

# La Industria Química y el Medio ambiente: El cloro y sus productos

## 1.- INTRODUCCIÓN

**Q**uímica y Medioambiente, dos palabras ligadas al hombre y a su entorno desde el comienzo de los tiempos; la química nace con la conquista del fuego por el hombre primitivo y aunque en miniatura, podemos hablar ya, de su impacto en el medioambiente, siguiendo con el descubrimiento de los metales y con las "edades" del: oro y plata, bronce y hierro.

La historia de la química es uno de los capítulos más apasionantes de la historia de la humanidad y por tanto de la aplicación sistemática y progresiva del método científico al estudio de la materia.

Sería un gran error por mi parte querer resumir aquí la inmensidad de logros obtenidos a lo largo de la historia de la química y no tener en cuenta a la legión de científicos que con gran agudeza y esfuerzo y con medios muy distintos a los que hoy disponemos, consiguieron preparar el camino del progreso y de los avances tecnológicos, que desde la primera mitad del Siglo XX, con el desarrollo de la química orgánica y la de los grandes polímeros marcaron las bases de la realidad científica y del nivel y calidad de vida de nuestros días.

Sin embargo voy a intentar resumir una serie de etapas significativas como fueron:

- La de la química de los cuatro elementos **Aristotélicos**: el aire, el agua, la tierra y el fuego.

- La de los alquimistas de la Edad Media con la conocida "Edad Tenebrosa" entre los años 400 y 1.000 y con su "tría



**Leoncio J. García Ara**  
Director de Calidad,  
Prevención y Medio  
Ambiente del Grupo  
Químico Aragonés

prima" de principios o elementos:

- La **sal** (también llamado el quinto elemento) que representaba la solidez y la solubilidad.

- El **mercurio** que poseía un carácter metálico.

- El **azufre**, con propiedades combustibles.

- También la obsesión por la "transmutación" de los metales en oro conocida como la "Gran Obra" que debería realizarse en presencia de la "Piedra Filosofal".

- En esta época destacan: **San Isidoro de Sevilla** (560-636) con su monumental obra "Orígenes de las cosas, o etimologías" y el monje Gerberto (940-1003) que fue el Papa Silvestre II, formado en el monasterio de Vich; más tarde el **Aristóteles** de la Edad Media, **San Alberto Magno** (1206-1280), dominico alemán, llamado el "Doctor Universal" que por ejemplo preparó la potasa cáustica a través de la cal; en su obra "Die Alchimie" expone las condiciones que debe reunir un alquimista, y que en gran parte pueden aplicarse a los químicos actuales; posteriormente mencionan a **Santo Tomás de Aquino** (1225-1247) el "Doctor Angélico" que escribió un tratado sobre la piedra filosofal, el mallorquín **Raimundo Lulio**, el médico catalán **Arnaldo de Vilanova** y tantos otros.

- La del irlandés **Robert Boyle** (1627-1691), el primer químico que rompe con la transición alquimista con su famosa obra "El químico escéptico" aparecida en 1661. Es el primer hombre de ciencia que adopta la teoría atómica para explicar las transformaciones químicas.

- La de **Antoine Lavoisier** (1743-1794) que crea las bases de la química moderna con su "Tratado Elemental de

Química", aparecido en 1789 y que participa a su vez en la publicación del "Método de Nomenclatura Química", desapareciendo los nombres antiguos y así por ejemplo:

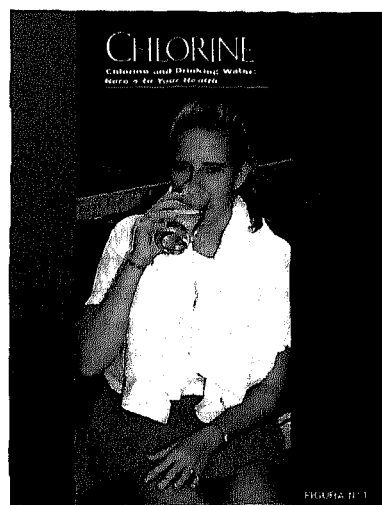
- El **aceite de vitriolo** pasa a denominarse **ácido sulfúrico**.

- El **espíritu de Venus** a **ácido acético**.

- El **Azafrán de marte** a **óxido férrico**.

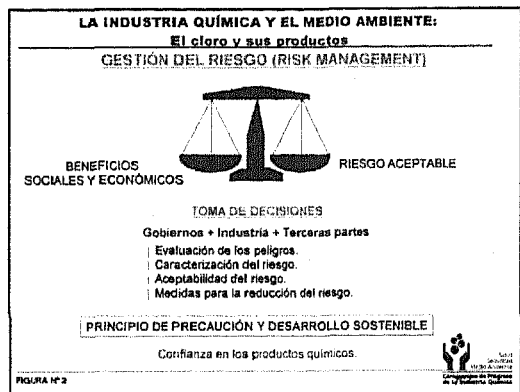
- La **lana filosófica** a **óxido de cinc**.

- El **vitriolo de Chipre** a **sulfato cúprico**.



- Como se refleja en alguno de los libros que estudié en mi primer curso de Universidad "si el poeta desconoce el nuevo lenguaje, el químico encuentra en él el suyo propio".

Dando un salto en el tiempo observamos que la Química nos rodea por todas las partes, desde nuestros procesos corporales, que son químicos en su mayoría, hasta los productos resultantes de los procesos industriales, usando en general materias primas procedentes de la industria química; gracias a la química, podemos combatir las enfermedades, las epidemias, mejorar las cosechas, conservar



los alimentos, disponer de equipos para el ocio, etc, y desinfectar las aguas, ya que como decía el Profesor Pasteur “Nos bebemos el 80% de las enfermedades”; o posteriormente el Dr. Marañón: “la mayoría de las enfermedades nos las bebemos”. (Figura 1)

Sin embargo para conseguir todo esto hay que tener en cuenta los potenciales impactos sobre: la **Seguridad** de las personas y de las instalaciones, sobre la **Salud** y sobre el **Medioambiente**.

Los hechos deberán por tanto inclinar la balanza de los **riesgos-beneficios**, realizándose por las partes interesadas: gobiernos, industria y entes sociales la **mejor toma de decisiones** en base a los programas de Gestión del Riesgo (Risk Management) que llevan consigo la **Evaluación de los peligros**, la **caracterización del riesgo**, la **aceptabilidad del riesgo** y las correspondientes **medidas para su reducción** y por tanto poder aplicar el **Principio de Precaución** con base científica así como también la tan de moda **Estrategia de Desarrollo Sostenible**, es decir compatibilizar los aspectos sociales y económicos con la protección del medioambiente.

Un enorme esfuerzo se ha realizado en las últimas décadas, y muy específicamente en los años noventa para **prevenir**.

Además del cumplimiento de la legislación en vigor aplicable como es en lo referente a **Seguridad y Salud**: la de Prevención de Accidentes Graves en las instalaciones industriales (Seveso II) o la de Prevención de Riesgos Laborales (Ley 31/95), es clave la implantación de **Sistemas Voluntarios de Gestión** como la norma ISO 14001 o el Reglamento EMAS de la Unión Europea, para la protección del medioambiente así como otros Acuerdos Voluntarios a tener en cuenta

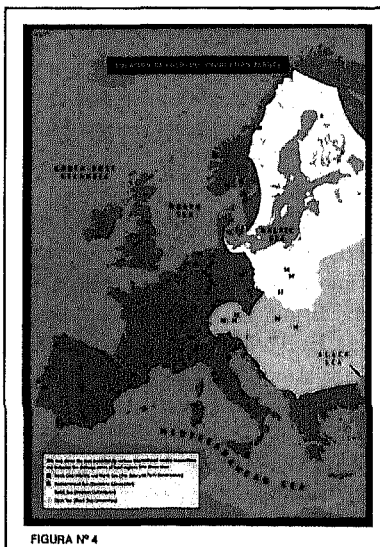
como es el de los productores españoles de cloro (ANE) firmado en el año 99, por los Consejeros de Medio Ambiente de las Autonomías con plantas en sus territorios y con el Ministerio de Medio Ambiente para la reducción de las emisiones, y que ha incluido todos los requisitos que la Unión Europea (UE) ha

marcado para este tipo de Acuerdos, incluyendo la Auditoria Externa. (Figura 2)

Entre los Programas Voluntarios de mejora continua destaca el de **COMPROMISO DE PROGRESO** (Responsible Care) que se introdujo en España a través de la Federación Empresarial de la Industria Química Española (**Feique**) en Abril del 93 y que se está aplicando por más del 60% de la industria química española observando con el seguimiento de sus diez Principios Guía y sus seis Códigos de Prácticas de Gestión importantes avances en aspectos de Seguridad, Salud y Protección del Medioambiente, como lo reflejan, sus periódicos Informes de Realizaciones. (Figura 3)

## 2.- VI PROGRAMA DE MEDIOAMBIENTE DE LA UNIÓN EUROPEA

El VI programa de Medioambiente de la Unión Europea “Medioambiente 2010: el futuro está en nuestras manos” adoptado por la Comisión el 24 Enero



2001, que completa el V, cuyo lema u objetivo fue “Hacia un Desarrollo Sostenible” y que estuvo en vigor desde el 92 al 99, detectó que hacia falta avanzar en la aplicación de la legislación de medioambiente y su mayor integración en las políticas económicas y sociales, que los ciudadanos se deberían involucrar más y que se tenía que dar un nuevo impulso a las medidas destinadas a solucionar determinados problemas tanto los ya conocidos como otros que están empezando a aparecer; por todo ello esta surgiendo con mucha fuerza en todos los estados de la UE la nueva **Estrategia de Desarrollo Sostenible**.

Han sido definidas cuatro áreas de actuación prioritaria como son:

- Cambio climático
- Naturaleza y biodiversidad
- Medioambiente y Salud
- Utilización sostenible de los recursos y gestión de residuos.

Para ello algunas de las recomendaciones son: trabajar en asociación con las empresas y realizar un Plan de Actuación y el Seguimiento de Objetivos y Metas.

## 3.- EL SECTOR CLORO-ALCALI

Como ejemplo de aplicación práctica de todos estos comentarios vamos a fijarnos en el sector **cloro-alcali y derivados** con presencia entre el 55 y el 60% de toda la industria Química, la cual supone en Europa una facturación de 500.000 millones de euros; agrupa a 85 compañías europeas con 82 plantas en 21 países, con un empleo directo de 40.000 personas, 2 millones indirectos y 9,7 millones de toneladas producción de cloro en el año 2000. (Figura 4)

Vamos a comenzar por conocer **que es el cloro**.

El **cloro** se descubre en 1774 por el químico y farmacéutico sueco C.W. Scheele, que lo llamó "ácido muriático deflogistificado" (sin hidrógeno), del latín "muria" ó salmuera, gas de color amarillo-verdoso brillante, por la reacción del ácido muriático (clorhídrico) con pirolusita (bióxido de manganeso); murió en 1786 pensando que no tenía usos, pero la investigación y el desarrollo en lo referente a las técnicas de producción y a los usos del cloro siguen estando de máxima actualidad. Rendir homenaje desde aquí a este infatigable investigador, quizás el más extraordinario de todos los tiempos, que realizó con una humildad meritoria numerosos descubrimientos en la química mineral y en la orgánica.

En 1810 Sir Humphry Davy, considerado como el pionero de la Electroquímica, demostró que era un elemento químico y lo denominó cloro por su coloración amarillo-verdosa del griego "chlōros".

Recordar que ya en 1785 en Javel, cerca de París y bajo el impulso de Berthollet se preparó una disolución de este gas (no electrolítico), en principio en agua y después en un medio alcalino (potasa cáus-

tica) denominada "Agua de Javel", que se usó como blanqueante textil; este producto era el origen de la imprescindible "lejía" o disolución acuosa de Hipoclorito Sódico que tan útil ha sido y es, como desinfectante de aguas y como germicida.

El **cloro**, elemento Nº 17 de la tabla periódica, es un elemento tan reactivo que no se encuentra en la naturaleza como elemento aislado, salvo en erupciones volcánicas, y sí en innumerables compuestos tanto en los minerales como en los seres vivos; es el décimo primero más abundante de la litosfera y el décimo más abundante entre los quince que componen el 99,5% del cuerpo humano; compuestos clorados se encuentran en la sangre, en la piel y en los dientes, así como el ácido clorhídrico en nuestro aparato digestivo.

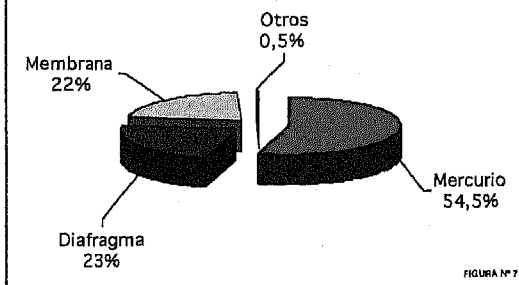
El **Cloro** o mejor algunos de sus derivados han dado y dan lugar a numerosas polémicas, cosa que no podría ser de otra manera después de tantos años de experiencias y de tan numerosa presencia de estos derivados clorados.

La seguridad en la producción de cloro, el cual es un producto químico tóxico, su transporte y uso, ha sido y es una preocupación prioritaria de los fabricantes del sector; los productores europeos desde hace más de 75 años, han puesto especial cuidado en la aplicación en sus plantas, de mejoras tecnológicas, normativas y recomendaciones tanto en la producción, en el almacenamiento y en transporte del cloro, como en lo que afecta a la salud de sus empleados.

#### 4.- LA PRODUCCIÓN DE CLORO

El **gas Cloro** (Cl<sub>2</sub>) Nº CA:-7782-50-5-, se obtiene industrialmente por electrolisis de una disolución acuosa de cloruro sódico (Na Cl) o potásico (K Cl), es decir mediante la aplicación de una corriente eléctrica a las celdas de electrolisis, por las que circula una disolución de sal, denominada

#### Vías de producción de cloro en Europa Occidental (2000)

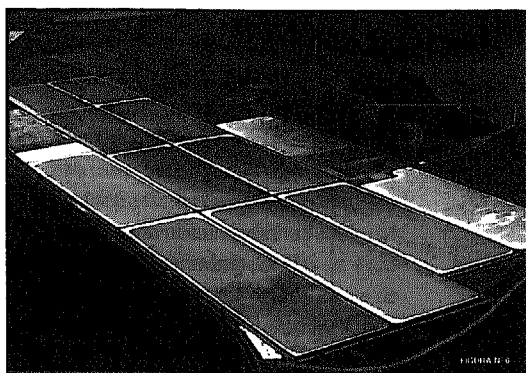
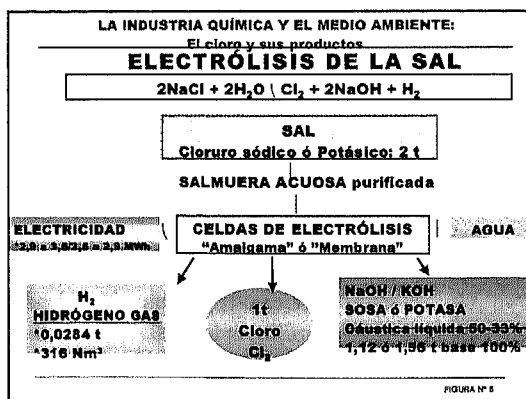


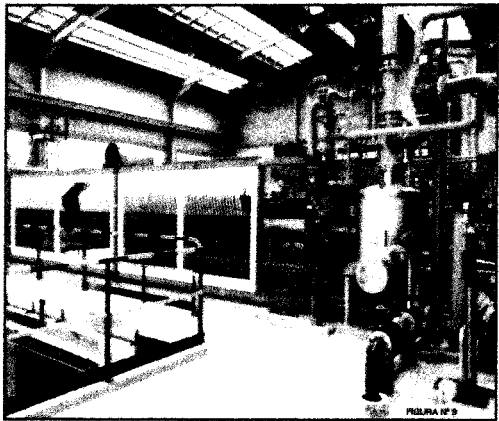
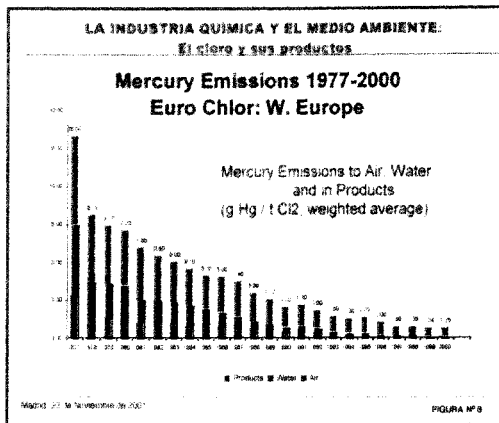
salmuera; la sal proviene de salinas marinas o de minas; en el primer caso, destacar que en la salina de ARAGONESAS de Huelva de 1.200 Hectáreas y como consecuencia de la presencia del pequeño crustáceo, la **arteria marina**, que vive en el medio salino, se ha creado la mayor diversidad de aves de toda la marisma del Odiel y por tanto confirmar un buen ejemplo de compatibilidad de industria y medioambiente; en el segundo y básicamente en Cataluña en donde se concentra el 67% de la producción española de cloro, se está usando sal procedente de la recuperación de los residuos de las explotaciones potásicas de Suria y Cardona y por tanto un segundo ejemplo de esta convivencia. (Figuras 5 y 6)

Entre las tecnologías de producción cloro-álcali la más extendida es la veterana de **amalgama** de mercurio (1892), que representa en Europa un 54,5% del total de la capacidad instalada de cloro, la cual es del orden de 11 millones de toneladas (en España son 0,83) frente a la mundial de unos 45 millones. (Figura 7)

**La producción de cloro de un país es un indicador de su nivel de vida.**

Los fabricantes europeos de cloro-álcali, han realizado estas últimas décadas un importante esfuerzo económico y humano para la reducción de sus emisiones, habiendo llegado a una cifra de suma de emisiones al aire, al agua y con los productos, de 1,25 g de mercurio por tonelada de capacidad instalada de cloro lo que supone una reducción del **74%** en los últimos **10 años**, considerando que su impacto actual no es significativo ni para el hombre, ni para el medioambiente, mucho menos si se comparan con otras





cuado para la **reconversión**, esperando se realice de forma **natural** con un límite máximo de terminación en el año 2020.

No cabe duda que en la comparación entre las tecnologías de producción de cloro, se observa claramente el menor consumo energético de la "membrana"; sin embargo solo está justificado en estos momentos para nuevas instalaciones o ampliaciones, ya que el balance global teniendo en cuenta que la concentración de sosa es menor, 33% frente al 50%, y el alto costo de la nueva inversión entre 500 y 700 euros por tonelada de capacidad instalada de cloro, así como y el también alto costo de las membranas entre 600 y 800 dólares el metro cuadrado, hacen que todavía no se den las condiciones apropiadas para la reconversión frente a la realidad de los precios del mercado de cloro y sujetos a

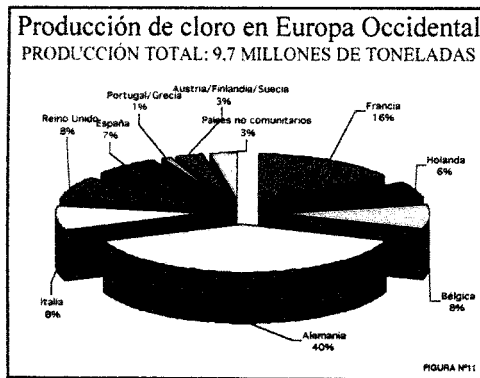
fuentes tanto naturales como antropogénicas. (Figura 8)

En España también se observa una reducción del 67% en los últimos 5 años estando a nivel europeo.

En los años 70 ha aparecido la nueva tecnología de producción de cloro, denominada de **membrana**, tecnología que se va optimizando con los años y que va a ser mucho más valorada cuando se incorporen en un próximo futuro técnicas emergentes como el aprovechamiento del hidrógeno in situ; la UE ya la ha definido como **BAT** para este sector, es decir como **Mejor técnica disponible** de producción; así lo refleja el documento BREF (BAT de referencia) de Octubre 2000 preparado en el Instituto de Estudios de Prospección Tecnológica de Sevilla de la Unión Europea (IPTS), siguiendo lo indicado por la **Directiva, 96/61/CE** para la Prevención y el Control Integrados de la Contaminación (IPPC). (Figura 9)

Con los avances tecnológicos de los próximos años y a partir del año 2007, fecha de comienzo de aplicación de la Directiva IPPC para plantas existentes, se irá viendo en base a las **condiciones socio-económicas locales**, así lo indica dicha Directiva IPPC, cual es el momento ade-

los ciclos de la química y con márgenes muy ajustados. (Figura 10)



LA INDUSTRIA QUÍMICA Y EL MEDIO AMBIENTE: El cloro y sus productos			
PRODUCTORES	FABRICAS	CAPACIDAD INSTALADA t/a de cloro	
		Tecnologías de producción	
		AMALGAMA	MEMBRANA
ARADONESAS	Sabízarigo (Huelva)	25.000	-
	Vilaveca (Tarragona)	136.000	55.000
	Palos de la Frontera (Huelva)	121.000	-
		<b>282.000</b>	<b>55.000</b>
ELECTROQUÍMICA DE HERNANI	Hernani (Guipuzcoa)	15.000	-
ELECTROQUÍMICA DEL NOROESTE	Pontevedra	24.500	-
ERCROS INDUSTRIAL	Flix (Tarragona)	83.000	-
QUÍMICA DEL CINCA	Monzón (Huesca)	218.000	-
SOLVAY QUÍMICA	Martorell (Barcelona)	218.000	-
	Tortosa (Cantabria)	83.000	-
<b>TOTAL</b>	<b>827.000</b>	<b>772.000</b>	<b>55.000</b>

LA INDUSTRIA QUÍMICA Y EL MEDIO AMBIENTE: El cloro y sus productos			
COMPARACION DE LOS CONSUMOS TIPOS DE ENERGIA			
	Amalgama	Dióxido	Membrana
Valor medio (t)	315	210	210
Densidad de corriente (A/cm <sup>2</sup> )	5-13	0,9-2,8	3-5
Valor de célula (V)	3,9-4,2	2,9-3,5	1-1,6
Concentración Sosa (%)	50	12	33
Consumo energético (kWh/ton Cl <sub>2</sub> )	3380	2700	2800
Consumo Sosa (t Cl <sub>2</sub> /t Cl <sub>2</sub> )	410-600	417-600	450-600
Energía total (kWh/ton Cl <sub>2</sub> )	3580	2870	2790
Energía para producir Sosa (kWh/ton Cl <sub>2</sub> )	-	510	180
<b>TOTAL energía</b>	<b>3580</b>	<b>3380</b>	<b>2970</b>

En España ya se dispone de 55.000 t de capacidad instalada de cloro por la vía membrana lo que supone un 7% del total. (1992-2001).

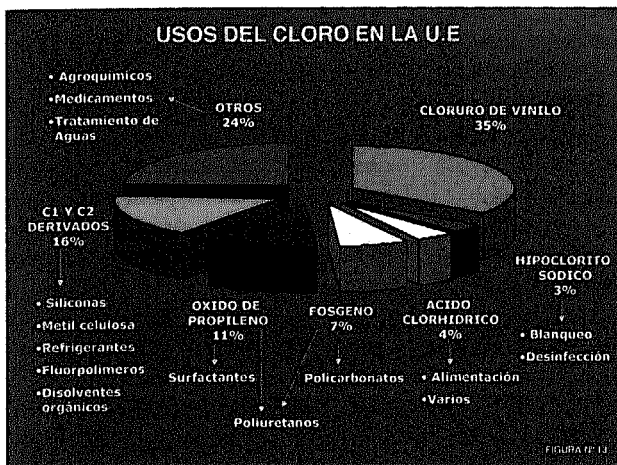
La Producción de cloro en Europa Occidental ha sido en el 2000 de 9,7 millones de toneladas de cloro. (Figura 11)

Con los planes de optimización y mejora que va a seguir haciendo el sector europeo, básicamente mediante **acuerdos voluntarios** y mientras dure la **reconversión natural** se seguirán aplicando las **mejores prácticas** de operación y de mantenimiento incluyendo la mentalización de los empleados para continuar con la disminución de las emisiones y por tanto, para que el impacto ya no significativo, siga en línea descendente, incluyendo lo relativo a la Salud e Higiene de los trabajadores, con la rigurosa aplicación de la legislación sobre Prevención de Riesgos Laborales. (Figura 12)

## 5.- USOS DEL CLORO

El árbol del cloro es una buena representación de los numerosos derivados y familias de productos, más de 15.000, tanto de uso final como de productos intermedios, muchos de ellos sin cloro en su molécula pero que han necesitado el cloro para su fabricación.

Como puede observarse el mayor uso con un 35% es para la fabricación de **resinas de PVC**, (tuberías, ventanas, suelos, aplicaciones médicas), un 24% para usos **agroquímicos, medicamentos y tratamiento**



de aguas, un 3% para producir hipoclorito sódico para usos de blanqueo y desinfección, y el resto en temas como ácido clorhídrico, óxido de propileno, fosgeno y derivados C1 y C2. (Figura 13)

La sosa cáustica es un importante coproducto con también numerosas aplicaciones en metalurgia, aluminio, vidrio, jabón, detergentes y textil.

Aproximadamente el 33% de cloro empleado en la Industria química se recicla básicamente en forma de cloruro de hidrógeno.

## 6.- EL CLORO Y LA SALUD

El 85% de las medicinas, incluyendo gran número de las decisivas para salvar vidas, usan cloro para su fabricación; es esencial en la lucha contra el cáncer y un elemento clave en la investigación de nuevos medicamentos.

Antibióticos, como los recientemente usados para el tratamiento del ántrax: (ciprofloxacina, vancomicina y cloramp-henecol), síntesis de la vitamina C, tratamiento de la malaria, tranquilizantes, etc, etc, son algunos de los cientos de ejemplos sobre fármacos que están ligados a la química del cloro

El cloro es componente vital para los equipos médicos; un 25% de los aparatos médicos de los hospitales han usado cloro en su fabricación o contienen cloro.

Puede afirmarse que el cloro es un **necesidad médica** y es esencial para la medicina moderna, contribuyendo al logro de una mayor esperanza de vida y a una drástica disminución de la tasa de mortalidad infantil, por ejemplo, según datos de Estados Unidos se ha aumen-

tado en el primer caso desde los 45 años en 1900 a 76 actuales y disminuido en el segundo desde el ciento por mil hasta el 8,2% respectivamente.

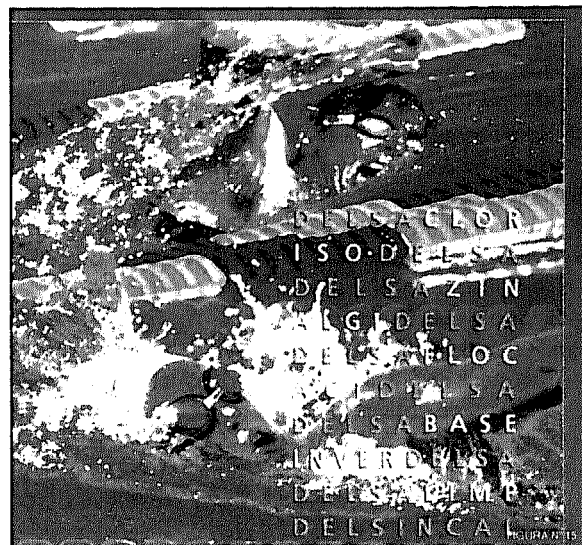
El 96% de los productos que se aplican para la protección de cosechas usan también cloro en su fabricación, contribuyendo a la mejora y disponibilidad de alimentos, necesidad que se irá incrementado con el ya esperado aumento de población.

Posiblemente, **gracias al cloro se salvan más vidas que con cualquier otro producto químico.** (Figura 14)

## 7.- EL CLORO Y EL AGUA

El agua contiene frecuentemente cientos de microorganismos perjudiciales para la salud y la vida de las personas.

Las vacunas, los antibióticos y la desinfección, incluida la de las aguas, han sido quizás los tres descubrimientos



médicos más importantes debido al genio de los doctores: Pasteur, Fleming y Ernst Chain y que junto con los inestimables trabajos de Berthollet han hecho disminuir las enfermedades infecciosas en el mundo en menos de un siglo y por tanto garantizar la calidad de vida para la especie humana.

El tifo, el cólera y la disentería, han desaparecido prácticamente en el mundo por el uso del cloro para la desinfección del agua; otras epidemias y enfermedades como hepatitis viral, salmonelas, gastroenteritis y malaria se han minimizado drásticamente en el mundo civilizado gracias a la cloración del agua o al eficaz uso de algún derivado clorado; las recientes apariciones en Europa y más específicamente en España de la bacteria de la legionelosis en circuitos de agua de refrigeración se ha podido combatir radicalmente mediante el uso de agua clorada además de la limpieza de las instalaciones; mucho más reciente, la muy veterana "lejía" está jugando, una vez más, un papel importante como desinfectante en la lucha contra el ántrax después de los graves acontecimientos del pasado septiembre, estando recomendada su aplicación diluyendo 10 veces la lejía doméstica que contiene unas 50 g/l de cloro activo, es decir hasta unos 5 g/l (5.000 ppm)

En los casos de las numerosas y recientes catástrofes naturales de huracanes y terremotos (Nicaragua, Venezuela, etc), el cloro y el hipoclorito Sódico han sido determinantes para clorar las aguas y evitar la propagación de enfermedades. (Figura 15)

Según fuentes de la Organización Mundial de la Salud (WHO), **3 millones de personas mueren cada año en el mundo por beber agua no potable** especialmente niños, incluso se ha llegado a dar en publicaciones especializadas la escalofriante cifra de 25.000 muertes al día por este concepto; alrededor de 1.000 millones de personas, 1/6 de los habitantes del mundo, no tienen acceso al agua potable y en el continente europeo según también fuentes de esta organización, del orden de 120 millones de personas, en 50 países, no tienen un suministro ininterrumpido de agua de bebida microbiológicamente segura.

Se estima que 2.400 millones de personas o sea el 40% de la población del mundo no tiene acceso a ningún tipo de saneamiento.

Por una incorrecta interpretación de las autoridades del Perú en 1991, de hipotéticos estudios de la Agencia de Protección del Medioambiente de Estados Unidos (EPA) del año 1970, sobre la posible relación entre cloración de las aguas y cáncer, se produjo una epidemia de cólera al interrumpir la cloración de las aguas, con un resultado de miles de casos y muertos en el continente americano.

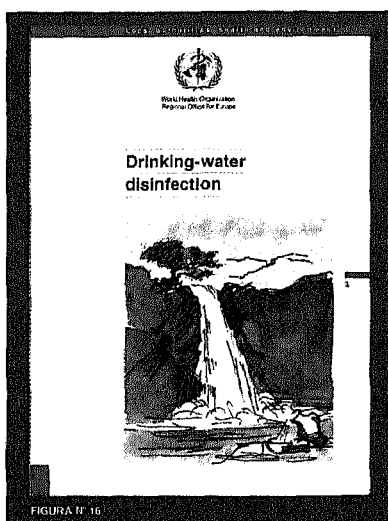
El 98% del agua que se bebe en Europa de suministros públicos está desinfectada y es segura en el grifo del consumidor debido a la cloración; solo el cloro es capaz de garantizar esta desinfección final, aun cuando otros desinfectantes como por ejemplo el ozono o el singular dióxido de cloro generado a partir de clorito sódico, tienen un papel importante en pre-tratamiento en las estaciones de abastecimiento de aguas en base a la calidad de las aguas brutas, con el objeto de minimizar la formación de trihalometanos (THM), productos que se generan por la reacción del cloro con la materia orgánica y que alguno de ellos, en determinadas concentraciones posee características cancerígenas.

Cuando el cloro es añadido al agua, se producen diferentes reacciones químicas, combinándose inmediatamente con la materia orgánica; por lo que la cantidad de cloro residual para desinfección es cero, después comienza la reacción con compuestos nitrogenados, los cuales tienen muy bajo poder de desinfección y

fuerte olor; solo el cloro añadido con posterioridad ejerce el poder desinfectante; la suma total es lo que se denomina el cloro-requerido; en muchos casos es necesario agregar entre 5 y 10 mg de cloro por litro de agua para disponer de unos 0,5 mg de cloro activo por litro.

La Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) concluyó en 1991, que no había evidencias de consecuencias de cáncer por agua de bebida clorada, ni en humanos ni en experimentos con animales; esto mismo lo ha confirmado la Organización Mundial de la Salud (WHO) en su Guía de Desinfección de Aguas de 1996.

La nueva Directiva 98/83/CE del Consejo de 3 de Noviembre relativa a la calidad de aguas destinada al consumo



Humano fija un límite de 150  $\mu\text{g/l}$  (ppb) hasta el 2008 y 100 mg/l a partir de esa fecha recomendado que se mantenga lo más bajo posible.

No cabe duda que el tratamiento de aguas en las estaciones de depuración es todo un arte y por eso la combinación de los tratamientos será diferente en cada caso según la calidad de la materia prima; siempre deben de ser bien venidos, todos los esfuerzos (aun con incremento de los costes económicos) por reducir al máximo posible los trihalometanos por debajo del límite marcado por la Directiva. Algunas pautas que expone la Guía de WHO publicada en 1996, indican que algunos países europeos han adoptado límites de THM entre 25 y 100 mg/l; en Estados Unidos la recomendación es de 80 mg/l, confirmando que el riesgo por la presencia de algunos de estos THM es

extremadamente bajo; no cabe duda que en este caso la balanza del Riesgo/ Beneficio se inclina hacia el uso del cloro como desinfectante imprescindible, sabiendo que la aplicación del Principio de Precaución, nos indica que se deben de realizar todos los esfuerzos que sean necesarios para conseguir el objetivo de contenidos de THM lo más próximos a cero.

Con respecto al cloro residual y teniendo en cuenta el sabor que da el cloro al agua, algunos países en base a hábitos locales, usan un residual tolerable muy bajo, del orden de 0,1 mg/l (100 ppb). En Estados Unidos este valor se fija en 1 mg/l o sea 1000 ppb, como garantía de una buena calidad de agua; la WHO indica en su Guía que una concentración de cloro residual (suma de HClO y ClO) de 0,5 mg/l (500 ppb) después de un contacto de 30 minutos garantiza satisfactoriamente la desinfección; en Estados Unidos (USEPA) se recomienda 0,2 mg/l de cloro residual después de 4 horas de contacto; también comenta la Guía que con concentraciones de 5 mg/l (5000 ppb) de cloro libre no se han observado efectos adversos para la salud.

**“LA CLORACIÓN Y LA DESINFECCIÓN DEL AGUA, ES EL MAYOR ÉXITO HISTÓRICO PARA LA SALUD DEL SIGLO XX”.**

(Figura 16)

## 8.- DERIVADOS CLORADOS

Los compuestos organoclorados son un grupo de productos químicos con muy diverso comportamiento medioambiental y actividad biológica, dependiendo de sus propiedades físico-químicas; consecuentemente un número limitado de ellos son los que presentan suma de características peligrosas, persistentes, tóxicas y bioacumulables (PTB's); son los denominados COP's (en inglés POP's), ó contaminantes orgánicos persistentes, o sea, PTB's con potencial de transporte a larga distancia, además algunos de ellos pueden causar desordenes endocrinos que, al alterar el sistema hormonal, pueden dañar los sistemas reproductivo e inmunológico de los individuos expuestos y de sus descendientes; otros se degradan fácilmente sin efectos peligrosos.

Con fecha 23 de Mayo de 2001 se ha firmado por 126 países (pendiente de ratificación) el Convenio de Estocolmo den-



tro del Programa Global de Medio Ambiente de las Naciones Unidas (UNEP), que a nivel regional se denomina, Programa Económico de las Naciones Unidas para Europa (UN-ECE); su objetivo es eliminar los compuestos COP's, habiéndose listado en principio doce (9 **pesticidas** – Aldrin, endrin, dieldrin, toxafeno, clordano, mirex, DDT, heptaclor, hexaclorobenceno, 2 **subproductos industriales** – dioxinas y furanos - y 1 **industrial** – PCB's-).

Los 9 pesticidas ya no se usan en España, existe legislación para el seguimiento y control de los dos subproductos no deseados, (dioxinas y furanos), específicamente en lo relacionado con la incineración y en el caso de los PCB's (bifenidos policlorados) aun cuando el protocolo habla de su limitación de uso para el 2025, en España se han realizado planes para su eliminación con límite 2010.

La división de productos Químicos del Programa de las naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), con sede en Ginebra, está realizando evaluaciones regionales del peligro que las sustancias tóxicas persistentes presentan para el hombre y el medio ambiente, estando subvencionadas por el Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF) y varios gobiernos; el proyecto se basa en el uso de cuestionarios para la recogida e interpretación de datos ya existentes en varios países; el proyecto divide a los países en 12 regiones, estando España dentro de la N° IV; el informe global que priorizará los peligros y riesgos se espera esté disponible a finales del 2002.

El efecto de cualquier producto químico clorado o no, depende de la relación dosis/ respuesta; está claramente demostrado que los ecosistemas marinos disponen de capacidad suficiente para la metabolización de numerosos compuestos organoclorados, sin efectos adversos, pues sus concentraciones son menores que los valores límite peligrosos; estos organoclorados son de origen natural o antropogénico.

Entre los doce compuestos COP's, que el Convenio de Estocolmo ha decidido limitar y eliminar, destaca el DDT (dicloro-difenil-tricloroetano), que ha sido "amnestiado", autorizándose la producción y uso controlado en países del tercer mundo en donde la malaria se ha reproducido y en donde la aplicación de

la vacuna del Dr. Patarroyo, tiene una eficacia actual del 38%.

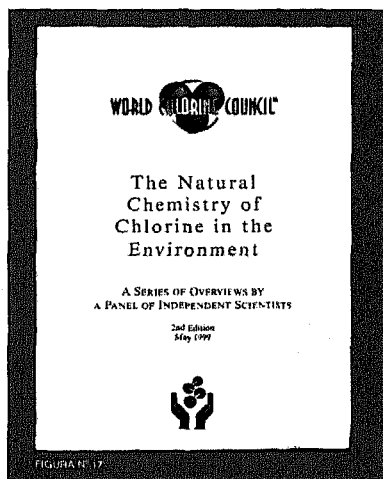
De unos 3 millones de personas que mueren al año en el mundo por efecto de la malaria, 1 millón corresponden a jóvenes y niños.

Se han cumplido 100 años del descubrimiento del agente que causa esta enfermedad, el mosquito anofeles, y sin embargo se está hablando de que en el año 2020 puede aparecer en zonas que ya estaba erradicada como son el Mediterráneo y la costa este de los Estados Unidos.

Desde los años 43 al 65 el DDT salvó 500 millones de vidas; es por tanto otro buen ejemplo de lo que significa el balance **riesgo/ beneficio**, después de realizar una **gestión del riesgo** y por tanto una adecuada y responsable **toma de decisiones**.

La mejora de las técnicas analíticas, el mejor conocimiento de los procesos biológicos y químicos en la naturaleza y la sistemática de las investigaciones detectan entre 30 y 40 nuevos compuestos organoclorados nuevos al año del origen natural.

Aparte de los importantes intercambios por el ciclo natural del cloro: de la sal y de los organoclorados, entre la tierra y la atmósfera (océanos, etc) de origen no antropogénico, en 1999 son ya 3.000 los compuestos organohalogenados de origen natural identificados; más de 1.800 son clorados; en los últimos 15 años se han realizado grandes progresos para entender su abundancia, localización, diversidad y funciones, la publicación del Consejo Mundial del Cloro (WCC) en su 2ª edición, de Mayo del 99, titulada "The Natural Chemistry of Chlorine in the Environment" da buena prueba de ello; recoge



doce artículos de prestigiosos científicos, de siete países siendo los nombres de sus artículos en base a su localización: (Figura 17)

- **En la baja atmósfera: fuente potencial de compuestos organoclorados.** W.C. Keene. USA.

- **En las precipitaciones y aguas superficiales.** A. Grimvall. Suecia.

- **En las aguas subterráneas.** C. Gron- Dinamarca.

- **En el suelo.** G. öberg. Suecia.

- **En los sedimentos.** G. Müller. Alemania.

- **En los organismos vivos.** G. Gribble. Alemania.

- **En los océanos: organoclorados volátiles.** R. Moore. Canadá.

- **En las plantas y hongos terrestres.** D. Harper UK.

- **Hongos como fuente de organoclorados aromáticos.** J. Field. USA.

- **La Halogenación enzimática.** K. H. Van Pée. Alemania.

- **Cloración de proteínas en enfermedad coronaria.** J. W. Heinecke USA.

- **Formación natural de Dioxinas y Furanos.** C. Rappe. Suecia.

Ejemplos de compuestos organoclorados en los seres vivos, son: desde la rana de San Antonio del Ecuador, que sintetiza la epibatidina, un analgésico 200 veces más efectivo que la morfina, a las medusas del mediterráneo, los hongos que descomponen la madera o las babosas de los mares tropicales, muchos de ellos son la base de futuros medicamentos.

## 9.- CONCLUSIONES

El gran aumento esperado de la población del mundo y la lucha contra la pobreza en un escenario cada vez más global seguirá necesitando una vez más los esfuerzos del mundo científico como base del desarrollo y del progreso.

Como hemos podido observar, más que nunca se están realizando importantes esfuerzos económicos y humanos, estudios para la evaluación del riesgo de los produc-

tos químicos (Risk Assessment), incluidos los del sector cloro-alkali y derivados, con participación de personal científico muy experto en toxicología, ecotoxicología, medicina y salud, etc, incluso con acciones voluntarias para la reducción de emisiones y con el seguimiento de una abrumadora, ya actual y próxima legislación procedente básicamente de la UE, que deberá necesitar tiempo y mesura para definir y consensuar criterios y para su aplicación práctica; posteriormente por medio de la Gestión de los Riesgos (Risk Management) se podrán tomar decisiones, entre las partes interesadas y ver así la forma de aplicar tanto el **Principio de Precaución** con base científica como la tan de moda estrategia del **Desarrollo Sostenible**, cuyo siguiente paso se dará en Septiembre del 2002 en la Cumbre Mundial de Johannesburgo (Rio + 10) como seguimiento a la Cumbre de la Tierra celebrada en Río de Janeiro en 1992, todo ello después de la Reunión del Consejo Europeo de Gotemburgo los pasados 15 y 16 de Junio en donde se aprobó por los quince estados miembros la estrategia europea.

Numerosas legislaciones tanto europeas como estatales y autonómicas afectan al sector químico y a los ciudadanos, algunas de ellas con evidente repercusión sobre la salud humana y la protección del Medioambiente, son las relativas a: Biocidas, Aguas de Consumo Humano, Marco de Agua, Calidad del agua, Prevención legionelosis, Residuos, etc, etc, pero sin embargo no todas llegan a ser eficientes por su falta de concreción y por la dificultad en su interpretación y aplicación práctica, aparte de sus altos costos y falta de tiempo de adaptación a los cambios; los legisladores no siempre escuchan y tienen en cuenta con la debida valoración la opinión de los expertos científicos; la política, los medios, la forma de comunicar y el grado de información y por tanto la respuesta de la sociedad tienen su peso específico.

En mi opinión la compaginación del soporte científico, la transparencia, la credibilidad, las evaluaciones del riesgo, el sentido común, deberían lograr que la sociedad incluidos los medios

de comunicación, valoren los beneficios frente a los riesgos lo que será clave para lograr la confianza en la química y en los productos químicos.

Ejemplos de programas en curso de **una acción responsable de una industria responsable** son:

- **La Iniciativa de Investigación de Amplio Alcance (LRI)** un nuevo programa internacional entre la industria química europea (CEFIC), la de Estados Unidos (CMA) y la Japonesa (JCIA), de investigación de la Salud humana y del Medioambiente con un presupuesto anual de 25 millones de dólares para los próximos cinco años. Este programa se lleva a cabo en colaboración con el mundo académico y los gobiernos, así por ejemplo colabora el ECETOC, que es el Centro Europeo de Ecotoxicología y Toxicología de los productos químicos; este programa ha identificado cuatro áreas prioritarias:

- \*Evaluación de la exposición medioambiental y humana.
- \*Metodologías de evaluación de riesgo.
- \*Carcinogénesis química.
- \*Modificación endocrina.

Todo ello ayudará a recuperar la confianza pública, mejorar su reputación y defender su actividad, con transparencia en la información sobre los riesgos, la manipulación segura, la utilización de sus productos y la forma adecuada de la eliminación de sus riesgos, con participación en el debate público y contribuyendo al conocimiento científico.

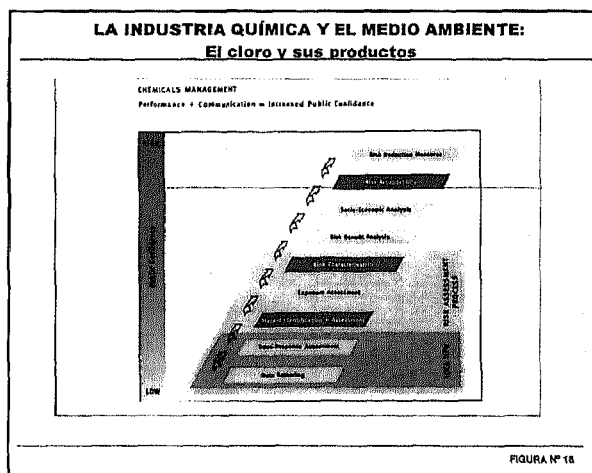
- Los **estudios de Risk Assessment** realizados por Euro Chlor siguiendo las guías de la UE para 25 productos relacionados con el medioambiente marino; el origen es el Reglamento (EEC) 793/93 sobre la evaluación y el control del

Riesgo de las Sustancias Existentes, de 23 de Marzo del 1993.

- **La acción voluntaria de la industria química ICCA-HPV** (Consejo Internacional de Asociaciones Químicas-Productos de Alto Volumen de Producción) para el estudio de los riesgos de más de 1.000 productos químicos de alto volumen de producción, armonizando datos de acuerdo con la Organización para el Comercio y Desarrollo Económico (OCDE) y con objetivo de finalización en el 2004, en la que el Consejo Mundial del Cloro (WCC) coordina unos 150 productos clorados (en Europa la industria cloro-alkali trabaja en unos 35 bajo la coordinación que realiza el CEFIC para todos los productos); la situación actual es que se espera terminar el denominado SIAM13 (Initial Assessment Meeting) como terminación de la Fase piloto de los Informes de Datos Iniciales ó SIDS (Screening Information Data Sheet) a final de Noviembre, estando programado el SIAM14 en Paris a final de Marzo 2002.

Son por tanto, un buen ejemplo, del compromiso de mejorar el conocimiento para poder **tomar las mejores decisiones**, dedicando importantes recursos.

La UE está trabajando en el **Libro Blanco** para la revisión de la futura política de los productos químicos, habiéndose adoptado en Estrasburgo con fecha 15 de Noviembre 2001 una Resolución del Parlamento Europeo, en donde "en principio" se va tener en cuenta el punto de vista científico en la toma de decisiones, si bien se deberá observar su evolución en el objetivo es reemplazar a las sustancias peligrosas; lleva consigo un sistema denominado REACH para **Registro, Evaluación y Autorización**, tanto para sustancias nuevas como para las existentes; la primera fase termina en el 2005; este programa debería cruzarse con las anteriores acciones voluntarias de la industria, para evitar duplicidad de esfuerzos así como legislaciones que pueden llegar a ser complicadas, muy costosas, de difícil aplicación práctica pudiendo incidir en la falta de competitividad incluso a la desaparición de empresas de tipo medio y con importantes consecuencias socioeconómicas, lo que no ayudaría a la bienvenida **estrategia de Sostenibilidad**. (Figura 18)





## 10. BIBLIOGRAFÍA

-Documentación Grupo ARAGONASAS – Paseo de Recoletos Nº27, Madrid (28004).

-Documentación Euro Chlor – Bruselas (www.eurochlor.org)

-Documentación FEIQUE (www.feique.org)

-Handbook of chlorination – White 1972.

-Chlorine and life: present and future of chlorine industry. Universidad Politécnica de Cataluña 1995.

-Pure and Applied Chemistry –

IUPAC, White book on chlorine- Vol. 68 Nº9 – Sept. 96.

- Drinking Water Disinfection- WHO- Regional office for Europe 1996.

- The Natural Chemistry of Chlorine in the Environment WCC – 2ª Ed. 1999

-Chlorine. Principles and Industrial Practice, P. Schmittinger-2000

-Directivas y Reglamentos UE sobre Aguas de Consumo Humano, Marco del Agua / IPPC., etc.

-Real Decreto 995/2000 sobre objetivos de Calidad del agua y R.D 909/2001 sobre legionelosis.

-Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC)

Referenced Document on Best Available Techniques in the Chlor-Alkali Manufacturing industry-October 2000.

-Revista del Ministerio de Medio Ambiente : "Información de Medio Ambiente".(artículos varios)

-Presente y Futuro de la Industria cloro-alcali. Revista Química e Industria. Junio 2001. **Leoncio J. Garcia Ara**

- Ponencia en la Real Academia de Farmacia, El agua, el cloro y los seres vivos. **Leoncio J. Garcia Ara.- Oct 2001.**

## PUBLICACIONES

# Revista Española de Física

### Indice

#### LA VIDA DE LA CIENCIA

Editorial 1

XXVIII Reunión Bienal de la Real Sociedad Española de Física. Angel L. Rubio Moraga 3

Premio Nobel de Física 2001 5

LEP: 1989-2000 9

Fermi, Heisenberg y Lawrence. El programa atómico en la II Guerra Mundial y el libro de Volpi: "En busca de Klingsor" 15

Física y Sociedad 21

Visto y leído 22

Cartas a la Dirección 23

#### TEMAS DE FISICA

El plasma de quarks y gluones. Una perspectiva actual. Ramón F. Alvarez-Estrada y Angel Gómez Nicolás 25

La magnetometría aplicada al estudio de los movimientos articulatorios mediante sensores biomecánicos. M. Cagigal de Gregorio y D. Recasens Vives 34

Actínidos. Un cambio en la tabla periódica. A. Salvá y Tomás 40

Temas oscuros en la docencia de la Mecánica Newtoniana. M. Prieto Alberca. 46

El sillón 50

Notas históricas. Centenario de la primera transmisión de una señal de radio entre Europa y América (1901-2001). A. García Carmona. 52

Física y Computación. Angel Sánchez. 54

-La Bolsa de Esportes. V. Martínez Eguiluz. 54

La Física y sus libros. 57

Noticias. 61

Premios y distinciones. 66

In memoriam. 67

Interacciones cruzadas. 69

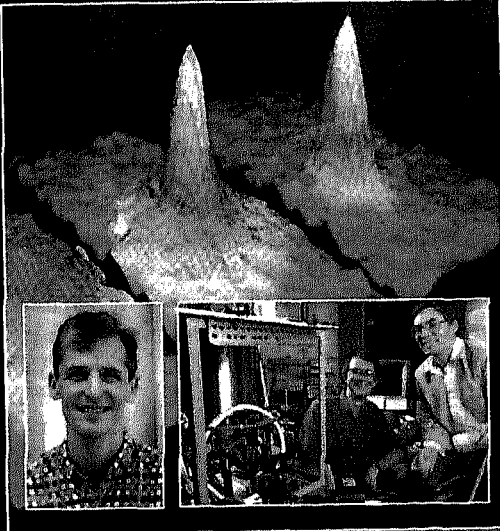
Índice de Autores. 70

REVISTA ESPAÑOLA DE

# FISICA

VOLUMEN 15, NUMERO 5, 2001

Premio Nobel de Física 2001



REAL SOCIEDAD ESPAÑOLA DE FISICA