



La dosis es el veneno

The dose is the poison

José Antonio Chamizo¹

Resumen

La dosis es el veneno es una frase que se atribuye al famoso alquimista Paracelso y uno de los pocos conocimientos que hoy reconocemos como válidos provenientes de aquella época. Se presenta una breve biografía de dicho personaje además de una también breve historia de los venenos ubicándolos en el contexto actual y resaltando su importancia en la educación química.

Palabras clave

Veneno, dosis, tóxica, dosis letal media, agnotología.

Abstract

The dose is the poison is a phrase that is attributed to the famous alchemist Paracelsus and one of the few knowledge that we recognize today as valid from that time. A brief biography of said character is presented, as well as a brief history of poisons, placing them in the current context and highlighting their importance in chemical education.

Keywords

Poison, dose, toxic, median lethal dose, agnotology.

¹ Facultad de Química-Instituto de Investigaciones Filosóficas, UNAM.

Introducción

*¿Cuál era el arma secreta de las mujeres débiles, de los hombres más poderosos,
enemigos eternos y amigos íntimos?
¿Cuál fue la forma más eficaz en la resolución de conflictos?
La respuesta es simple: el veneno.
E. Napovinova y K. Luca (2019, 93)*

La persona que escribió la famosa frase que titula el presente artículo, atribuida equivocadamente al médico y alquimista renacentista Paracelso, no se conoce. Seguramente fue uno de sus discípulos o admiradores, autor anónimo de la traducción al latín del texto de Paracelso *Septem Defensiones* escrito originalmente en 1564, en una variante del alemán (Deichmann 1986). En su erudito artículo Deichmann indica que la frase atribuible a Paracelso es:

*¿Qué hay que no sea veneno? todas las cosas son veneno y nada (es) sin veneno.
Únicamente la dosis determina que una cosa no es un veneno.*

Sirva esta precisión histórica para introducir a los venenos y su papel en la educación química en un momento en el que en México, por ejemplo, hay una intensa campaña publicitaria asociando directamente las sustancias químicas con los venenos. Es una simplificación que ofende, no sólo a las comunidades químicas y médicas, sino también a todos aquellos que han estudiado durante años lo contrario en los libros de texto de química para la secundaria, es decir millones de jóvenes mexicanos. El punto de partida es que los promotores no entienden qué es un veneno (Cuadro 1). El premio Nobel de Química en 1981, R. Hoffmann, simplemente indica que *no hay sustancias buenas o malas...*, y que los gobiernos pueden prohibir a las personas que fabriquen ciertas sustancias (Hoffmann 2015). Lamentablemente las diversas autoridades de muchos países han fallado, como lo indican Lilia Albert y Marisa Jacott en su libro *México Tóxico* (2015):

...en México se habla poco de las emergencias químicas y los graves daños que las comunidades cercanas resienten de inmediato y los que sufren a mediano y largo plazo, una vez que dejan de aparecer en las noticias y, hasta el momento, los cambios para prevenir estos casos son mínimos en el país. Sin embargo, los datos disponibles muestran que aquí han ocurrido nueve (más del 15%) de las 55 emergencias químicas más graves registradas en el mundo entre 1975 y 1993, entre las que figuran las de Seveso y Bhopal.

Con esos datos se puede calcular que el ritmo actual de estas emergencias en nuestro país es de más de 600 emergencias asociadas con materiales peligrosos por año y que, al menos cada 12 meses, ocurre una importante. Sin embargo, con una frecuencia considerablemente mayor, ocurren varias de nivel intermedio y muchas más de menor gravedad, ya sea en instalaciones industriales o durante el transporte de sustancias, emergencias que, en general no llegan a los medios de comunicación ni a las estadísticas, por lo cual no contribuyen a que las autoridades mejoren la atención que prestan a este problema (p. 13).

La culpa de que esto suceda suele cargarse a la naturaleza, o a accidentes que el hombre no podía evitar. Pero está probado que en muy buena parte se debe a errores humanos, a falta de planeación y medidas adecuadas para proteger a la gente, la obra pública y las actividades económicas. Además, suele haber corrupción y favoritismo político al aprobar nuevos asentamientos donde no se debe o conceder licencias para el funcionamiento de una empresa que maneja, por ejemplo, sustancias peligrosas. A ello se suma la falta de vigilancia de las autoridades de salud, medio ambiente y trabajo en donde laboran personas expuestas a sustancias o procesos que afectan la salud y los recursos naturales (p. 8).

La diferencia entre veneno y toxina proviene de su origen. Las toxinas son producidas a través del metabolismo de seres vivos, mientras que muchos venenos son creación exclusivamente humana. Las toxinas son venenosas, pero no todos los venenos son, en este sentido, tóxicos. A pesar de su diferente origen, en muchas ocasiones se emplean ambos términos como sinónimos.

Comprended ahora que en cada cosa que el hombre toma para su sustento se encuentra constantemente el veneno escondido bajo la buena sustancia. La sustancia es, pues, el alimento que da vida, en tanto que el veneno la destruye y arrasa por medio de las enfermedades, siendo de ver que ambos principios se encuentran universalmente en todos los alimentos y en todos los animales sin excepción alguna (Paracelso 2000, 78).

Sustancia que puede dañar gravemente o matar a un ser vivo; puede ser natural, como las que contienen ciertas plantas, hongos o animales, o artificial, como las que se producen para diversos usos industriales, químicos, medicinales o militares: un veneno mortal, veneno de víbora (Lara 2010).

Cualquier sustancia ingerida o formada en el cuerpo que destruye la vida o perjudica la salud (Chambers 1988).

Un veneno se define legalmente (en Estados Unidos) como una sustancia que es letal en una dosis de 50 mg por kg de peso corporal o menos (Ottoboni 1997).

Este universo de referencias culturales ha construido un imaginario del veneno como sustancia capaz de actuar en pequeñas dosis, con efectos dramáticos y fulminantes, administrado en brebajes y pócimas, generalmente por manos femeninas (Bertomeu 2021, 12).

CUADRO 1. Diversas definiciones de veneno.

Cronología de los venenos

Los miembros de la familia Borgia, especialmente César y Lucrecia, fueron envenenadores activos en la Roma medieval y el papado fue probablemente un importante beneficiario financiero. Una pariente, Catalina de Medici, ejerció como envenenadora en Francia y fue probablemente una de las primeras toxicólogas experimentales. Con la intención de participar en obras de caridad, experimentó con sus venenos en los pobres y los enfermos. Pudo registrar cuidadosamente observaciones importantes como la rapidez con que el veneno hizo efecto, qué partes del cuerpo se vieron afectadas, los síntomas en relación con la potencia de la preparación del agente tóxico.
J. Timbrell (2005, 3)

La Tabla 1 presenta un apretado resumen de los venenos y las toxinas que se emplearon personalmente, y aquellos que como sustancias químicas comerciales dieron cuenta de miles de personas afectadas.

Año	Acontecimiento
3000 a.e.c.	Farmacopeas egipcias indican las propiedades venenosas del opio, el trióxido de arsénico y diferentes alcaloides.
1400 a.e.c.	Tablillas mesopotámicas en las que se asocian venenos con “Gula”, espíritu o “la dueña de los encantos y hechizos”.
399 a.e.c.	Sócrates muere por envenenamiento con cicuta, aceptando la decisión de un tribunal ateniense de corromper a la juventud Figura 1.
350-283 a.e.c.	En la India, Kautilya, primer ministro del emperador Chandragupta, propone el empleo de probadores de comida para detectar alimentos envenenados.
c. 300 a.e.c.	El alquimista egipcio Agatodaimo habló de un mineral que cuando se mezclaba con natrón (carbonato de sodio) producía un ‘veneno ardiente’, cuya composición se supone que fue trióxido de arsénico. Mediante la destilación se separan diferentes componentes de los huesos de duraznos identificándoseles como venenos (hoy glucósidos con el radical ciano).
114-163 a.e.c.	El rey Mitridates VI de Pontos inicia una búsqueda sistemática de los antídotos contra los venenos conocidos en la época.
23-79 a.e.c.	Plinio el Viejo describe más de 50 venenos diferentes.
37-68 e.c.	Distintas fuentes indican que el emperador romano Nerón utilizó diferentes cianuros para matar a sus familiares.
632 e.c.	Muerte de Mahoma e inicio de la expansión del Islam acompañado de la prohibición expresa de consumir alcohol, seguramente la primera sustancia que en dosis específicas se convirtió en el primer veneno religiosamente vetado.
1138-1240 e.c.	Maimónides, médico sefardí nacido en Cordoba, escribe su <i>Tratado de Venenos y sus Antídotos</i> en donde identifica la ventaja de ingerir aceite para reducir la absorción de los venenos en el estómago y el uso de torniquetes para reducir el efecto de las toxinas inoculadas a través de mordeduras o picaduras.
1493-1541 e.c.	Vida, obra y muerte de Paracelso. Alquimista y primer toxicólogo.
1709 e.c.	Muere quemada Giulia Thopana, acusada de envenenar a 600 personas en Palermo y Napoles utilizando el “Agua de Thopana”, disolución de composición desconocida supuestamente conteniendo trióxido de arsénico, que vendía en pequeñas botellas. Diversas fuentes acreditan su uso en la muerte de Mozart.
1821 e.c.	Napoleón Bonaparte muere envenenado. Hay diversos relatos sobre el veneno causante de ello: arsénico, ácido cianhídrico, antimonio, cianuro de mercurio o una mezcla de todos ellos.

TABLA 1. Cronología de los venenos.

1895 e.c.	Se detecta en Frankfurt el llamado “cáncer de la anilina” uno de los primeros carcinomas diagnosticado con certeza derivado de la exposición de sustancias venenosas en los obreros de la industria química de colorantes.
1906 e.c.	Se constituye en Estados Unidos la <i>Food and Drug Administration</i> (FDA) encargada originalmente de verificar la pureza de alimentos y medicamentos consumidos en ese país.
1914-1918 e.c.	Durante la Primera Guerra Mundial los contendientes utilizaron diversos gases en los frentes de batalla. Las muertes debidas directamente a su contacto fueron relativamente pocas, cercanas a 85 000 soldados, que generaron un enorme miedo entre las tropas. En 1925 se acordó no utilizar gases venenosos en futuras conflagraciones.
1942-1945 e.c.	El ejército nazi empleó el Zylon B, pesticida que liberaba HCN patentado por la compañía alemana Degesch, en las cámaras de gases de sus campos de concentración donde murieron millones de prisioneros Figura 2. Años antes una versión previa de este pesticida fue usada por las autoridades norteamericanas para fumigar la ropa de las personas que cruzaban la frontera con México.
1956 e.c.	En la ciudad pesquera de Minamata se identifica un envenenamiento masivo por la ingesta de pescado y marisco contaminado por metilmercurio vertido al mar por la empresa petroquímica Chisso. En 2001 se habían reconocido cerca de 3 000 personas afectadas
1957-1963 e.c.	En este periodo se comercializó la talidomida, que, como mezcla de dos enantiómeros, fue un fármaco utilizado como sedante y antiemético que causó miles de malformaciones congénitas. En la actualidad de forma pura se ha vuelto a utilizar para tratar la lepra.
1962 e.c.	Rachel Carson publica su importantísimo libro <i>Primavera Silenciosa</i> donde informó de los peligros del uso indiscriminado del DDT, particularmente en las cadenas tróficas. Años antes Paul H. Müller había obtenido el Premio Nobel de Fisiología por utilizar el DDT para controlar la malaria, el tifus, la fiebre amarilla y otras enfermedades transmitidas por mosquitos Figura 3. Como resultado de la publicación del libro de Carson se prohibió el uso del DDT en 1972, pero tras años de intensas discusiones entre diferentes grupos de científicos y las compañías químicas interesadas en su producción, la OMS levantó el veto para utilizarlo en espacios cerrados contra la transmisión de la malaria. Recientemente se ha documentado que la presencia del DDT persistió durante al menos tres generaciones y afectó incluso a las nietas de mujeres expuestas a dicha sustancia en la década de 1960 incrementando su probabilidad de desarrollar diversos tipos de cáncer.
1963 e.c.	La compañía estadounidense Du Point empezó a producir miles de litros de tetraetilo de plomo. Su uso en la gasolina para mejorar su combustión lo volvió prácticamente indispensable en todo el mundo. Sin embargo, se prohibió su empleo en 1996 debido a los inequívocos daños que su inhalación producía en el sistema nervioso de las personas afectadas.

1976 e.c.	<p>En la pequeña ciudad italiana de Seveso el incendio de una fábrica dispersó dioxinas sobre cerca de 2 000 hectáreas afectando a más de 40 000 personas. Además de diversas afectaciones en humanos, se sacrificaron 80 000 animales para evitar que entraran en la cadena alimentaria.</p> <p>En Estados Unidos se aprueba la <i>Toxic Substances Control Act</i> (TSCA) dependiente de la Environmental Protection Agency para regular la incorporación al medio ambiente de nuevas sustancias. La intención de los legisladores quedó rebasada por las circunstancias comerciales y económicas.</p>
1978 e.c.	<p>En Guyana cerca de 900 integrantes de la secta norteamericana Templo del Pueblo se suicidaron con cianuro de potasio.</p> <p>En Londres fue asesinado el disidente búlgaro G. Markov con un pinchazo de paraguas que contenía ricino.</p>
1984 e.c.	<p>La fuga de isocianato de metilo de una fábrica de Union Carbide en la zona hindú de Bhopal produjo más de medio millón de personas afectadas, de las cuales más de 10 000 murieron.</p> <p>En San Juan Ixhuatepec, México (San Juanico) una serie de explosiones en una planta de almacenamiento y distribución de gas licuado causó la muerte de cerca de 600 personas y más de 2 000 lesionadas.</p>
1987 e.c.	<p>Firma del Protocolo de Montreal por la totalidad de los integrantes de la ONU para limitar la producción de fluorocarbonos que destruyen la capa de ozono, tal como descubrieron M. Molina y S. Rowland años antes.</p>
1994 e.c.	<p>El ataque con gas sarín perpetrado por una secta en el metro de Tokio dejó siete muertos y cientos de heridos.</p> <p>Se firmó el Protocolo de Oslo en el que los signatarios aceptaron reducir la producción de óxidos de azufre, origen de la contaminación transfronteriza a largas distancias, es decir la lluvia ácida.</p>
2006 e.c.	<p>Muere por exposición deliberada al isótopo radiactivo Po 210 el disidente ruso A. Litvinenko.</p> <p>La muerte años antes del líder palestino Y. Arafat fue atribuida al mismo tipo de envenenamiento.</p>
2007 e.c.	<p>La Unión Europea promulgó la REACH (Registration, Evaluation and Authorization of Chemicals), una ley semejante a la estadounidense que incluyó en su programa inicial 30 000 sustancias que pueden utilizarse y comercializarse libremente en su mercado interior.</p>
2014 e.c.	<p>Derrame de la mina <i>Buenavista del Cobre</i>, del Grupo México, en Sonora. Los 40 millones de litros derramados sobre ríos que alimentaban una presa contenían diferentes cantidades de minerales y afectaron directamente a más de 24 000 personas.</p>

FIGURA 1. La muerte de Sócrates. Óleo de Jacques-Louis David de 1787. Fuente: [Wikimedia](#).



FIGURA 2. Recipientes de Zyklon B provenientes de un campo de concentración nazi. Fuente: [Wikimedia](#).



FIGURA 3. Desinfección de camas con DDT en Senegal, en 1973. Fuente: [Wikimedia](#).



Paracelso

Fue una poderosa tempestad que separaba violentamente o reunía en un torbellino todo lo que de algún modo puede ser removido. Como una irrupción volcánica perturbó y destruyó, pero también dio vida y frutos. No se le puede hacer justicia; sólo se puede menospreciarlo o sobrevalorarlo, y por eso los propios esfuerzos para captar por lo menos suficientemente una parte de su ser, resultan siempre insatisfactorios... Todo está en él en escala máxima, y se puede decir con razón que en él todo está exorbitado.
C.G. Jung (1987, 11)

Philippus Theophrastus Aureolus Bombastus von Hohenheim (1493-1541) es el nombre que hay detrás del personaje Paracelso (Figura 4), tal vez el último y más famoso alquimista. Nació en Zurich y murió, 48 años después, en Salzburgo. Desde muy pequeño trabajó en minas y fundiciones donde aprendió de primera mano las prácticas tanto de la metalurgia como de la alquimia, aunque decantó sus preferencias profesionales, si así pueden llamarse en aquella época, por la medicina obteniendo su grado en Ferrara, en 1515. Dejó un importante testimonio escrito de su vida en donde indicó su incansable búsqueda por entender las enfermedades y sus remedios. Trabajó como médico militar, viajó por buena parte de Europa y el medio Oriente en medio de las múltiples guerras que entonces asolaban esas tierras. Dicha praxis le permitió desarrollar una aproximación personal a la medicina, distinta a la que se enseñaba en las universidades europeas, dando prioridad a la cirugía y al uso de nuevos medicamentos basados sobre todo en sustancias de origen mineral marginando la tradicional herbolaria. Es lo que se conoce en la prehistoria de la química como iatroquímica.



FIGURA 4. Paracelso.
Fuente: Wikimedia.

La iatroquímica se sostiene en principios alquímicos y astrológicos, es esotérica, experimental y utilitaria lo que permitió a sus practicantes experimentar, a partir de la ingesta de diversas sustancias químicas, nuevos caminos de curación. Por ejemplo, Paracelso preparó opio disuelto en alcohol, disolución que se conoció como láudano y que usó como analgésico para aliviar el dolor. Fue autor de la primera monografía sobre enfermedades profesionales, publicada poco después de su muerte, donde describió en detalle los efectos del envenenamiento crónico por mercurio. También ideó un uso del mercurio para tratar la sífilis, que se utilizó durante más de 300 años. En los comentarios sobre uno de los textos de Paracelso se indica:

presenta también aspectos muy positivos tales como la generalización del uso de los metales y sus compuestos en la terapéutica médica; el intento de establecer una metodología de clasificación de sustancias en grupos atendiendo a su comportamiento químico; el énfasis en la purificación de las sustancias, precursor de los conceptos de pureza química y separación de impurezas; la búsqueda y aislamiento de principios activos, precursora del desarrollo de la química orgánica de productos naturales, adecuados para la preparación de arcanos específicos (otro éxito conceptual fundamental de Paracelso, con independencia de su concepto místico- material sobre los mismos, etc.

Otro aspecto positivo del enfoque alquímico paracélsico reside en el énfasis sistemático sobre las operaciones de laboratorio, especialmente en relación con las técnicas de destilación y regímenes de calentamiento, según el tipo de material a destilar (hierbas, flores, semillas, hojas, frutas, raíces, ramas, madera, etc.) utilizando baños de aire, de cenizas, de arena, de agua, fuego directo, etc., según los casos.

... [...]...En cuanto a las drogas y sustancias químicas utilizadas por Paracelso ... [...]...se concluye, entre otras, su especial preferencia por las siguientes: láudano (opio), vitriolos diversos y ácido sulfúrico, sal de tártaro, sales metálicas de Au, Fe, Sb, Hg, Bi, As y Ag con fines bactericidas, óxido mercurio (antisifilítico), sales férricas (medicamento simpático contra la anemia), sulfato potásico (purgante), lechada de azufre, alumbres, etc.

Desde el punto de vista farmacológico conceptual, uno de los grandes logros paracélsicos lo constituye la implantación de los remedios específicos, en contraposición con los polifárrnacos y triacas tradicionales medievales, así como la introducción del concepto de dosis, que es lo que diferencia un veneno de un remedio (Pérez 1995, 193-194).

Su feroz enfrentamiento con la comunidad médica, ejemplificado por la quema pública de los libros de Galeno y Avicena, le permitió únicamente un año de estabilidad académica en Basilea entre 1527 y 1528. Entre sus seguidores se cuentan al menos dos importantes practicantes de la química, Andreas Libavius (1555-1616) autor del primer libro sistemático de química, *Alchemia*, en el que reconoció la importancia del trabajo en el laboratorio y en su enseñanza, y Johann Baptist van Helmont (1580-1644) quien acuñó el término gas y denominó "álcalis" a las lejías. Ambos sustituyeron los aspectos metafísicos de la iatroquímica por el mecanicismo de las partículas, que dará lugar al atomismo daltiano, característico de la química.

Dosis

El caso del plaguicida dibromocloropropano (DBCP) ofrece otro ejemplo de los cambiantes círculos del veneno que conectan países ricos y pobres. Se trata de un producto introducido en los años cincuenta del siglo XX para ser empleado masivamente contra parásitos en campos de plátanos centroamericanos. Su toxicidad, particularmente sobre el sistema reproductor, fue pronto conocida mediante investigaciones con animales, pero se autorizó tras el establecimiento de ciertos valores límites en residuos de alimentos. El cálculo de valores permitió, paradójicamente, su expansión en cultivos plataneros centroamericanos porque las empresas productoras estadounidenses adquirieron la convicción de que, siempre que

respetaran los límites, podían hacer amplio uso del plaguicida, sin preocuparse demasiado de los indicios crecientes acerca del daño causado en el sistema reproductor de trabajadores agrícolas y comunidades rurales. De ese modo, aunque se prohibió su uso en Estados Unidos y en otros países del primer mundo, las industrias químicas estadounidenses pudieron obtener pingües beneficios por su venta como plaguicida para los campos de plátanos centroamericanos. Cuando se constataron problemas de infertilidad entre personal de fábricas de Estados Unidos, algunas industrias se trasladaron al norte de México en busca de regulaciones menos restrictivas. Sus directivos aseguraron que los problemas sufridos por sus obreros no debían alarmar en ningún caso a los trabajadores del campo que empleaban el plaguicida. Finalmente, en 1986, bajo una abrumadora cantidad de datos, las autoridades sanitarias norteamericanas prohibieron la venta de alimentos con residuos de DBCP. La medida, pensada para proteger al consumidor norteamericano, hizo que cesaran las fumigaciones con este producto en Centroamérica.
J. R. Bertomeu (2021, 118)

Aunque no enunciada de esta manera la relación entre la dosis de una determinada sustancia y el efecto que causa en una población de seres vivos se conoce desde hace miles de años. Ya el Islam, ante las dudas en lo que respecta a la cantidad, prohibió el consumo del alcohol entre sus seguidores (Jay 2012), a pesar de que fue en los territorios en que se practicaban dichas creencias donde se desarrollaron los alambiques y descubrieron las bebidas destiladas.

La relación entre la dosis de una determinada sustancia y su efecto se muestra en la Figura 5.

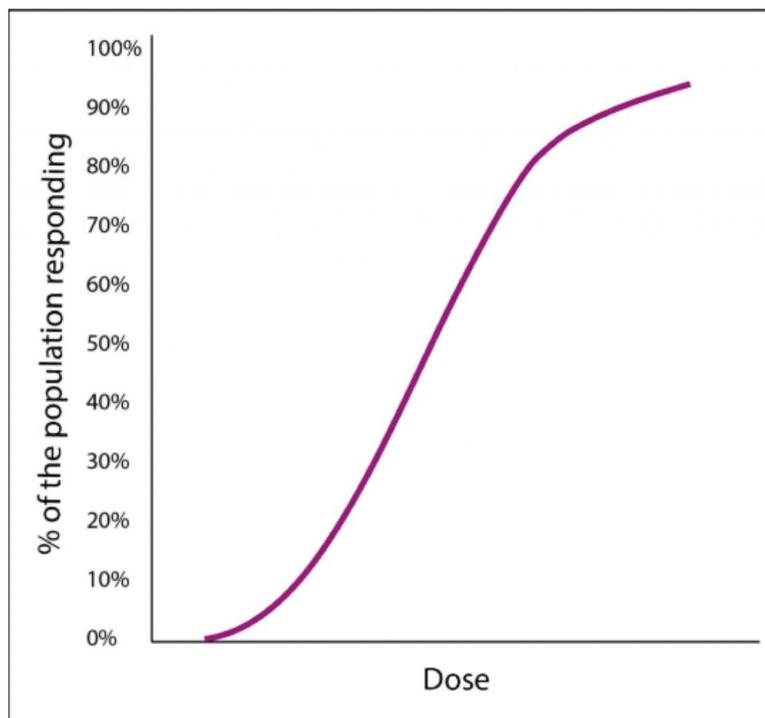


FIGURA 5. Relación entre la dosis y el veneno. La sustancia ingerida puede ser alcohol etílico y el efecto identificado puede ser la capacidad de caminar. A partir de un número determinado de vasos de alcohol ingerido se incrementa su efecto. Hay que hacer notar que cada persona individualmente puede tener una respuesta diferente.

Para conocer con exactitud la capacidad venenosa de una sustancia es necesario matar. Una manera generalizada de averiguarlo es lo que se conoce como Dosis Letal Media (LD_{50} por sus siglas en inglés). El LD_{50} indica la masa de una sustancia que mata a la mitad de las ratas (u otro animal en condiciones de laboratorio) a las que se les ha dado a probar, una semana después de que la ingirieron. Sus unidades son mg de producto por kg de rata, es decir, mg/kg.

En la Tabla 2 se indica la LD_{50} para varias sustancias, donde se puede ver que cuanto menor es el valor de LD_{50} , más tóxica es una sustancia, ya que se necesita menor cantidad de ella para producir la muerte.

Sustancia	LD_{50}	animal/via
Agua	90 000 mg/kg	rata/oral
Sacarosa	29 700 mg/kg	rata/oral
Etanol	7090 mg/kg	rata/oral
Cloruro de sodio	3750 mg/kg	rata/oral
Aspirina	200 mg/kg	rata/oral
Cafeína	190 mg/kg	rata/oral
DDT	135 mg/kg	ratón/oral
Cocaína	96 mg/kg	ratón/oral
Metanfetamina	57 mg/kg	rata/intraperitoneal
Trióxido de arsénico	14 mg/kg	rata/oral
Cianuro de sodio	6.4 mg/kg	rata/oral
Nicotina	3.3 mg/kg	ratón/oral
Plutonio	320 μ g/kg	perro/intravenoso
Ricina	22 μ g/kg	rata/intraperitoneal
Abrina (del regaliz americano)	0.7 μ g/kg	ratón/intravenosa
Polonio-210	10 ng/kg	humano/inhalación
Toxina del tétanos	2 ng/kg	ratones
Toxina botulínica (bótox)	1 ng/kg	humano/oral, inyección o inhalación

TABLA 2. Dosis Letal Media (LD_{50}) para diferentes sustancias.

La información de la tabla nos indica, por ejemplo, que el cianuro de sodio es 31.4 veces más venenoso que la aspirina, ya que se necesitan 6.4 mg del primero y 200 mg

del segundo para matar el 50% de las ratas; y asimismo que una sustancia tan común y presente como el agua, también mata en la dosis indicada.

La sustancia más venenosa que se conoce, no es producto de la maquiavélica mente de una química o un químico, sino una toxina producida por una pequeña (como todas) bacteria, la *Clostridium botulinum*. Este organismo vive en latas de comida empacadas sin aire, es decir en condiciones anaerobias, cuando el alimento no ha sido correctamente esterilizado. La botulina, como se llama el veneno, es tan poderosa que un gramo puede matar a cientos de millones de personas. No todo lo natural es necesariamente bueno. La botulina causa parálisis muscular, por lo que su ingesta, en una cierta dosis, detiene los pulmones. El efecto de la botulina en el cuerpo hizo que desde 1983 se usara, en las dosis adecuadas, en enfermos de estrabismo y posteriormente en otras alteraciones que implican el descontrol muscular. Actualmente con el nombre comercial de Botox se utiliza como tratamiento estético para “eliminar” las arrugas faciales...Una vez más, la dosis es el veneno.

Una de las limitaciones del LD₅₀ es que no todas las especies animales reaccionan igual ante las sustancias químicas (naturales o artificiales). Otra tiene que ver con la forma de administrarlas. Por ejemplo, la LD₅₀ de la nicotina ingerida en forma oral es letal en 3.3 mg/kg, mientras que inyectada es menor. Otra tiene que ver con la consideración de administrar cada sustancia separadamente, asunto relacionado con la pureza de las sustancias o con su ingesta acompañada de otras sustancias diferentes.

Hay que agregar que muchas sustancias venenosas no matan directamente, sino que alteran la salud, lo cual se vuelve particularmente complejo de probar si dicho envenenamiento es resultado de mucho tiempo de exposición a la sustancia. Cuando esto sucede la persona afectada debe probar ante los tribunales la relación de causalidad, lo cual es particularmente costoso, largo y difícil (Llobat 2020). La carga de la prueba no es un asunto simple. *Bonaventura de Sousa Santos (2019) ha señalado que el monopolio exclusivo del saber por ciertas formas instituidas de conocimiento, más o menos conectadas con poderes políticos y económicos hegemónicos, ha conducido a auténticos “epistemicidios”, es decir, a la desaparición de formas de conocer cruciales para la justicia ambiental* (Bertomeu 2021, 39). A finales del siglo pasado, los poderosos fabricantes de cigarrillos utilizaron estrategias para establecer “dudas razonables” sobre la relación entre el tabaco y la aparición de cáncer de pulmón, tales como contratar personalidades públicas o financiar diversas instituciones. Estrategias comparables a las que D. Trump recurrió para negar el calentamiento global.

La agnotología se contrapone a la epistemología en tanto que la primera se refiere a investigar las formas de ignorar, mientras que la segunda a investigar las formas de conocer. La agnotología puede relacionarse con la postverdad en la medida que intencionadamente, y con el apoyo de figuras públicas y fuerte respaldo financiero se construye ignorancia. Ignorancia “oculta” sobre un determinado asunto¹. Asunto que aquí son los venenos, particularmente aquellos que afectan la salud de diversas poblaciones. Como la ignorancia es “oculta” produce parálisis. Todo lo contrario, a una ignorancia consciente que permite ser reparada (Gross 2015).

La agnotología está detrás de la subestimación de riesgos de los trabajadores, por ejemplo, de minas, empresas químicas o agrícolas, a cambio de un incremento de las ganancias de los empleadores. Como ya se indicó no sólo “la dosis hace el veneno”, sino que cantidades

¹ Para construir conocimiento en toxic.org se pueden encontrar millones de documentos clasificados sobre la industria química, muchos de ellos en dosis que los vuelven venenos.

pequeñas de diferentes sustancias no matan, pero alteran de manera importante la salud, y ése es el riesgo que se corre. La lista de disruptores endocrinos sigue creciendo y algunos como el bisfenol A, han sido prohibidos desde 2010 en biberones y juguetes infantiles. Asimismo, estamos sujetos a la ingesta y acción combinada de muchas sustancias "nuevas", en países con regulaciones estrictas y otros que no las tienen, o que las tienen y no las cumplen. En una medida no conocida con anterioridad por la humanidad, se dan un desplazamiento de la responsabilidad del consumo de sustancias, de las agencias gubernamentales a los ciudadanos. Lo anterior ha sido calificado como el "círculo del veneno" (Douglas 1994)² en un contexto de crecimiento desbocado de la población mundial (Pimentel, 1998, 2002), con la constitución de "zonas de sacrificio", es decir espacios geográficos "pobres" donde se concentran sustancias en cantidades que las vuelven venenosas (Martínez Alíer 2011), en el interior de un "mundo finito" (Amador 2010).

En nuestra época se asentó la comprensión de que el mundo vivo afronta un riesgo existencial derivado de la acción antrópica sobre el planeta. Análogamente, podría decirse que el afianzamiento de las sociedades abiertas está en entredicho en Iberoamérica, y que por la construcción de confianza institucional y social pasan algunas de sus soluciones (Giraldo- Ramirez 2021).

Efectivamente, una posible manera de enfrentar este desasosegado escenario consiste en fortalecer la confianza.

Conclusiones

Autoras como Soraya Boudia y Natalie Jas (2019) se han referido a tres modos de regulación: la regulación por la norma, por el riesgo y por adaptación. El primero implicaba la prohibición de uno u otro producto y el establecimiento de valores límite. El segundo comportaba estudios expertos sobre riesgo y exposición a productos o espacios tóxicos y una valoración costo/beneficio (un nuevo contrato social que aceptaba el riesgo). Y el tercero todavía iba más allá para asumir que vivimos en un mundo tóxico y que por tanto solo podemos aspirar a reducir nuestra exposición con estrategias determinadas que eviten el contacto con el tóxico considerado. X. Guillem-Llobat (2020, 16)

- Los tres modos de regulación de sustancias potencialmente venenosas no son excluyentes, pero reflejan la debilidad de las agencias reguladoras estatales ante los embates de los fabricantes, sostenidos en la obtención sistemática de ganancias económicas, acompañados de la simulación gubernamental. Se cumple lo que enuncia el personaje interpretado por Charles Chaplin en 1947: *Un asesinato te convierte en villano; millones en héroe. Los números santifican, mi querido amigo!* (Bertomeu 2021, 148).

² Para reconocer lo que sucede actualmente en México respecto a uno de los herbicidas consultar <https://alimentacion.conacyt.mx/glifosato>

- La dosis es el veneno manifiesta simple y directamente que no hay sustancias absolutamente peligrosas, ni otras absolutamente benignas. El maniqueísmo religioso oculto en acusar de "malas" a diversas sustancias químicas como el alcohol, y que ésta simple oración desmonta, es fundamental en la educación química. Hay que entender que lo importante no son las sustancias químicas *per se*, sino sus relaciones. Es decir, la reacción química simplificada de $A + B \rightarrow C + D$, además de las condiciones de equilibrio y la cinética involucrada, es un modelo de lo que sucede prácticamente siempre en el mundo real (Chamizo 2014) ya que difícilmente tendremos sustancias en un estado de pureza absoluta...y ese es el problema y también el reto.
- La agnotología remite también, como una forma de ignorancia, a la ciencia no hecha (*undone science*) (Hess 2016) aquella que se evidencia en contextos de desigualdad de poder. La dosis es el veneno apunta a lo mucho que hay por hacer en Iberoamérica sobre este tema.
- Ante la multitud de posibles reacciones capaces de llevarse a cabo, hay que tratar a las sustancias químicas con respeto y medir sus concentraciones en contextos complejos.

Referencias

- Albert L.A., Jacott M. (2015) *México Tóxico: emergencias químicas*, Siglo XXI, México.
- Amador, C. (2010) *El mundo finito. Desarrollo sustentable en el siglo de oro de la humanidad*, UNAM-Fondo de Cultura Económica, México.
- Bertomeu J.R. (2021) *Tóxicos: pasado y presente. Pensar históricamente un mundo tóxico*, Icaria, Ulzama.
- Boudia, S. Jas, N. (2014) *Powerless Science? Science and Politics in a Toxic World*, Berghahn, New York.
- Chambers English Dictionary* (1988) 7th Ed Cambridge.
- Chamizo J.A. (2013) *De la paradoja a la metáfora. La enseñanza de la química a través de sus modelos*, UNAM-Siglo XXI, México.
- Deichmann W.B., Henschler D., Holmstedt B., Keil G. (1986) What is there that is not poison? A study of the Third Defense by Paracelsus, *Archives of Toxicology* 58, 207-213.
- Giraldo-Ramírez J. (2021) La confianza en Iberoamérica, *Revista de Occidente* 486, 51-60.
- Guillem-Llobat X., Nieto-Galan A. (eds) (2020) *Tóxicos invisibles. La construcción de la ignorancia ambiental*, Icaria, Ulzama.
- Gross, M. (2015) *Routledge International Handbook of Ignorance Studies*, Routledge, London.
- Hess D. (2016) *Undone Science: Social Movements, Mobilized Publics, and Industrial Transitions*, Cambridge, The MIT Press.

- Hess D. (2016) *Undone Science: Social Movements, Mobilized Publics, and Industrial Transitions*, Cambridge, The MIT Press.
- Hoffmann R. (2015) Tension in Chemistry and its Contents, *Accountability in Research*, 22, 330- 345.
- Jay. M. (2012) *Mind-Altering Drugs in History and Culture*, Thames-Hudson, London. Jung C.G. (1987) *Paracélsica*, Nilo-Mex, México.
- Lara L.F. (2010) *Diccionario del español usual en México*, El Colegio de México, México.
- Martínez Alier, J. (2010) *El ecologismo de los pobres*, Icaria, Barcelona.
- Murray, D. (1994) *Cultivating crisis: The human cost of Pesticides in Latin America*, University of Texas Press, Austin.
- Nepovimova E., Kuka K. (2019) The history of poisoning: from ancient times until modern ERA, *Archives of Toxicology* 93, 11-24.
- Ottoboni A.M. (1997) *The Dose Makes the Poison: A plain guide to Toxicology*, New York, Van Nostrand.
- Paracelso (2000) *Obras Completas*, Colofón, México.
- Pérez-Bustamante J.A. (1995) De la Cosmofía Panvitalista Paracelsica a la Autoafirmación de la Química como Nueva Ciencia, *Llull*, 18, 183-212.
- Pimentel, D., Tort, M., D'Anna, L., Krawic, A., Berger, J., Rossman, J., Mugo, F., Doon, N., Shriberg, M., Howard, E., Lee, S., Talbot, J. (1998) Ecology of Increasing Disease. Population Growth and environment, *BioScience*, 48, 817-826
- Pimentel, D. (2002) Exposition on Skepticism, *BioScience*, 92, 295-298.
- Santos, B.S. (2019) *El fin del imperio cognitivo: la afirmación de las epistemologías del sur. Estructuras y procesos*, Trotta, Madrid.
- Timbrell J. (2005) *The Poison Paradox. Chemicals as Friends and Foes*, Oxford University Press, Oxford.