TEXTO DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA

Rosa María Herrera Rios

Cuadernos del Área de Talleres de Lenguaje y Comunicación

TEXTO DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
Dirección General de Asuntos del Personal Académico (dgapa)
Iniciativa para Fortalecer la Carrera Académica en el Bachillerato (infocab)
Proyecto PB402117

CUADERNOS DEL ÁREA DE TALLERES DE LENGUAJE Y COMUNICACIÓN

Rosa María Herrera Rios
Autora

Reyna I. Valencia López
Dirección de arte

Texto de divulgación científica
Primera edición, febrero de 2018
DR (2018), UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
Ciudad Universitaria, Delegación Coyoacán
CP 04510, México, Distrito Federal.
ISBN: 978-607-30-0205-9
Esta edición y sus características son propiedad de la Universidad Nacional Autónoma de México
Prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio sin la autorización escrita del titular de los derechos patrimoniales.
Impreso y hecho en México

Reservados todos los derechos. No se permite la reproducción total o parcial de esta obra, ni su incorporación a un sistema informático, ni su transmisión en cualquier forma o por cualquier medio (electrónico, mecánico, fotocopia, grabación u otros) sin autorización previa y por escrito de los titulares del copyright. La infracción de dichos derechos puede constituir un delito contra la propiedad intelectual. El contenido este libro es respnsabilidad de los autores.

TEXTO DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA

Rosa María Herrera Rios

Proyecto INFOCAB *PB402117*

Cuadernos del Área de Talleres de Lenguaje y Comunicación

ÍNDICE

Introducción 07

La divulgación científica 09

El artículo científico 11

La situación comunicativa del artículo científico 12

El artículo de divulgación científica 14

Situación comunicativa del artículo de divulgación científica 15

La organización textual del artículo de divulgación científica 20

Esquemas expositivos en el artículo de divulgación científica 22

La escritura de una reseña descriptiva 24

Conclusiones 25

Obras consultadas 26

Anexo: "El arsénico, más que un veneno",

artículo de Laura Gasque 28

INTRODUCCIÓN

Pitágoras, Tales de Mileto, Aristóteles, Arquímedes, Copérnico, Galileo Galilei, Newton, Darwin, Einstein, Hawking, ¿qué tienen en común estos nombres? Todos dedicaron su vida al conocimiento y sus aportaciones han sido fundamentales en la historia de la ciencia.

El escritor Julio Verne no imaginó que se inventarían las máquinas que describió en sus novelas (cohetes espaciales, submarinos, helicópteros, imágenes en movimiento, entre otras). No era un científico, sin embargo, pasaba muchas horas en las bibliotecas estudiando diferentes materias como Geología, y Astronomía, que le servirían para hablar de aquello que aún no existía pero que, a través de su imaginación creativa, dedujo como posibles.

Algo similar ocurre con otros autores como Isaac Asimov (científico), Aldous Huxley o Ray Bradbury quienes escribieron historias de ciencia ficción, con excepción del primero, los demás han contado con su imaginación y el conocimiento científico al que pudieron acceder probablemente, a través de la divulgación, para escribir sus relatos.

La ciencia muchas veces puede pasar por "aguafiestas", ya que nos confronta con leyes universales, basadas en complicadas, pero objetivas probanzas. A pesar de los innumerables avances de la ciencia, no es posible evitar los terremotos o los huracanes; tampoco ha podido curar todas las enfermedades, aunque sea capaz de entender cómo surgen y se desarrollan. No obstante, la ciencia ayuda a entender el entorno que nos rodea, a comprender sus causas y elaborar ciertas predicciones.

Es deseable que toda sociedad conozca y comprenda elementos y funcionamientos básicos sobre ciencia; pero, para un alumno de bachillerato universitario es indispensable, porque forma parte de la cultura básica, como se indica en el Plan de estudio del Colegio de Ciencias y Humanidades:

En la materia de TLRIID, el alumnado, a través de la lectura, la escritura y diversas operaciones discursivas, practica o elabora rutas para comprender y producir un repertorio de diferentes tipos y géneros

textuales que enfrentará en su vida académica, social y personal (Plan de estudios del CCH 2016, p.12)

Es aquí donde la presente monografía es pertinente, al abordar el *artículo de divulgación científica* orientada a que los interesados –alumnos, profesores o cualquier miembro de la comunidad escolar– adviertan sus beneficios, su estructura y su amenidad. Este tipo textual es relevante no sólo para el Área de Talleres de Lenguaje y Comunicación, sino también para las demás áreas del Colegio, ya que en todas es deseable permanecer en contacto con las novedades y explicaciones de la ciencia, incluso más allá de la escuela.

Aunque el programa del Taller de Lectura, Redacción e Iniciación a la Investigación Documental I (TLRIID I), en su cuarta unidad se restringe al artículo de divulgación científica, se consideró oportuno tocar algunos aspectos del artículo científico, a fin de que puedan distinguirse las características y propósitos entre ambos tipos de texto.

Esta monografía procura ser un material de apoyo para profesores y alumnos del Colegio de Ciencias y Humanidades (CCH). Se espera coadyuvar en la operatividad de una de sus temáticas con base en los programas actualizados del Área de Talleres de Lenguaje y Comunicación (2016).

Objetivos

Las metas que se propone esta monografía se refieren a continuación:

- Explicar el contexto en el que surge el artículo de divulgación científica y sus propósitos.
- Distinguir el artículo de divulgación científica del artículo científico, a partir de su situación comunicativa.
- Identificar la estructura general del artículo de divulgación científica, a fin de alentar a los lectores a abundar en sus posibilidades didácticas y de aprendizaje continuo.
- Apreciar los recursos que utiliza el artículo de divulgación científica.

LA DIVULGACIÓN CIENTÍFICA

Ante la especialización del conocimiento, propia de la investigación de punta, la divulgación científica nos ayuda a tener acceso a los avances realizados por la ciencia, sin necesidad de ser especialistas.

El concepto de divulgación científica tiene implicaciones que van más allá del artículo como tipo textual. Al respecto, Juan Tonda Mazón (2008) señala que:

Para hablar de divulgación, hay que entender que existen muchos términos equivalentes y que son: difusión de la ciencia, extensión de la ciencia, comunicación de la ciencia, comunicación pública de la ciencia, comunicación social de la ciencia, periodismo científico, popularización de la ciencia, alfabetización científica y cultura científica.

Efectivamente, la divulgación científica opera dentro de un campo sumamente amplio y que, en parte, tienen vinculación con el tipo de artículo aquí estudiado. En una sociedad globalizada donde se tiene acceso inmediato y muy amplio a la información, se requieren también explicaciones rápidas pero, sobre todo, confiables. Esta tendencia parece conminarnos a estar al tanto de lo que sucede, pues sus hallazgos, principalmente en la tecnología, influyen en la vida diaria y, aparentemente, han elevado la calidad de vida de una parte de la población mundial. La apreciación pública de la ciencia tiene su forma más propicia en los beneficios tecnológicos; sin embargo, la ciencia forma parte de la cultura humana igual que el arte y las humanidades.

Por otro lado, la ciencia también ha creado mitos dentro de las sociedades, pues ha generado una confianza desmesurada en que aquella será capaz de resolver cualquier problema a la humanidad, o bien, se le ve de manera pesimista como causante de muchos problemas que atentan contra lo natural.

La historia de la ciencia ha implicado una mayor separación de otros ámbitos donde también se crea conocimiento, debido a la extrema especialización que se ha incentivado en las últimas décadas del siglo XX y del presente siglo XXI. Esta tendencia ha creado una barrera entre la investigación científica y la gente que a veces, incluso, hace inaccesible su traducción entre campos de conocimiento similares.

Sin duda, es paradójico percibir que hoy la sociedad tienda a carecer de conocimientos básicos y transversales, al mismo tiempo que la ciencia y la tecnología han logrado grandes avances. Las personas poseen aparatos electrónicos cada vez más sofisticados, sin embargo, se conforman con disfrutarlos, sin comprenderlos y no aprovechan el potencial, por ejemplo, de un procesador de textos o de un “teléfono inteligente”.

Muchos consideran que la ciencia es difícil porque cambia constantemente. Es cierto, la ciencia requiere actualizarse. Los descubrimientos científicos parecen superponerse unos a otros, y nuevos conocimientos modifican concepciones anteriores. Y, si los cambios son vertiginosos, como en el caso de la tecnología, es fácil sentirse abrumado y determinar que no se puede aprender tan a prisa.

Para quienes han dejado la escuela y se desempeñan cotidianamente en un oficio o profesión, la forma de obtener nuevos conocimientos suele ser autodidacta, donde la

divulgación de la ciencia cobra suma importancia. Pero ¿cuáles son los medios a través de los cuales se puede tener acceso a la divulgación? Sánchez Mora (2002a) apunta:

¿Divulgación? ¿De cuál?, le pregunté inocentemente. ¿Para niños, adolescentes o adultos? ¿Para primaria, secundaria o preparatoria? ¿Para científicos de otras especialidades? ¿Por escrito, en video o por radio? ¿Estilo literario o periodístico? ¿Como cuento, entrevista, ensayo o guión? ¿Modelo Gamow, Asimov, Sagan, Jay Gould o Dawkins?

Como se aprecia, las posibilidades de llegar al público interesado en la divulgación de la ciencia son diversas, amplias y con características particulares; sin embargo, en todas ellas, debe cuidarse el tratamiento que ponga a disposición de una gran comunidad de interesados, legos, sin descuidar ni tergiversar el rigor implicado en los productos y avances de la investigación científica.

Actualmente podemos encontrar la divulgación científica en distintos medios de comunicación: revistas, periódicos, documentales, museos, exposiciones, páginas y blogs de internet. Existen canales de televisión de paga dedicados exclusivamente a ello como el *Discovery Channel*, *History Channel* o *National Geographic Channel*. Asimismo, hay canales en *YouTube* y comunidades interesadas en la divulgación que han utilizado las redes sociales como *Facebook* para mantener contacto actualizado con sus seguidores.

En general, los expertos concuerdan en que es necesario que el público tenga acceso a información sobre los últimos hallazgos científicos y que la escuela forme estudiantes interesados en estas ramas, pues gozar de los beneficios de la tecnología no garantiza que un individuo tenga más conocimiento, ni despierte su interés por emprender un proyecto de vida académico en el área de la investigación de las ciencias.

La demanda de transformación y desarrollo científico en el mundo son mayores. En el campo médico, por ejemplo, los equipos de diagnóstico y los productos de la ingeniería biomédica requieren mayor eficacia y precisión. Carreras como Robótica, Ingeniería Genética, Nanotecnología, Biotecnología e Ingeniería biomédica, cada día están más presentes en la oferta curricular de las universidades del mundo.

En nuestra universidad, también se han hecho esfuerzos para acercar la ciencia al público: la revista de divulgación ¿Cómo ves?, o la revista *Ciencias*, así como diversos los sitios de internet, uno generado por el Centro de Ciencias Genómicas (CCG) de la Universidad Nacional Autónoma de México, otro por la Dirección General de Divulgación de la Ciencia (DGDC) y, en la misma línea, se pueden ver los Carteles "Una mirada a la ciencia" que aparecen con cierta periodicidad en todos las escuelas y planteles de la UNAM.[1]

1. Estos tres sitios se pueden consultar en las siguientes direcciones electrónicas, respectivamente: http://www.divulgacion.ccg.unam.mx/; www.dgdc.unam.mx/publicaciones/revistas/muegano-divulgador; y www.unamiradaalaciencia.unam.mx

Esta Casa de Estudios ha diseñado, además un Diplomado para aprender a escribir textos de divulgación científica[2] lo que muestra el interés por formar escritores en este ámbito. Existe también "Gregoria la cucaracha", proyecto de divulgación científica sobre temas de ciencia y tecnología, creado por el Instituto de Ciencia y Tecnología de la Ciudad de México, en colaboración con la Universidad Autónoma de la Ciudad de México, así como el Canal 22 de televisión abierta mexicana.

Como hemos señalado previamente, el artículo de divulgación científica es útil en cualquier materia curricular del Colegio. En este sentido, las actividades culturales que se realizan en los planteles podrían ayudar a generar una conexión entre las áreas de conocimiento y académicas. Por ejemplo, con motivo del día de muertos, las áreas de matemáticas y ciencias experimentales podrían aprovechar el evento para que se revisaran la biografía, métodos y contribuciones de un sinnúmero de científicos. En consecuencia, también los profesores de dichas áreas podrían proponer actividades a las que se integraran los de las áreas de historia y de talleres, así como los departamentos de idiomas.

EL ARTÍCULO CIENTÍFICO

El artículo de divulgación científica se basa, indefectiblemente, en los hallazgos de la ciencia que se publican, principalmente, en los artículos científicos dentro de revistas indizadas y arbitradas, por lo que es esencial advertir algunas de sus características y elementos que nos ayuden a evaluar la calidad y alcance de los primeros.

Partamos de cómo se define el artículo científico para el Colegio, con base en la definición que ofrece el Portal Académico del CCH:

El artículo científico tiene una estructura delimitada y rígida porque sigue al pie de la letra ciertos cánones establecidos por las instancias que lo publican (generalmente centros de investigación) […] El lenguaje no requiere de explicaciones porque está entre iguales, quienes comparten los mismos conocimientos e ideas. Lo que quiere decir que no es un texto dirigido a todo público, sino que es sumamente especializado. El artículo es sólo el resumen o la síntesis de una investigación previa que ha seguido meticulosamente un método.

De acuerdo con lo anterior, un artículo científico es un documento que reporta el proceso de una investigación que exhibe pruebas y llega resultados que impactan en una contribución al estado de conocimiento hasta entonces advertido. Su discurso tiene como objetivo la exposición y demostración comprobada en torno de un fenómeno,

2. **Diplomado en Divulgación de la Ciencia 2017**, inició el 9 de enero con Sede en la Sala Miguel Ángel Herrera. Casita de las Ciencias, Dirección General de Divulgación de la Ciencia (DGDC) Coordinadora Dra. Elaine Reynoso Haynes.

aspecto o aplicación. Puede comprender innovación teórica, metodológica o aplicada a casos, con base en un planteamiento del problema que genera la investigación, la argumentación metodológica, una propuesta de solución hipotética, los alcances frente al fenómeno analizado, los resultados alcanzados y la reflexión sobre la contribución en el impacto hacia un nuevo conocimiento. Indudablemente, toda comunidad científica emplea una terminología especializada, ya con base en un modelo teórico ya en uno metodológico, por lo que su construcción textual está llena de tecnicismos y conceptos que la comunidad a la que está dirigida, conoce y domina, razón por la cual el autor del artículo científico no se ve en la necesidad de explicarlos, o bien lo hará en términos adecuados al espectro de sus destinatarios. Se trata, en general, de un discurso científico hecho para científicos.

LA SITUACIÓN COMUNICATIVA DEL ARTÍCULO CIENTÍFICO

El **enunciador** de este tipo de artículos es un investigador, no sólo de un área o ámbito del conocimiento o de la ciencia, sino un especialista en un tema e incluso en una metodología o innovador de una corriente teórica. La mayoría de los investigadores en nuestro país, son además académicos; sin embargo, en los Institutos de Investigación de la UNAM o en los centros de investigación como el CIDE (Centro de Investigación de Investigación y Docencia Económicas, el CINVESTAV (Centro de Investigación y Estudios Avanzados del Politécnico Nacional) o el CIESAS (Centro de Investigación y Estudios Superiores en Antropología Social), entre otros, se privilegia la investigación sobre la impartición de clases.

La aportación de estos académicos que se desempeñan, principalmente, dentro del campo de la investigación, suele estar vinculada con la innovación, por lo que sus **enunciatarios** son principalmente colegas investigadores (nacionales o de diversos países y lenguas), o bien estudiantes de posgrado que tienen conocimientos semejantes, por lo que no necesitan detalladas explicaciones terminológicas.

A grandes rasgos, el **propósito** de una publicación en esta esfera es validar un hallazgo antes que los demás. La publicación en revistas especializadas se torna una evidencia registrada, que siembra antecedentes a los que los artículos, libros o publicaciones posteriores a la publicación están "obligados" a remitir o referir. Aquí, la publicación es un medio de patente, donde la comunidad de especialistas sobre el mismo tema evalúa como relevante o no, para el conocimiento y que se refleja en citas o referencias en textos arbitrados.

El **referente** de los artículos científicos consiste en avances que aún están en proceso o informes de una investigación que incorpora datos novedosos, cuyo impacto se grafica bajo métodos o teorías propositivas y que defienden ciertas posturas y enfoques sobre el estudio del fenómeno en cuestión.

Como hemos dicho el **c**ódigo en este tipo textual es complejo para el público común, ya que, se dirige a una comunidad especializada de la que también se espera críticas, matices o emulaciones. Valgan algunos ejemplos:

a) Cambio de índice de refracción en una fibra SMF28 para diferentes fluencias por pulso: 1: ϕ =0.025 J/cm2, 2: ϕ =0.0125 J/cm2, 3: ϕ ϕ=0.0062 J/cm2 y 4: ϕ ϕ=0.0031 J/cm2. (El intervalo de incertidumbre es 10ϕ6). (Nuñez S. *et al*, 2017).

b) La *Linfadenitis Caseosa* (LC) es una enfermedad infecciosa crónica que afecta a pequeños rumiantes, el agente causal es *Corynebacterium pseudotuberculosis* y en ovejas (*Ovis aries*) cursa con agrandamiento visible y/o palpable en *ganglios linfáticos* superficiales, pudiendo estar acompañada con secreción purulenta caseosa e inclusive, con manifestaciones semejantes en órganos linfoides profundos, comprometiendo así la productividad de los rebaños por la depreciación de carnes, disminución de la ganancia de peso, producción de leche y lana, emaciación progresiva del animal hasta la muerte y/o retiro prematuro dentro de los rebaños (Zambrano, J. *et al*., 2016:).

Muchos de estos artículos, en realidad son informes que publican los resultados o avances de alguna investigación o caso, por lo cual carecen de una narración o explicación de antecedentes propiamente dicha. Suelen tener gran cantidad de citas y referencias para demostrar la validez de sus resultados, como se puede observar en lo subrayado:

Estudios microbiológicos: las muestras fueron colectadas y procesadas en el laboratorio según protocolo descrito por Chirino-Zárraga y col. [20], exceptuando la realización de las tinciones de Ziehl-Neelsen y la inoculación en caldo tetrationato (Primera, L., *et al*, 2016).

El **canal** de estos artículos son revistas científicas, o bien memorias de congresos o encuentros entre investigadores de una materia en particular, avaladas por una institución de investigación, como el Consejo Nacional para la Ciencia y la Tecnología (Conacyt).

Como se ha mencionado, el artículo científico, por estar dirigido a un público experto, no ejemplifica continuamente, ni necesita reforzar ideas, o hacer aclaraciones. La comunicación es entre pares y se expresan resultados, logros o se proponen líneas de trabajo. En las últimas décadas, los textos suelen estar escritos en inglés, aunque se publiquen en revistas nacionales, como se aprecia en la *Revista Mexicana de Física*.

Lo anterior se refiere a los artículos científicos que son publicados en revistas de investigación, por lo que las ponencias, seminarios o algún otro medio que se utilice para dar a conocer algún descubrimiento científico, tendrán sus propias características particulares, las cuales exceden el alcance de este trabajo.

EL ARTÍCULO DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA

En principio, el artículo de divulgación científica es un texto que facilita a los lectores, no expertos en ciencia, la comprensión del conocimiento científico. Sin embargo, habrá que tomar en cuenta que:

El problema de la divulgación de la ciencia es de gran complejidad. Atacarlo es tan difícil como apuntar un blanco móvil. La divulgación es una labor que no admite una sola definición y que, además, cambia según el lugar y la época. Para unos divulgar sigue siendo traducir, para otros enseñar de manera amena, o informar de manera accesible; se dice también que divulgar es tratar de reintegrar la ciencia a la cultura (Sánchez, 1995: 9).

El texto de divulgación científica trata de difundir y explicar los conocimientos básicos de la ciencia, así como también los problemas aún no resueltos por ella, por supuesto, siempre dentro del contexto necesario para que no sean únicamente un informe de resultados derivados de investigaciones.

Se puede considerar que, actualmente la ciencia se ha vuelto de interés público al incorporarse a la vida diaria, se han creado nuevos hábitos y estilos de vida, por ello debería de ser importante comprender cómo la ciencia y la tecnología inciden en nuestro trabajo, salud y calidad de vida. Sólo si se asimila lo anterior puede formarse una opinión y posición frente a estos avances.

Vale la pena apuntar la participación científica en la divulgación, entre cuyos nombres se hallan: George Gamow, Isaac Asimov, Carl Sagan, Stephen Jay Gould, Richard Dawkins, Steven Weimberg. En el caso de México: Julieta Fierro, José de la Herrán, Juan Tonda Mazón y Ana María Sánchez Mora.

Existen varias razones por las cuales no todos los científicos están dispuestos a dedicar tiempo a la divulgación; una de las más importantes es el poco reconocimiento académico que tiene dentro de su currículo en el Sistema Nacional de Investigadores (SIN). Quienes lo hacen es porque se sienten comprometidos con la sociedad y buscan los medios para comunicar su afición a los saberes, para un sector más amplio de la población.

En el Portal Académico de nuestro Colegio, puede encontrarse la siguiente definición en torno del texto que se comentará:

El texto de divulgación científica es aquel que da a conocer resultados de una investigación por medio de un lenguaje accesible a todo público de acuerdo con cada disciplina, puede ser en materias experimentales o de ciencias sociales o humanísticas. En esta clase de textos domina la función referencial de la lengua, pues el propósito central de la comunicación es informar, por lo que el tipo de enunciatario al que va dirigido este texto es amplio, puede o no tener conocimientos sobre el tema.

Con base en lo anterior, podemos definir un artículo de divulgación científica como aquel texto cuyo propósito principal es hacer llegar al público en general un tema relativo a la ciencia. En su discurso predomina el modo expositivo. Su estructura

refleja sus alcances informativos, ordenados con base en un tema o noticia sobre la ciencia, y explicativos, sobre cómo es o por qué se comprueba un hecho o fenómeno determinado.

Para lograr lo anterior, el discurso en el artículo de divulgación científica se vale de recursos como la reformulación, las metáforas, las analogías, entre otros. Dado su apego a la objetividad científica, este tipo de textos debe cuidar el contenido y sentido original de la investigación sobre la que da cuenta, además de atender a la claridad y precisión que demanda un lector no especializado.

SITUACIÓN COMUNICATIVA DEL ARTÍCULO DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA

Al ser la ciencia parte de la cultura, es indispensable el papel del divulgador para que el público comprenda como la ciencia y la tecnología afectan todos los aspectos de su vida. En este sentido, el **enunciador** del artículo de divulgación científica puede ser un investigador, un periodista especializado en la divulgación de la ciencia o bien un académico interesado dar a conocer determinadas temáticas al respecto.

El **enunciatario** de este tipo textual comprende tanto al público común, como al ámbito académico entre los que se encuentran los estudiantes y los profesores, todos ellos de muy diversos niveles, necesidades e inquietudes de conocimiento, muchos de los cuales tienen algunos antecedentes que los motivan a permanecer interesados en nuevas rutas de los hallazgos científicos.

En la medida en que los artículos de divulgación científica son textos expositivos acerca de distintos campos de conocimiento, su **referente** alude a temas relevantes de alguna de las ciencias: pueden ser hallazgos originales, los resultados de alguna investigación, la reflexión analítica sobre algunos "mitos", prejuicios o presupuestos creados en el *vox populi*, en torno de algunos temas de las ciencias que se han malinterpretado, entre muchos otros.

Su **propósito** esencial consiste en informar al público sobre los avances de la ciencia y la tecnología, es decir, divulgar, poner al alcance de todos los conocimientos científicos, con fundamentos comprobados por la investigación, a fin de crear un puente entre el conocimiento especializado y la gente común.

El **canal** o los medios para la divulgación actualmente son muchos y muy variados: la prensa, la radio, la televisión, los medios electrónicos (internet). En particular, el artículo de divulgación científica se encuentra en revistas, en formato impreso o digital, que suelen tener una temática central y donde este texto se "articula", es decir, se integra como una de sus partes. Las revistas *Muy interesante*, *Saber más* y ¿Cómo ves? son, entre otras, algunos ejemplos de este tipo de publicaciones periódicas.

Además de su función lingüística meramente **referencial**, su **c**ódigo discursivo debe cumplir con ciertas características, ya que su tratamiento temático deriva de la innovación científica. Entre otros, sus requisitos son:

a) Utilizar un lenguaje claro y comprensible para todo público
b) Apegarse al sentido del contenido o conocimiento científico aportado
c) Puede emplear diferentes recursos, para facilitar la comprensión del texto: reformulación, ejemplificación, comparación, analogía, definiciones, dibujos, gráficas, esquemas, mapas, fotografías, paráfrasis, metáforas o contextos familiares al lector

Un aspecto fundamental de este tipo textual es que se centra en su función de explicar los hechos científicos de manera clara y sencilla, por lo que los recursos para este fin pueden ser diversos, aunque con un propósito preciso: hacer más comprensible la exposición del asunto novedoso sobre un área científica, ya en ciencias duras o en humanidades.

El enunciador debe encontrar la manera de transmitir la información para que ésta sea comprendida por un público amplio, por lo que utilizará breves narraciones, anécdotas, preguntas retóricas títulos controvertidos, graciosos y hasta desconcertantes, a fin de atrapar la atención del lector en la función conativa o apelativa de la lengua. Además de lo anterior, algunas de las estrategias o recursos del código empleado por los artículos de divulgación científica son:

1. La **paráfrasis** que consiste en una nueva redacción de un fragmento para presentarlo de un modo más adecuado al enunciatario:

> Un equipo de científicos dio a conocer a principios de abril, en la revista *Nature Microbiology*, un nuevo árbol de la vida, es decir, un esquema para explicar la diversidad de las especies que habitan el planeta, así como la relación evolutiva que existe entre ellas. (Duhne, 2016).

Como podemos observar, en palabras de la autora se da cuenta de una nueva explicación del "árbol de la vida". Para algunos autores, la reformulación opera mediante tres tipos de estrategias: *1)* expansión, como en este caso agrega información para explicar; *2)* reducción que quita los términos especializados; y *3)* variación que utiliza palabras sencillas para hacer más amena la lectura del texto.

2.- La **comparación.** Muchas veces, para que el lector comprenda mejor lo que se está explicando, se señalan las semejanzas entre un fenómeno y otro que presente características similares. Este recurso se utiliza para explicar y usa, entre otros, los nexos comparativos "como" o "cual", o las expresiones "al igual que" o "se parece a", por ejemplo:

> De nuestros cuadernos de papel a esas microcomputadoras que llamamos teléfonos inteligentes, todos nos sirven como memorias sustitutas, como prótesis mentales para recordar con más eficacia. (Bonfil, 2016).

> Las primeras computadoras, grandes como habitaciones, corrían programas simples que buscaban solucionar problemas individuales. (Bonfil, 2016).

3.- La **ejemplificación**, donde se ofrece un caso particular con el fin de ilustrar un enunciado general o un concepto, por ejemplo:

> Un ejemplo son las reglas de cálculo y tablas de logaritmos usadas en buena parte del siglo XX, que permitían hacer de forma simple complicadas operaciones aritméticas. En los años 70, fueron sustituidas por calculadoras electrónicas baratas, que hicieron innecesario saber cómo multiplicar, dividir o sacar una raíz cuadrada. Actualmente estas calculadoras están incorporadas en nuestros relojes o teléfonos inteligentes (Bonfil, 2016).

4.- Los **respaldos de autoridad**. El enunciador incluye citas y referencias para mostrar que se apoya en el saber de un grupo de especialistas, así como fuentes de confiabilidad:

> Un equipo internacional de científicos de las Universidades de Roma, Módena y Milán, dirigidos por Julie Dunne, de la Universidad de Bristol (Duhne, 2016).

5.- La **analogía**. Consiste en presentar un caso de características similares al que se desea explicar, busca la comparación lógica que pueda existir entre dos conceptos, en una forma más extensa que la comparación entre términos:

> En su famoso libro *El origen de las especies*, Charles Darwin visualizó a la evolución como un árbol con muchas ramas. Este árbol, según él, cubría la corteza de la Tierra con sus ramas rotas o muertas y la superficie con ramas robustas y hermosas ramificaciones: la vida como la conocemos (Duhne, 2016).

6.- Las **preguntas retóricas**, que en realidad no buscan una respuesta como tal, sino que sirven para atraer la atención del posible lector y se utilizan para introducir descripciones, conceptos, o al inicio de una explicación:

> ¿No habría manera de librarnos de una vez por toda de los molestos virus? La respuesta, tristemente, es no. Toda tecnología es, por su propia naturaleza, susceptible de ser mal usada. (Bonfil, 2015).

7.- El uso de un lenguaje formal pero sencillo y accesible a cualquier lector, en el que suele utilizarse la primera persona del plural o plural mayestático[3], donde, aparentemente el autor incluye al lector posible:

> La ciencia muchas veces se nos presenta como la Gran Dadora, la que hace posible lo imposible. Nos ha permitido volar como las aves, bajar a las profundidades marinas, curar infecciones antes mortales, observar lo invisible… Parecería que no hay límites para su poder. Pero con bastante frecuencia la ciencia resulta ser, más que benefactora dadivosa, una gran aguafiestas (Bonfil, 2010).

3. Se aplica al plural del pronombre personal de primera persona cuando es usado, en lugar del singular, usando el pronombre "nos" en lugar de "yo".

8.- Los **facilitadores paralingüísticos y paratextuales**. Se emplean distintos recursos que acompañan lo verbal para favorecer una lectura atractiva y hacer más comprensible el contenido del artículo.

a) Facilitadores paralingüísticos: son los elementos tipográficos y de diseño que resaltan o dan énfasis a ciertas partes verbales. Entre otros se pueden distinguir los siguientes: el uso de cursivas, negritas, diversos tamaños de fuente, subtítulos, paréntesis, entrecomillados, subrayados. Se puede ver un ejemplo de estos en el texto de Laura Gasque (al final se encontrará el Artículo completo):

Título	Lo podemos ver al inicio del artículo, con letras grandes y en un diseño llamativo.	
Subtítulos:	En este caso tenemos cuatro subtítulos como podemos apreciar, también en verde y con distinto tipo de letra.	En las minas Hermoso verde Contra la leucemia ¿En el ADN?
Síntesis	Oración o frase, posterior al título y autor con letras más delgadas, pero también con un diseño de énfasis.	*La historia y las sorprendentes aplicaciones modernas de un elemento químico con muy mala fama.*

a) Facilitadores paratextuales: son recursos verbales y visuales que acompañan al contenido del artículo para reforzar su sentido, como son: fotografías, cuadros estadísticos, dibujos, mapas, ordenadores gráficos o algún otro tipo de ilustraciones. También podemos encontrar ejemplos de estos en el artículo de Laura Gasque:

- Ilustraciones: la clásica botella con una calavera haciendo alusión del arsénico como un veneno tradicional en la historia de la humanidad. También una manzana, ya que, el texto menciona la utilización de este elemento como pesticida a mediados del siglo XX.
- Fotografías: la del retrato de Lucrecia Borgia, la de una pintura de Van Gogh, la del bote de pintura que usaban los impresionistas (contenía arsénico) y la de un trozo de madera.
- Dibujos: del arsénico y su representación química “As”, además de la representación molecular del óxido de arsénico.

LA ORGANIZACIÓN TEXTUAL DEL ARTÍCULO DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA

Aunque no existe una única estructura textual para el artículo de divulgación científica, podemos encontrar que, en general, tiene los siguientes elementos básicos:

1. **Título**: atractivo, breves y hasta divertido, donde se pueden incluir juegos de palabras, preguntas retóricas y metáforas para despertar el interés del posible lector. El título suele, algunas veces, acompañarse de un subtítulo cuya función es dar una mayor precisión del tema a tratar, como lo podemos apreciar en los siguientes ejemplos de la revista ¿Cómo ves?:

1.- Duro y a la cabeza. Conmoción cerebral en el futbol
2.- Incógnitas de nuestro ADN
3.- La idea más bonita de Einstein. 100 años de la teoría general de la relatividad

2. **Entrada**. Palabras que resumen el tema o la contribución a la que pretende llegar el artículo y que buscan despertar el interés del lector.

> Las bacterias resistentes a antibióticos representan un grave problema de salud pública debido a que el tratamiento contra ellas se ha vuelto limitado.

3. **Exposición**. La serie de párrafos que explica el tema, donde el primero suele ser introductorio o de antecedentes, posteriormente se expone la información sobre un hallazgo o nuevo conocimiento relevante y se cierra con una conclusión. A continuación, observaremos cómo opera la exposición a partir del texto de divulgación científica "Primeras evidencias de plantas cocinadas", de Martha Duhne (2017) en la revista ¿Cómo ves?, donde hemos numerado sus párrafos:

a) Introducción, en la que se da cuenta de los antecedentes del tema, a manera de descripción.

> [1] Un equipo internacional de científicos de las Universidades de Roma, Módena y Milán, dirigidos por Julie Dunne, de la Universidad de Bristol, descubrieron en el Sahara las evidencias más antiguas de que los seres humanos cocinaban plantas como una importante fuente de alimento hace 10 000 años.

b) Desarrollo, donde se explican la trascendencia del hallazgo, descubrimiento o fenómeno a tratar, en relación con la actualidad.
En este segundo párrafo observamos cómo se utilizan recursos explicativos (causa-consecuencia) (en cursivas) y el contraste de datos o evidencias (en subrayado).

> [2] La invención de *la cerámica resistente al calor*, cerca de 15 000 años atrás, *fue un avance importante* en la dieta y nutrición humanas, *ya que permitió utilizar nuevos grupos de alimentos*. Investigaciones previas en el norte de África habían demostrado que los pobladores de la región usaban ollas de cerámica para cocinar productos animales, pero, sorprendentemente, no vegetales. Sabemos que, a principios del Holoceno, hace más de 11 000 años, los cazadores recolectores se alimentaban de una amplia gama de plantas, pero no se habían encontrado evidencias de que las cocieran.

En el tercer y cuarto párrafos, se expone el descubrimiento, noticia o hallazgo del que trata el tema del texto, a través de la descripción.

> [3] Los investigadores analizaron 110 fragmentos de cerámica descubiertos en dos yacimientos en el sudoeste de Libia, habitados por seres humanos entre 10 200 y 8 400 años atrás, cuando estas regiones del Sahara eran sabanas cubiertas de pastos, con abundantes lagos y ríos.
> [4] En 56 de los fragmentos se detectaron residuos de grasas vegetales, a veces cocinadas solas y otras con animales. Investigaciones detalladas de los restos encontrados revelaron una amplia variedad de plantas, incluyendo semillas, así como hojas de especies terrestres y de plantas acuáticas.

c) Conclusión, donde se evalúa la importancia del hallazgo y en este caso opera a manera de problema-solución.

> [5] La investigación, publicada en *Nature Plants* en diciembre de 2016, demuestra que la invención de cerámicas resistentes al calor fue un paso enorme, ya que permitió consumir especies vegetales con texturas o sabores desagradables, o tóxicas, aumentando así la variedad de fuentes de alimento.

d) Fuentes de información, que constituyen el sustento informativo en el que se basa el texto de divulgación científica.

Dunne, J. et al. Earliest direct evidence of plant processing in prehistoric Saharan pottery *Nature Plants 3*, Article number: 16194 (2016).

ESQUEMAS EXPOSITIVOS EN EL ARTÍCULO DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA

Como hemos visto, en la exposición del artículo de divulgación científica subyacen esquemas lógicos con formas y funciones específicas para organizar el contenido, a fin apoyar la comprensión del lector. Algunos de estos esquemas lógicos que dan estructura a la exposición son el de secuencia temporal, de descripción, de comparación-contraste, de problema-solución y de causa-efecto.

Muchos de éstos pueden apreciarse también a través de nexos y marcadores textuales que, en la intervención didáctica, nos ayudan a reconocer su estructura y facilitan su comprensión. A continuación se explicará cada uno de ellos.

Secuencia temporal. Predomina el modo narrativo, en el que se presentan hechos, descubrimientos o evidencias, de manera consecutiva en el tiempo o en orden cronológico.

Por ejemplo, al tratar el tema sobre si los dinosaurios eran de sangre caliente o fría, es probable que el divulgador esté obligado a hacer un breve recuento desde los primeros descubrimientos de fósiles de este animal hasta los más recientes. Algunos marcadores textuales de esta estructura son: en primer lugar, después, a continuación, por último, entre otros.

Descripción. Como su nombre lo indica, describe o enuncia los aspectos más importantes de un fenómeno, proceso o los pasos que siguió una investigación o experimento.

Por ejemplo: la explicación de cómo ocurre un eclipse solar o lunar, requerirá describir o dar cuenta de la trayectoria y convergencia de estos astros en relación con nuestro planeta. En esta estructura son frecuentes los marcadores espaciales: a la izquierda, debajo, a ambos lados, por detrás; pero también, en un proceso o procedimiento, los secuenciales: primero, posteriormente, después, simultáneamente, finalmente, por último, al principio, al inicio, al final, durante, entre otros.

Comparación- contraste. Esta estructura presenta semejanzas o diferencias entre dos o más elementos (o fenómenos).

Por ejemplo: un texto en donde se hable de la plata y cómo diferenciarla de otros elementos metálicos como el acero o el níquel. Los marcadores textuales que comúnmente se emplean en la comparación son: asimismo, de la misma manera, igualmente, en la misma forma, de igual forma, de modo semejante; y para subrayar el contraste: en cambio, aunque, pero, sin embargo, a diferencia de, no obstante, en oposición, entre otros.

Problema- solución. En este esquema lógico se expone una problemática, incógnita o se somete a duda cierta aseveración para, explicar sus causas plausibles y llegar a una solución, propuesta o aclaración al respecto.

Por ejemplo: sobre la contaminación de determinado fenómeno natural como un río, se tendrá que exponer por qué se considera la contaminación como un problema, posteriormente se deberá atender a sus causas posibles y finalmente se espera una propuesta de solución viable. Algunos sus marcadores textuales son: porque, ya que, dado que, debido a que, lo anterior se debe a, la razón de que, por ello, en consecuencia, por ende, entre otros.

Causa- efecto. Esta estructura, suele integrarse a la anterior, pues casi siempre sirve como base de análisis del "estado de la cuestión" que alude a una problemática. Su alcance no es resolutivo, ni propositivo, sino estrictamente descriptivo sobre la vinculación o mecánica de diversos elementos, constantes o variables de éstos.

Por ejemplo: la falta de lluvia (constante por algún tiempo) en alguna región tendría que exponer sus causas y sus efectos en la sequía y escasas cosechas. Los marcadores textuales que suelen utilizarse son: entonces, por lo tanto, por eso, por consiguiente, así que, porque, ya que, debido a que, entre otras.

Es importante señalar que, tanto en los textos expositivos o explicativos, como en el artículo de divulgación científica, difícilmente encontraremos un solo esquema o estructura lógica, ya que, aunque la exposición es el modo discursivo predominante y la función referencial de la lengua es prioritaria, diversos modos y funciones se van entrelazando distintos momentos en textos particulares.

El artículo científico vs. El artículo de divulgación científica

A lo largo del trabajo, se ha procurado especificar el artículo de divulgación científica, al que también se ha contrastado con el artículo científico, dado que suele ser común que se los confunda. En este sentido, recapitularemos algunas de sus convergencias y divergencias, con un par de cuadros:

SEMEJANZAS

Artículo científico	Artículo de divulgación científica
Habla de temas referentes a la ciencia	Habla de temas referentes a la ciencia
Fidedigno con el conocimiento científico	Fidedigno con el conocimiento científico
El lenguaje adecuado a su enunciatario	El lenguaje adecuado a su enunciatario

DIFERENCIAS

Artículo científico	Artículo de divulgación científica
El autor se dirige a grupos de especialistas	El autor se dirige al público en general
Lenguaje especializado	Lenguaje sencillo y comprensible
Abunda el rigor en la investigación y la probanza con base en fuentes documentales y/o experimentales y/o de campo.	Abunda la explicación a través de diferentes recursos para lograr una comprensión clara y general.

Como se puede apreciar, ambos artículos tratan sobre ciencia, pero lo hacen de manera divergente, puesto que sus propósitos, recursos y enunciatarios son distintos, aunque ambos valiosos.

LA ESCRITURA DE UNA RESEÑA DESCRIPTIVA

El programa de TLRIID- I, en su cuarta unidad, señala la conveniencia de realizar una reseña descriptiva sobre un artículo de divulgación científica como evidencia de aprendizaje. En general, una reseña de este tipo consta de los siguientes elementos estructurales:

- ✓ **Título**. Idealmente se trataría de que el alumno cree un título atractivo como el del artículo que reseña, pero con un subtítulo temático donde se explicite el tipo textual que se presenta: Reseña descriptiva del artículo (tema y autor).
- ✓ **Introducción** donde se problematice o justifique la importancia de conocer el tema a reseñar, para públicos juveniles y el público lector en general. Resumen expositivo del texto reseñado.
- ✓ **Desarrollo**, en el que se sinteticen y parafraseen las ideas principales del artículo a reseñar y donde la consecución de los párrafos (al menos dos), reflejen alguno de los esquemas lógicos de un texto expositivo.
- ✓ **Conclusión** o cierre en el que, se valore la trascendencia de la aportación del artículo reseñado para la juventud o el público en general.
- ✓ **Fuente de consulta**, donde se advierta la referencia completa y correcta de, al menos, el artículo de divulgación científica reseñado.

Consideramos que una reseña crítica acerca de un artículo de divulgación científica sienta bases para introducir al alumno, durante el primer año de su bachillerato, en los textos que fortalecen la academia. Sin embargo, también es posible proponer otro tipo de evidencias de aprendizaje más lúdicos. Por ejemplo, una infografía que organice el contenido del tema del artículo, o bien un podcast con base en la reseña realizada y que pueda subir a una página de Facebook del grupo. Todo depende de la creatividad del profesor, pero en todos los casos habría que explicar en qué consiste el trabajo y dar ejemplos concretos para ello.

CONCLUSIONES

A lo largo de esta monografía se identificaron los elementos básicos del artículo científico, en contraste con aquellos del artículo de divulgación científica, a fin de decantar sus especificidades. Se abundó en la estructura expositiva de este último y en los recursos que utiliza para cumplir sus propósitos particulares.

La divulgación de la ciencia despierta un alto interés entre los lectores, sin embargo, su uso interdisciplinario en el Colegio todavía es muy incipiente. En el nivel medio superior, es prioritario estar en contacto con los avances, hallazgos y nuevas evidencias de la ciencia, sin embargo, es necesario que exista un enlace, más allá del profesor, que nos anime a enlazarnos con ello. De ahí la importancia del artículo de divulgación científica, que nos ayuda e interesa a conocer permanentemente, a través de publicaciones periódicas, cómo la ciencia y la tecnología impactan en muchos de los aspectos de la vida común.

En la medida de lo posible, dadas las limitantes de espacio, se dieron ejemplos concretos de los recursos del artículo de divulgación científica; desafortunadamente, no siempre fue posible encontrar un ejemplo de cada recurso en un solo texto y eso nos llevó a tener que mencionar varios y sólo utilizar un fragmento o dos de artículos diversos.

La divulgación de la ciencia ha estado presente a través de los medios masivos de comunicación como los periódicos, el cine, la televisión y ahora el internet. Si bien existen muchos recursos que no pueden verse o recrearse con éxito en un salón de clases, los documentales que dejemos de tarea nos permiten advertir la trascendencia de conocer y actualizar nuestros conocimientos sobre la ciencia y que son sumamente oportunos en la vinculación curricular de nuestros estudiantes, pues en un artículo de divulgación científica se atiende tanto al contenido como a su forma, que es nuestro terreno de acción en el TLRIID.

Por último, conviene señalar que hay aspectos que han quedado fuera de esta monografía y que hubiésemos deseado mostrar, por ejemplo, el hecho de que la ciencia no es estática ni unilateral, sino que, dentro de ella, hay diversos puntos de vista y metodología provenientes de varias disciplinas que han encontrado, en los últimos años, convergencias y vías de productividad en beneficio de la población. Queda a consideración de los profesores mencionar este aspecto de la ciencia, ya que, sin la pasión característica del ser humano, los avances de la ciencia serían impensables.

OBRAS CONSULTADAS

Primera, L. *et al.* (2016). "Linfadenitis caseosa en rebaños ovinos de la Península de Paraguaná, Municipio de Falcón, Estado de Falcón, Venezuela", en *Revista Científica*. Recuperado de: http://artificialwww.redalyc.org/articulo.oa?id=9594483203

Bonfil O. M. (2005). "Tres metas para la divulgación", en: *El muégano divulgador*. México: UNAM. Recuperado de: http://www.dgdc.unam.mx/assets/publicaciones/muegano-divulgador/muegano-26.pdf

_____. (2010). "La gran aguafiestas", en: ¿Cómo ves? México: UNAM. Recuperado de: http://www.comoves.unam.mx/ojodemosca_143

_____. (2015). "Virus tecnológicos", en: ¿Cómo ves? México: UNAM. Recuperado de: http://www.comoves.unam.mx/numeros/ojodemosca/204

_____. (2016). "La inteligencia delegada", en: ¿Cómo ves? México: UNAM. Recuperado de http://www.comoves.unam.mx/numeros/ojodemosca/207.

Calsamiglia, H. *et al.* (2001). "Análisis discursivo de la divulgación científica", en: *Lengua, discurso, texto. I Simposio Internacional de Análisis del Discurso.* Madrid: Visor Libros, pp. 2640-2646.

"Definición del artículo de divulgación científica" (s.f.). México: UNAM, CCH Portal académico. Recuperado de: http://portalacademico.cch.unam.mx/alumno/tlriid3/unidad3/argumentarparademostrar/publicacionescientificas

"Definición del artículo científico" (s.f.). México: UNAM, CCH Portal académico. Recuperado de: http://portalacademico.cch.unam.mx/alumno/tlriid3/unidad3/argumentarparademostrar/publicacionescientificas

Duhne, M. (2016). "Nuevo árbol de la vida", en: ¿Cómo ves? México: UNAM. Recuperado de http://www.comoves.unam.mx/numeros/rafagas/211

Gasque L. (2011). "El arsénico, más que un veneno", en: ¿Cómo ves? México: UNAM. Recuperado de: https://docs.google.com/r?a=v&pid=sites&srcid=ZGVmYXVsdGRvbWFpbnxsbWdhc3F1ZXxneDo0OGExMDMyYTFlZml3ZThl

Muñoz Dagua, C. (2010). "El rol de la metáfora léxica en la divulgación". Recuperado de: http://media.utp.edu.co/referencias-bibliograficas/uploads/referencias/ponencia/45-leer-y-escribir-textos-de-divulgacion-clarena-mpdf-EWwyH-articulo.pdf

Núñez S. *et al.* (2017) "Cinética inicial de formación de rejillas de Bragg en fibras ópticas estándar", en *Revista Mexicana de Física.* Recuperado de*:* http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57050054003

Sánchez Mora, A. M. (1995). "Sobre la elaboración de artículos de divulgación científica. IV. El lector y el texto", en *Ciencia,* vol. 46, núm. 1. México: UNAM Academia de la Investigación Científica, pp. 9-14.

_____. (2002a). "Guía para el divulgador atribulado I. Enseñanza y aprendizaje de la divulgación", en: *El muégano divulgador.* México: UNAM. Recuperado de: http://www.dgdc.unam.mx/assets/publicaciones/muegano-divulgador/muegano-17.pdf

_____. (2002b). "Guía para el divulgador atribulado II. La crisis existencial del divulgador", en: *El muégano divulgador*. México: UNAM. Recuperado de: http://www.dgdc.unam.mx/assets/publicaciones/muegano-divulgador/muegano-18.pdf

_____. (2002c). “Guía para el divulgador atribulado III. Mi visión. Evolución y diversidad de la divulgación”, en: *El muégano divulgador*. México: UNAM. Recuperado de: http://www.dgdc.unam.mx/assets/publicaciones/muegano-divulgador/muegano-20.pdf

Sánchez Mora C.(2002) “El libro blanco de la divulgación: un esfuerzo ejemplar para el análisis de la divulgación científica”, en: *El muégano divulgador*. México: UNAM. Recuperado de: http://www.dgdc.unam.mx/assets/publicaciones/muegano-divulgador/muegano-18.pdf

Tonda, J. (2008). “Teoría o práctica de la divulgación”. Recuperado de: http://somedicyt.org.mx/congreso_2008/mesa1/Teoria_o_practica_de_la_divulgacion_J_Tonda.pdf

ANEXO: “EL ARSÉNICO, MÁS QUE UN VENENO”, ARTÍCULO DE LAURA GASQUE

Año Internacional de la QUÍMICA

El arsénico
Más que un veneno

Laura Gasque

La historia y las sorprendentes aplicaciones modernas de un elemento químico con muy mala fama.

Quien oye la palabra “arsénico” sabe que se trata de un veneno.Se ha vuelto célebre porque los escritores de novelas y los guionistas de cine y televisión han narrado innumerables historias en las que interviene este elemento químico de la familia del fósforo que puede matar casi sin dejar huella.

Fue principalmente por esta macabra celebridad del arsénico que la reciente noticia de que unos astrobiólogos de la NASA habían descubierto una bacteria que al parecer incorporaba el arsénico a su metabolismo dio la vuelta al mundo en unas horas. La comunidad científica no tardó en responder con escepticismo, ya que según estos astrobiólogos el arsénico podía tomar el papel del fósforo nada menos que en la molécula maestra de la vida, el ácido desoxirribonucleico, o ADN.

Retrato ideal de una mujer (supuestamente Lucrecia Borgia) por Bartolommeo Veneto.

En las minas

Pese a su fama, en nuestro planeta el arsénico es un elemento más bien escaso. Hay 10 veces más galio, 40 veces más rubidio y 200 veces más estroncio. Sin embargo es probable que la mayoría de la gente no haya oído jamás los nombres de estos elementos. Al arsénico se le llegó a conocer como el *rey de los venenos* y *el veneno de los reyes*, así como el *polvo de la sucesión* porque fue muy utilizado por algunos herederos para deshacerse de quien se interponía en su camino al trono. Se dice que fue especialmente valorado por su falta de olor y sabor. Lucrecia Borgia lo usó en el siglo XV y varios otros miembros de las cortes europeas durante los siguientes 300 años.

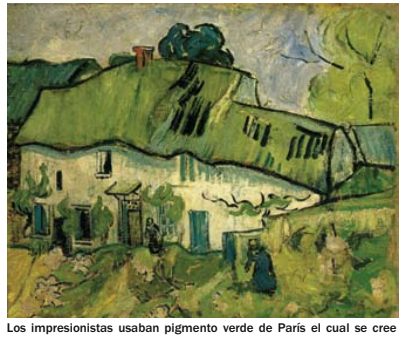
La etimología de la palabra *arsénico* nos puede servir para darnos una idea de lo mucho que llevamos de conocerlo. La palabra griega *arshenikon*, de donde surgió, viene a su vez del arameo y se usaba hace milenios para nombrar un mineral conocido más tarde por los romanos como *auripigmentum*, pigmento dorado, u orpimente, una de las moléculas naturales más comunes de las que forma parte el arsénico.

Este mineral y otros sulfuros de arsénico como el realgar (As_4S_4, de un hermoso color rojo-naranja) fueron conocidos desde la antigüedad porque se encuentran usualmente en las mismas minas de las

que se extraen metales valiosos como oro, platino, plata y cobre. Hay registro de que en el siglo IV a. C. Aristóteles e Hipócrates recetaban estos sulfuros como remedios para úlceras de la piel y otros padecimientos. Son sustancias que al quemarse en presencia de oxígeno generan un polvo de fórmula As_2O_3, conocido como "arsénico blanco". También hay registros de este compuesto de más de 4 000 años de antigüedad, porque es un abundante producto secundario de los procesos de fundición de los metales más explotados por la humanidad.

Durante siglos estos sulfuros u óxidos de arsénico se usaron como medicamentos para tratar padecimientos tan diversos como las enfermedades venéreas, el asma, la tuberculosis y la diabetes. Se recomendaban también como antisépticos, sudoríficos, sedantes y tónicos.

Los alquimistas descubrieron que al añadir arsénico blanco al cobre, éste se decolora, cobrando la apariencia de la plata. El célebre alquimista Alberto Magno trabajó mucho con estas sustancias y sabía que al calentar intensamente esta pseudoargyrus ("seudo plata"), se regenera el cobre. Según parece, este personaje fue el primero en aislar arsénico elemental en el siglo XIII, pero fue hasta mediados del siglo XVII cuando el médico y farmacéutico alemán Johann Schroeder reconoció esta sustancia como un elemento y publicó dos métodos para obtenerlo.



Los impresionistas usaban pigmento verde de París el cual se cree contribuyó a provocar los trastornos neurológicos de Van Gogh. (*Granja con dos figuras*, Vincent van Gogh, 1890).

Hermoso verde

En el siglo XVIII el notable químico sueco Carl Wilhelm Scheele, además de aislar por primera vez los elementos oxígeno y cloro e identificar, también por primera vez, otros cuatro (bario, manganeso, molibdeno y tungsteno), preparó un pigmento verde al que se llamó verde de Scheele (de fórmula CuHAsO3) y que fue muy socorrido en su época. Se utilizó ampliamente en pinturas, así como para teñir telas y papel, incluyendo papel tapiz. Poco después, a principios del siglo XIX, el verde de Scheele se sustituyó por otro compuesto con mejor retención, pero que también estaba hecho a base de cobre y arsénico, al que se le daba el nombre de verde de París (aceto-arsenito de cobre, $Cu(AcO)_2 \cdot 3Cu(AsO_2)_2$). Los pintores de la escuela impresionista explotaron al máximo estos pigmentos que, según se cree, contribuyeron a provocar la ceguera de Monet, la diabetes de

Foto: Chris Goulet

Pigmento verde de París (aceto arsenito de cobre, $Cu(AcO)_2 \cdot 3Cu(AsO_2)_2$).

Napoleón

Los estudiosos de la historia han especulado sobre la verdadera causa de la muerte de Napoleón en 1821, en la remota isla de Santa Elena, en el Atlántico sur. La versión oficial fue que murió de cáncer estomacal, pero hay quien cree que Napoleón murió por envenenamiento con arsénico de manera posiblemente intencional. Está bien documentado que tanto el cáncer estomacal como el envenenamiento por arsénico producen dolores abdominales agudos como los que padeció Napoleón días antes de su muerte.

La hipótesis del envenenamiento se reforzó cuando se encontraron altas concentraciones de arsénico en unas muestras de cabello tomadas de los restos del emperador. Se sabe que el arsénico tiende a asociarse en un ser vivo con los grupos sulfhidrilo (-SH) presentes en muchas proteínas, particularmente en la queratina, que forma el pelo y las uñas.

Hay quienes piensan que Napoleón fue intencionalmente envenenado por sus captores británicos, pero otros argumentan que la intoxicación pudo haber sido accidental. Se pensó que el papel tapiz de su recámara, coloreado con algún pigmento a base de arsénico, pudo haber despedido arsina gaseosa (AsH3). En un ambiente húmedo como el de Santa Elena prolifera una gran variedad de hongos y bacterias, algunos de los cuales podrían haber sido capaces de producir arsina a partir del arsénico del pigmento del papel tapiz (verde de Scheele o verde de París).

Sin embargo, en 2008 un equipo de científicos italianos obtuvo interesantes resultados al realizar mediciones detalladas de las concentraciones de arsénico en muestras de cabello de Napoleón en varias etapas de su vida, así como de su primera esposa, Josefina, y de su hijo, Napoleón II. Los niveles de arsénico resultaron ser muy semejantes en todas las muestras analizadas, aunque aproximadamente 100 veces por encima del promedio encontrado en los cabellos de personas vivas en la actualidad. Con este estudio quedó descartada la hipótesis de muerte por envenenamiento accidental, pero se confirmó que hace dos siglos había mucho más arsénico en el ambiente que hoy.

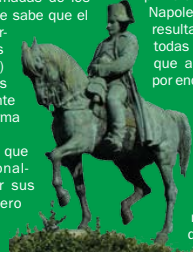
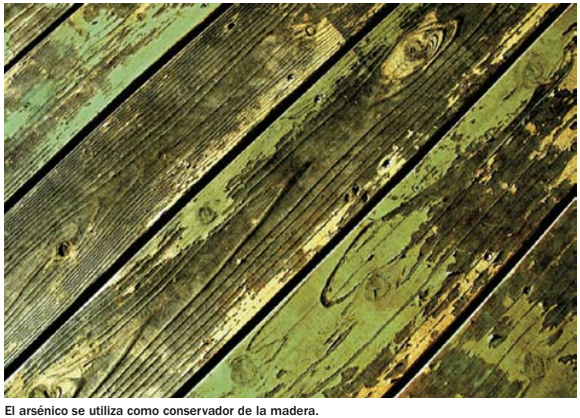


Foto: Nicolas Stark



El arsénico se utiliza como conservador de la madera.

Cézanne y los trastornos neurológicos de Van Gogh (aunque no hay que achacárselo todo al arsénico: estos artistas usaban también como pigmentos una gran variedad de compuestos de plomo y de mercurio, cuya toxicidad es bien reconocida). También se ha propuesto que el pigmento verde a base de arsénico en el papel tapiz de las paredes de la casa donde Napoleón pasó sus últimos días, en la isla Santa Elena, pudo contribuir a su muerte en el exilio en 1821 (ver recuadro).

Estos mismos compuestos inorgánicos de arsénico se aplicaron como pesticidas agrícolas hasta la mitad del siglo XX para combatir insectos, hongos y hierbas indeseables. Después fueron desplazados en este uso por otros compuestos menos tóxicos.

Hoy en día el arsénico se sigue usando como conservador de la madera, especialmente en países donde este material se emplea mucho en la construcción, como Estados Unidos y Canadá. Se utiliza para ello un material conocido como arseniato de cobre cromado (una mezcla de óxidos de cromo, cobre y arsénico), que inhibe el crecimiento del moho y acaba con las termitas.

En el siglo XVIII el arsénico se volvió más popular como medicamento gracias al llamado tónico de Fowler, que consistía en una solución al 1% de arsenito de potasio, sal soluble que se puede obtener a partir del óxido de arsénico y del carbonato de potasio. En el manual *Materia medica 1899* de la compañía Merck, el arsénico se indica para tratar padecimientos tan dispares como la malaria, la diabetes y la bronquitis, así como neuralgias, gastralgias y trastornos uterinos, y se menciona la solución de Fowler como el medio más conveniente de administrar este fármaco.

Ya a principios del siglo XX, el bacteriólogo alemán Paul Ehrlich (premio Nobel de Medicina 1908) introdujo al mercado un fármaco conocido como salvarsán, arsfenamina, o "606", que tuvo un enorme éxito comercial en todo el mundo, pues fue el primer compuesto sintético específico para el tratamiento de la sífilis. Este compuesto organoarsénico fue el único tratamiento empleado contra esta enfermedad hasta la introducción de la penicilina en los años 50.

Contra la leucemia

El arsénico se encuentra en la tabla periódica exactamente a la mitad de la diagonal que separa los elementos metálicos de los no metálicos. Esto quiere decir que tiene un comportamiento intermedio entre estos, y por lo tanto puede reaccionar de muy diversas formas: en algunas se comporta de manera muy parecida al fósforo, un típico no metal que es su vecino de arriba en la tabla, pero también reacciona de manera semejante al antimonio o al bismuto, metales típicos que son sus vecinos de abajo. Esta versatilidad química hace que sea sumamente difícil estudiar la trayectoria de sus compuestos dentro de un ser vivo.

El arsénico blanco u óxido de arsénico, As_2O_3, se ha empleado en la medicina tradicional china desde hace más de 2000 años para curar diversos padecimientos, y en los últimos años su uso farmacéutico ha retomado un gran auge. En 1992, un grupo de médicos chinos probaron el As_2O_3 para

El arseniuro de galio, material del siglo XXI

Las celdas solares (o celdas fotovoltaicas) son dispositivos que convierten la energía del Sol directamente en energía eléctrica por medio de un material semiconductor (típicamente silicio), que absorbe fotones de la luz solar. Este estímulo desaloja electrones del material, que así pueden fluir y crear una corriente eléctrica. Hoy en día muchos grupos de investigación están probando otros materiales semiconductores para producir celdas solares más eficientes.

Estas variaciones van desde utilizar silicio en formas diferentes —como monocristal, como material policristalino, como película delgada— hasta combinarlo o sustituirlo con otros materiales a base de otros elementos químicos. Entre los materiales que se han desarrollado y probado para estas aplicaciones se encuentran algunos que combinan elementos del grupo 13 con elementos del grupo 15 de la tabla periódica. El silicio se encuentra en el grupo 14. Así, en los materiales nuevos se combinan elementos que tienen un electrón de valencia menos que el silicio (como el aluminio, el galio y el indio) con elementos que tienen un electrón de valencia más (como el fósforo, el arsénico y el antimonio).

De estos nuevos materiales, el arseniuro de galio (GaAs) es el que más se está empleando en la actualidad. Es más eficaz que el silicio, pero es también es considerablemente más caro. Su éxito más notorio ha sido en la producción de energía eléctrica en satélites artificiales, donde sí se justifica su elevado costo.

El arseniuro de galio también es parte fundamental de dispositivos como nuestros teléfonos celulares, iPods y reproductores de CD. El arsénico, de tan mala fama, está contribuyendo cada día más a nuestro bienestar, aunque de manera silenciosa.

tratar la leucemia promielocítica aguda (LPA) y lograron índices de curación superiores al 90%. Estos notables resultados motivaron a médicos de Estados Unidos a realizar sus propios estudios y a comprobar la eficacia de esta sustancia venenosa en el tratamiento de la LPA. En los últimos 10 años se ha venido incrementando el uso de As_2O_3 para tratar esta leucemia con buenos resultados, pero aún se sabe muy poco sobre su mecanismo de acción.

En abril del 2010, un grupo de investigadores chinos publicó en la revista *Science* un interesante trabajo donde describen cómo el arsénico al unirse a a ciertos grupos químicos que contienen azufre de una proteína fundamental para el crecimiento de las células malignas de LPA, acaba prácticamente con ellas.

¿En el ADN?

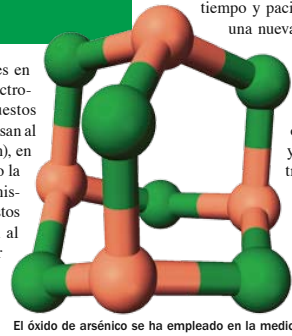
Las bacterias son organismos muy versátiles y tenaces. Hay variedades de bacterias que proliferan en medios que para la mayoría de los organismos resultarían hostiles, por ejemplo, a temperaturas muy elevadas (cerca de fuentes geotérmicas), presiones altísimas (en el fondo del mar) y entornos de gran acidez o alcalinidad.

En 1998 se publicó el descubrimiento de un par de especies de bacterias capaces de prosperar en un ambiente químico muy alcalino y con una concentración de arsénico más de 2000 veces mayor que el límite comúnmente considerado aceptable. Estas bacterias son capaces de "respirar" arsénico; es decir, obtienen

Hasta mediados del siglo XX se empleaban compuestos inorgánicos de arsénico como pesticidas agrícolas.

MÁS INFORMACIÓN

energía de reacciones en las que arrancan electrones a ciertos compuestos (lo oxidan) y se los pasan al arsénico (los reducen), en forma similar a como la mayoría de los organismos oxidan compuestos orgánicos y reducen al oxígeno molecular a agua. Este descubrimiento no tuvo ninguna repercusión más allá de los medios especializados; sin embargo, en diciembre de 2010 unos astrobiólogos de la NASA, encabezados por la doctora Felisa Wolfe-Simon, publicaron en la prestigiosa revista Science la nota que se mencionó al principio de este artículo.



El óxido de arsénico se ha empleado en la medicina para curar diversos padecimientos.

Según estos investigadores, cultivando estas bacterias en un medio rico en arsénico y libre de fósforo, serían capaces de incorporar el arsénico a su ADN. A través de una conferencia de prensa, transmitida en vivo por internet, la NASA favoreció que los medios exageraran la nota y afirmaran que la NASA había demostrado que existen otras formas de vida, distintas a las conocidas en este planeta, que usan arsénico en vez de fósforo.

La reacción no se hizo esperar. Este artículo fue publicado en línea por la revista *Science* el 2 de diciembre de 2010. Dos días después aparecieron en el blog de una profesora canadiense de microbiología los primeros cuestionamientos, e inmediatamente se desencadenó un alud de comentarios que ponían en duda los resultados de la NASA. Estas primeras objeciones estaban basadas principalmente en la falta de pruebas contundentes de que el arsénico que se identificó en una muestra de ADN de esas bacterias se encontrara ocupando el lugar del fósforo en esa molécula y no como una impureza de la muestra. Ante la unión de una gran cantidad de especialistas escépticos, a la investigadora principal del equipo no le quedó más remedio que ofrecer una entrevista, que se publicó en *Science* el 20 de diciembre, en la que pide a la comunidad científica internacional tiempo y paciencia para realizar una nueva serie de mediciones, ahora apoyada por una gran cantidad de nuevos colaboradores que ofrecieron su saber y su dinero para contribuir a aclarar esta controversia.

Y así, mientras esperábamos, pudimos leer el documento que apareció en la revista *Chemical Biology* el 11 de enero, donde los autores le dan a la microbióloga de aquella investigación una buena clase de química y le informan que está bien documentado que los enlaces fósforo-oxígeno de la molécula de ADN se hallan entre los más inertes conocidos (tienen una vida media de 30 000 000 años), mientras que los enlaces arsénico-oxígeno se rompen facilmente en medio acuoso y a temperatura ambiente con una vida media de apenas 0.06 segundos. Dicho de otro modo, el ADN con arsénico en vez de fósforo sería sumamente inestable.

La comunidad científica internacional sigue a la espera de la próxima comunicación de este equipo de investigación, aunque muy pocos creen que sea capaz de convencer a los escépticos.

Para nuestros suscriptores
La presente edición va acompañada por una guía didáctica, en forma de separata, para abordar en el salón de clases el tema de este artículo.

Laura Gasque Silva es doctora en química inorgánica. Trabaja en la Facultad de Química de la UNAM, donde imparte cursos en la licenciatura y el posgrado, y realiza investigación en química de coordinación y bioinorgánica.

Texto de divulgación científica se terminó de imprimir en febrero de 2018 en Gráficas Mateos, Tajín 184, Col. Narvarte, Ciudad de México. La impresión se realizó en papel cultural de 75 gramos, los forros en cartulina couche de 250 gramos. Las familias tipográficas utilizadas fueron *Akzidenz-Grotesk* y *Rockwell*

UNAM

Dr. Enrique Luis Graue Wiechers
Rector
Dr. Leonardo LomelÍ Vanegas
Secretario General
Ing. Leopoldo Silva Gutiérrez
Secretario Administrativo
Dr. Alberto Ken Oyama Nakagawa
Secretario de Desarrollo Institucional
Mtro. Javier de la Fuente Hernández
Secretario de Atención a la Comunidad Universitaria
Dra. Mónica González Contró
Abogada General
Lic. Néstor Martínez Cristo
Director General de Comunicación Social

CCH

Dr. Jesús Salinas Herrera
Director General

Plantel Naucalpan

Dr. Benjamín Barajas Sánchez
Director
Mtro. Ciro Plata Monroy
Secretario General
Mtro. Keshava Quintanar Cano
Secretario Administrativo
Ing. Reyes Hugo Torres Merino
Secretaria Académica
Dr. Joel Hernández Otañez
Secretario Docente
Biól. Guadalupe Mendiola Ruiz
Secretaria de Servicios Estudiantiles
Biól. Gustavo Alejandro Corona Santoyo
Secretario Técnico del Siladin
Lic. Fernando Velázquez Gallo
Secretario de Cómputo y Apoyo al Aprendizaje