el CO<sub>2</sub> se sometería a alta presión (más de 10MPa), de manera que una tonelada a esa presión y 35°C ocupase solamente 1,3m<sup>3</sup>.

En cambio, el transporte es la fase más económica y en la que la eficiencia de las instalaciones ha sido ampliamente probada. El dióxido de carbono se movería en forma líquida a altas presiones mediante oleoductos desde las fuentes de emisión masivas hasta los depósitos confinantes. Según el IPCC, es posible encontrar posibles emplazamientos confinantes en radios de menos de 300km de las principales zonas de emisión masiva de CO<sub>2</sub> del planeta.

El almacenamiento de dióxido de carbono en formaciones geológicas se basaría en diversos principios en función del emplazamiento físico y de sus propiedades. Las mayores capacidades de almacenamiento se estiman en los acuíferos profundos y en los antiguos reservorios de gas natural.

## POSIBLES EMPLAZAMIENTOS CONFINANTES

Concretamente hay cuatro tipos de formaciones geológicas en estudio: los acuíferos profundos (normalmente salinos), los campos petrolíferos y de gas, en capas de carbón cuya explotación no es viable económicamente y en masas acuosas profundas. Los expertos del IPCC destacan que, según los datos disponibles, en el planeta habría una capacidad de secuestro de unas 2.000 gigatoneladas de CO<sub>2</sub> en formaciones geológicas.



Destacan en primer lugar, por su potencial tecnológico, el almacenamiento en yacimientos de gas y petróleo agotados y en formaciones salinas, aunque las incertidumbres respecto a estas últimas es alto aún por falta de datos.

La base del almacenamiento en campos petrolíferos consiste en la inyección del gas licuado en los poros de la formación. La reacción del CO<sub>2</sub> con determinados minerales de la roca porosa encajante provocaría en determinados casos la precipitación de compuestos sólidos que actuarían como trampas permanentes y estables del CO<sub>2</sub>, encapsulando el fluido a la larga. Una vez allí, el dióxido de carbono se debería mantener aislado o ir migrando poco a poco. La profundidad del depósito debería ser superior a los 800 metros para mantener las presiones de confinamiento. Este tipo de formación es económicamente el más atractivo ya que alarga la vida de las explotaciones próximas al agotamiento al permitir extraer más petróleo y gas natural.

El almacenamiento a través de la incorporación del dióxido de carbono en minerales se encuentra actualmente en fase de desarrollo experimental y supone un consumo energético excesivo. Se basaría en el principio de inyectar el CO<sub>2</sub> en estado gaseoso para que reaccionara con compuestos carbonatados o vetas de carbón inviábiles económicamente y fuera absorbido.

El almacenamiento en cavidades profundas es actualmente poco probable debido a la dificultad del conocimiento geológico de las mismas y a la limitación respecto al volumen que podrían almacenar.

Finalmente, el almacenamiento en océanos es una opción prácticamente descartada por los riesgos medioambientales que supondría. El principio físico en el que se basaría esta clase de almacenamiento es la ley de Henry, según la cual, la concentración de gas que puede ser diluido en un líquido es directamente proporcional (según la constante de Henry) a la presión a la que está sometido. En cuanto al secuestro en las profundidades oceánicas, el borrador del informe del IPCC recuerda que la capacidad potencial de podría ser de miles de gigatoneladas, pero recuerdan las incertidumbres de los impactos medioambientales, como la alteración del grado de acidez del agua.

Los responsables de proyectos de aplicación práctica de la CAC esperan usar los estudios que durante años hayan realizado las empresas o agencias encargadas de estudiar posibles emplazamientos de desechos nucleares para concretar emplazamientos de confinación de CO<sub>2</sub>.

## ESTADO ACTUAL DE LA CAC

Actualmente el desarrollo de la tecnología de CAC prevé solamente su aplicación en las emisiones masivas producidas por centrales energéticas de combustión. El abaratamiento es la clave para la futura utilización de la CAC porque el sistema sólo funcionará a la larga si las empresas ven que es más rentable inyectar el dióxido de carbono que comprar derechos de emisión para poder emitir más, como prevé el Protocolo de Kioto. Actualmente la reducción de costes se enfoca a la mejora de las combustiones en centrales eléctricas (y así poder aplicar procesos de captura de CO<sub>2</sub> más eficientes, como por ejemplo la criogenización) y en el desarrollo de técnicas basadas en procesos físico-químicos para separar el CO<sub>2</sub> de las emisiones gaseosas mediante carbonatación y calcinación (aún en estudio por parte del Instituto Nacional del Carbón). Con todo y con esto, se prevé aplicar las mejoras a las centrales de nueva construcción ya que su coste es inferior al de la adaptación de las antiguas. Las continuas mejoras en la captura y la posibilidad de almacenamiento cercano prevén una disminución de los costes (hasta 20 €/Tm CO<sub>2</sub>, actualmente en los 35-40€/Tm con transporte de 300km) ofreciendo una opción económicamente viable. No obstante, para poder proceder a la realización de estos proyectos de una manera extensa se requerirá una mayor aceptación pública así como la existencia de un marco legislativo clarificador y adecuado a la metodología.

El GTIII-8 (grupo tercero de trabajo del IPCC) reconoce en su informe que el almacenamiento oceánico y los impactos ecológicos aún están en la fase de investigación (aunque señalando que la madurez del sistema total podría ser menor a algunos de sus componentes) es decir, que la tecnología de la CAC se podría empezar a aplicar aún estando en fase de desarrollo muchas de sus partes.

Basándose en estas premisas del GTIII-8, existen en la actualidad diversos programas de investigación en campo. El gobierno español ha encargado al Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT) el proyecto de creación de una planta de almacenamiento de CO<sub>2</sub> que presumiblemente se realizará en Ponferrada y que está dotado de un presupuesto de 90 millones de euros. Para ello, el CIEMAT construirá una central térmica experimental de carbón de cinco megavatios. El principal objetivo de la instalación será el de almacenar el CO<sub>2</sub> producido por ésta y controlar la cantidad que se emite a la atmósfera.

## RIESGOS

Los principales riesgos del proceso de CAC son los de pérdida del CO<sub>2</sub> durante su transporte o su posterior confinamiento. Su pérdida en el transporte tendría consecuencias asimilables a las de fugas de hidrocarburos en oleoductos o gaseoductos. En cuanto a la pérdida de confinamiento, a la larga acabaría compensando los beneficios de la CAC respecto del cambio climático, por lo que las fugas la comprometen como solución. Aún así, los riesgos de fuga en confinamiento serían asimilables a los de los depósitos naturales de gas natural. La fuga en almacenamiento oceánico se estima en cientos de años, mientras que en almacenamiento geológico se estima en miles.

Los riesgos que provocan mayor preocupación técnica son los relacionados con el poco grado de estudio de la acidificación de las aguas y sus consecuencias medioambientales en el caso del confinamiento oceánico, con los efectos de grandes fugas de CO<sub>2</sub> sobre ecosistemas y seres vivos y con el impacto de carbonización mineral en el caso de confinamiento en porosidad geológica.

## CONCLUSIONES

Las conclusiones de este estudio son:

1. La CAC abre la posibilidad de combatir el cambio climático sin cambiar la política energética actual, por lo tanto aplaza la búsqueda de una solución medioambiental más sostenible.
2. La CAC requiere inversiones en nuevas infraestructuras y traslada la carga de la acción a generaciones futuras puesto que no prevé reducir la cantidad de CO<sub>2</sub> emitida.

3. La captura de CO<sub>2</sub> en centrales reduce su rendimiento y aumenta sus costes de producción de electricidad.
4. Se requieren costes a largo plazo y supervisión constante de los depósitos confinantes, así como un nivel de gestión inédito hasta la fecha.
5. La aplicación de la CAC a nivel industrial es factible actualmente aunque sus costes son todavía elevados.
6. La reducción de costes de la CAC se prevé mediante la investigación y mejora en el proceso de captura de CO<sub>2</sub>.
7. El almacenamiento oceánico se prevé inviable a día de hoy debido al gran alcance de sus riesgos e impactos medioambientales, así como al grado de inmadurez de las investigaciones al respecto.

## BIBLIOGRAFIA

- El almacenamiento de CO<sub>2</sub> reduciría las emisiones de gas a la mitad. *El Comercio Digital*, 28 Abril 2005
- Mario Jaime Martín Burgos (2003). Gestión de riesgos en un mercado de emisiones para el sector eléctrico. *Universidad Pontificia Comillas, Escuela Técnica Superior de Ingeniería*
- Los Verdes tildan de peligroso el proyecto de crear almacenes de CO<sub>2</sub>. *El País*, 21 Septiembre 2005
- [www.co2captureandstorage.info](http://www.co2captureandstorage.info)
- [www.co2geonet.com](http://www.co2geonet.com)
- [www.co2net.com](http://www.co2net.com)
- [www.fundacionsustentable.org](http://www.fundacionsustentable.org)
- [www.ieagreen.org.uk](http://www.ieagreen.org.uk)
- [www.iesllanera.blogspot.com](http://www.iesllanera.blogspot.com)
- [www.iisd.ca](http://www.iisd.ca)
- [www.madrimasd.org](http://www.madrimasd.org)
- [www.medioambienteonline.com](http://www.medioambienteonline.com)

# Segundo finalista del Premio Marcel Brú i Turull de Ingeniería Ambiental, curso 2006-2007

## LA PROBLÈMATICA DE LA PLUJA ÀCIDA: EL CAS DE NORUEGA

Anna Badia Martí i Susana Gómez Ramírez

### RESUM

La pluja àcida és un dels problemes mediambientals que més repercussions té sobre els ecosistemes i el conjunt del nostre planeta. Les fonts que provoquen aquest fenomen es troben ben definides, però les mesures que s'haurien d'imposar no són de fàcil execució, ja que comporten la cooperació entre els països involucrats i el compliment dels acords signats. Mentre no s'assoleixin aquests objectius, tots seguirem patint les conseqüències sobre el medi ambient i la nostra salut.

La lluvia ácida es uno de los problemas medioambientales que más repercusiones tiene sobre los ecosistemas y el conjunto de nuestro planeta. Las fuentes que provocan este fenómeno están bien definidas, pero las medidas que se deberían imponer no son de fácil ejecución, ya que conllevan la cooperación entre los países involucrados y el cumplimiento de los acuerdos signados. Mientras no se consigan estos objetivos, todos seguiremos sufriendo las consecuencias sobre el medio ambiente y nuestra salud.

### INTRODUCCIÓ

A les darreres dècades, la proliferació de la industrialització als països més desenvolupats ha comportat un avanç en la qualitat de vida. Tot i això, la utilització de totes aquestes noves tecnologies ha tingut una forta repercussió en el nostre entorn. Les emissions contaminats produïdes per molts d'aquests processos han donat lloc a canvis greus i irremediabls en el medi ambient. Un dels problemes més rellevants que ha comportat la contaminació atmosfèrica ha estat, i continua sent, la pluja àcida. Aquest fenomen ve condicionat pel volum d'emissions de SO<sub>2</sub> i NO<sub>x</sub> provinents majoritàriament de la utilització de combustibles fòssils a les indústries i el transport rodant.

Tots aquests aspectes han condicionat que els països més desenvolupats industrialment i que, en

conseqüència, donen lloc a emissions més elevades, siguin els més afectats per la precipitació àcida. Tanmateix, l'existència de corrents d'aire a l'atmosfera implica un transport a llargues distàncies d'aquests contaminants, fet que comporta la presència d'aquest fenomen en països on les emissions són menors. Un dels casos més rellevants es dona a Noruega, on la forta industrialització de països veïns com Alemanya, Holanda i Gran Bretanya, ha donat lloc a greus impactes ambientals com a conseqüència de la pluja àcida.

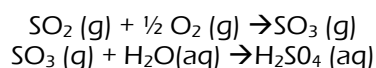
### OBJECTIUS

Mitjançant aquest estudi pretenem assolir els següents objectius:

1. Exposar de forma clara el fenomen de la pluja àcida i les seves conseqüències mediambientals, aprofundint en els efectes que ocasiona vers els sòls, llacs, boscos i els éssers vius.
2. Comentar les principals mesures preventives i correctores que s'han pres en els últims anys, tant pels països emissors com receptors.
3. Realitzar un estudi més detallat d'aquests efectes en el cas d'un país com Noruega.

### DESCRIPCIÓ DEL FENOMEN

La pluja àcida és un tipus de precipitació que es caracteritza per incorporar substàncies àcides a les gotes d'aigua. Aquestes substàncies són principalment l'àcid sulfúric (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) i l'àcid nítric (HNO<sub>3</sub>), encara que també pot ser provocada per altres àcids com l'àcid clorhídric (HCl), tot i que només hi contribueix en un 2%. La pluja àcida es forma en els núvols on el SO<sub>2</sub> i els NO<sub>x</sub> reaccionen amb l'aigua i l'oxigen, formant una solució diluïda d'H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> i HNO<sub>3</sub>. La formació del H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> es produeix en fase líquida, ja que el SO<sub>2</sub> és molt soluble en aigua. La radiació solar augmenta la velocitat d'aquesta reacció.



D'altra banda, la formació de l'àcid nítric es dona sobretot en fase gasosa:



Les principals fonts antropogèniques de  $\text{SO}_2$  són les indústries i les centrals tèrmiques, que utilitzen combustibles de molt mala qualitat per dur a terme la combustió. Aquests combustibles contenen grans quantitats de sofre que quan es crema es transforma en  $\text{SO}_2$ , que s'allibera a l'atmosfera a través de les xemeneies. Els cotxes i la resta de transport rodat són la principal font d'emissió de  $\text{NO}_x$ . També existeixen fonts d'emissió naturals d' $\text{SO}_2$  i  $\text{NO}_2$ , però aquestes no alliberen tanta quantitat com les fonts antropogèniques, per tant, són menys nocives.

La pluja àcida no només es pot manifestar en forma de pluja sinó que també es pot presentar en forma de boira, aiguaneu, neu, calamarsa, rosada o precipitació seca. Moltes d'aquestes variants són, fins i tot, més perilloses que la pluja àcida. Aquest és el cas de la boira àcida, degut a que la concentració d'àcids és major per gota d'aigua, i la deposició seca, ja que les substàncies cauen directament en forma de partícules sòlides.

## EFFECTES DE LA PLUJA ÀCIDA SOBRE EL MEDI AMBIENT

Per tal de realitzar un estudi més concret i detallat del efectes de la pluja àcida, considerarem per separat els principals àmbits que engloba:

### Esgotament del sòl

Són molts els efectes de la pluja àcida sobre el sòl. Aquests venen determinats principalment per quatre factors: la mobilitat dels anions dipositats, l'eficiència del  $\text{H}^+$  per reemplaçar cations bàsics, la intensitat de pluja i la facilitat de l'aigua per infiltrar-se en el terreny. Tanmateix, aquests efectes són més o menys nocius depenent de la composició del sòl. Els més afectats per l'acidificació són aquells on la degradació dels minerals és més lenta. Aquest és el cas de sòls formats per roques de granit o quars. En aquests sòls l'acidificació serà més perjudicial ja que aquests tipus tenen poca capacitat de neutralització dels àcids. En canvi, en sòls de pedra calcària, com calcita o creta, els àcids es neutralitzen de forma efectiva.

La deposició de nitrogen augmenta el creixement de la vegetació gràcies a l'aportació de nutrients que fertilitzen el sòl. Aquest fet podria fer pensar que la pluja àcida millora la qualitat del sòl, però juntament amb la lixiviació de cations que alhora comporta, els seus efectes a llarg termini produeixen un augment de la nitrificació, amb la conseqüent deficiència de nutrients.

El caràcter àcid de la pluja provoca l'alliberació de metalls pesants com l'alumini, que s'introdueixen en el cicle de l'aigua. Aquests metalls són tòxics i una concentració alta d'aquests a l'aigua pot ocasionar problemes tant a la vegetació com a la resta d'éssers vius.

### Ecosistemes aquàtics

Una de les conseqüències directes de l'acidificació de l'aigua és la disminució del plàncton als rius i llacs afectats. Aquest fet provoca un gran problema pels peixos, insectes i altres animals que hi viuen ja que els és molt difícil trobar l'aliment necessari per poder viure. D'aquesta manera, per un procés de selecció natural, s'ha arribat a l'establiment d'únicament aquelles espècies més resistents a pH baixos. L'acidificació dels llacs ha comportat un augment de la transparència d'aquests, fet que en principi podria fer pensar en una millora de la qualitat de l'aigua. Tanmateix aquest fenomen ve donat per una disminució de la seva activitat biològica.

### Impacte als boscos

Els àcids procedents de la pluja àcida penetren als arbres a través del sòl o a través del contacte directe amb les fulles. Aquests afecten ràpidament al seu metabolisme, principalment en els processos de fotosíntesi i respiració. L'acció d'aquests contaminants fa que els arbres es vagin debilitant gradualment i es facin molt més sensibles als agents externs, com plagues, canvis climàtics i malalties. És per això que gairebé sempre, la causa final de la mort dels arbres no són els àcids sinó els agents externs.

### Éssers vius

Els principals problemes que afecten als animals i a l'ésser humà són causats bàsicament pel  $\text{SO}_2$  i el  $\text{NO}_x$ . Aquests òxids afecten greument la respiració causant importants afeccions respiratòries. La pluja àcida també pot afectar directament però els seus efectes són menys freqüents. Els metalls pesants introduïts al sòl a causa de la pluja àcida poden contaminar l'aigua potable i els peixos comestibles i, d'aquesta manera, afectar a les persones i els animals. En el cas dels humans s'observa una disminució de les defenses provocant un debilitament de l'organisme i una major disposició a contraure malalties, sobretot en persones afectades per malalties cròniques de cor, circulació i asma, i dones embarassades.

## MESURES PREVENTIVES I CORRECTORES

Per tal de minimitzar els efectes de la pluja àcida sobre el territori s'han dut a terme diverses mesures correctores com l'agregació de substàncies bàsiques als llacs i rius. Tanmateix, per evitar els danys a llarg termini l'única solució és la reducció de les emissions de  $\text{SO}_2$  i  $\text{NO}_x$  fins a un 90%.

Per assolir aquest objectiu, les centrals tèrmiques han incorporat en els seus processos de combustió sistemes de desulfuració. Existeixen dos mètodes per eliminar el sofre:

1. Abans de la combustió: només pot ser eliminat el sofre que es troba en forma inorgànica mitjançant el rentat del carbó.
2. Durant la combustió: amb la injecció de  $\text{CaCO}_3$  de manera que el  $\text{SO}_2$  es combina formant  $\text{CaSO}_3$  que precipita i es pot eliminar fàcilment.

### UN CAS REAL : NORUEGA

Noruega és un país que històricament sempre ha obtingut l'energia elèctrica principalment a partir de centrals hidràuliques. És per això, que durant molts anys no s'havien realitzat cap tipus d'estudi sobre contaminació atmosfèrica. És a partir dels anys 70 quan es comença a observar una disminució rellevant del nombre de salmons degut a una davallada del pH. Els estudis realitzats van posar en evidència la influència del transport a

llarga distància dels gasos contaminants emesos pels països centreeuropeus. Aquests països emeten grans quantitats de  $\text{SO}_2$ , que durant el seu transport es transformen en  $\text{H}_2\text{SO}_4$  a una velocitat de formació de 0'7%/hora. Els corrents d'aire procedents de països com Alemanya, França i Gran Bretanya, donen lloc a precipitacions àcides, principalment importants al sud de Noruega. Aquestes precipitacions (veure Figura 1) no només es donen en forma de pluja sinó també com a deposició seca del sofre, els efectes de la qual són més agressius.

Com a conseqüència d'aquesta important deposició àcida, els llacs i boscos del país s'han vist altament afectats. La geologia del país es troba caracteritzada per la presència de granit i gneiss. Aquestes roques, com ja s'ha comentat, són més sensibles als àcids, ja que no són capaces de neutralitzar-lo. Aquest fet comporta que aproximadament el 80% del sòl a Noruega sigui pobre en nutrients i fortament àcid.

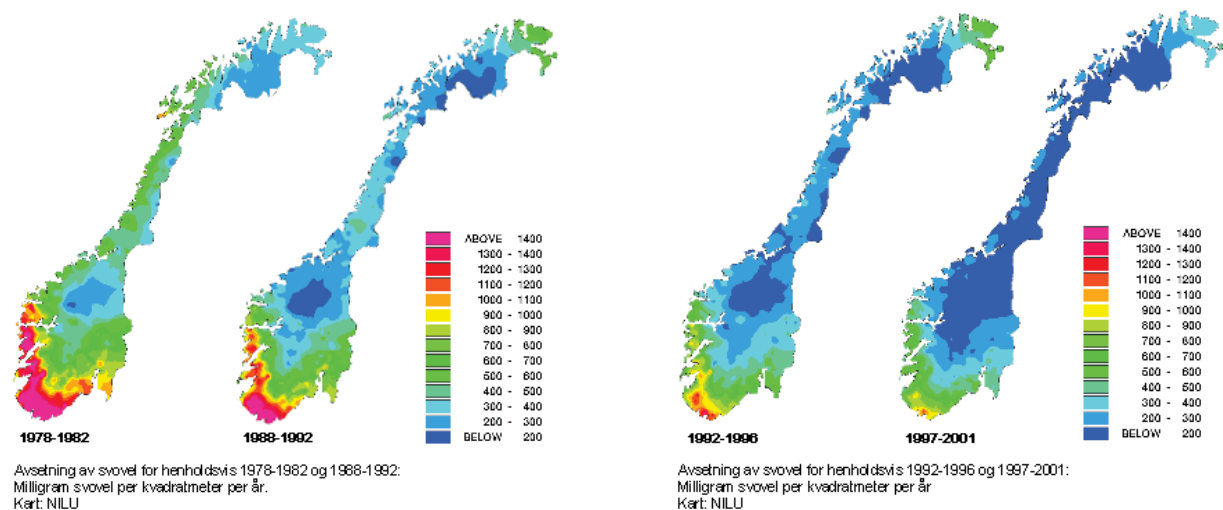


Figura 1. Evolució de la deposició de  $\text{SO}_2$  a Noruega.

Els boscos noruecs semblen haver tolerat les deposicions de sofre i nitrogen sense comportar greus efectes. Després d'una disminució de qualitat dels boscos durant els anys 90, les condicions han millorat. Els darrers anys, aquests boscos han mostrat unes condicions ambientals estables.

Actualment, el 40% dels llacs del país han patit la desaparició total dels seus peixos, i un altre 40% en té poblacions baixes (veure Figura 2). La majoria d'aquests llacs es troben situats a les zones sud de Noruega, on els sòls són més pobres en nutrients i on la disminució de pH de l'aigua ha estat més notable.

A Noruega, les principals fonts d'emissió de sofre provenen de les indústries metal·lúrgiques, en segon lloc de la combustió i altres processos industrials. Les emissions s'han reduït des d'un 160.000 tones en els anys 70 fins a 22.000 tones al 2002. Les emissions de nitrogen provenen de fonts molt diverses com, per exemple, el tràfic rodat, la navegació i l'aviació (veure Figura 3).

Noruega, juntament amb altres països europeus emissors de gasos contaminants, van signar al 1999 el Protocol de Gothenburg, on es comprometien a reduir les emissions fins un cert valor, aconseguint aquesta fita al 2010. Segons aquest acord, les emissions de  $\text{NO}_x$  no podrien superar les 156.000 tones.

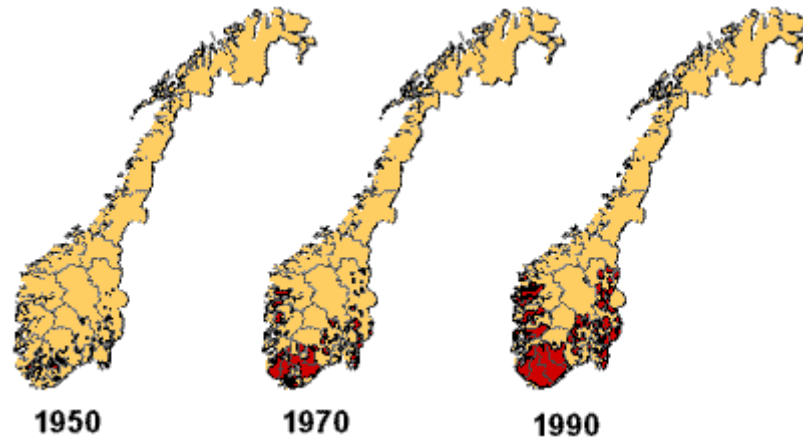
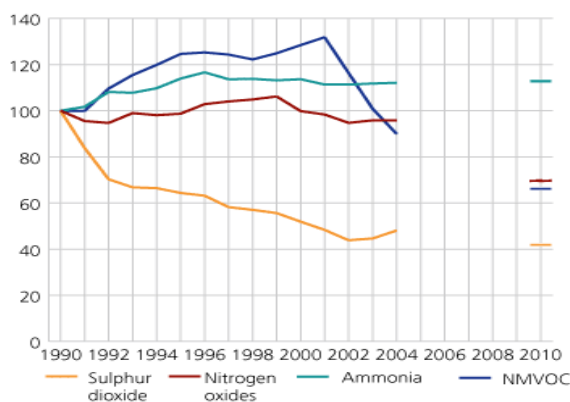


Figura 2. Àrees on les poblacions de peixos es troben afectades per l'acidificació.



Source: Emission inventory from Statistics Norway and Norwegian Pollution Control Authority

Figura 3. Variació de les emissions, en milers de tones, al llarg dels últims anys i objectius a aconseguir al 2010 segons el Protocol de Gothenburg.

## CONCLUSIONS

L'estudi realitzat permet formular les següents conclusions:

La pluja àcida es presenta com un problema tant pels països emissors com per aquells receptors de la precipitació a causa del transport a llarga distància dels gasos contaminants. Això comporta la necessitat d'establir acords entre els diferents països per tal que cadascun assumeixi les responsabilitats corresponents, fent un control efectiu de les emissions.

Els efectes sobre el sòl deguts a la pluja àcida són els que tenen més repercussions sobre l'ecosistema, ja que l'àcid infiltrat al terreny incideix als llacs, a les plantes i a la resta d'éssers vius que s'alimenten d'elles, de manera que tota la cadena tròfica es veu afectada.

Cal destacar les importants conseqüències que ha portat la pluja àcida a Noruega, que posen de manifest la seva gravetat. La desaparició de gran part de les poblacions de peixos als llacs i rius noruecs és un dels molts exemples, que no es poden menysprear.

Cal que tota la població sigui conscient de la gravetat del problema i proporcionar recursos per tal que tothom col·labori en la reducció de les emissions.

## REFERÈNCIES

- D.C.Adriano and M.Havas, Acidic Precipitation Volumen I: Case Studies. New York. Springer-Verlog.
- State Of Environment Norway:  
[www.environment.no/templates/themepage2149.aspx](http://www.environment.no/templates/themepage2149.aspx)
- Statistics Norway:  
[www.ssb.no/agassn\\_en/main.html](http://www.ssb.no/agassn_en/main.html)
- Environmental Protection Agency (United States):  
[http://www.epa.gov/acidrain/enespanol/index\\_espanol.html](http://www.epa.gov/acidrain/enespanol/index_espanol.html)
- Marta Alarcán Jordán i M.Carmen Casas Castillo. Meteorologia i clima. Barcelona. Edicions UPC.

# Terçer finalista del Premio Marcel Brú i Turull de Ingeniería Ambiental, curso 2006-2007

## OPTIMITZACIÓ DE RECURSOS: REG AMB AIGUA DEL MAR Ingrid Camps Vila

### RESUM

El gran creixement demogràfic de les zones menys desenvolupades, ens obliga a plantejar sortides a recursos que fins ara no s'han hagut d'utilitzar. En un planeta on més del 70% de la seva superfície és aigua (salada), l'aigua del mar és un recurs que no s'ha utilitzat, pel cost que suposa la desalinització amb tècniques de membrana; però ja fa temps que s'estudia la seva utilització directa com, per exemple, en l'irrigació de grans superfícies desèrtiques.

El gran crecimiento demográfico de las zonas menos desarrolladas, nos obliga a plantear salidas a recursos que hasta la actualidad no se han utilizado. En un planeta donde más del 70% de su superficie es agua (salada), el agua de mar es un recurso que no se ha utilizado, por el coste que supone la desalación mediante técnicas de membrana; pero hace ya algún tiempo que se estudia su utilización directa como, por ejemplo, el riego de grandes superficies desérticas.

### INTRODUCCIÓ

Des de fa cert temps, s'ha vingut debatent la possibilitat d'on i com obtenir més recursos per a una societat que no para de créixer. En pocs anys, hem passat d'una població mundial de 5.000 a 6.000 milions; la major part d'aquest increment s'ha produït en països subdesenvolupats i encara es preveu un augment molt més gran per als propers anys. L'Organització de les Nacions Unides per a l'Alimentació i l'Agricultura estima que, en els propers 30 anys, es necessitaran 200 milions d'hectàrees de noves terres de cultius, només per alimentar a la població emergent dels tròpics i subtropicals. Però els països afectats disposen de només 93 milions d'hectàrees per a l'expansió del sòl agrícola, de les quals una bona part corresponen a boscos, que s'han de protegir.

### OBJECTIUS

Per tot el que s'ha exposat ens proposem els següents objectius:

1. Es planteja l'ús de terrenys desèrtics i salins com a terres de cultiu; però això implica certs problemes als quals intentarem donar una solució. En primer lloc, en una zona desèrtica l'aigua escasseja, per això s'ha plantejat, en les zones costaneres, la irrigació amb aigua del mar. Aquesta pràctica agrícola implica la sembra de cultius que tolerin la sal (halotolerants) i regats amb aigua bombejada del mar. Aquesta no escasseja, naturalment; en el nostre planeta el 97% de l'aigua s'emmagatzema en els oceans. Tampoc ens falta desert: el 43% de la superfície sòlida del planeta és àrida o semiàrida. Ara bé, no totes aquestes terres estan a prop del mar on es pot realitzar aquest tipus d'agricultura. En realitat, es podrien aprofitar fins el 15% dels sòls desèrtics costaner interiors per al cultiu mitjançant reg amb aigua del mar; en total uns 130 milions d'hectàrees de noves terres de cultiu.
2. L'agricultura de reg marí, si vol ser rendible, ha de produir collites el valor de les quals justifiqui la inversió del bombeig i ha d'utilitzar unes tècniques agronòmiques que no perjudiquin l'entorn: l'anomenada agricultura sostenible.

### PRECEDENTS

La investigació de l'agricultura de reg amb aigua del mar ha seguit dos camins diferents. Hi ha hagut intents d'introduir l'halotolerància (tolerància a la sal) en els cultius clàssics: blat, civada, soja... Desgraciadament, tots els esforços que s'han destinat a incrementar la tolerància a la sal d'aquests cultius, ja sigui per millora vegetal o per enginyeria genètica, no han aconseguit obtenir espècimens capaços de resistir l'aigua del mar. En espècies més tolerants a la sal, com la palmera datilera, s'ha aconseguit un límit superior de salinitat per al reg a llarg termini de 5 parts per mil, quan l'aigua del mar, en condicions normals, té un

concentració de 35 a 40 parts per mil, en funció del mar en què ens trobem. D'aquesta concentració, el clorur sòdic n'és el component predominant i el pitjor per al desenvolupament de la planta.

D'altra banda, s'han realitzat estudis amb plantes tolerants a la sal (halòfits), per tal de "domesticar-los" i aprofitar-los a la taula i a l'estable o utilitzant les seves llavors per a fer-ne oli. Sembla més fàcil això que no intentar canviar els mecanismes fisiològics fonamentals que fan que una planta sigui vulnerable a la sal. Els halòfits són plantes silvestres que mostren una notable tolerància a la sal. Moltes de les espècies domèstiques dels nostres dies procedeixen d'avantpassats silvestres. Fins i tot, algun halòfit (herba de Palmer) ha estat consumit durant generacions pels indígenes que viuen al golf de Califòrnia.

### DESENVOLUPAMENT DE L'ESTUDI

En tot el món hi ha entre 2.000 i 3.000 espècies d'halòfits de tots els tipus: herbes, arbusts i arbres. De tots ells, se'n van escollir una dotzena, que semblaven els més adequats per a les condicions agronòmiques "normals" dels assaigs.

Els assaigs es van dur a terme en una zona desèrtica de l'oest mexicà, on la pluja no superava els 90 mm/any de mitja. El reg es realitzava per inundació dels camps amb aigua del mar -amb una salinitat del 40 per 1.000- que en tot un any acumulava més de 20 metres de columna d'aigua. El rendiment varia d'una espècie a una altra. Els halòfits més productius donaven d'un a dos quilos de biomassa seca per metre quadrat, que s'aproxima al rendiment de l'alfals regat amb aigua dolça. Es varen mostrar productives i tolerants a la sal les espècies arbustives: Salicornia, Suaeda y Atriplex; una herbàcia: Distichlis; i una trepadora de fulles suculentas: Batis; aquestes oferien, a més, un gran rendiment.

Però, per satisfer el primer requisit de rendibilitat, s'ha de demostrar que els halòfits són capaços de substituir els cultius tradicionals. Es va pensar, primerament, en utilitzar-los com a farratge. L'obtenció d'aliments per a vaques, cabres, ovelles i d'altres animals constitueix un dels problemes agrícoles més greus dels llocs més secs del món (el 46% dels quals ha vist disminuït el seu poder per sobrepastoreig, segons el Programa Mediambiental de les Nacions Unides).

Molts halòfits contenen alts valors de proteïnes i d'hidrats de carboni digeribles, però els acompanyen grans quantitats de sals; és la seva forma d'adaptar-se al medi salí. Això rebaixa el seu valor nutricional, ja que les sals no aporten calories. A més, aquesta salinitat en limita la quantitat que pot ser ingerida per un animal. En condicions de

pasturatge lliure els halòfits es consideren "farratges de reserva", als quals els animals només acudeixen quan s'han acabat els més apetitosos.

Es van realitzar experiments incorporant els halòfits en una dieta mixta, on van anar substituint a l'aliment tradicional fins a un 30 o 50%. Es va observar que els individus sotmesos a dietes que contenien Salicornia, Suaeda y Atriplex guanyaven tant pes com els seus companys amb dieta normal, com es pot observar a la Figura 1. A més, la qualitat de la carn dels animals no es ressentia de l'abundant consum d'halòfits. Els animals no varen mostrar aversió pels halòfits, al contrari del que es podia pensar, sinó que semblaven atrets pel seu sabor salat. Però, els que seguien la dieta rica en halòfits bevien més aigua per compensar el consum extra de sals. La taxa de conversió alimentària (quilogram de carn produïda per quilogram d'aliment) dels animals de prova va ser un 10% menor que la dels animals que seguien la dieta tradicional.

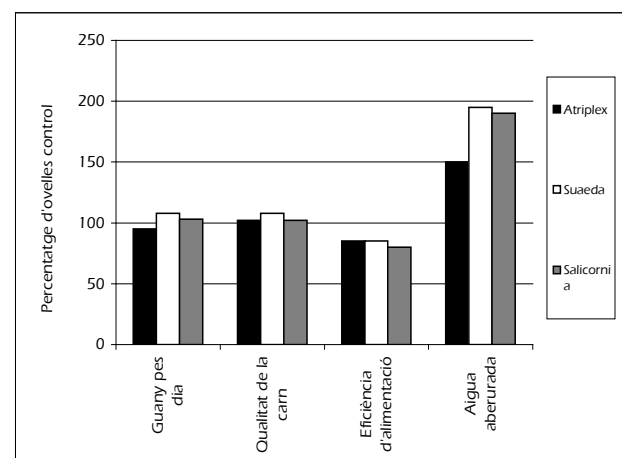
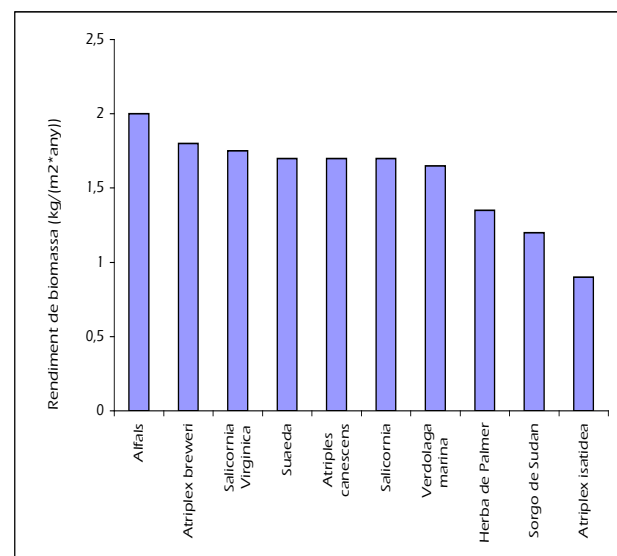


Figura 1. Rendiment dels halòfits en front d'altres cultius tradicionals. Paràmetres de control en el bestiar (adaptats d'E.P. Glenn).



L'halòfit més productiu és la *Salicornia bigelovii*. Aquesta planta viu als aiguamolls, té un cicle anual, no té fulles i produeix un gran nombre de llavors. Trobem, a les llavors, una concentració elevada d'oli (30%) i proteïnes (35%), que són nivells molt similars als d'altres llavors com la soja. El contingut de sals es troba per sota del 3%. Produeixen un oli altament poliinsaturat, que pot extreure's de la llavor i refinar-se amb els processos habituals d'altres llavors oleaginoses. A més, és ingerible, amb un agradable sabor a fruits secs i una textura similar a l'oli d'oliva, encara que presenta el petit inconvenient que la llavor conté saponines, compostos amargs que la fan incomedible en cru. Tot i que les saponines no contaminen l'oli, romanen a la farina una vegada extret aquest. Com a conseqüència, es veu limitada la quantitat de farina que es pot utilitzar en dietes avícoles; no obstant, s'ha demostrat per via experimental, que la farina de *Salicornia* pot substituir les farines tradicionals en la mateixa proporció en què s'utilitza com suplement de proteïnes en les dietes del bestiar. Així doncs, s'aprofiten totes les parts de la planta.

Es varen establir varis prototips d'explotacions agràries de *Salicornia* de més de 250 hectàrees a Mèxic, els Emirats Àrabs, Aràbia Saudí i l'Índia. En sis anys de collites experimentals que es van cultivar a Mèxic, la planta va produir una collita mitja anual d'1,7 kg de biomassa total per metre quadrat; 0,2 dels quals corresponen a llavors d'oli. Aquest rendiment iguala o excedeix el d'altres plantes (com la soja) cultivades en regadius d'aigua dolça.

Davant del reg amb aigua salada, s'han d'adoptar certes mesures per a protegir l'equip d'instal·lació i distribució del reg a causa de l'acció corrosiva de l'aigua del mar. Malgrat que l'infraestructura del reg marí divergeix de l'adoptada per reg amb aigua dolça, no hi ha cap problema d'enginyeria insalvable al saltar de l'escala experimental a l'explotació agrària. En situacions normals, els sembrats es reguen quan la sequedat del terreny està al voltant del 50% de la seva capacitat de camp (quantitat d'aigua que és capaç de retenir). En els regadius convencionals, a més, el pagès només afegeix l'aigua necessària per compensar la que s'ha consumit. Per contra, quan es tracta d'aigua del mar s'exigeix un reg abundant i freqüent, quasi diari, per evitar que la sal acumulada a la zona de les arrels creixi fins a nivells que impedeixin el desenvolupament normal de la planta. En els primers experiments realitzats es regava molt abundantment: aproximadament amb uns 20 metres de columna d'aigua, que equival a una precipitació de 20.000 l/m<sup>2</sup> i any. Però en els experiments posteriors es va proposar determinar la quantitat d'aigua mínima necessària per obtenir un bon rendiment. Durant dos anys es van estudiar plantes de *Salicornia* col·locades en lisímetres, els

quals es van enfonsar a les parcel·les de regadiu amb aigua del mar. Els lisímetres tenen un desaigüe en el fons, que conduïa l'aigua sobrant, drenada, a uns col·lectors; a la sortida dels mateixos es mesura el volum i la salinitat de l'aigua de drenatge.

Amb aquestes dades es van realitzar els primers càlculs del balanç de sals i aigua requerits per un cultiu de regadiu amb aigua del mar. Mitjançant aquests resultats es va poder constatar que la quantitat de biomassa produïda en una collita depèn de la quantitat d'aigua aplicada. Encara que la *Salicornia* resisteix una salinitat de l'aigua que banya les seves arrels superior a les 100 parts per mil, requereix un 35% més de reg que els sembrats d'aigua dolça. Per una poderosa raó: a mesura que la planta va absorbint selectivament aigua del reg deixa massa salada l'aigua que resta per utilitzar-la.

#### **ADAPTACIÓ A L'AGRICULTURA DE REGADIU AMB AIGUA DEL MAR**

La partida que requereix una major inversió és la del bombeig, els costos del qual varien proporcionalment a la quantitat d'aigua que s'ha de bombejar i a l'alçada que s'ha d'elevat. Encara que els halòfits necessiten més aigua que els cultius tradicionals, les explotacions agràries costaneres no necessiten elevar gaire l'aigua. És bastant habitual que els cultius tradicionals hagin d'extreure l'aigua de pous de més de 100 metres de profunditat. Així doncs, tot i que el seu rendiment és menor que el de l'agricultura tradicional, el bombeig d'aigua del mar des de la línia de la costa és més barat que el bombeig d'aigua dolça de pous i per tant, des d'aquest punt de vista aquesta agricultura hauria de ser rendible en zones desèrtiques costaneres.

El reg amb aigua del mar no requereix cap equipament especial. Les explotacions experimentals han utilitzat tant el reg per inundació com el reg per aspersió. Les xarxes d'aspersió s'utilitzen en diversos tipus d'explotació; per a la seva aplicació amb aigua del mar s'introdueix un tub de plàstic a la guia perquè l'aigua no entri en contacte amb el metall. Pel que fa a tasques posteriors, les llavors de *Salicornia* es recullen molt bé amb màquines ajustades per maximitzar la retenció de petites llavors, d'un mil·ligram de pes.

Tot i que la *Salicornia* és l'halòfit que millors resultats ha donat, el seu cultiu no està exempt de complicacions. Les plantes tenen tendència a ajaure's sobre el terreny en apropar-se la collita, amb el risc que expulsi les llavors abans de recollir-les. A més, només es recupera el 75% de les llavors, quan es supera el 90% en la majoria de cultius i, per obtenir un alt rendiment la *Salicornia* necessita créixer 100 dies a baixes temperatures abans de

florir. Per aquesta causa la seva producció està restringida als subtropicals amb hiverns freds i estius càlids, però la major part dels deserts costaners es troba en els tròpics, on fa més calor.

La segona condició que ha de satisfer l'agricultura és la viabilitat a llarg termini. Però aquest problema no és exclusivament seu; molts projectes de reg amb aigua dolça no aproven el test de sostenibilitat. A les regions àrides es rega sovint en conques interiors de drenatge restringit, a causa d'això es produeix una acumulació de sals en la capa freàtica. Al voltant del 25% dels camps de regadiu tradicionals pateixen l'acumulació de sals i formació de bosses d'aigua a la zona de les arrels. Quan el problema s'agreuja s'han d'instal·lar costosos sistemes de drenatge subsuperficial. Desfer-se de l'aigua de drenatge pot suposar un problema addicional ja que pot dissoldre sals del terreny per on passi i provocar abocaments altament contaminants, com va succeir a la vall de San Joaquín (Califòrnia), on l'aigua drenada es va carregar de seleni, element molt comú en aquesta zona dels EUA, i va produir alteracions i deformacions en algunes aus aquàtiques a causa de l'efecte tòxic d'aquest. L'agricultura de regadiu amb aigua del mar, tot i que no es troba exempta d'aquests problemes, presenta algunes avantatges. En primer lloc, els sòls dels deserts costaners solen presentar un drenatge de retorn al mar sense majors obstacles. En segon lloc, els aqüífers dels deserts costaners presenten ja una elevada concentració de sals i, per tant, no han de veure's perjudicats per l'aigua del mar. I, en tercer lloc, els sòls en què es duria a terme aquesta agricultura són estèrils des de bon principi i, així doncs, el regadiu amb aigua del mar no afectaria els ecosistemes vulnerables, en tot cas, menys que l'agricultura normal.

Però no hi ha cap explotació que sigui completament innòcua. L'aqüicultura de gambes ha provocat la multiplicació de les algues i la degradació dels rius i badies que reben les seves aigües residuals, riques en nutrients. Es podria esperar un problema similar en les explotacions comercials d'halòfits: el gran volum d'aigua de drenatge de alta salinitat portaria fertilitzants no utilitzats que acabaria en el mar. Però els camps de regadiu amb aigua del mar podrien ajudar a solucionar el problema si els abocaments dels tancs de gambes es reciclessin en camps sembrats d'halòfits, en lloc d'abocar-los directament al mar. Els halòfits recuperarien nutrients de l'aigua residual i en reduiria el seu volum. La primera plantació experimental instal·lada a Mèxic recicla l'abocament d'una explotació de gambes, i encara es continua treballant en l'associació entre l'aqüicultura marina i les explotacions d'halòfits.

S'ha pensat també en sembrar halòfits per a reciclar l'aigua de drenatge agrícola que porti altes quantitats de sals, seleni... Els halòfits absorbeixen el seleni suficient com per a servir de farratge sense arribar a límits que els faria perjudicials.

## CONCLUSIONS

Tot el que hem exposat anteriorment ens permet arribar a les següents conclusions:

1. Des de finals dels anys 70, s'havien realitzat estudis sobre la viabilitat de l'agricultura amb aigua del mar i, des de llavors ençà, encara no ha sorgit cap explotació comercial a gran escala; i actualment aquesta tècnica encara està a l'estadi de prototip de desenvolupament comercial. Varies companyies han establert explotacions de prova de Salicornia o Atriplex a Califòrnia, Mèxic, Aràbia Saudí, Egipte, Pakistan i l'Índia; no obstant, cap d'elles ha començat la producció a gran escala.
2. A part d'aquest estudi, s'han desenvolupat paral·lelament altres projectes relacionats amb el reg utilitzant aigua del mar. Un d'ells es duu a terme a Hawaii i consisteix en aprofitar la baixa temperatura de l'aigua del mar a les profunditats, bombejar-la mitjançant grans canonades i formar una xarxa de tubs més fins per on passa l'aigua del mar freda. Això fa que per l'exterior d'aquests tubs es condensi el vapor d'aigua que hi ha a l'ambient i així s'aconsegueix regar els cultius.
3. Així doncs, tot i que l'experiència investigadora ha demostrat la viabilitat de l'agricultura de regadiu amb aigua del mar i d'altres projectes que també aprofiten aquest recurs, que el món acabi adoptant o no la seva pràctica depèn de l'economia, de les futures necessitats d'aliments i que els ecosistemes d'aigua dolça es preservin per seguir amb l'actual desenvolupament agrícola.

## REFERÈNCIES

- Glenn, E. P., Brown, J. J. i O'Leary, J. W. (1998). Irrigación con agua del mar. *Investigación y Ciencia*, octubre, pàg. 58-63.
- Glenn, E. P. (1995). *Halophytes (Encyclopedia of Environmental Biology)*. Academic Press.

Adreces d'interès a internet:

[www.ussl.ars.usda.gov](http://www.ussl.ars.usda.gov) U.S. Salinity Laboratory  
[www.wrri.nmsu.edu/cgi-bin/test-cgi/research](http://www.wrri.nmsu.edu/cgi-bin/test-cgi/research)