

CADMIO: elemento químico peligroso contaminante de la biosfera

Prof.
MARIO ALARCON ALVAREZ

INTRODUCCION

En la actualidad hay una urgencia extraordinaria en conocer las acciones de una cantidad enormemente variada de sustancias químicas, naturales las menos, de síntesis artificial las más, que de una u otra manera han entrado en contacto con los seres vivientes en concentraciones crecientes y sobrepasando, muchas de ellas, peligrosamente los límites tóxicos.

La presencia de estas sustancias en la biosfera es producto fundamental de la actividad de la civilización humana actual, la que, en su voraz tecnología de perfeccionamiento material, va utilizando irracionalmente las materias que natura puso a su disposición dejando desechos del más variado potencial contaminante en las zonas en que actúa y en las zonas de flujos biosféricos circundantes.

Incluidas en esa variedad impresionante de polutantes, se encuentran elementos químicos que, diseminados por la naturaleza, no provocan daño a la vida, hasta que por la acción de procesos industriales o de uso humano directo, empezaron a encontrarse y a llegar a circuitos biológicos que no los conocían en su largo proceso evolutivo.

En este contexto, es de interés observar los elementos metálicos, que no escapan al proceso anteriormente señalado. Muchos son de importancia biológica y los variados metabolismos vivientes utilizan en sus

sistemas enzimáticos a muchos de ellos en concentraciones ínfimas pero necesarias.

Sin embargo, la mayor parte no participa de esta categoría llamada de los oligoelementos esenciales, y en este grupo no sólo no son esenciales sino francamente tóxicos.

Generalmente los organismos los toleran mal y pese a sus eficientes y dúctiles mecanismos de desintoxicación, no logran eliminarlos con la destreza necesaria ante la concentración creciente en que se van encontrando en su entorno. Esto provoca intoxicaciones de variada calidad e intensidad.

Siendo un problema general las concentraciones crecientes de estos oligoelementos no esenciales a la vida, abordemos como ejemplo la contaminación biosférica del Cadmio, elemento aparentemente raro, pero casi siempre presente y de insospechada incidencia polutante.

No se trata de un ejemplo tomado al azar, es uno de los más grandes y significativos contaminantes ambientales, se encuentra ligado a partículas de aire junto al plomo y su origen industrial está determinado en galvanizados y fábricas de pinturas, en neumáticos y gomas negras en general. Para apreciar esta incidencia, señalemos que sólo en Alemania, como producto de desgaste de neumáticos, se vacían al ambiente 5 toneladas por año de Cadmio.

BREVE RESEÑA HISTORICA DE SUS ACCIONES SOBRE LA BIOLOGIA HUMANA

Es alrededor de 1858 cuando empiezan a registrarse alteraciones biológicas provocadas por acción de las sales de Cadmio, concretamente se informa de intoxicaciones agudas en personas que, puliendo metales con carbonato de Cadmio en polvo, por inhalación manifestaron síntomas de intoxicación aguda, caracterizados por disnea, dificultades respiratorias, vómitos y alteraciones digestivas.

Efectos crónicos se señalan hacia 1867, y se caracterizaron por pérdida de peso, pérdida de apetito, astenia y acciones paralizantes sobre el sistema nervioso central. También ya se detecta en estos casos una retención de este elemento por los organismos, pues su eliminación es muy baja, manifestándose retención en el hígado y riñón.

En la revisión histórica que realizó en 1932 L. Prodan, informó de varios casos de envenenamientos accidentales en fábricas y fundiciones, todos ellos caracterizados por los mismos síntomas de intoxicación ya indicados. Veamos algunos:

En 1876, Wheeler indica de casos accidentales de envenenamiento con bromuro de Cadmio. En 1888, Tracinski, llamó la atención sobre la posibilidad de que los envenenamientos en las fundiciones de Zinc no se debieran a este material, sino al Cadmio acompañante.

Otras referencias informan que hacia 1896 (Serveri), se detectan alteraciones renales que provocan necrosis en los túbulos. En 1920, Stephen, analizando casos de intoxicación industrial, atribuidos a Plomo en fábricas de pinturas, pudo diagnosticar que las intoxicaciones atribuidas en estos casos al Plomo, no eran tales, sino que se debían a sales de Cadmio.

También debe señalarse que las intoxicaciones se hacen frecuentes después de la Primera Guerra Mundial cuando llegó a ser importante en procesos industriales, llegando así a ser frecuentes sitios de contaminación las fábricas de pinturas, fundiciones de metales en especial y regiones circunvecinas.

En 1920, Fridberg y sus colaboradores demostraron fehacientemente la toxicidad del Cadmio resultado de las exposiciones industriales. No es sino hasta bien avanzado el siglo XX cuando empieza a detectarse este elemento en circuitos biológicos superiores y que los investigadores inician las pesquisas de sus rutas que lo conducen a los seres vivos. De estos análisis nacen insospechadas fuentes de contaminación.

Es de hacer notar que envenenamientos propiamente tales por ingesta de Cadmio, hasta 1941 no se informaron más de 20 casos; pero la preocupación científica por sus acciones ya permitió informar entre 1941 y 1946, 689 casos de envenenamientos. No cabe duda de que los casos no registrados deben ser a la fecha señalada muchos más.

REVISION DE LOS EFECTOS TOXICOS DEL CADMIO

Como se ha señalado, hace más de un siglo que se conocen los efectos tóxicos en la especie humana y para proceder a categorizar los efectos debemos separarlos en las acciones agudas y las crónicas.

El síndrome agudo se caracteriza por náuseas severas, salivación, vómitos especialmente, cólicos y dolores musculares, concomitantemente puede alterarse el sistema respiratorio y producir disnea y bronquitis. La rapidez de estos efectos depende de la ruta de ingreso, pero no excede más allá de 30 minutos sin tener evidencia de los síntomas cuando se ingiere en bebidas o alimentos contaminados. Aunque la dosis letal se desconoce por sus efectos eméticos, la presencia de una cadmemia de 10 miligramos en los seres humanos, causa serias incapacidades que de persistir en el medio interno se hace letal en sus efectos.

La intoxicación crónica se produce en los ambientes industriales afines en donde la incidencia directa está en los efectos respiratorios por acción de concentraciones bajas y sostenidas por mucho tiempo. Los vapores tóxicos inhalados en esta forma incluyen pérdida del olfato, dificultades respiratorias, pérdida de peso, tinción amarillenta de los dientes e irritabilidad generalizada. Además lentamente se van comprometiendo el hígado, riñón, tejidos hematopoyético y testicular.

Cabe destacar la especial tendencia a concentrarse en el riñón humano, existiendo información de que las concentraciones renales de Cadmio son anormalmente elevadas en algunos hipertensos.

Finalmente no puede dejarse de señalar en estas revisiones toxicológicas generales una enfermedad peculiar llamada Itai-Itai en Japón, caracterizada por intensos dolores óseos y osteomalacia, anemias, nefropatías, gastritis crónicas y enteropatías y que afecta a poblaciones en donde existe una exposición ambiental muy intensa al Cadmio. Este síndrome denominado Itai-Itai fue el primero en aparecer como producto de la contaminación ambiental y se produjo en habitantes que vivían junto al río Jintsu en el noroeste del Japón. Los estudios pertinentes revelaron la causa en una mina de metales no ferrosos próxima que operó a fines del siglo pasado y que poseía una alta concentración de Cadmio.

DISTRIBUCION EN LA BIOSFERA

La determinación de la circulación de este elemento en medios abióticos y bióticos en la biosfera planetaria, permite sostener con mucha base que ha alcanzado niveles peligrosos de concentración en comunidades humanas muy diversas, existiendo tendencia a acumularse con la edad ya que se ha informado de la ausencia de Cadmio en fetos humanos hacia 1961; pero ya en 1969 se detectaba significativamente en el mismo sustrato (EE.UU.). Esto indica además que el Cadmio no se encuentra presente en la especie humana y que la contaminación lo incorpora y el organismo lo va acumulando con la edad.

Los análisis practicados en poblaciones diversas han inducido a plantearse la procedencia del Cadmio y cuál es su significado presente y futuro en las comunidades vivientes, la humana en particular.

Así se ha revelado que la concentración más alta se encuentra en japoneses y la más baja en nativos de África, existiendo valores intermedios para la población de Estados Unidos y Europa Central. No hay información sobre niveles detectados en América Latina.

Para pesquisar el Cadmio se han realizado largas series de experimentos que han conducido a establecer las concentraciones en alimentos.

bebidas y artículos metálicos procedentes de industrias metalúrgicas; en este último caso se ha encontrado este elemento en numerosos artefactos: útiles de cocina, lubricantes de automóviles, reactivos fotográficos, depósitos de baterías, pigmentos coloreados usados en la industria del vidrio, etc.

Además es importante indicar su presencia en plásticos, gomas negras (neumáticos) que lentamente contaminan el entorno viviente.

El análisis de alimentos y bebidas se ha realizado en Estados Unidos y la muestra bien puede no representar la realidad de otras latitudes; pero no cabe duda de que sus valores son de significado sugerente.

Se encontraron sólo indicios en algunos condimentos y bebidas, con la excepción hecha de leches evaporadas y bebidas de cola. Moluscos y crustáceos contienen altas concentraciones y también se han detectado concentraciones apreciables en todos los granos y sus productos derivados. En frutas y vegetales en general las concentraciones fueron bajas o inapreciables, pero debe señalarse que este elemento tiene tendencia a acumularse en plantas con bulbos y chacarrería en general.

Valga destacar las elevadas concentraciones detectadas en cigarrillos.

El agua en general revela cantidades inapreciables y sólo en aguas que han estado muchas horas en contacto con cañerías galvanizadas.

La presencia en animales (productos cárneos por consiguiente) puede deberse a la circulación de este elemento proveniente de vegetales de consumo. En estos casos es notoria la mayor concentración relativa de Cadmio que se detecta en riñones, en donde se acepta que se acumula de preferencia.

Como se ha indicado, las investigaciones referidas a la alta concentración de Cadmio en las poblaciones orientales y japonesas en particular, revelan valores más elevados que los encontrados en poblaciones europeas y africanas. De los estudios efectuados parece desprenderse que el elevado consumo de productos marinos sería el causante, toda vez que parece ser que flora y fauna bentónica en especial, tienen tendencia a concentrar este elemento al retenerlo en sus órganos.

Los alimentos procesados revelan comparativamente un mayor valor en Cadmio que los alimentos naturales, obviamente la contaminación se produce en el procesamiento. En los productos vegetales las concentraciones encontradas provienen del subsuelo y especialmente ricos en él suelen ser terrenos de humus boscosos. No está claro si este elemento es esencial en los vegetales alimenticios y la duda proviene de que se encuentra en una gran variedad de ellos provenientes de zonas geográficas di-

versas en su ubicación, origen y composición de terrenos en donde fueron cultivados.

En la actualidad no se dispone de datos claros sobre su dispersión, pero el hombre, con sus cultivos dirigidos, ha sido el factor de dispersión y de contaminación de mayor significancia.

Entre los fertilizantes de amplio uso se encuentran los fosfatos comerciales. De acuerdo con Schroeder y Balassa (1960), los depósitos de fosfatos tienen un origen plio-pleistocénico y contienen sorprendentemente altas concentraciones de Cadmio, tanto como Zinc y Berilio. Estos fosfatos fosilíferos están formados de pequeños dientes de peces, en suma de fosforita marina. Las fuentes de fosfato en el mundo son pocas y bien señaladas, de aquí se desprende como muy viable el origen de Cadmio en los circuitos superiores: vía fertilizantes fosfatados a suelos de cultivo, flora y fauna superior.

Sin embargo, su amplia presencia en órganos de animales de caza mayor, pájaros, conejos, etc., nos invita a pensar que su origen exacto es variado y no hay un estándar al respecto; pero en estos casos proviene del follaje verde y de granos.

Junto al Cadmio existe una serie de elementos metálicos que, encontrándose en el entorno biológico, pueden entrar a estructuras vivientes y adquirir la calidad de contaminantes. Ellos son los calificados como no esenciales y destacan el Plomo, Estaño, Bario, Titanio, Níquel, entre otros.

La presencia de ellos sin función biológica conocida y sí con activo potencial tóxico, obliga a emprender el estudio sobre el origen de sus fuentes, los circuitos abióticos que los aproximan a lo viviente, y en fin, sopesar si la utilidad que prestan es mayor que la injuria biológica que provocan.

El hombre que habita toda la superficie del planeta se ve afectado por las vías del Cadmio y se encuentra en sus órganos (hígado, riñón, de preferencia) proveniente también de fuentes variadas: alimentos marinos y granos, por considerar sólo algunos de los medios relativamente inocuos; pero no debe descartarse la importante concentración que se encuentra en cigarrillos y en los alrededores de comunidades humanas vecinas a industrias de alto poder de contaminación cadmiógena.

La presencia de Cadmio en el hombre conduce a variadas alteraciones bioquímicas especialmente de tipo inhibitorio sobre muchos procesos biológicos, como umbral a los efectos tóxicos netos. Así se han informado sus acciones inhibitorias sobre procesos de fosforilación oxidativa, su activa competición por los sistemas coenzimáticos que llevan Zinc, acciones hiperglicemiantes, inhibición de ureasa y decarboxi-

lasa renal, etc. La acción necrótica, altamente específica sobre células testiculares, lo hace más que un hecho interesante, significativo, ante sus relaciones con el Zinc, pues es aquí en donde compite con este elemento, que sí es esencial, para formar parte de sistemas coenzimáticos que intervienen en el proceso de génesis espermática.

ASPECTOS CLINICOS DEL CADMIO

Las acciones bioquímicas y toxicológicas ya señaladas para el Cadmio inducen a considerar alteraciones que puede provocar sobre circuitos esenciales.

Como ya se ha informado, es consenso que el Cadmio se acumula en el riñón humano de preferencia; su eliminación es muy lenta, lo que lo hace llegar a niveles tóxicos con facilidad. Hay datos que sugieren que las concentraciones renales son anormalmente altas en los hipertensos; sin embargo, lo más demostrativo que relaciona el Cadmio con la hipertensión proviene de estudios en animales.

Profundizando en los efectos tóxicos, se puede sostener que la exposición aguda por ingestión puede causar gastroenteritis intensa, pero temporal, y por inhalación puede ser causa de edema pulmonar grave, a veces mortal. La inhalación prolongada puede originar disfunción renal, sin embargo, el proceso raramente deriva hacia la insuficiencia renal.

Las exposiciones industriales de preferencia, a grandes concentraciones de Cadmio, conducen a los efectos anteriormente indicados. Sin embargo, los valores bajos del Cadmio en el agua, alimentos y aire, a los cuales todos estamos expuestos continuamente, no tienen efectos manifiestos. En atmósferas de alta contaminación detectadas en las poblaciones medias de Estados Unidos, un ser humano acumula desde la infancia a su vida adulta aproximadamente 30 miligramos de Cadmio en su cuerpo, con la tasa más alta a nivel renal (10 miligramos). Iguales valores y distribución se han detectado en Alemania. En la población japonesa este valor se eleva al doble. Sin embargo, parece de suma importancia dejar establecido que el WHO (World Health Organization) declara que se acepta como tolerancia una ingestión diaria de 57 a 71 microgramos por día. La población alemana ingiere de 30 a 60 microgramos diarios.

Además de los aspectos tóxicos clínicos de este elemento, sus estudios revisten una extraordinaria importancia en la actualidad, pues las investigaciones se han desplazado hacia sus potencialidades cancerígenas, teratógenas y/o mutágenas.

Experiencias variadas confirman estos hechos. Así por ejemplo, experimentalmente se han determinado sus efectos teratógenos en ra-

tas, demostrándose malformaciones en los fetos en proporción directa a las concentraciones de Cadmio empleadas. Pese a que no se ha señalado teratogenicidad en la especie humana, no deben descartarse las secundaciones abortivas en las zonas de alta contaminación.

Experimentalmente también se han detectado sus potencialidades cancerígenas. A nivel humano se ha señalado un aumento de cáncer prostático en trabajadores expuestos a óxido de Cadmio, como también su participación en cáncer pulmonar. Se sostiene además que el Cadmio podría ser el más potente cancerígeno metálico conocido.

Trabajos realizados hace más de una década en ratas (Gunn, 1965), demostraron que la estructura celular de las células intersticiales tumorales testiculares inducidas por inyecciones de Cadmio, no eran morfológicamente diferentes de aquellas que resultan por bloqueo vascular. Demostró Gunn que el Cadmio era un agente cancerígeno ya sea induciendo sarcomas pleomórficos en el sitio de la inyección o también por desarrollo de células tumorales intersticiales en el testículo.

El desarrollo de los dos tipos de tumores es inhibido por inyecciones de Acetato de Zinc, su competitividad con el Zinc en la participación de sistemas coenzimáticos ha permitido efectuar protecciones significativas al aumentar las concentraciones de Zinc circulante.

También se han determinado aberraciones cromosómicas en cultivos de leucocitos humanos, lo que lo coloca como un potencial mutágeno. Este tipo de alteraciones cromosómicas se ha manifestado también en pacientes con Itai-Itai.

Las aberraciones de estas acciones clastógenas se han puesto en duda cuando se trabaja *in vivo*, es decir, no hay evidencias de que en forma significativa indique que las sales de Cadmio provoquen *in vivo* daño cromosómico. Debe estimarse, sí, esta situación como una acción todavía no totalmente aclarada, pues los resultados suministrados por otros investigadores así lo indican.

En cuanto a sus efectos genético-moleculares, puede informarse que las sales de Cadmio en situaciones experimentales, tanto en cultivo de células humanas como en embriones de ratas, provocan degradación del ácido desoxirribonucleico (ADN), todo lo que lleva a suponer que sus potencialidades mutágenas no son despreciables.

No cabe duda que a la luz de los conocimientos que van aportando las investigaciones de poluentes en la biosfera, los elementos metálicos no son inestimables en su acción y debieran ser preocupación preferente en muchas áreas de elevada industrialización en donde ellos participan.

El caso que nos ocupa, Cadmio, se ha revelado en la biosfera como esporádico e impredecible, más concentrado en ciertas áreas del mundo

por distribución natural; pero en otras, su presencia es producto claro de la contaminación y de los cultivos dirigidos que utilizan fertilizantes fosfatados y que a partir de ellos le permite recorrer todo el ciclo biótico.

Por otra parte, la alimentación poco variada y con fuerte incidencia de productos marinos hace a los pueblos orientales presentar niveles muy elevados en su población que, bien sabemos, representa una fracción sumamente importante de la población mundial.

REFERENCIAS

- FLICK, D.F.; KRAYBILL, H.F. and DIMITROFF, T.M. 1971. *Toxic Effects of Cadmium. A Review*. Environmental Research. 4:71-85.
- GILLIAVOD, N. and LEONARD, A. 1975. *Mutagenicity Test with Cadmium in the Mouse*. Toxicology. 5:43-47.
- GUNN, S.A.; CLARK, T. and ANDERSON, W.A.D. 1967. *Specific response of mesenchymal tissue to cancerogenesis by Cadmium*. Arch. Path. 83:493-499.
- HEATH, J.C.; DANIEL, M.R.; DINGLE, J.T. and WEBB, M. 1962. *Cadmium like cancerogens*. Nature. 193:592-595.
- PARIZEK, J. 1960. *Sterilization of the male by Cadmium salts*. J. Reprod. Fertil. 1:294-309.
- PRODAN, L. 1932. *The history of Cadmium poisoning and uses of Cadmium*. The Journal of Industrial Hygiene. 14. Nº 4: 132-155.
- SHIMADA, T.; WATANABE, T. and ENDO, A. 1976. *Potencial mutagenicity of Cadmium in mammalian oocytes*. Mutation Research. 40:389-396.
- SHIRAIKI, Y. and YOSHIDA, T.H. 1971. *Induction of Chromosome aberrations in human leucocytes growing in vitro by treatment with Cadmium sulfide*. Ann. Rep. Nat. Inst. Genetic. 22:44-45.
- SCHROEDER, H.A. and BALASSA, J.J. 1961. *Abnormal Trace metal in Man: Cadmium*. J. Chron. Dis. 14, Nº 2:236-258.
- THE-HUNG BUI; LINDSTEN, J. and NORDBERG, G.F. 1975. *Chromosome Analysis of lymphocytes from Cadmium workers an Itai-Itai patients*. Environmental Research. 9: 187-195.
- TSUCHIYA, K. 1969. *Causation of Ouch-Ouch disease (Itai-Itai Byo). An introductory Review*. Keio, J. Med. 18:181-194.
- ZASUKHINA, S.D.; SINELSKHOVA, T.A.; LVOVA, G.N. and KIRKOVA, Z.S. 1977. *Molecular-Genetic effects of Cadmium Chloride*. Mutation Research. 45:169-179.