



**FUNDACION NEXUS**

ciencias sociales – medio ambiente – salud

*¿ES TÓXICO EL ALUMINIO?*

Por

**Alicia I. Varsavsky**

**Industria y Química N° 343, pags.28-32 mayo 2002**

Av. SANTA FE 1845 7° “D” (1123) BUENOS AIRES - TEL/FAX 5-217-2780/81  
[www.nexus.org.ar](http://www.nexus.org.ar) E-mail [fundacion@nexus.org.ar](mailto:fundacion@nexus.org.ar)

## INDICE

1. INTRODUCCIÓN
2. EL ALUMINIO EN EL ORGANISMO
3. EL ALUMINIO EN EL CEREBRO
4. ASPECTOS EPIDEMIOLÓGICOS
5. BIBLIOGRAFÍA

## 1-INTRODUCCIÓN

La sobreabundancia de información que caracteriza a nuestra cultura nos enfrenta muchas veces con datos contradictorios y no siempre disponemos de las herramientas necesarias para evaluarlos correctamente. Un buen ejemplo de este problema son los trabajos que se pueden obtener cuando se busca información relacionada con la toxicidad del aluminio. El espectro es amplio. Se pueden encontrar desde trabajos que garantizan su absoluta inocuidad hasta los que advierten sobre los serios riesgos a los que se expone quien consume alimentos que estuvieron en contacto con recipientes de aluminio.

Ante esta disparidad el lector desprevenido termina no sabiendo si le conviene condimentar sus alimentos con sales de aluminio o si debe poner todo aquello que haya estado en contacto con aluminio en el estante de los venenos. Y el riesgo que corre nuestro lector desprevenido radica en que puede llegar a tomar decisiones incorrectas- desde el extremo de implementar medidas excesivamente protectoras e innecesarias (que además suelen ser las más costosas) hasta no tomar suficientes precauciones exponiéndose a riesgos innecesarios. Para lograr una postura equilibrada es necesario evaluar cuidadosamente los riesgos reales y usar esta información de manera tal que permita optimizar los beneficios minimizando los riesgos.

Si bien en muchos de estos trabajos se pueden inferir intereses creados, existe un problema cultural de base que es el que permite o al menos facilita esta disparidad: la poca conciencia que existe en nuestra población sobre la forma superficial en la que se usan conceptos complejos como "tóxico" o "cancerígeno". Se tiende a usarlos como absolutos: una sustancia es o no es tóxica, es o no es cancerígena. Rara vez se tiene en cuenta que la mayor parte de las sustancias químicas (y sus mezclas) ejerce el espectro completo de efectos sobre la salud: desde benéficos hasta letales.

En la Tabla I se comparan valores de DL50 (dosis letal 50) para distintos compuestos de metales medidos en ensayos realizados con distintas especies. La existencia de rangos se debe a la variabilidad medida que depende de factores tales como el hecho de que los ensayos fueron realizados por distintos equipos de investigación en distintos ambientes físicos, con diferentes razas de una misma especie o con especies diferentes expuestas a la sustancia a través de distintas vías (es por esta razón que cuando se dan valores de DL50 se deben especificar cuidadosamente las condiciones del ensayo).

La DL50 elevada estimada para el aluminio (es decir su relativamente baja toxicidad) es consistente con lo que es dable esperar para un elemento que es uno de las más abundantes en la naturaleza: representa el 8 % de la corteza terrestre y existen más de 300 minerales y rocas que lo contienen.

SUSTANCIA	DL 50 (mg/kg de peso)
Tetraetil plomo	12-35 (*)
Cadmio metálico	225-890 (*)
Oxido de cadmio	72 (*)
Metil mercurio	20-50 (*)
Cloruro de zinc	350-1250(*)
Aluminio	500/1.000(**)

**TABLA I-** Dosis letal 50 para algunos compuestos metálicos según datos del NIOSH (\*) o según estimaciones (\*\*) (OMS). El rango corresponde a los valores máximos y mínimos informados en cada caso.

## 2- EL ALUMINIO EN EL ORGANISMO

No hay evidencias que indiquen que el aluminio cumpla una función esencial en animales o humanos y no se ha podido identificar ningún síntoma asociado a la deficiencia de aluminio. Sin embargo algunos trabajos en animales indicarían una posible función biológica que necesita ser estudiada más a fondo. Es interesante notar que, debido a su abundancia en la naturaleza, es difícil diseñar experimentos donde no haya contaminaciones con trazas de aluminio. Por esta razón es difícil identificar síntomas asociados con una deficiencia en aluminio.

La mayor parte de los compuestos de aluminio son sumamente estables y muy pocas de las formas que se encuentran en la naturaleza son asimilables por el organismo. Consistentemente con estas características, los problemas asociados con la exposición al aluminio se han incrementado sustancialmente desde principios del siglo XX y se los considera consecuencia de que en este período ha crecido rápidamente la actividad de las industrias que usan compuestos de aluminio de mayor biodisponibilidad.

De las tres vías por las que una sustancia puede entrar al organismo (oral, dérmica y respiratoria) las características químicas de los compuestos de aluminio hacen que la vía **dérmica** sea la menos importante.

La principal población de riesgo para la exposición por vía **respiratoria** está formada por los trabajadores de fundiciones de aluminio y otras industrias relacionadas. El aluminio contenido en el aire de estos ambientes de trabajo usualmente está en forma particulada e ingresa por los pulmones donde tiende a acumularse.

La principal exposición por vía respiratoria de la población general se debe al aluminio presente en el aire de las ciudades. No hay muchos trabajos publicados que evalúen el contenido y el origen del aluminio en el aire de una ciudad. Se estima que el mayor aporte provendría de los caños de escape de los autos y

estaría en forma particulada. En algunas ciudades de Estados Unidos la concentración medida de aluminio en el aire está entre un mínimo de 0.0005 microgramos/m<sup>3</sup> y un máximo de 0.57 microgramos/m<sup>3</sup>. Comparando estos valores con aquellos asociados a exposiciones laborales (tabla III) se puede concluir que esta vía no es de importancia significativa para la población general.

Se considera que la principal vía de exposición al aluminio para la población general es la **oral** (alimentos y algunos medicamentos). El aluminio que ingresa por esta vía se absorbe a nivel intestinal. Si bien aún no han sido totalmente aclarados los mecanismos de esta absorción se sabe que el proceso es fuertemente dependiente de la forma química en la que se lo encuentra y de la presencia de sustancias capaces de complejarlo (por ejemplo el citrato) que, al formar estructuras solubles aumentan la absorción del metal a nivel celular.

Menos del 1 % del aluminio ingerido es absorbido en el intestino y pasa a circulación constituyendo este órgano la primera barrera protectora. La mayor parte del aluminio absorbido por el tracto intestinal es excretado por orina (segunda barrera protectora). El balance neto es que menos del 1 % del aluminio absorbido en el intestino (es decir menos del 0.1 % del aluminio total ingerido) es retenido en el organismo distribuyéndose en todos los órganos (Tabla II).

ÓRGANO	Contenido de Al
Hígado	0.0003-0.002 microgramos/g
Sangre entera	2-8 microgramos/L
Suero sanguíneo	1-5 microgramos/L
Orina	10-100 microgramos/día
Cabello	0.003-0.01 microgramos/g
Hueso	18-29 microgramos/g
Cerebro	0.6 microgramos/g

**Tabla II-** Contenido de aluminio de tejidos humanos sanos (datos obtenidos en individuos con distintos niveles de exposición)

En individuos con riñones funcionalmente normales un incremento en la ingesta de aluminio (por ejemplo por consumir algunos antiácidos) genera un aumento tanto en la absorción intestinal como en la excreción urinaria manteniéndose relativamente estables los niveles plasmáticos (no se conocen bien los mecanismos que permiten esta regulación). En cambio un porcentaje importante del aluminio que ingresa por vía respiratoria (usualmente en forma particulada) permanece en los pulmones.

No se han encontrado evidencias que indiquen que el aluminio sea cancerígeno o mutagénico. Sin embargo algunos estudios realizados con animales han demostrado que tiene propiedades embriotóxicas. Los efectos dependen de las

dosis, de la vía de administración y del estadio de desarrollo del embrión al momento de la exposición. Sin embargo es importante tener en cuenta que no se han observado efectos nocivos sobre el feto con mujeres que consumieron durante el embarazo antiácidos conteniendo aluminio .

### 3- EL ALUMINIO EN EL CEREBRO

Posiblemente el mayor riesgo que presenta el aluminio para la salud radica en el hecho de ser **neurotóxico**. Como ya se mencionó tanto el intestino como los riñones actúan como las primeras y más eficaces barreras para el ingreso y acumulación del aluminio en el organismo. Es razonable entonces que las primeras observaciones que permitieron encontrar una relación entre neurotoxicidad y exposición al aluminio se hicieron en pacientes con disfunción renal. En estos pacientes se suman dos efectos. Por un lado están más expuestos al ingreso de aluminio al organismo (por ejemplo al usar algunos medicamentos que contienen aluminio para regular la concentración plasmática de fósforo) o cuando se preparan las infusiones para diálisis con agua que no está libre de aluminio.(en este caso el aluminio ingresa directamente a circulación). Pero por otra parte, tienen inhibida la principal vía de excreción (los riñones). Por estas razones los pacientes con disfunción renal constituyen la población de riesgo más importante.

Se han medido concentraciones de aluminio superiores a las normales en cerebros de pacientes con enfermedades tales como encefalopatías (en pacientes dializados y en personas alcohólicas) y mal de Alzheimer. En el cerebro de pacientes con enfermedad de Alzheimer se miden concentraciones de aluminio que son alrededor de tres veces mayores que la medida en cerebros sanos. En algunas regiones del cerebro de personas con encefalopatía alcohólica se han medido concentraciones hasta 10 veces superiores a las de una persona normal. No está clara la causa de esta acumulación ni si hay relación causal entre esta acumulación y el inicio de estas enfermedades. Algunos trabajos indican que las concentraciones de aluminio presentes en un organismo normal no alcanzan por sí solas para producir las alteraciones bioquímicas presentes en los cerebros de pacientes con mal de Alzheimer.

Cómo puede ser que una sustancia que se sabe que es neurotóxica y ha sido asociada (aunque no vinculada con una relación causal) con enfermedades como las arriba mencionadas sea al mismo tiempo considerada segura? Para ello es necesario comprender la forma en la que el aluminio presente en sangre puede llegar a ingresar a las células cerebrales y manifestar allí sus propiedades neurotóxicas.

El cerebro dispone de un sofisticado mecanismo que evita que las sustancias que no son necesarias para el metabolismo entren a sus células : la **barrera hematoencefálica**. Para que el aluminio pueda entrar en las células cerebrales debe poder aprovechar un mal funcionamiento previo o eventualmente romper la protección que ejerce esta barrera. La información disponible indica que la eficacia

protectora esta barrera puede alterarse tanto con una excesiva carga de aluminio en el organismo (como puede ocurrir con pacientes con disfunción renal) como por daños funcionales y/o estructurales causados por factores externos (como sucede con el consumo de alcohol) o endógenos (como se postula que podría suceder en pacientes con mal de Alzheimer). La comprensión de los mecanismos que llevan a inhibir esta eficacia permitirán resolver las dudas que aún quedan respecto a la relación que hay entre aluminio y patología cerebral.

#### 4-ASPECTOS EPIDEMIOLÓGICOS

Como ya se mencionó la principal **población de riesgo** de intoxicación por aluminio está formada por los pacientes con disfunción renal. El elevado valor de la DL50 (dosis letal 50) del aluminio (tabla I) indica que su **toxicidad aguda** es baja. La cantidad de aluminio que debería ingerir una persona sana en una sola dosis para intoxicarse gravemente es muy alta y es muy difícil lograrla. Y esto se refleja en los datos epidemiológicos: si bien en ciertos casos algunos compuestos de aluminio pueden causar dermatitis por contacto, la intoxicación aguda asociada con aluminio es sumamente rara.

Los trabajadores de la industria del aluminio constituyen otra población de riesgo que debe ser considerada. Como ya se dijo, en estos casos la vía de exposición prioritaria es la respiratoria y los principales efectos se observan en los pulmones mismos. Es por ello que, dentro de esta población, el grupo de mayor riesgo está formado por las personas que tienen alguna patología pulmonar (asma, etc.).

En la tabla III se muestran las concentraciones de aluminio medidas en sangre y orina en trabajadores de una fundición de aluminio primario y la concentración de aluminio medida en el aire de las salas de electrólisis. Para poder correlacionar estos valores con los niveles que indicarían riesgo de intoxicación hay que tener en cuenta que se han observado efectos sobre la función psicomotora en pacientes en hemodiálisis con una concentración en sangre promedio de 60 microgramo /L. Se estima que este nivel es equivalente a una concentración en orina para una persona sana de 330 microgramos/L. Se han detectado estos niveles en orina de fundidores que han estado expuestos durante 20 años a una concentración de 4.8 mg/m<sup>3</sup> de aluminio en el aire. En personas que han estado expuestas durante 15 años a una concentración de aluminio en el aire de 4 mg/m<sup>3</sup> la concentración de aluminio medida en orina fue menor (250 microgramos/L).

No hay un acuerdo total respecto a cuál es la exposición que no genera efectos sobre la salud. A partir de la información epidemiológica disponible se estima que para prevenir la aparición de aluminosis en exposiciones crónicas a polvo de aluminio la concentración en el aire del ambiente de trabajo deberá ser menor que 5 mg/m<sup>3</sup>, (esta concentración es superior a la promedio medida, por ejemplo, en el aire de una fundición de aluminio primario- Tabla III). Sin embargo pueden aparecer reacciones respiratorias (asma e hiperreactividad bronquial) con niveles de exposición menores a 1 mg/m<sup>3</sup>.

ALUMINIO EN AIRE (*) (mg/m <sup>3</sup> )	ALUMINIO EN SANGRE (microgramos/L)	ALUMINIO EN ORINA (microgramos/L)
CONTROL	4.76	23.7
0.036	4.1	33.2
0.35	4.85	67.0
1.47	7.15	133.3

Tabla III- Contenido promedio de aluminio en el aire de una fundición (aluminio primario) y en sangre y orina de los trabajadores expuestos.

(\*) Aire de las salas de electrólisis

La principal preocupación respecto a los efectos que la exposición a aluminio puede tener sobre la salud de la **población general** se centra en los casos en los que el ingreso al organismo es excesivo. Estos casos están circunscriptos a las personas que ingieren en forma habitual cantidades del orden del gramo de compuestos de aluminio (el caso más común es el consumo regular de algunos medicamentos- tales como algunos antiácidos- que puede resultar en una acumulación). En estos casos el riesgo de intoxicación aumenta fuertemente si hay una disfunción renal.

Los aspectos toxicológicos asociados al consumo de **aluminio contenido en los alimentos** son menos claros. No hay suficiente información como para establecer una dosis máxima recomendable para la ingesta de aluminio. Los modelos animales en este caso no son apropiados porque los procesos cinéticos y dinámicos de absorción del elemento difieren entre especies. A partir de datos epidemiológicos se estima que un consumo de 7 mg /kg.semana (70 mg/día para una persona de 70 kg de peso) es un consumo seguro.

Entre las principales fuentes de aluminio accesibles para la población general se pueden mencionar: agua de bebida (cuya concentración de aluminio depende de factores ambientales tales como la presencia de sustancias ácidas que faciliten el lixiviado del metal a las napas de agua), aluminio naturalmente contenido en los alimentos, restos de aluminio transferidos a los alimentos a partir de otras fuentes (por ejemplo de utensilios de cocina), aditivos para alimentos (como polvos para hornear), bebidas, antitranspirantes, envases, medicamentos, etc. En una población que no consume medicamentos con aluminio el proveniente de alimentos y bebidas da cuenta del 90-95 % de la ingesta diaria total. Cuando se consumen medicamentos con aluminio, el proveniente de los alimentos corresponde a menos del 1 % de la ingesta diaria total.

Como el contenido de aluminio de los distintos alimentos depende no solamente de sus características intrínsecas sino también de la forma en la que fueron preparados, los hábitos alimentarios de una población condicionan fuertemente la ingesta diaria de aluminio. Para distintos países se han medido valores que van desde 3-14 mg/día hasta 80 mg/día. Es interesante notar que la ingesta diaria de



aluminio es mucho menor y menos variable en la población china (4-15 mg/día) y en el Reino Unido (6-8 mg/día) que en los Estados Unidos (7-50 mg/día).

ALIMENTO	CONTENIDO DE ALUMINIO	Cantidad que contiene 70 mg de Al
Hojas de té *	1800 mg/kg	38.9 g
Leche hervida **	0.8 mg/L	87.5 L
Agua De la canilla Hervida**	0.2 mg/L 17 mg/L	350. L 4.1 L
Frutas ácidas***	35 mg/L	2.0 L
Berries	77 mg/kg	0.93 kg
Ruibarbo ***	170 mg/kg	0.42 L
Café ****	1.4 mg/L	50. L
Bebidas en lata *****	10.4 mg/L	6.7 L

**Tabla IV-** Contenido de aluminio en distintos alimentos y cantidad que sería necesario ingerir para llegar a la dosis diaria máxima recomendada (estimada en 70 mg de Al/día por una persona de 70 kg)

\* solamente el 20 % se transfiere a la infusión

\*\* En recipientes de aluminio

\*\*\* jugos

\*\*\*\* Preparado con filtros sin uso previo

\*\*\*\*\* valores máximos medidos

La mayor parte de los adultos consumen entre 1 y 10 mg de aluminio por día proveniente de **fuentes naturales**. La mayor parte de los alimentos no procesados (excepto algunas hierbas y el té) contienen menos de 5 ppm de aluminio; el té contiene entre 300 y 1800 ppm (entre el 16 y el 20 % del total se extrae en la infusión). La leche y sus subproductos y productos con cereales dan cuenta de alrededor del 60 % de la ingesta diaria de aluminio. El aporte a la ingesta total del aluminio contenido en el agua (cuando respeta las concentraciones máximas recomendadas por la OMS- 0.2 ppm) es considerado poco significativo. En la Tabla IV se indica el contenido de aluminio de algunos alimentos y la cantidad que sería necesario ingerir de ese alimento para llegar a la dosis diaria considerada segura por la OMS (70 mg/día).

Un tema al que se le ha dado importancia últimamente es a la transferencia del aluminio de los recipientes a los alimentos durante su almacenamiento (latas de bebida) y durante la cocción. Se trata de dos situaciones diferentes. Durante la cocción en recipientes de aluminio que no tienen revestimientos superficiales hay un contacto directo entre el metal y el alimento. En cambio las latas tienen una

protección interna (para evitar la corrosión) que minimiza el contacto directo de la bebida con el metal.

En ensayos realizados hirviendo distintos alimentos en recipientes de aluminio (contacto directo del alimento con el metal) durante tiempos variables y a pH variables se observó un aumento estadísticamente significativo (pero poco importante desde el punto de vista práctico) en el contenido de aluminio de las comidas. Este incremento depende fuertemente de las características del alimento. Cuando el alimento es de pH neutro la transferencia de aluminio del recipiente al alimento está por debajo de los límites de detección. En cambio la cocción de alimentos ácidos o conteniendo sustancias tales como citrato (como los jugos de frutas) el contenido de aluminio puede llegar hasta 2.9-35 mg/kg.

Las latas suelen contener bebidas de pH cercano a la neutralidad (a ese pH el aluminio es poco soluble) y tienen además una cubierta interna cuya función es evitar la corrosión de la superficie minimizando la transferencia de aluminio a las bebidas. El contenido de aluminio en bebidas envasadas en latas es muy variable y depende de la bebida que contenga. Se han medido en algunos casos concentraciones de 10.4 mg/L. En la tabla V se comparan los contenidos de aluminio medidos en distintas bebidas envasadas en recipientes de vidrio y de aluminio preparadas con agua de menos de 0.1 mg/L de aluminio. Para consumir la dosis diaria considerada segura con estas bebidas habría que beber más de 400 litros.

BEBIDA	CONTENIDO DE ALUMINIO (mg/L)	
	ENVASE DE ALUMINIO	ENVASE DE VIDRIO
NO COLA	0.9	0.14
COLA	0.65	0.24
CERVEZA	0.16	0.16

**TABLA V-** Contenido de aluminio en bebidas envasadas en latas y en botellas. El agua de la localidad en la que se prepararon esas bebidas contenía menos de 0.1 mg Al/L

Lo mismo ocurre con otros alimentos: la cantidad que contiene 70 mg de aluminio (es decir el consumo diario de aluminio considerado seguro para una persona de 70 kg) supera en la mayoría de los casos los consumos físicamente posibles (Tabla IV). Para que comiencen a observarse efectos tóxicos los consumos deben ser sustancialmente superiores a los considerados seguros o debe haber alguna disfunción que altere los mecanismos de eliminación normales (por ejemplo falla renal). Se puede inferir de estos datos que el riesgo de intoxicación con aluminio originado en el consumo de alimentos es mínimo.

## 5-BIBLIOGRAFÍA

- ❖ Greger J.L. "Dietary and other sources of aluminium intake". Ciba Found Symp; VOL 169, 1992, P26-49
- ❖ Marcus, D.L., Wong, S. y Freedman, M.L. "Dietary aluminum and Alzheimer's disease" J Nutr Elder; Vol. 12, ISS 2, 1992, P55-61
- ❖ Marquis JK . "Neurotoxicity of Aluminum" en Environmental Chemistry and Toxicology of Aluminum, T. E. Lewis, Editor; Chelsea, Michigan, Lewis Publishers, Inc., P. 289-298,
- ❖ Willis, M. Y Savoir, J. "Iatrogenic metal poisoning in man- Aluminium" en Chemical Toxicology and clinicalchemistry of metals. Proceedings or the 2° International Conference held in Montreal, Canadá, 19-22/07-83. Editado por Brown, S.S. y Savory, J.1983, P.303-316 Academic Press
- ❖ World Health Organization--"Aluminium" Environmental Health Criteria N° 194 (1997) ISBN 92 4 157194 2
- ❖ World Health Organization. "Trace elements in human nutrition and Health". Cap. 18 (P. 221 a 223). Ginebra, 1996