

# Contactos, Revista de Educación en Ciencias e Ingeniería

Julio - Septiembre 2024

ISSN: 2683-2607

No. 134

**El estrés cambia nuestra alimentación  
y ocasiona diversas enfermedades**

**Aprendizaje basado en juegos para la enseñanza  
de la Nomenclatura Química Inorgánica**

**Cuando el tic-tac se convirtió en zumbido,  
la medición del tiempo revolucionó**

**Múltiples colores en lagartijas: polimorfismo  
en color ¿qué es y cómo se mantiene?**



Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD  
AUTÓNOMA  
METROPOLITANA

Revista de las divisiones de CBI y CBS





# Contenido

Contactos, Revista de Educación en Ciencias e Ingeniería  
No. 134 Julio - Septiembre 2024

Editorial	3	<i>Múltiples colores en lagartijas: polimorfismo en color ¿qué es y cómo se mantiene?</i> 56 Dr. Aaron García-Rosales Dr. César A. Díaz-Marín Dr. Aurelio Ramírez-Bautista
<i>Creación de aplicación financiera a través de AppSheet</i> Dr. José Gonzalo Ramírez Rosas Dr. Marco Antonio Canchola Chávez Dr. Martín Neri Suárez	5	<i>Algunos problemas antiguos en matemáticas elementales</i> 65 Yuri N. Skiba
<i>Balance de Energía y Entrelazamiento Cuántico en un sistema de dos cúbits</i> José Román Castro San Agustín Manuel Ávila Aoki	14	<i>Métodos de conservación como herramienta para salvaguardar agentes de control biológico útiles en el control de plagas</i> 74 Dr. Miguel Angel Ayala Zermeño M. en C. Angélica María Berlanga Padilla Dr. Roberto Montesinos Matías Dra. Alba Priscilia Suaste Dzul Dra. en Nohemí García Ortiz M. en C. Jorge Antonio Sánchez González
<i>Cuando el tic-tac se convirtió en zumbido, la medición del tiempo revolucionó</i> Dr. Achim M. Loske	19	
<i>Aprendizaje basado en juegos para la enseñanza de la Nomenclatura Química Inorgánica</i> M. en D. Diana E. Rivero Gómez Dr. Adolfo E. Obaya Valdivia Yolanda M. Vargas Rodríguez Dr. Plinio J. Sosa Fernández M. en D. Suemi Lima Vargas	26	<i>Síntesis Verde de Nanopartículas de ZnO: Aspectos Generales y Actividades Biológicas</i> 85 Dr. Diego Carlos Bouttier-Figueroa Dr. Ramón Enrique Robles-Zepeda Dr. Cristóbal Joel González-Pérez Dra. Hisila del Carmen Santacruz-Ortega Ing. Jorge Luis Pliego-Martinez
<i>El estrés cambia nuestra alimentación y ocasiona diversas enfermedades</i> M en C. María Guadalupe Lopez Velazquez Dr. Nicolás Camacho Calderón Dra. María Elena Villagrán Herrera Dra. Adriana Aguilar-Galarza Dr. Cesar Campos-Ramírez	47	<i>Moléculas con la misma geometría pero distintas propiedades electrónicas: una breve revisión del fullereno mono-endoédrico (La, Gd, Sc, Eu)@C<sub>82</sub></i> 93 Jaime Gustavo Rodríguez Zavala Zuriel Natanael Cisneros García Alessandro Romo Gutiérrez

Contactos, Revista de Educación en Ciencias e Ingeniería  
en la WEB

Lea los artículos publicados en  
<https://contactos.izt.uam.mx>

*Rector General*  
Dr. José Antonio de los Reyes Heredia  
*Secretaria General*  
Dra. Norma Rondero López

### **UNIDAD IZTAPALAPA**

*Rectora*  
Dra. Verónica Medina Bañuelos  
*Secretario*  
Dr. Javier Rodríguez Lagunas  
*Director de la División de Ciencias  
Básicas e Ingeniería*  
Dr. Román Linares Romero  
*Director de la División de Ciencias  
Biológicas y de la Salud*  
Dr. José Luis Gómez Olivares

### **Contactos, Revista de Educación en Ciencias e Ingeniería:**

Consejo Editorial:  
Dra. Verónica Medina Bañuelos  
Dr. Javier Rodríguez Lagunas  
Dr. Román Linares Romero  
Dr. José Luis Gómez Olivares  
*UAM- Iztapalapa*  
*Editora en Jefe:*  
M. C. Alma Edith Martínez Licona  
*Asistente Editorial:*  
Lic. Paula López Andrés  
*Comité Editorial por CBS:*  
Dra. Edith Arenas Ríos, Dra. Laura Jose-  
fina Pérez Flores, Dr. Pedro Luis Valverde  
Padilla  
*Por CBI:*  
Dr. Hugo Ávila Paredes  
*Por la Universidad Iberoamericana:*  
Mtro. Adolfo G. Fink Pastrana

### **CONTACTOS, REVISTA DE EDUCACIÓN EN CIENCIAS E INGENIERÍA.**

3ª Época, No. 134, Julio-Septiembre 2024,  
es una publicación trimestral de la Univer-  
sidad Autónoma Metropolitana a través de  
la Unidad Iztapalapa, División de Ciencias  
Básicas e Ingeniería y División de Ciencias  
Biológicas y de la Salud. Prolongación Ca-  
nal de Miramontes 3855, Col. Ex-Hacienda  
San Juan de Dios, Alcaldía Tlalpan, C.P.  
14387, México, Ciudad de México y Av. Fe-  
rrocarril San Rafael Atlixco 186, Col. Le-  
yes de Reforma 1a Sección, Iztapalapa, Cd.  
de México. C.P. 09310, Edificio T144, Tel.  
5804 – 4600. Ext. 1144. Página electrónica  
de la revista: <https://contactos.izt.uam.mx/>  
y dirección electrónica: [cts@xanum.uam.mx](mailto:cts@xanum.uam.mx)  
Editora responsable MC Alma E. Martínez  
Licona. Certificado de Reserva de Derechos  
al Uso Exclusivo de Título No. 04-2023-  
061914482700-102, ISSN 2683-2607, am-  
bos otorgados por el Instituto Nacional del  
Derecho de Autor. Responsable de la última  
actualización de este número, Mtra. Alma  
E. Martínez Licona; Unidad Iztapalapa, Di-  
visión de CBI y CBS; fecha de última modi-  
ficación 2 de Octubre de 2024. Tamaño del  
archivo 15.9 MB.

Las opiniones expresadas por los auto-  
res no necesariamente reflejan la postura  
del editor de la publicación.

Queda estrictamente prohibida la re-  
producción total o parcial de los conteni-  
dos e imágenes de la publicación sin previa  
autorización de la Universidad Autónoma  
Metropolitana.

Fecha de Publicación:  
Julio - Septiembre 2024.

Los artículos publicados en **Contactos, Revista de Educación en Ciencias  
e Ingeniería** son sometidos a arbitraje; para ello se requiere enviar  
el trabajo en Word a <https://contactos.izt.uam.mx/>  
**Revista de Educación en Ciencias e Ingeniería,**  
UAM – Iztapalapa, T144, Tel. 5804-4600. Ext. 1144  
Av. Ferrocarril San Rafael Atlixco 186. C.P. 09310  
e-mail [cts@xanum.uam.mx](mailto:cts@xanum.uam.mx)



## Editorial

El presente número exhibe una serie de artículos interesantes para nuestros lectores, como siempre, tratamos de variar su contenido, mostrando temas de diferentes áreas que corresponden al perfil de la revista, tales como:

“Creación de aplicación financiera a través de AppSheet”, en el se expone el desarrollo de una aplicación móvil en el área financiera dando a conocer, en tiempo real, los datos de empresas que cotizan en la Bolsa de Valores a través de la construcción de un portafolio de inversión por medio de la herramienta AppSheet.

De las finanzas pasamos a los cúbits con el artículo “Balance de Energía y Entrelazamiento Cuántico en un sistema de dos cúbits” en este artículo nos explican la importancia del entrelazamiento cuántico y expone la investigación de la ley de conservación que subyace con la pérdida o ganancia de entrelazamiento por un sistema de dos cúbits.

Pasamos a revisar un artículo que hace una propuesta de aprendizaje de la nomenclatura química de sales binarias por medio de un juego el cual denominaron RUBIQUIM, basado en el cubo de Rubik, el artículo es “Aprendizaje basado en juegos para la enseñanza de la Nomenclatura Química Inorgánica”.

En el área de la salud presentamos un artículo sobre el estrés, donde nos muestra lo importante que es poner atención a nuestros niveles altos de estrés que nos pueden ocasionar enfermedades severas, esto en, “El estrés cambia nuestra alimentación y ocasiona diversas enfermedades”.

En el medio ambiente esta el artículo “Métodos de conservación como herramienta para salvaguardar agentes de control biológico útiles en el control de plagas”. Finalmente, invitamos al lector a descubrir el resto del contenido de este número el cual esperamos sea de su agrado.

Atentamente  
*MC Alma E. Martínez Licona*  
**Editora en Jefe, Revista Contactos**





## Información para autores

**Contactos, Revista de Educación en Ciencias e Ingeniería**, Revista dirigida a profesores y a estudiantes de estas disciplinas.

Está registrada en el índice de revistas de divulgación de Conacyt, así como en Latindex, Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal.

Para publicar, los trabajos deberán ser originales y accesibles a un público amplio con formación media superior o universitaria pero no especializada; los temas deberán presentarse en forma clara. Cada colaboración debe incluir figuras, diagramas, ilustraciones, fotografías, etc. (otorgando el crédito correspondiente en caso de no ser original), que hagan más accesible la presentación.

**Las secciones que la constituyen son:**

**1. Divulgación.** Artículos que presentan temas científicos con enfoques novedosos y accesibles (15 cuartillas).

**2. Educación científica.** Enfoques originales en la enseñanza de temas particulares (15 cuartillas).

**3. Artículos especializados.** Reportes breves de investigación, relacionados con una problemática concreta (15 cuartillas).

**4. Crónicas.** Historia y desarrollo de conceptos científicos, así como teorías alternativas (15 cuartillas).

**5. Divertimentos.** Juegos y acertijos intelectuales (5 cuartillas).

**6. Noticias breves.** Información de actualidad en el mundo de la ciencia (4 cuartillas).

**7. Los laureles de olivo.** Los absurdos de la vida cotidiana y académica (4 cuartillas).

En todos los casos se debe incluir los nombres completos de los autores con su adscripción, dirección, teléfono y dirección de correo electrónico.

### Normas

Las colaboraciones a las secciones 1 a 4 deberán ajustarse a las siguientes normas:

1. Resumen escrito en español e inglés.
2. 4 palabras clave en español en inglés.
3. Cuando se incluya una abreviatura debe explicarse por una sola vez en la forma siguiente: Organización de los Estados Americanos (OEA). . .
4. Cuando se utilice un nombre técnico o una palabra característica de una disciplina científica deberá aclararse su significado de la manera más sencilla posible.

5. Las citas textuales deberán ir de acuerdo al siguiente ejemplo: En cuanto la publicación del placebo se asevera que “el efecto placebo desapareció cuando los comportamientos se estudiaron en esta forma” (Núñez, 1982, p.126).

6. Las referencias (no más de 10) se marcarán de acuerdo al siguiente ejemplo: Sin embargo, ese no es el punto de vista de la Escuela de Copenhague (Heisenberg, 1958), que insiste en. . .

7. Al final del artículo se citarán las referencias por orden alfabético de autores. Pueden añadirse lecturas recomendadas (no más de 5).

8. Cada referencia a un artículo debe justarse al siguiente formato: Szabadváry, F. y Oesper, E., Development of the pH concept, *J. Chem. Educ.*, 41 [2], pp.105 -107, 1964.

9. Cada referencia a un libro se ajustará al siguiente formato: Heisenberg, W., *Physics and Philosophy. The Revolution in Modern Science*, Harper Torchbook, Nueva York, pp.44-58, 1958. 10. Para páginas electrónicas: dirección (fecha de acceso).

11. Los títulos de reportes, memorias, etcétera, deben ir subrayados o en itálicas.

### Envío y características del artículo

El envío del artículo deberá ser en archivo electrónico, en Word, tipo de letra Times New Roman, tamaño 12 con interlineado sencillo y uso de editor de ecuaciones.

En el caso de ilustraciones por computadora (BMP, JPG, TIFF, etc.) envíelos en archivos por separado.

El material es recibido en:

### Contactos, Revista de Educación en Ciencias e Ingeniería.

UAM – Iztapalapa, T144,

Información: cts@xanum.uam.mx,

Tel. 5804-4600. Ext. 1144.

Av. Ferrocarril San Rafael Atlixco 186.

C.P. 09310

### Arbitraje

El Comité utiliza un sistema de arbitraje anónimo que requiere un mes. Se entiende que los autores no han enviado su artículo a otra revista y que dispondrán de un plazo máximo de un mes para incorporar las observaciones de los árbitros.

La decisión final de publicar un artículo es responsabilidad exclusiva del Comité Editorial.



# Creación de aplicación financiera a través de AppSheet



**Dr. José Gonzalo Ramírez Rosas**

*Doctor en Administración. Ingeniería Financiera (UPPue)*

**Dr. Marco Antonio Canchola Chávez**

*Doctor en Ciencias. Ingeniería en Mecatrónica (UPPue)*

**Dr. Martín Neri Suárez**

*Doctor en Ciencias. Ingeniería Financiera (UPPue)*



**Resumen:**

El presente artículo expone el desarrollo de una aplicación móvil en el área de las finanzas, en específico el dar a conocer en tiempo real los datos de empresas que cotizan en la Bolsa de Valores a través de la construcción de un portafolio de inversión; para este caso se utilizó la herramienta de APP Sheet la cual es una herramienta conocida no code y por ende no se requieren conocimientos de programación, dicha herramienta se encarga de las fases de codificación, análisis de estructuras de datos y prototipos de la app, por lo que en este sentido permite facilitar la gestión de los datos y de esa forma percibir que la construcción de aplicaciones móviles permiten el procedimiento en cualquier área.

**Palabras clave:** app sheet; aplicación móvil; gestión de datos; portafolio de inversión.

**Abstract:**

This article exposes the development of a mobile application around finance topic, specifically the disclosure in real time of the data of companies listed on the Stock Exchange through the construction of an investment portfolio; for this case, the APP Sheet tool was used, which is a well know no-code tool and therefore no programming knowledge is required. This tool is responsible for the coding phases, analysis of data structures and prototypes of the app, therefore which in this sense makes it possible to facilitate data management and thus perceive that the construction of mobile applications allows the procedure in any area.

**Keywords:** app sheet; mobile application; data management; investment.

**Introducción.**

En la última década se ha presentado un creciente consumo, así como mayor dinamismo sobre las aplicaciones móviles, teniendo diferentes temáticas como la educativa, de salud o simplemente para socializar entre otras; sin embargo, la parte fundamental de las aplicaciones móviles es el acceso a la información de acuerdo a las necesidades de los usuarios (Ally y Prieto, 2014, p.144)

Acosta, León y Sanafría (2022) evidenciaron que en los últimos años se ha dado una tendencia por el desarrollo de aplicaciones, en específico de las móviles, no obstante, el impacto en la sociedad ha sido de forma significativa pues las mismas han ayudado a las personas, un ejemplo claro ha sido en el área de la salud dado al seguimiento oportuno en el tratamiento de los pacientes (p.240)

En otro sentido se habla de las aplicaciones móviles como una tendencia de consolidación dominante sobre los temas de interés que el usuario necesita, pues el hecho de tener la información en la mano implica un alto poder de entendimiento de los temas de los cuales se está abordando (Aguado, Martínez y Cañete, 2015, p.790)

A su vez, se ha observado que existen diferentes metodologías para desarrollar aplicaciones móviles, como son las metodologías de principios ágiles, siendo la metodología Scrum la que se caracteriza por ser una metodología indicada para el desarrollo de aplicaciones móviles (Molina, Honores, Pedreira y Pardo, 2021, p.20)

Sin embargo, para el desarrollo de aplicaciones móviles han existido lenguajes

que requieren de un nivel medio a avanzados de programación, de un conocimiento técnico en programación, como es el caso del lenguaje de kotlin que está dirigido para aplicaciones móviles que se realizan en sistema android, o Xcode para el sistema ios.

No obstante, existen herramientas que de forma intuitiva desarrollan aplicaciones móviles, donde no se necesita un código para la creación de las mismas, como es el caso de Swift para el desarrollo de aplicaciones sistema ios, o el caso de AppSheet que funciona para sistema android o ios.

Por otro lado, en el campo de las finanzas ha existido evidencia del desarrollo de aplicaciones en el sector bancario, mismas que han servido de innovación para la automatización de sus procesos (Torres y Marín, 2017, p.30)

### ¿Qué es AppSheet?

App Sheet es una herramienta que se combina con la Inteligencia Artificial de Google para poder automatizar procesos empresariales, esta plataforma permite el desarrollo de aplicaciones sin código, es decir, que cualquier persona puede crear aplicaciones sin necesidad de tener conocimientos en programación, por lo que se le denomina programación intuitiva, la ventaja de esta herramienta es que las aplicaciones se pueden usar en

ordenadores, móviles y tablets así como permitir la conexión con varias fuentes de datos (Google, 2024).

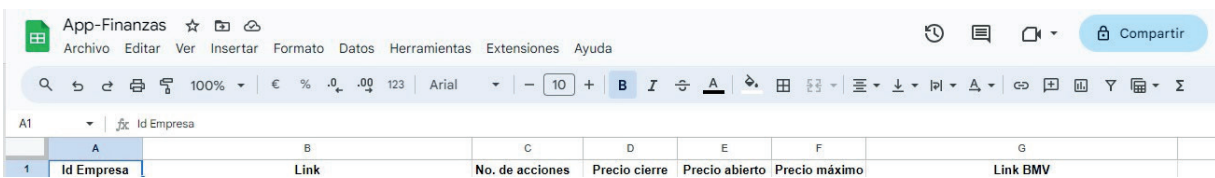
### ¿Cómo realizar una aplicación en AppSheet?

Lo primero que se tiene que construir para la aplicación es elaborar una base de datos por medio de Google Sheets, donde a través de ella se trabajaría con las columnas que se desea que la aplicación emita la información requerida. Por ejemplo en la Figura 1, se puede observar la construcción de la plantilla que forma la base de datos.

La función de la base de datos sirve para guardar la información que se mostrará a la aplicación, pues la misma puede ser automatizada a modo que la información que se presente sea en tiempo real.

Para que funcione de forma automatizada se escriben las claves de cotización de las empresas que se desea construir el portafolio de inversión, a su vez utilizando las fórmulas financieras de GoogleFinance, en este caso se requiere que la aplicación muestre el número de acciones, precio de cierre, precio abierto y precio máximo de las empresas que se desea consultar.

Por lo que se utilizan las fórmulas GOOGLEFINANCE (Clave de cotización de la empresa; “closeyest”) para conocer el precio de cierre para cada día; GOOGLEFI-



	A	B	C	D	E	F	G
1	Id Empresa	Link	No. de acciones	Precio cierre	Precio abierto	Precio máximo	Link BMV

Figura 1. Construcción de la base de datos para soporte de la aplicación.



	A	B	C	D	E	F	G
1	Id Empresa	Link	No. de acciones	Precio cierre	Precio abierto	Precio máximo	Link BMV
2	walmex	<a href="https://www.google.com/finance/quote/WALMEX:BMV">https://www.google.com/finance/quote/WALMEX:BMV</a>	17.461.402.631,00	\$71,69	\$71,51	\$71,51	<a href="https://www.bmv.com.mx/es/emisoras/perfil/-5214">https://www.bmv.com.mx/es/emisoras/perfil/-5214</a>
3	bimboa	<a href="https://www.google.com/finance/quote/BIMBOA:BMV">https://www.google.com/finance/quote/BIMBOA:BMV</a>	4.433.667.641,00	\$87,10	\$86,79	\$86,94	<a href="https://www.bmv.com.mx/es/emisoras/perfil/-5163">https://www.bmv.com.mx/es/emisoras/perfil/-5163</a>
4	alsea	<a href="https://www.google.com/finance/quote/ALSEA:BMV">https://www.google.com/finance/quote/ALSEA:BMV</a>	810.000.000,00	\$63,21	\$63,52	\$63,55	<a href="https://www.bmv.com.mx/es/emisoras/perfil/-5059">https://www.bmv.com.mx/es/emisoras/perfil/-5059</a>
5	cx	<a href="https://www.google.com/finance/quote/CX:NYSE">https://www.google.com/finance/quote/CX:NYSE</a>	1.513.746.000,00	\$7,61	\$7,49	\$7,55	<a href="https://www.bmv.com.mx/es/emisoras/perfil/-5203">https://www.bmv.com.mx/es/emisoras/perfil/-5203</a>
6	tv	<a href="https://www.google.com/finance/quote/TLEVISACPO:BMV">https://www.google.com/finance/quote/TLEVISACPO:BMV</a>	506.022.200,00	\$3,36	\$3,34	\$3,34	
7	herdez		354.682.499,00	\$45,47	\$45,51	\$45,51	
8	MXN	<a href="https://www.google.com/finance/quote/USD-MXN?hl=es">https://www.google.com/finance/quote/USD-MXN?hl=es</a>		\$17,04			
9							
10							
11							
12							

Figura 2. Base de datos con la construcción de las fórmulas descritas.

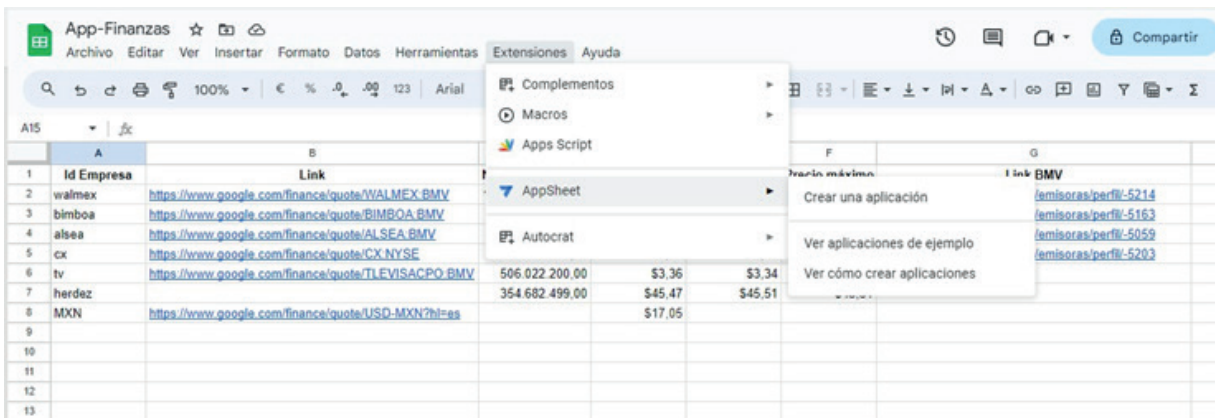


Figura 3. Acceder o Activar AppSheet desde la base de datos.

NANCE (Clave de cotización de la empresa; “priceopen”) para conocer el precio de apertura en cada día; GOOGLFINANCE (Clave de cotización de la empresa; “high”) para conocer el precio máximo del día de cotización, así como obtener el número de acciones GOOGLFINANCE(Clave de cotización de la empresa; “shares”).

Por su parte si dentro del portafolio se requiere conocer el tipo de cotización de una divisa para este propósito se utilizará la fórmula GOOGLFINANCE (“currency:USDMXN”) esto para conocer el tipo de cotización en este caso del peso mexicano frente al dólar americano en tiempo real. Como se puede observar en la Figura 2, donde se despliega la información bursátil de las empresas.

A su vez se pondrá como dato de enlace la liga de consulta a la web de Google Finance y de la Bolsa Mexicana de Valores, esto con el objetivo de que la consulta pueda ser más profunda con la información deseada.

Una vez conformada la base datos se procede a la construcción de la aplicación, esto es usando el menú de extensiones dentro de Google Sheets donde se podrá activar AppSheet. Por ejemplo en la Figura 3, se expone la construcción de la aplicación.

Creada la aplicación como se observa en la Figura 4, la herramienta pone una primera visualización de la aplicación con base en los datos que se alimentaron en la hoja de cálculo.

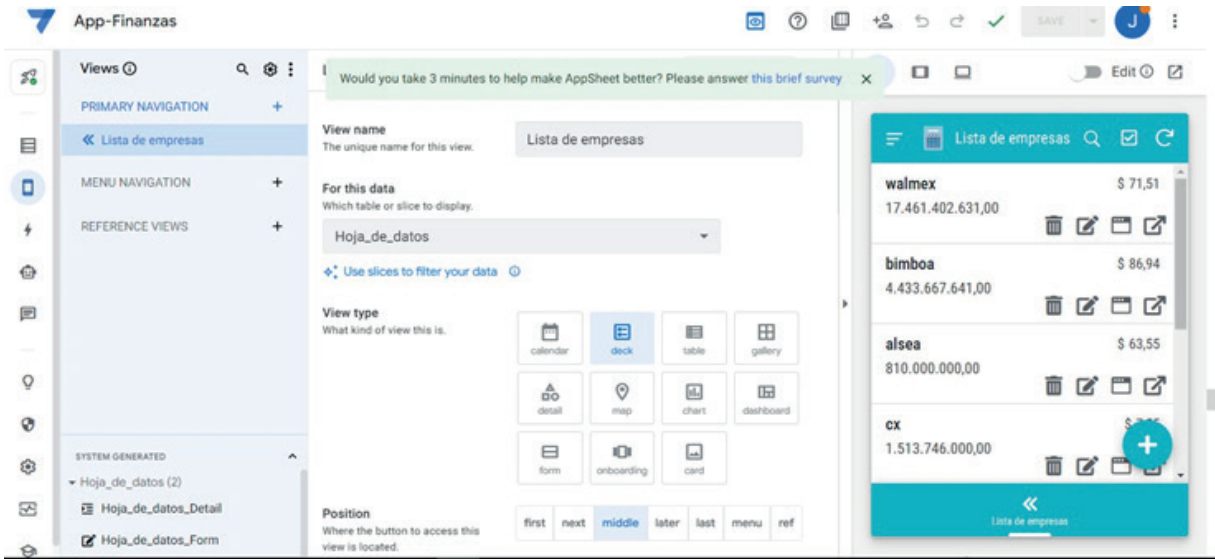


Figura 4. Emulador de la aplicación con base en los datos de la hoja de cálculo.

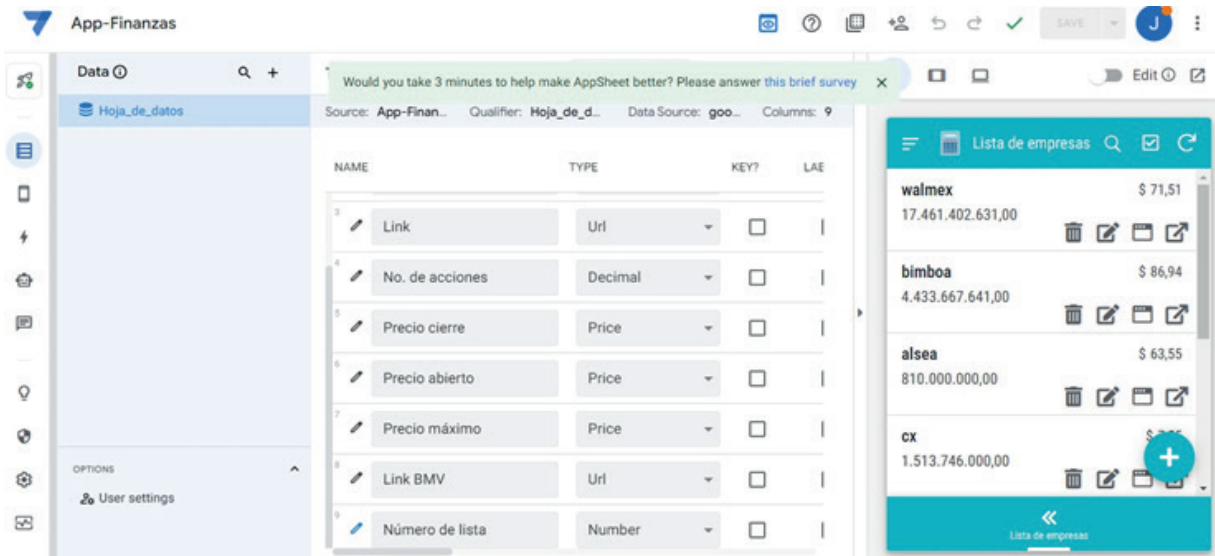


Figura 5. Editor de los elementos de la hoja de datos.

Dentro de la herramienta en el menú desplegable Hoja\_de\_datos se puede editar con base en la esencia de las columnas que se pusieron en la hoja de cálculo de Google Sheets, esto para que la aplicación pueda identificar si se trata de un texto, número o dirección de la página

web como se puede observar en la Figura 5 y Figura 6.

Los ajustes en la aplicación, como se observa en la Figura 7, tiene la opción de seleccionar el tipo de letra, color, así como el logotipo para que se pueda vi-



AppSheet FREE

How to create an app Pricing Templates Blog My account

Here is a sample of the data read from table 'Hoja\_de\_datos'

Showing 1000 rows

_RowNumber [Number]	Id Empresa [Text]	Link [Url]	No. de acciones [Decimal]	Precio cierre [Price]	Precio abierto [Price]	Precio máximo [Price]	Link BMV [Url]
2	walmex	https://www.google.com/finance/quote/WALMEX:BMV	17,461,402,631.00	\$69.88			https://www.bmv.com.mx/es/emisc
3	bimboa	https://www.google.com/finance/quote/BIMBOA:BMV	4,433,667,641.00	\$84.85			https://www.bmv.com.mx/es/emisc
4	alsea	https://www.google.com/finance/quote/ALSEA:BMV	810,000,000.00	\$63.71			https://www.bmv.com.mx/es/emisc
5	cx	https://www.google.com/finance/quote/CX:NYSE	1,513,746,000.00	\$7.42	\$7.35	\$7.40	https://www.bmv.com.mx/es/emisc
6	tv	https://www.google.com/finance/quote/TLEVISACPO:BMV	506,022,200.00	\$3.25	\$3.25	\$3.27	
7	herdez		354,682,499.00	\$45.50			

Figura 6. Base de datos de AppSheet editada.

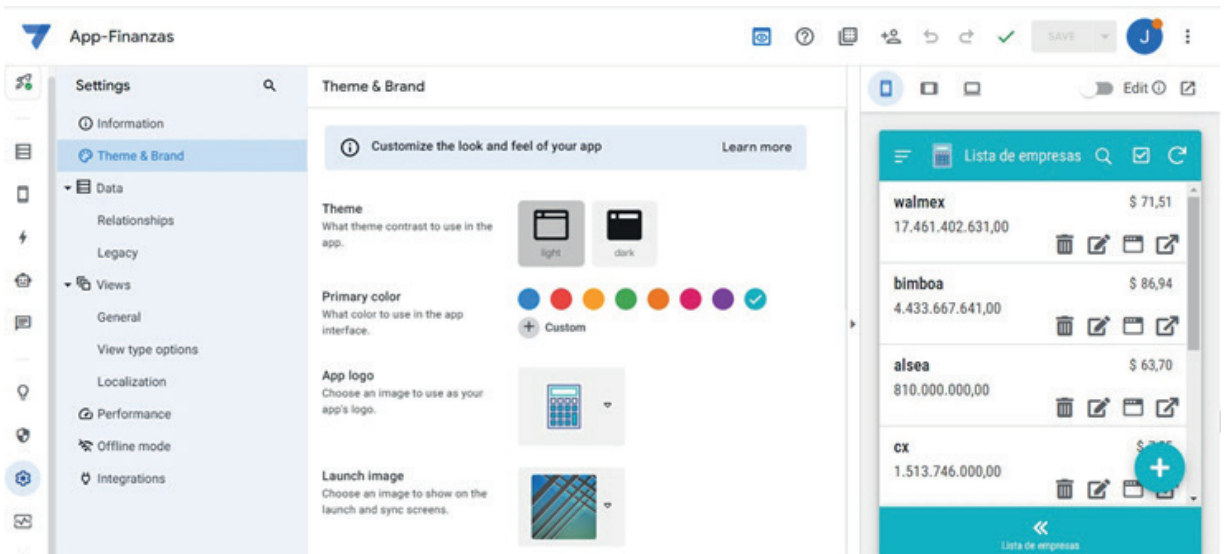


Figura 7. Editor de los ajustes de la aplicación.

sualizar la aplicación a desarrollar, así como la información de la aplicación para que los usuarios puedan entender sobre la temática que trata; es importante señalar que si se requiere profundizar más en el desarrollo de la aplicación se puede utilizar la automatización.

Conformado lo anterior se puede tener una primera visualización de la aplicación en el emulador así como se demuestra en la Figura 8 y Figura 9, donde se podrá observar los datos que se ingresaron en la base de datos de una forma automatizada con las fórmulas expuestas

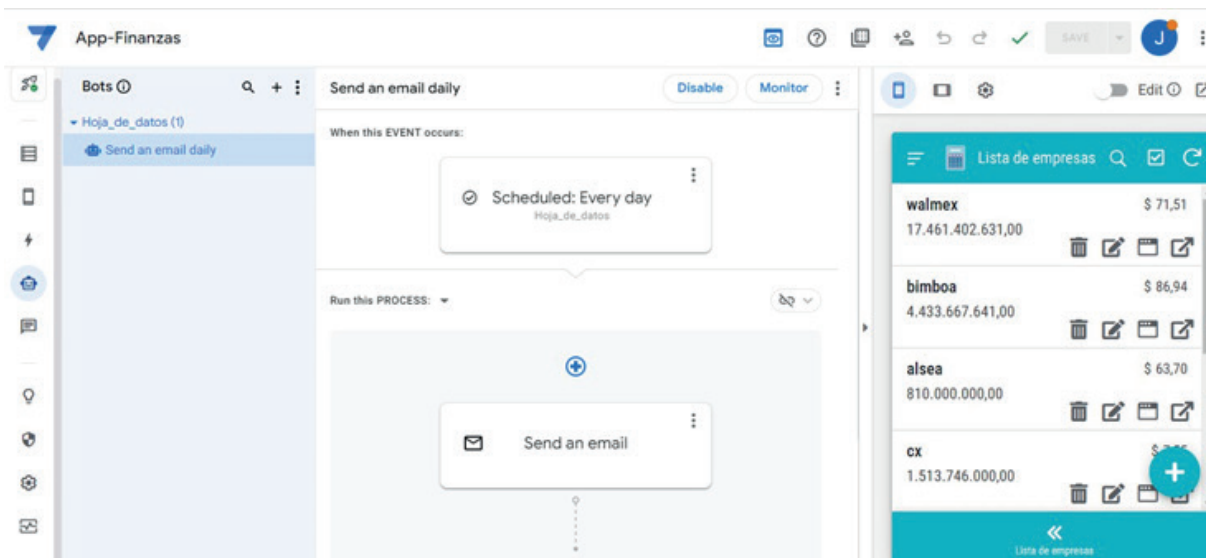


Figura 8. Automatización de procesos de la aplicación.

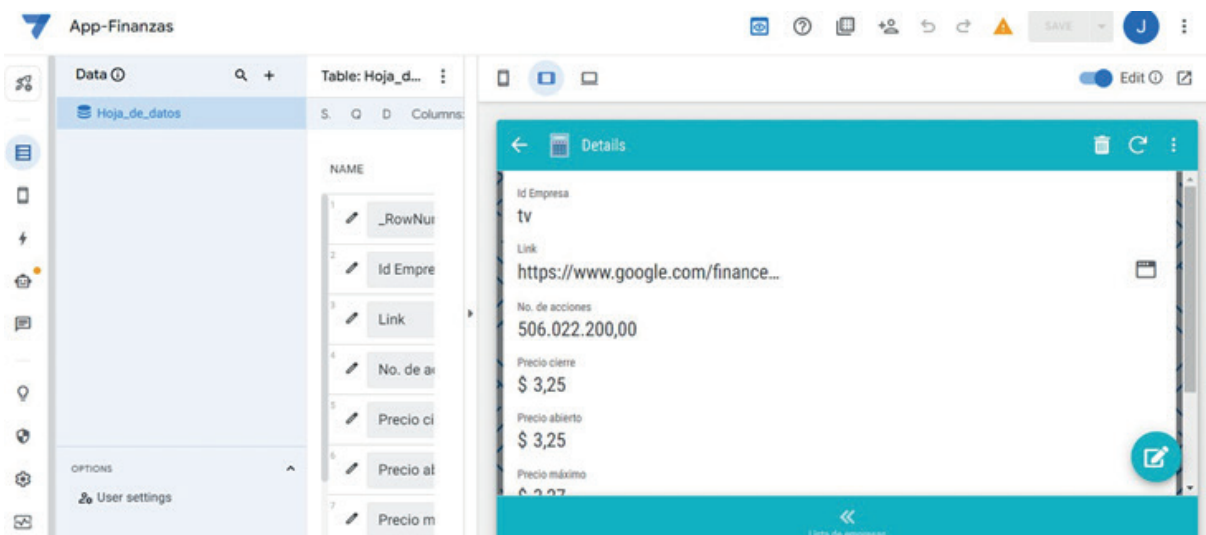


Figura 9. Vista previa de la aplicación en el emulador de AppSheet.

anteriormente que servirán de actualización de los precios en tiempo real y de forma diaria.

Como se puede observar en la Figura 10 y Figura 11 la aplicación se puede insta-

lar en un teléfono móvil hasta una tableta inteligente, permitiendo al usuario alternativas de uso, así mismo cabe destacar que la aplicación se puede implementar en una computadora como se puede observar en la Figura 12.



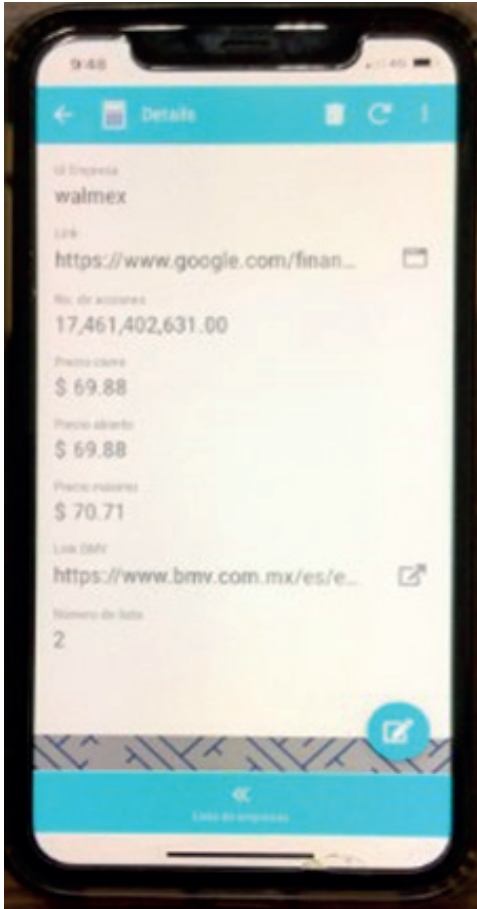


Figura 10. Vista de la aplicación desde un teléfono móvil.

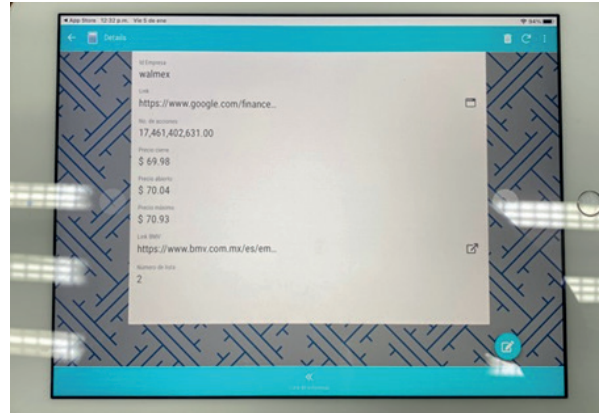


Figura 11. Vista de la aplicación desde una tableta.

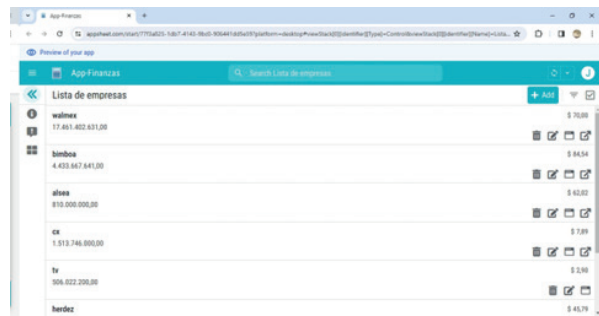


Figura 12. Vista de la aplicación desde una computadora.

### Conclusiones.

Como se ha podido observar el desarrollo de una aplicación está implicado en todas las áreas que rodea a las personas, pues la principal esencia de las aplicaciones en específico con las móviles es hacer más fácil la vida de las personas y por ende que sean más productivas.

Se ha demostrado que la evolución de las aplicaciones móviles en la última década ha sido significativa, existiendo lenguajes específicos como Kotlin cuyo propósito está dirigido para sistema android o Xcode para el desarrollo de aplicaciones en sistema ios.

Por otra parte, se han presentado nuevos lenguajes de desarrollo de aplicaciones móviles de manera intuitiva o sin código como el caso de Swift o AppSheet cuyo objetivo principal es que cualquier persona que no tenga conocimientos de programación puede desarrollar una aplicación en el área de interés.

En el caso de la herramienta de AppSheet se observa que la aplicación que se pretende desarrollar está en función de la base de datos que se crea en la hoja de cálculo del workspace de Google, y está misma se puede editar el funcionamiento, dando así una versión preliminar en el emulador de

la forma de presentarse, tanto en un dispositivo móvil como en una tableta.

También es menester mencionar, que AppSheet se puede instalar en un dispositivo móvil para observar el funcionamiento en tiempo real sobre los cambios que se realiza, por ejemplo, como la automatización de algunos procesos que estén incluidas en la aplicación.

El desarrollo de aplicaciones para móviles tiene un gran impacto educativo donde se adquiere conocimiento y se forman habilidades necesarias para la creación de herramientas digitales que nos permitan poder tomar mejores decisiones en este caso financieras, esto al tener la capacidad de ingresar y categorizar las entradas y salidas de dinero del usuario para tener una visión clara y global de su situación financiera general lo que da como resultado establecer metas financieras realistas y alcanzables.

### Referencias.

[1] Acosta, J., Lenin, A., & Sanafría, W. (2022). Las aplicaciones móviles y su im-

pacto en la sociedad. *Revista Universidad y Sociedad*, 237-243.

[2] Aguado, J., Martínez, I., & Cañete, L. (2015). Tendencias Evolutivas del contenido digital en aplicaciones móviles. *El profesional de la información*, 787-795.

[3] Ally, M., & Prieto, J. (2014). What is the future of mobile learning in education? *Universities and Knowledge Society Journal*, 142-151.

[4] Google. (2024). Google Cloud. Obtenido de <https://cloud.google.com/appsheets?hl=es>

[5] Molina, J., Honores, J., Pedreira, N., & Pardo, H. (2021). Estado del arte: Metodologías de desarrollo de aplicaciones móviles. *3C Tecnología. Glosas de innovación aplicadas a la pyme.* , 17-45.

[6] Torres, Á., & Marín, P. (2017). Gamificación en aplicaciones móviles para servicios bancarios de España. *Revista de Ciencias de la Administración y Economía.*, 27-41.





# **Balance de Energía y Entrelazamiento Cuántico en un sistema de dos cúbits**

**José Román Castro San Agustín  
Manuel Ávila Aoki**

*Centro Universitario UAEM Valle de Chalco, UAEMex*



## Resumen

Se investiga cual es la ley de conservación que subyace con la pérdida ó ganancia de entrelazamiento por un sistema de cúbits. Se encuentra que la pérdida (ganancia) de entrelazamiento cuántico implica que el sistema ceda (absorba) energía de los alrededores a temperatura constante.

**Palabras clave:** termodinámica, entrelazamiento, balance de energía, entropía

## Abstract

It is investigated what is the conservation law that underlies with the loss (gain) of quantum entanglement of a system of qubits. It is found that loss (gain) on quantum entanglement implies that the system gives (absorb) energy of the environment at constant temperature.

**Keywords:** thermodynamics, entanglement, energy balance, entropy

## Introducción

El entrelazamiento cuántico es un ingrediente básico en el Procesamiento Cuántico de la Información (PCI). El entrelazamiento cuántico es importante en Teleportación Cuántica (Bennet et al. , 1993), Codificación Densa Cuántica (Bennet, 1992) y Criptografía Cuántica (Ekert, 1991). También es útil en Mecánica Cuántica (Bell, 1965). Debido a la importancia del entrelazamiento cuántico hay una intensa búsqueda en mecanismos eficientes de generación de entrelazamiento cuántico (Zhang, 2021). Existen diversas formas de medir entrelazamiento cuántico siendo su única característica de todas ellas que sus valores son positivos. El entrelazamiento cuántico normalizado entonces puede valer desde cero para estados no entrelazados hasta el valor de

uno para estados máximamente entrelazados. Una estrategia muy común para generación de entrelazamiento cuántico es preparar tanto teóricamente como experimentalmente estados entrelazados. Se ha buscado preparar tales estados en diversas diferentes formas tales como estados Greenberger-Horne-Zeilinger (GHZ) (Raimond, 2001) y estados tipo W (Cirac, 1994). Entonces generación de entrelazamiento consiste básicamente en partir de un estado inicial de entrelazamiento nulo y concluir en un estado final de entrelazamiento no nulo o incluso la unidad (Zhang, 2010). Partiendo del Principio de Lavoisier (Klein, 2007) “Nada se crea, nada se destruye solo se transforma” surge la siguiente pregunta: ¿De dónde viene el entrelazamiento cuántico generado? En otras palabras: ¿Cuál es la ley de conservación que está detrás de la generación de entrelazamiento cuántico? Para responder esta pregunta en el presente trabajo se considera un sistema de dos cúbits superconductores a bajas temperaturas para evitar su indeseado ruido cuántico y se manipula un resonador con campos de microondas actuando sobre el sistema. Lo anterior inspirado en el esquema de Yang et al. (2003) donde se generan estados máximamente entrelazados para dos cúbits superconductores. Es hallado que si se acepta que entrelazamiento cuántico es la entropía de un sistema entonces el responsable de la generación de entrelazamiento es el incremento de la energía interna del sistema de acuerdo a la Primera Ley de la Termodinámica (Van Ness, 1983). Lo anterior es válido sólo a baja temperatura constante. El presente trabajo se organiza como sigue: En la sección de Materiales y métodos se presentan los desarrollos metodológicos, en la sección de Resultados se describen los resultados, en la sección de



Discusión se proporciona una breve discusión de los resultados obtenidos mientras que en la sección de Conclusiones se sintetiza el trabajo.

## Materiales y métodos

### - El Hamiltoniano

Se considera un Dispositivo de Interferencia Cuántica Superconductor (DICS) compuesto de dos cúbits DICS. De acuerdo con esto el Hamiltoniano de dicho sistema es (Han,1996), (Spiller, 1992)

$$H_q = \frac{Q^2}{2C} + \frac{(F-F_x)^2}{2L} - E_j \cos\left(2\pi \frac{F}{F_x}\right), \quad (1)$$

donde  $C$  es la capacitancia del dispositivo,  $L$  es la inductancia del rizo,  $Q$  es la carga total en el capacitor,  $F$  es el flujo magnético a través del anillo superconductor ( $F$  y  $Q$  son las variables conjugadas del sistema),  $F_x$  es el flujo magnético externo cuasi estático a través del anillo superconductor y  $E_j = I_c F_0 / 2\pi$  es la energía del acoplamiento de Josephson siendo  $I_c$  y  $F_0 = h/2e$  la corriente crítica del dispositivo y el flujo cuántico respectivamente. En Ref. (Zheng, 2000) a partir del Hamiltoniano de la Ec. (1) se derivó el siguiente Hamiltoniano efectivo en la imagen de interacción bajo la aproximación de la onda-rotante

$$H_{eff} = g_0 (I_1 I_2 + \sigma_1^+ \sigma_2^- + \sigma_1^- \sigma_2^+), \quad (2)$$

donde  $g_0 = \frac{(g^* \Omega)^2}{d-\delta}$  y  $1/d^* = (\frac{1}{\delta} + 1/d)$  siendo  $g^*$  una constante de acoplamiento de transiciones entre los niveles  $|0\rangle$  y  $|2\rangle$  del DICS,  $\Omega$  la frecuencia de Rabi,  $d = \omega_2 - \omega_1 - \omega$ ,  $\omega_1$ , la energía del nivel  $|1\rangle$ ,  $|1\rangle$  la energía del nivel  $|2\rangle$ ,  $\omega_F$  la frecuencia del resonador y  $\omega$  es la energía de transición entre los niveles  $|0\rangle$  y  $|2\rangle$ . En la ecuación (2)  $\sigma_a^+$  ( $\sigma_a^-$ ) es el operador de ascenso (descenso) de momento angular de espín del cubit  $a$

( $a=1,2$ ). En dicha ecuación se ha hecho la constante de Planck reducida igual a 1.

### - Entropía

Es bien sabido que en un sistema bipartito, las correlaciones cuánticas están descritas por la información cuántica mutua (Maziero et al., 2009) la cual está dada por  $\tau(\rho_S) = S(\rho_A) + S(\rho_B) - S(\rho_S)$  donde  $S(\rho) = -Tr(\rho \log \rho)$  es la entropía de Von Neumann de la matriz de densidad  $\rho$  y  $\rho_A$  ( $\rho_B$ ) es el operador densidad reducida del subsistema A (B). Entonces si identificamos el entrelazamiento cuántico con la entropía entonces por la Primera Ley de la Termodinámica se tiene que para un proceso adiabático isoterma (temperatura constante) donde no hay intercambio de calor con los alrededores el cambio en energía interna del sistema estará relacionado al entrelazamiento a través de (Van Ness, 1983)

$$\Delta U = T \Delta C, \quad (3)$$

donde  $\Delta U$  es el cambio de la energía interna,  $T$  es la temperatura y  $\Delta C$  es el cambio en el entrelazamiento. De la Ec. (3) se puede observar que se consigue una óptima generación de entrelazamiento cuántico i.e.  $\Delta C = C_f - C_i > 0$  si  $\Delta U = U_f - U_i > 0$  a bajas temperaturas. Por cierto, se dice que el sistema está máximamente entrelazado si  $C=1$ . Por otra parte se dice que el estado es separable o no entrelazado si  $C=0$ .

### - Generación de entrelazamiento cuántico

Si el sistema de dos cúbits incrementa su entrelazamiento cuántico, el sistema tendrá que tomar energía de los alrededores para ello. Es decir, para ganar entrelazamiento cuántico se deberá invertir energía en el sistema tal como lo muestra la Ec. (2). Un asunto que está por determinarse es el referente a la temperatura a las

cuales se alcanza generación máxima de entrelazamiento cuántico.

Para un sistema de dos cúbits un estado máximamente entrelazado es (Nielsen, 2000)  $|Q_f\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|1\rangle_1|0\rangle_2 + |0\rangle_1|1\rangle_2)$  mientras que un estado separable o no entrelazado es  $|Q_i\rangle = |0\rangle_1|0\rangle_2$ . Generación máxima de entrelazamiento se llevaría a cabo en una transición  $|Q_i\rangle \rightarrow |Q_f\rangle$ . Es decir, para dicha transición se tendría que  $\Delta C = C_f - C_i = 1$ . Entonces de la Ecs. (2) y (3) se tendría que entre el estado inicial de dos cúbits  $|Q_i\rangle$  y el estado final de dos cúbits  $|Q_f\rangle$  habría un cambio de energía interna dado por

$$T\Delta C = \Delta U = \langle Q_f | H_{\text{eff}} | Q_f \rangle - \langle Q_i | H_{\text{eff}} | Q_i \rangle. \quad (4)$$

Sustituyendo la Ec. (2) en la Ec. (4) se obtiene

$$T\Delta C = g_0. \quad (5)$$

La ecuación anterior permite ver que el añejo objetivo deseado de alcanzar un buen Procesamiento Cuántico de la Información a temperatura ambiente se puede llevar a cabo en un sistema de dos cúbits DICS cuando la frecuencia del resonador sea cercana a la resonancia del sistema, es decir  $0 < \omega_F - \omega_I - \omega \ll 1$ .

### Resultados

Se ha encontrado que si un sistema de cúbits incrementa su cantidad de entrelazamiento cuántico ( $\Delta C > 0$ ) entonces el sistema tiene que tomar energía de los alrededores ( $\Delta U > 0$ ). Similarmente si el sistema de cúbits pierde entrelazamiento cuántico ( $\Delta C < 0$ ) el sistema cede energía a sus alrededores ( $\Delta U < 0$ ).

### Discusión

Generalmente en la literatura se conside-

ra que un óptimo Procesamiento Cuántico de la Información es posible sólo para temperaturas muy bajas (Nielsen, 2000). De acuerdo a la Ec. (5) lo anterior sería posible a temperatura ambiente si la frecuencia del resonador del DICS es cercana a la resonancia. En el caso general, la Ec. (3) muestra que un incremento en el entrelazamiento cuántico es sustancialmente grande si el valor de la temperatura T es pequeño.

### Conclusiones

La pérdida (ganancia) de entrelazamiento cuántico implica que el sistema ceda (absorba) energía de los alrededores a temperatura constante.

### Agradecimientos

Agradecemos a SNI Conacyt

### Conflictos de Interés

No existe conflicto de interés

### Referencias

Bell J. S. (1966), On the problem of Hidden Variables in Quantum Mechanics, Rev. Mod. Phys. 38, 1 DOI: No existe

Bennet C. H., Brassard G., Crepeau C., et al. (1993) Teleporting an unknown quantum state via dual classical and Einstein-Podolsky-Rosen channels, Phys. Rev. Lett. 70, 1895. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.70.1895>

Bennet C. H., Wiesner S. J. (1992) Communication via one- and two-particle operators on Einstein-Podolsky-Rosen states, Phys. Rev. Lett. 69, 2881. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.69.2881>

Cirac J. I. and P. Zoller (1994) Preparation of macroscopic superpositions in many-

- atom systems, *Phys. Rev. A* 50, 2799. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevA.50.R2799>
- Ekert A. K. (1991), Quantum cryptography based on Bell's theorem, *Phys. Rev. Lett.* 67, 661. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.67.661>
- Han S., Rouse R., and Lukens J. E. (1996) Generation of a Population Inversion between Quantum States of a Macroscopic Variable, *Phys. Rev. Lett.* 76, 3404. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.76.3404>
- Klein, U.; Lefèvre, W. (2007) *Materials in eighteenth-century science*. Cambridge: MIT-Press.
- Maziero J., C'eleri L. C., Serra R. M., and Vedral V. (2009) Classical and Quantum Correlations under Decoherence, *Phys. Rev. A* 80, 044102. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevA.80.044102>.
- Raimond J. M., M. Brune, and S. Haroche (2001) Manipulating quantum entanglement with atoms and photons in a cavity, *Rev. Mod. Phys.* 73, 565. DOI: <https://doi.org/10.1103/RevModPhys.73.565>
- Spiller T. P., Clark T. D., Prance R. J. et al. (1992) Quantum Computing and Quantum Bits in Mesoscopic Systems, *Prog. Low Temp. Phys.* 13, 219, Springer.
- Van Ness H. C. (1983) *Understanding Thermodynamics*, Dover Publications.
- Yang C. P., Chu S. -I, and Han S. (2003) Possible realization of entanglement, logical gates, and quantum-information transfer with superconducting-quantum-interference-device qubits in cavity QED, *Phys. Rev. A* 67, 042311 DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevA.67.042311>
- Zhang F. -Y., Chen Z. -H., Li C., and Song H. -S. (2012) Simply quantum information processing with RF superconducting qubits, *JETP Letters* 96 785 DOI: <https://doi.org/10.1134/S0021364012240149>
- Zhang, Z., Yuan, C., Shen, S. et al. (2021) High-performance quantum entanglement generation via cascaded second-order nonlinear processes. *npj Quantum Inf* 7, 123. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41534-021-00462-7>
- Zheng S. B. and G. C. Guo (2000) Efficient Scheme for Two-Atom Entanglement and Quantum Information Processing in Cavity QED *Phys. Rev. Lett* 85, 2392. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.85.2392>



# Cuando el tic-tac se convirtió en zumbido, la medición del tiempo revolucionó



**Dr. Achim M. Loske**

*Centro de Física Aplicada y Tecnología Avanzada  
Universidad Nacional Autónoma de México*

## Resumen

A principios de los años sesenta surgió un desarrollo tecnológico que revolucionó la medición del tiempo, aumentando la precisión de los relojes de manera radical. Aunque fue famoso por su uso en relojes de pulsera, llegó en un momento en el que la industria espacial, e incluso el funcionamiento de los satélites y aviones relacionados con el espionaje y la Guerra Fría, se beneficiaron de él. En los relojes de pulsera de la época, el órgano regulador, es decir, el sistema que divide el tiempo en intervalos lo más constantes posible, era el volante con espiral; ese aro pequeño que se mueve sin parar en los relojes mecánicos, incluso actualmente. El sistema que se describe aquí es totalmente diferente: se basa en las vibraciones de un diapasón, como los usados en música, pero diminuto y que vibra con una frecuencia sorprendente, de manera que el segundero del reloj da ¡360 saltos cada segundo!, un “tic-tac” demasiado rápido para distinguirlo.

**Palabras clave:** reloj de pulso; precisión; órgano regulador; diapasón

## Abstract

In the early 1960s, a technological development emerged that revolutionized time measurement, radically increasing the accuracy of watches. Although it became famous for its use in wristwatches, it appeared at an epoch when the space industry, and even the operation of espionage and Cold War-related satellites and aircraft, benefited from it. In wristwatches, the timekeeping element, that is, the system that divides time into intervals as constant as possible, was the balance wheel with hairspring; that small ring that even today moves endlessly in mechanical wat-

ches. The system described here is totally different: it is based on the vibrations of a tuning fork, like those used in music, but tiny and vibrating with a surprisingly high frequency, so that the second hand on the watch jumps 360 times per second; a “tick-tock” too fast to tell apart.

**Keywords:** wristwatch; accuracy; time-keeping element; tuning fork

## 1. Introducción

¿Qué hace que un reloj sea bueno? Si por “bueno” entendemos que no se atrase o adelante, entonces un elemento crucial es su base de tiempo, es decir, el mecanismo del reloj que genera intervalos con una variación mínima entre ellos, regulando el movimiento de sus manecillas o la indicación de sus dígitos.

Los latidos del corazón llegaron a usarse como base de tiempo para medir intervalos relativamente cortos. Obviamente era un método poco preciso, justamente porque la frecuencia cardiaca es variable. En la Antigüedad frecuentemente se recurrió al gasto controlado de alguna sustancia como, por ejemplo, el paso de arena o agua a través de orificios pequeños. Los relojes de vela o de fuego también son ejemplos de este principio de funcionamiento (Kaplan, 2022; Landes, 2007; Loske, 1979).

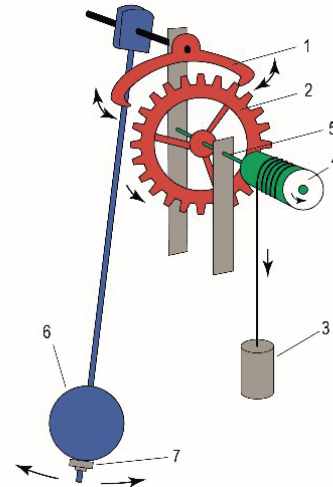
Los relojes solares se ubican en una categoría aparte (Loske, 1979; Miranda y Pereira, 2018). Son sumamente precisos, ya que su órgano regulador es la rotación de la Tierra en torno a su eje, es decir, se basan en el movimiento aparente del Sol en la bóveda celeste; sin embargo, para marcar minutos y, ni se diga segundos, sus carátulas deben ser muy grandes. Como los relojes mecánicos inicialmente eran

poco fiables, para ajustarlos siguieron usándose relojes solares hasta finales del siglo XIX. Independientemente de esto, cabe mencionar un aspecto interesante. Los relojes solares tienen una ventaja fundamental con respecto a cualquier reloj, incluso el más moderno. Poseen la propiedad de determinar la hora sin necesidad de ser ajustados o de consultar un reloj patrón. Todos los demás relojes son “guardatiempos”, es decir, conservan la hora con mayor o menor precisión. Justamente ese es el tema de este artículo: un reloj que “conserva” el tiempo de manera formidable.

**2. El fiel péndulo y el volante neurótico**

Una base de tiempo muy fiable es el péndulo. Fue el científico holandés Christiaan Huygens quien, en 1656, lo usó por primera vez como órgano regulador, revolucionando el funcionamiento de los relojes. Relojes de péndulo pueden encontrarse en las torres de muchas iglesias y edificios públicos, así como en péndolas de mesa y relojes de pared o de pie. Generalmente son impulsados por pesas o por la fuerza de una cinta de acero enrollada, a la que se le “da cuerda”. Un mecanismo, denominado “escape”, impide que el tren de engranes acoplado a las manecillas se mueva sin control. Transforma lo que sería un movimiento continuo, como, por ejemplo, la caída rápida de las pesas, en uno discontinuo, con lapsos de duración controlada. La figura 1 muestra cómo el áncora (1) está diseñado de tal manera que siempre detiene a uno de los dientes de la rueda de escape (2), impulsada por la pesa (3) a través del rodillo (4). El movimiento alterno del áncora produce el clásico “tic-tac” de un reloj mecánico (Kaplan, 2022). La duración de estos intervalos es regulada por

el movimiento del péndulo y transmitido al engranaje del reloj (no mostrado) vía el eje (5). Las oscilaciones de un péndulo son muy constantes. Dependen de su longitud, forma y distribución de peso, pero no de la amplitud de la oscilación; de manera que si se reduce la fuerza del elemento que le otorga el movimiento, disminuye su amplitud, pero el período de oscilación no cambia. Gracias a ello pueden hacerse ajustes finos, sobre todo si el péndulo tiene en su extremo una pieza relativamente pesada, como un disco metálico (6), cuya posición puede variarse girando un tornillo (7). El diseño de mecanismos de escape cada vez más precisos y eficientes es complejo y tiene una historia larga (Kaplan, 2022; Loske, 1979).

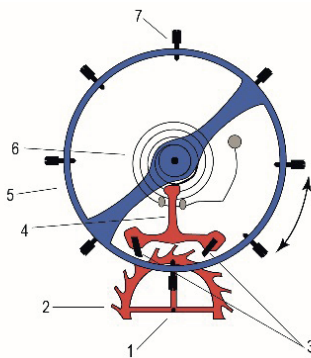


*Figura 1. Esquema de una parte de un reloj de péndulo, que muestra el áncora (1), la rueda de escape (2), una pesa (3), el rodillo (4), el eje del tren de engranajes (5), el péndulo (6) y un tornillo de ajuste (7).*

Aunque los relojes de péndulo pueden ser muy precisos, tienen una desventaja: deben permanecer nivelados y en reposo. Por ese motivo se buscaron otros sistemas para dividir el tiempo en intervalos



constantes, dando lugar a un mecanismo de regulación ingenioso, basado en el giro de un elemento con forma de volante. Sus ventajas principales son que puede miniaturizarse y que su funcionamiento prácticamente no es alterado al moverlo. La mayoría de los relojes de pulso mecánicos poseen este sistema (ver figura 2). El eje (1) de la rueda de escape (2) gira por la fuerza que le transmite la cuerda (no mostrada) a través de una serie de engranes. El movimiento de la rueda de escape es regulado por las paletas (3) del áncora (4), acoplado al volante (5) vía una espiral metálica sumamente fina (6). La espiral tiene la función de regresar el volante a su punto de partida al final de cada ciclo. Dependiendo del modelo cambia su sentido de dos a cinco veces por segundo. La precisión de su giro depende de la forma y calidad de la espiral, así como del ajuste de los tornillos (7).



*Figura 2. Esquema de un conjunto volante-espiral del tipo usado en relojes de pulsera, que muestra el eje de la rueda de escape (1), parte de la rueda de escape (2), las paletas del áncora (3), el áncora (4), el volante (5), la espiral (6) y los tornillos (7) para balancear el volante.*

### 3. Un descubrimiento fascinante

El primer reloj eléctrico salió a la venta en 1952, pero el hecho de ser eléctrico no mejoraba su precisión; simplemente no era necesario darle cuerda. Hablando de

precisión, uno de los avances más sorprendentes fue el desarrollo del Accutron de Bulova (Bruton, 1979; Loske, 1979). Fue el primer reloj controlado por un transistor y un diapasón. Su nombre se compone de las palabras “accuracy” y “electronics”. El modelo más famoso del Accutron fue el *Spaceview*, que no tenía carátula, dejando su mecanismo al descubierto (ver figura 3). Su principio de funcionamiento, basado en las vibraciones de un diapasón de aproximadamente 2.5 cm de largo (que vibraba 360 veces por segundo), le permitía conservar la hora con un error menor a un minuto por mes, superando por mucho a los mejores relojes de su época. ¡Un “tic-tac” producido con esa frecuencia se escucha como el zumbido de una abeja!



*Figura 3. Fotografía de un Accutron Spaceview 214 fabricado en 1965. Puede apreciarse el diapasón con sus dos copas y bobinas en la parte superior, así como parte del engranaje en la zona central. Incluso las manecillas fueron diseñadas para no tapar el mecanismo. Del lado derecho se distingue parte del circuito electrónico; una resistencia con franjas de colores y el transistor arriba de ella.*

Otra característica del Accutron es que no

tenía una corona para ajustarlo, dando la idea de que era tan preciso que no requería ajuste. El Accutron *Astronaut* fue el segundo modelo con este mecanismo ingenioso. Mostraba la hora en dos zonas horarias, gracias a una manecilla adicional y un bisel giratorio con graduación de 24 horas.

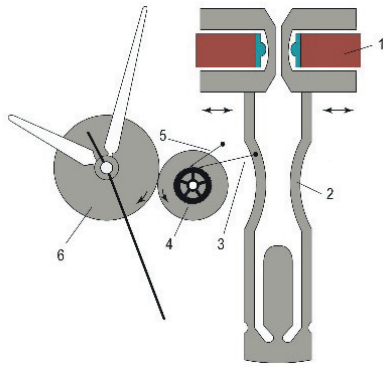
La idea de cambiar el sistema volante-espiral por un diapasón regulado por un circuito electrónico fue concebida por el ingeniero suizo Max Hetzel (Donzé, 2022; Kahlert, 2004). Como los fabricantes de relojes en Suiza no se interesaron en su propuesta, migró a los Estados Unidos, donde la empresa “Bulova Watch Company” tenía un contrato con la NASA para el desarrollo de una base de tiempo confiable que pudiera operar bajo condiciones extremas; y se interesó en el proyecto de Hetzel. No sólo usó el principio de funcionamiento novedoso para cumplir con los requisitos de la NASA, sino que diseñó uno de los relojes de pulsera más exitosos de la historia. Crear el prototipo final requirió de varios años de investigación y desarrollo. Años más tarde, algunas empresas suizas compraron los derechos para poder producir sus propios relojes con diapasón.

La comercialización del Accutron fue retrasada por la Agencia Central de Inteligencia (CIA) de los Estados Unidos, debido a su aplicación en satélites de espionaje y en el X-15, un avión cohete experimental desarrollado por la NASA y la Fuerza Aérea de ese país. Además, fue instalado en el avión presidencial *Air Force One*. Bulova, con sede en Nueva York, finalmente inició la venta del Accutron en 1960. Por su precisión, este reloj revolucionario también jugó un papel fundamental durante el proyecto Apolo. Todos los mó-

dulos que llegaron a la Luna se basaron en el Accutron como base de tiempo. Su slogan publicitario era: “Porte una pieza de satélite, no un reloj”.

#### 4. Funcionamiento

Las clases de laboratorio de física de la preparatoria generalmente incluyen un experimento en el que un clavo enrollado con un alambre de cobre para embobinar se convierte en un imán (electroimán) en el instante de conectarle una pila. También se da el efecto inverso: al mover un imán dentro de una bobina, se genera corriente eléctrica en la bobina. El funcionamiento del Accutron se basa en ese fenómeno. Como se muestra en la figura 4, posee dos bobinas (1) y un diapasón (2), cuyos brazos terminan en forma de copa, cada una con un imán. Al pasar corriente eléctrica por las bobinas, se produce un campo magnético que atrae o repele a estos elementos. La bobina izquierda está dividida en dos secciones. Una de ellas recibe los pulsos eléctricos de un circuito oscilador transistorizado, energizado por una pequeña pila, cuyos impulsos hacen vibrar al diapasón, como si se le diera un pequeño golpe. El sistema detecta la amplitud de oscilación del diapasón, retroalimentando al circuito, para que emita pulsos eléctricos en intervalos determinados, es decir, se autorregula. Un gatillo (3), fijo al brazo izquierdo del diapasón, transmite los pulsos a la rueda de escape (4). Cada oscilación del diapasón la hace avanzar un diente. Un gatillo similar (5) sostiene la rueda de escape en su posición, mientras el gatillo impulsor (3) retrocede. Los detalles técnicos pueden consultarse en la literatura citada (De Vecchi y Uglietti 2005; Landes 2007; Loske 1979), pero no es necesario comprenderlos para que este reloj nos maraville.



*Figura 4. Esquema de una parte del mecanismo de un reloj Accutron, que muestra las dos bobinas de alambre de cobre (1), el diapasón (2), el muelle impulsor (3), la rueda de escape (4), la barra de bloqueo (5) y una representación del tren de engranajes que transmite el movimiento a las manecillas (6).*

El movimiento del segundero parece ser continuo. ¡Imposible ver que avanza por brincos, dando 360 saltos por segundo! El diámetro del reloj, de solo 35 mm, estaba acorde con la moda, complicando su manufactura. Contenía únicamente 12 piezas móviles, ¡pero qué piezas! La fabricación de la rueda de escape fue un gran reto. ¡Posee 300 dientes de una centésima de milímetro de altura, separados una distancia de 0.025 mm, su espesor equivale a la mitad del grueso de un cabello humano y su diámetro es de sólo 2.5 mm! Independientemente de su tamaño, es una pieza sumamente resistente. ¡En un año gira casi 38 millones de veces! Su eje tiene un piñón que mueve las manecillas a través de un tren de engranes (6). En el extremo que hace contacto con la rueda de escape (4), el gatillo (3) y la barra de bloqueo (5) poseen una pieza diminuta de rubí sintético cuadrado de 0.25 mm de lado y 0.05 mm de grosor. ¡Las bobinas están formadas por 8,100 vueltas de alambre para embobinar - unos 80 metros de longitud - con un diámetro de una tercera

parte de un cabello humano! Para reparar un Accutron no es suficiente una lupa de relojero. Por las dimensiones de sus piezas, se requiere de un microscopio.

### 5. Misión espacial en peligro

El Accutron jugó un papel crucial en un incidente que sucedió durante la última misión espacial del proyecto Mercury, en 1963. El astronauta Gordon Cooper fue lanzado al espacio dentro de una cápsula pequeña, con la finalidad de dar varias vueltas alrededor de la Tierra, realizar pruebas diversas e ingresar nuevamente a la atmósfera terrestre para amarizar con la ayuda de paracaídas, tal y como lo hicieran, años más tarde, los astronautas de la misión Apolo. Después de haber dado 21 vueltas alrededor de la Tierra, fallaron los sistemas de estabilización y control automáticos, incluyendo el reloj del tablero de instrumentos, de manera que Cooper tuvo que orientarse observando la posición de la Tierra y las estrellas a través de la mirilla de la cápsula y operar la nave manualmente. Usó el reloj Accutron sujeto a su brazo para determinar el instante de activar los propulsores que impulsarían la nave para su reingreso a la atmósfera. Un error mínimo podría haber desviado la cápsula miles de kilómetros, generando un desenlace fatal. Afortunadamente, Cooper amarizó en el Océano Pacífico a sólo unas cuantas millas de la posición del buque destinado a su rescate.

La producción del Accutron se suspendió en 1977, debido al surgimiento de los relojes de cuarzo. En 2008 el fabricante japonés Citizen compró Bulova y en su 60 aniversario, en 2020, Accutron nació como marca propia, distinguiéndose nuevamente por su carácter innovador al comercializar un reloj con un mecanismo



único, basado en la generación de energía con el uso de turbinas electrostáticas.

## 6. Discusión y conclusiones

A pesar de que la venta de los relojes de pulsera Accutron fue sumamente exitosa, el diapasón fue sustituido relativamente rápido por cristales cuarzo, cuya frecuencia de vibración es mucho mayor, dando lugar a relojes más precisos y sencillos de fabricar. Esto no le resta mérito al logro tecnológico que, para su época, significó llevar a la práctica la idea ingeniosa de usar un diapasón acoplado a un circuito electrónico como órgano regulador. Por ello, el Accutron es parte de la historia aeroespacial y de la relojería. Llegó en el momento justo, cuando la guía de cohetes, satélites y módulos lunares requería de relojes más precisos. Cabe mencionar que la navegación, incluyendo la marítima, siempre ha dependido de la medición del tiempo (Sobel y Andrewes, 1998). Actualmente, el sistema de posicionamiento global (GPS), sería impensable sin la existencia de relojes atómicos (Jespersen y Fitz-Randolph, 1999).

## Agradecimiento

El autor desea agradecer al M. en C. Francisco Fernández Escobar, por sus valiosas sugerencias y la minuciosa revisión del manuscrito.

## Referencias

Bruton, E., *The History of Clocks and Watches*, Orbis Publishing Ltd., Londres, Reino Unido, 1979. ISBN 0-517-377446

De Vecchi, P. y Uglietti, A., *Uhren: Ein Handbuch für Uhrenliebhaber und Sammler*, Kaiser, Klagenfurt, Alemania, 2005. ISBN 3704313033

Donzé, P.-Y., *The Business of Time: A Global History of the Watch Industry*, Manchester University Press, Manchester, Reino Unido, 2022. ISBN 1526162571. <https://www.jstor.org/stable/j.ctv2vm3b5m>

Jespersen, J. y Fitz-Randolph, J., *From Sundials to Atomic Clocks: Understanding Time and Frequency*, National Institute of Standards and Technology, monography 155, Washington, DC, EUA, 1999. ISBN 9780486242651

Kahlert, H., *Wristwatches: A History of a Century's Development*, Schiffer Publishing, Pennsylvania, EUA, 2004. ISBN 978-0887403620

Kaplan, B., *Horology*, Schiffer Publishing Ltd., Pennsylvania, EUA, 2022. ISBN 9780764363924. <https://schifferbooks.com/products/horology-1>

Landes, D.S., *Revolución del Tiempo: El Reloj y la Formación del Mundo Moderno*, Crítica S.L., Barcelona, España, 2007. ISBN 978-84-8432-745-5

Loske, L.M., *Cronometría: Del Obelisco al Reloj de Cuarzo y Atómico*, Impulso, México D.F., México, 1979. ISBN 968-17-0003-1

Miranda, A.L. y Pereira, J.E., *Diseño de Relojes de Sol*, Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V., Ciudad de México, México, 2018. ISBN 978-84-267-2220-1

Sobel, D. y Andrewes, W.J.H., *The Illustrated Longitude*, Walker Books, New York, EUA, 1998. ISBN 3-8270-0364-4



# Aprendizaje basado en juegos para la enseñanza de la Nomenclatura Química Inorgánica



**M. en D. Diana E. Rivero Gómez**  
**Dr. Adolfo E. Obaya Valdivia**  
**Yolanda M. Vargas Rodríguez**

*FES-Cuautitlán UNAM. Campo 1. MADEMS (Química). Físicoquímica.*

**Dr. Plinio J. Sosa Fernández**

*Facultad de Química. CU. MADEMS (Química).*

*Química Inorgánica Unidad*

**M. en D. Suemi Lima Vargas**

*Unidad Académica Profesional de Tlanepantla. UAEM. Edo de México*



## Resumen

En el Nivel Medio Superior, se ha encontrado que, durante el proceso de enseñanza y aprendizaje de la nomenclatura química inorgánica, los estudiantes tienden a memorizar los contenidos y no adquieren aprendizajes significativos. En este trabajo se hace una propuesta de aprendizaje basado en juegos acerca de la nomenclatura química de sales binarias. El material lúdico desarrollado consistió en utilizar como base el cubo Rubik, en su versión estándar, al que se le colocaron pegatinas con la representación simbólica de diversas sales binarias, así como los nombres en nomenclatura tradicional, stock y IUPAC. Esta herramienta didáctica se denominó cubo RUBIQUIM. La herramienta se utilizó en tres grupos del nivel medio superior, en donde los estudiantes resolvieron el cubo RUBIQUIM. Para determinar el impacto del material lúdico, se realizó una evaluación cuantitativa y los resultados se compararon con los de un grupo control. En los grupos en los que se aplicó el aprendizaje basado en juegos mostraron un mejor rendimiento académico y un mayor aprendizaje cognitivo. La evaluación cualitativa mostró una mayor motivación en los grupos en los que se utilizó el cubo.

**Palabras clave:** Aprendizaje basado en juegos, nomenclatura química inorgánica, sales binarias, cubo RUBIQUIM.

## Abstract

In the High School Level, it has been found that during the teaching and learning process of the inorganic chemical nomenclature, students usually memorize and do not acquire significant learning. In this work a proposal of teaching and learning ludic of chemical nomenclature of binary salts is made. The playful material developed

consisted of using the Rubik cube, in its standard version, to which stickers with the symbolic representation of various binary salts were placed, as well as the names in traditional nomenclature, stock and IUPAC. This didactic tool was called the RUBICHEM cube. The tool was used in three groups of the upper middle level, where after the class the students solved the RUBICHEM cube. To determine the impact of the playful material, a quantitative evaluation was made, and the results were compared with those of a control group. From this, a higher percentage of correct answers were obtained when the students were asked to write the chemical formula from the name of the compound, which when asked to write the name of the compound from its chemical formula, using the different types of nomenclature.

**Keywords:** significant learning, High School Level, Chemistry, inorganic chemical nomenclature, binary salt, cube RUBICHEM.

## Introducción

En el *Method de nomenclature chimique*, publicado en 1787, se presentó por primera vez la distinción entre sustancias simples y sustancias compuestas, esta distinción permitió establecer nombres claramente diferentes entre ellas. Las sustancias compuestas fueron designadas mediante nombres binarios, que utilizan el sistema de sufijos: -ato, -ito, -oso, e -ico, combinados con los prefijos per-, hiper- e hipo-, que es la base de la denominada **nomenclatura tradicional** que, se encuentra actualmente en desuso (García Belmar & Bertomeu Sánchez, 1999).

Otra nomenclatura de uso común es la propuesta por Alfred Stock en 1919, deno-



minado nomenclatura de Stock, en el que se utiliza el número de oxidación del componente principal del compuesto (con número romano), o mediante el uso del llamado número de carga, una magnitud que indica la carga eléctrica del anión o catión (con número arábigo y la carga) (Vera de la Garza & Padilla Martínez, 2020).

La **nomenclatura sistemática o de prefijos multiplicadores**, es aquella donde los términos se construyen por yuxtaposición de la raíz del nombre de los dos cuerpos constituyentes y un sistema de prefijos (*di-, tri-, tetra-, penta-, hexa-, hepta-...*) que informan de la proporción de los constituyentes y que se conoce como nomenclatura IUPAC (Unión Internacional de Química Pura y Aplicada por sus siglas en inglés de *International de Union of Pure and Applied Chemistry*) (Hutton *et al.*, 2005).

En la actualidad, la IUPAC recomienda utilizar la nomenclatura **sistemática** y limitar la **Stock** a los casos que sean necesarios y en muy pocos casos utilizar la nomenclatura tradicional. Estas recomendaciones y sus actualizaciones se publican en el libro rojo de la IUPAC (Hutton *et al.*, 2005).

En el Nivel Medio Superior en la asignatura de química se aborda el tema de nomenclatura química inorgánica, y es un tema que presenta dificultades en el aprendizaje ya que generalmente se imparte como una serie de reglas y conceptos desconocidos (Wirtz *et al.*, 2006). Además, muchos profesores acostumbran a enseñar como aprendieron, siguiendo un modelo didáctico tradicional (Chimeo, 2000; Crute, 2000). Al mismo tiempo, la enseñanza se presenta con situaciones ajenas a los conceptos familiares, lo que puede apagar el entusiasmo del estudiante que intenta

descubrir los secretos de las reacciones químicas (Gómez-Moliné, 2008).

Los juegos son un aspecto crucial de la cultura humana y la sociedad que promueven la motivación y el compromiso (Bozkurt & Durak, 2018). El juego, puede ser utilizado como estrategia didáctica, pues genera un ambiente innato de aprendizaje para potenciar el desarrollo cognitivo, social y emocional de los estudiantes (Posada, 2014, Martínez Díaz *et al.*, 2020). Otros aspectos que importantes en la enseñanza lúdica son el mejoramiento en el rendimiento académico (Putz *et al.*, 2020; Gutierrez Mosquera., & Barajas Perea, 2019) y el mejoramiento en el aprendizaje cognitivo (Vera-Monroy, *et al.*, 2020; Zimmerman, C., & Croker, S., 2014).

Las características del Aprendizaje Basado en Juegos (ABJ) son la motivación intrínseca, ya que el conocimiento es interno/externo, el proceso de aprendizaje es de procesamiento personal sistemático, la enseñanza se centra en el entorno y en el proceso cognitivo de los estudiantes, el compromiso está basado en grupos, el camino de aprendizaje es guiado por el maestro (puede establecer diferentes caminos), y el estudiante (puede elegir el camino), la actitud del profesor es proactiva, la actitud del estudiante también es proactiva. Un punto importante es que la retroalimentación se basa en el grupo (Biró, 2014; Sánchez, 2020).

Diversas estrategias lúdicas se han publicado para la enseñanza aprendizaje de temas relacionados con la nomenclatura inorgánica, como tabla periódica (Franco Mariscal *et al.*, 2012; Bayir, 2014; Montejó & Fernández, 2021), nomenclatura de iones y cationes (Yenikalaycı, *et al.*, 2019)

y conceptos de la nomenclatura química de óxidos básicos y óxidos ácidos (anhídridos) (Maya, 2014), nomenclatura inorgánica (Meléndez *et al.*, 2010; Kurushkin & Mikhaylenko, 2015). Sin embargo, es conveniente considerar el entorno social, económico y tecnológico de los estudiantes (Sánchez, 2020).

Con el objetivo de mejorar los aprendizajes cognitivos de nomenclatura de sales binarias en alumnos del nivel medio superior, en este trabajo se presenta una secuencia didáctica utilizando el aprendizaje basado en juegos, se describe la elaboración del material lúdico y la forma en que se utiliza el cubo Rubick denominado RUBIQUIM con las representaciones simbólicas y las denominaciones en las nomenclaturas tradicional, Stock y IUPAC, aplicada en el Centro de Bachillerato Tecnológico (CBT) Número 2 ubicado en Cuautitlán, en el norte del Estado de México. Cabe hacer mención que, en la de clase de matemáticas los estudiantes del CBT utilizan el cubo Rubik de forma recurrente y lo pueden resolver fácilmente.

## Metodología

### Población y muestra

La propuesta se aplicó en tres grupos denominados grupos experimentales (GE) y el cuarto grupo se consideró como control

(GC). La población de estudiantes con edad promedio de 16 años, tiene las características mostradas en la Tabla 1. Estos estudiantes, cursan el tercer semestre de Bachillerato, en el cual se estudia, en el marco curricular de su tronco común, la asignatura de Química 1, donde se aborda el tema de nomenclatura química inorgánica.

### Desarrollo de la propuesta

Para el desarrollo de la secuencia se analizaron los programas de los distintos subsistemas de Educación Media Superior con la finalidad de delimitar de manera puntual el tema a abordar en esta propuesta de enseñanza lúdica planteada. Para el diseño del plan de clase, se consideró el modelo de Programación Neurolingüística de Blander y Grinder, 1979, también conocido como “visual–auditivo–kinestésico” (VAK), y de esta manera se elaboraron actividades, para desarrollar durante la clase, que favorecieron el aprendizaje de los estudiantes.

Para el diseño y elaboración del material lúdico, se adquirieron 51 cubos de Rubik clásico, en donde cada una de las seis caras tiene un color diferente (tradicionalmente blanco, rojo, azul, naranja, verde y amarillo). En cada cara se colocaron etiquetas con: a) los aniones, cationes y representación simbólica de la sal binaria y b) representa-

Grupo	Denominación	Población	Mujeres	Hombres
Grupo control (GC)	CG	53	25	28
Grupo experimental 1	(GE1)	49	23	26
Grupo experimental 2	(GE2)	51	22	29
Grupo experimental 3	(GE3)	45	20	25
Alumnos de los grupos experimentales	(GE)	198	90	108

Tabla 1. Características de la población

$\text{Al}^{3+}$	$\text{I}^{-}$	$\text{AlI}_3$	$\text{V}^{5+}$	$\text{S}^{2-}$	$\text{V}_2\text{S}_5$	$\text{FeCl}_3$	Cloruro o Férrico	Tradicional
$\text{Cu}^{2+}$	$\text{S}^{2-}$	$\text{CuS}$	$\text{Rn}^{4+}$	$\text{Cl}^{-}$	$\text{RnCl}_4$	Stock	$\text{TiF}_4$	Fluoruro de titanio (IV)
$\text{Au}^{1+}$	$\text{F}^{-}$	$\text{AuF}$	$\text{Cr}^{3+}$	$\text{S}^{2-}$	$\text{Cr}_2\text{S}_5$	$\text{TiBr}_3$	Tribromuro de titanio	IUPAC
$\text{Fr}^{1+}$	$\text{Cl}^{-}$	$\text{FrCl}$	$\text{AlI}_3$	Trióxido de aluminio	IUPAC	$\text{V}_2\text{S}_5$	Sulfuro de vanadio (V)	Stock
$\text{Ti}^{3+}$	$\text{Br}^{-}$	$\text{TiBr}_3$	$\text{CaS}$	Sulfuro de calcio	Tradicional Stock	$\text{MnCl}_2$	Cloruro de manganeso (II)	Stock
$\text{Ti}^{4+}$	$\text{F}^{-}$	$\text{TiF}_4$	$\text{FeCl}_2$	Cloruro ferroso	Tradicional	$\text{Cr}_2\text{S}_3$	Trisulfuro de dicromo	IUPAC

Figura 1. Ejemplo de la información del cubo RUBIQUIM acerca de las sales binarias, número de oxidación, representación simbólica, nomenclatura y tipo de nomenclatura. Elaboración propia.



Objetivo	Actividades del Profesor	Actividades del estudiante
<b>INICIO</b>		
Presentación de objetivos de la estrategia.		
Conocer el nivel de aprendizaje de los conceptos.	Aplicación y evaluación del pretest.	Resolución del pretest de forma individual.
Investigar las concepciones previas.	Preguntas detonadoras.	Respuestas varias.
<b>DESARROLLO</b>		
Generar interés en los tipos de nomenclatura inorgánica.	Preguntas acerca de los minerales en su vida cotidiana.	Repuestas varias
Reconocer y comprender los números de oxidación.	Explicación del profesor <ul style="list-style-type: none"> <li>• Minerales y su clasificación (Hugo Strunz) para Haluros y Sulfuros).</li> <li>• Número de oxidación y reglas para calcularlos.</li> </ul>	Ejercicios individuales y grupales
Mejorar los aprendizajes. Aplicar los conocimientos de números de oxidación para escribir la nomenclatura química de sales binarias.	Nomenclatura química <ul style="list-style-type: none"> <li>• Nomenclatura sistemática de prefijos multiplicativos (IUPAC)</li> <li>• Nomenclatura Stock.</li> <li>• Nomenclatura Clásica o Tradicional.</li> </ul>	Ejercicios individuales y grupales
Escribir el nombre de sales binarias a partir de la representación simbólica.		Actividades lúdicas con el cubo RUBIQUIM
Mejorar la cognición.		
<b>CIERRE</b>		
Evaluar los aprendizajes logrados	Aplicación y evaluación del postest.	Resolución individual del postest.

Tabla 2. Plan de clase

ción simbólica de la sal binaria, el nombre de la sal (tradicional, Stock o IUPAC) o la indicación del tipo de nomenclatura. En la Figura 1, se presenta un ejemplo de la información que contiene cada cubo.

### Aplicación de la propuesta

El plan de clase incluyó una secuencia lógica de Apertura, Desarrollo y Cierre. Se organizaron 4 sesiones de clase, de 50 minutos cada una, como se muestra en la Tabla 2. Se inició con un cuestionario, denominado pretest con 26 reactivos divididos en tres partes, la primera sobre reconocimiento de conceptos, la segunda para la identificación de tipos de nomenclatura y escritura de la representación simbólica y/o nombre de sales binarias inorgánicas y la tercera de aplicación del número de oxidación (Anexo1), el cual contestaron los estudiantes de todos los grupos de forma individual. Posteriormente, con el objetivo de conocer las concepciones previas relacionadas con el tema y de generar interés de los estudiantes. Se preguntó: ¿Qué es un mineral? ¿Utilizan algún mineral en su vida cotidiana? ¿Cómo se clasifican? El profesor continuó con la definición de “mineral”, en donde se resaltó a los minerales como elementos o como compuestos. A continuación, se describió el sistema de clasificación de Hugo Strunz utilizado para mineralogía donde se señalaron de forma puntual: los sulfuros y haluros.

Después, se explicó que los elementos de la tabla periódica pueden formar iones (cationes y aniones) con diferente carga y que reaccionan para formar a los compuestos neutros. También, el profesor realizó la explicación relacionada con los siguientes temas, número de oxidación, reglas para calcularlos (Sosa, 2014), for-

mación de compuestos y sales binarias. Además, se profundizó en el estudio de la nomenclatura química para sales binarias, como se muestra en el ejemplo de la Tabla 3.

Adicionalmente, el profesor entregó a cada estudiante un cubo RUBIQUIM en donde ellos ubicaron la representación simbólica y el número de oxidación para nombrar sales binarias utilizando las tres nomenclaturas químicas abordadas durante la clase (Figura 2). Posteriormente, los estudiantes trabajaron en equipo, intercambiando sus cubos y girando los mecanismos de estos para lograr que se combinaran todos los colores con la información correspondiente. Los estudiantes devolvieron el cubo RUBIQUIM al estudiante correspondiente y realizaron una competencia de tiempo para regresar el cubo a su posición original.

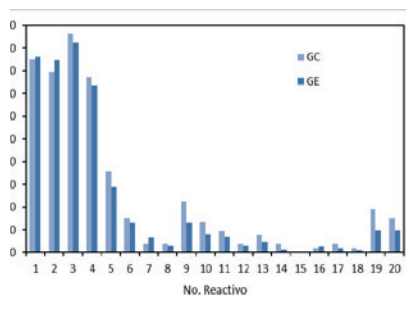


Figura 2. El cubo RUBIQUIM. propia.

Finalmente, los estudiantes de los cuatro grupos realizaron un postest con 24 reactivos (Anexo B), que incluyó tres secciones, la primera de reconocimiento de conceptos (los mismos que en el pretest), la segunda de identificación de tipos de

Sal Binaria	Tipo de nomenclatura			
	Tradicional	Stock		Prefijos multiplicadores (IUPAC)
		Número de oxidación	Número de carga	
NaCl	Cloruro de sodio	Cloruro de sodio	Cloruro de sodio	Cloruro de sodio
AuF	Fluoruro aureso	Fluoruro de oro(I)	Fluoruro de oro(1+)	Fluoruro de oro
TiO <sub>2</sub>	Óxido titanico	Óxido de titanio(IV)	Óxido de titanio(4+)	Dióxido de titanio
FeCl <sub>2</sub>	Cloruro ferroso	Cloruro de hierro(II)	Cloruro de hierro (2+)	Dicloruro de hierro
FeCl <sub>3</sub>	Cloruro férrico	Cloruro de hierro(III)	Cloruro de hierro (3+)	Tricloruro de hierro
OsO <sub>4</sub>	Óxido de perosmico	Óxido de osmio(VIII)	Óxido de osmio(8+)	Tetraóxido de osmio
SF <sub>6</sub>	Fluoruro sulfúrico	Fluoruro de azufre (VI)	Fluoruro de azufre (6+)	Hexafluoro de azufre
Li <sub>2</sub> O	Óxido de litio	Óxido de litio	Óxido de litio	Óxido de dilitio
Cu <sub>2</sub> O	Óxido cuproso	Óxido de cobre(II)	Óxido de cobre(2+)	Óxido de dicobre
Na <sub>3</sub> N	Nitruro de sodio	Nitruro de sodio	Nitruro de sodio	Nitruro de trisodio
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	óxido alumínico	Óxido de aluminio(III)	Óxido de aluminio(3+)	Trióxido de dialuminio
Fe <sub>2</sub> S <sub>3</sub>	Sulfuro férrico	Sulfuro de hierro(III)	Sulfuro de hierro(3+)	Trisulfuro de dihierro
I <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Anhídrido yódico	Óxido de yodo (V)	Óxido de yodo (5+)	Pentóxido de diyodo
Mn <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	Anhídrido permangánico	Óxido de manganeso(VII)	Óxido de manganeso (7+)	Heptaóxido de dimanganeso

*Tabla 3. Algunos ejemplos de sales binarias y sus tipos de nomenclatura.*



nomenclatura y escritura de la representación simbólica y la tercera la escritura del nombre de sales binarias inorgánicas.

### Índice (g) de Hake

Para determinar la ganancia de aprendizaje, tanto para el GC como para los GE, se calculó el índice (g) de Hake (Salazar *et al.*, 2019). De acuerdo con la ecuación 1, se utilizaron los resultados de cada uno de los reactivos (1-6) del pretest y del posttest, primero del GC y posteriormente los G. En los GE se consideró el promedio de los resultados de los tres grupos. En la ecuación 1 se presenta únicamente la fórmula del índice g para el GE.

$$g = \frac{\text{postest GE}(\%) - \text{pretest GE}(\%)}{100(\%) - \text{pretest GE}(\%)} \quad (\text{Ec.1})$$

Debido a que la secuencia didáctica aplicada tanto para el GC como para los GE fue la misma, y la única diferencia fueron las actividades lúdicas con el cubo RUBIQUIM, para evaluar la diferencia de aprendizajes entre el GC y los GE por el

ABJ, para los reactivos 7-24 se consideraron únicamente los resultados del posttest tanto del GC como de los GE. Entonces, en la ecuación 1 se sustituyeron los resultados del pretest de los GE por los resultados del posttest del GC, modificándose la ecuación 1 como la ecuación 2.

$$g(\text{ABJ}) = \frac{\text{postest GE}(\%) - \text{postest GC}(\%)}{100(\%) - \text{postest GC}(\%)} \quad (\text{Ec.2})$$

## Resultados y discusión

### Pretest

Los resultados del pretest se presentan en la Figura 3. Los reactivos 1-6 fueron de evaluación de conceptos previos. Se observan resultados muy similares entre el GC y los GE. Aproximadamente el 85 % de los estudiantes del GC y del GE mencionaron el nombre y símbolo de un metal, un no metal y un gas noble de la tabla periódica, el 80 % definió que es un compuesto químico. El 95 % reconoció que es un compuesto binario y el 75 % reconoció los tipos de nomenclatura química inorgánica. Sin embargo, únicamente el 30 % y el 15 % re-

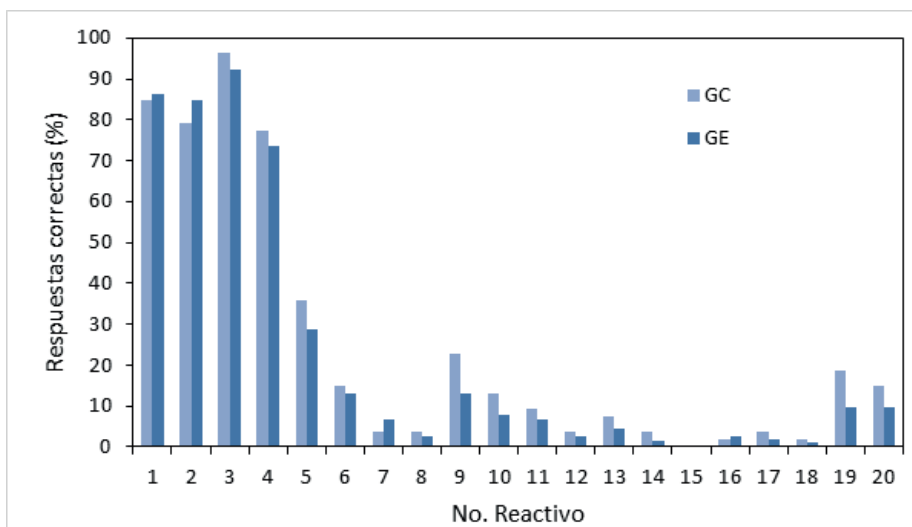


Figura 3. Resultados de la evaluación diagnóstica entre el grupo control (CG) y el promedio obtenido de los tres grupos experimentales (GE). Elaboración propia

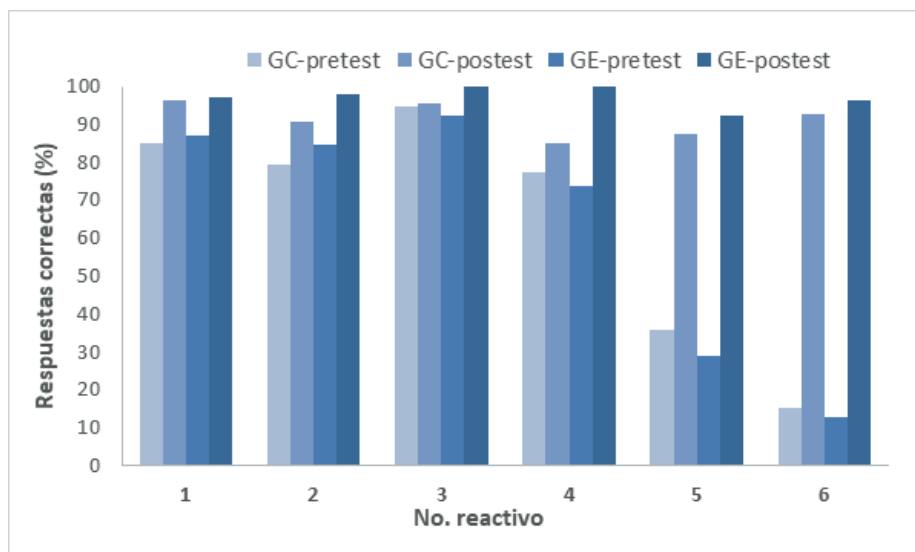


Figura 4. Resultados del pretest y posttest de los conceptos para la enseñanza de nomenclatura en el grupo control (GC) y los grupos experimentales (GE). Elaboración propia.

conocieron qué es una sal binaria y qué es el número de oxidación respectivamente. En cuanto a la identificación de tipos de nomenclatura y escritura de la representación simbólica y/o nombre de sales binarias inorgánicas, así como la obtención del número de oxidación, el promedio del CG y los GE fue de 6.43 %, resultado que indica la necesidad de la aplicación de estrategias didácticas que permitan mejorar los aprendizajes.

#### Posttest

Después de aplicar la estrategia didáctica al GC (en el que no se utilizó el cubo RUBIQUIM) y en los tres GE y aplicar el posttest a todos los grupos, se determinó el promedio de respuestas correctas de los GE y del GC.

#### Conceptos

Los resultados de la primera sección del posttest del GC y de los GP, se presentan en la Figura 4. Se observa que las respuestas correctas del posttest para ambos grupos,

son mayores que las respuestas correctas del pretest en todos los reactivos. Para las primeras tres preguntas los resultados del porcentaje de respuestas correctas en el pretest fueron mayores al 70 % y después de aplicar la secuencia didáctica, los resultados fueron mayores al 90 % para todos los grupos. Para la pregunta 5 y 6. ¿Qué es el número de oxidación? y ¿Qué es una sal binaria? Que en el pretest tenían el 38.85 % y el 12.97 % de respuestas correctas respectivamente, en el posttest se obtuvieron valores aproximados del 87 % y 95 % respectivamente. Estos resultados indican que después de aplicar las estrategias didácticas (con y sin el cubo RUBIQUIM) la mayoría de los estudiantes lograron reconocer que es una sal binaria y el número de oxidación.

Para determinar la ganancia de aprendizaje, tanto para el GC como para los GP, se calculó el índice de Hake (g) con la ecuación 1. Los resultados de g se presentan en la Tabla 4. Cabe hacer mención que,

Reactivo	Pretest (GC)	Prestes (GE)	Postest (GC)	Postest (GE)	Índice de Hake (GC)	Índice de Hake (GE)
1	84.90	86.89	96.22	97.22	<b>0.75</b>	<b>0.79</b>
2	79.25	84.84	90.56	97.99	<b>0.54</b>	<b>0.87</b>
3	94.70	92.42	95.58	100.00	<b>0.17</b>	<b>1.00</b>
4	77.36	73.60	84.90	100.00	<b>0.33</b>	<b>1.00</b>
5	35.85	28.85	87.61	92.45	<b>0.81</b>	<b>0.89</b>
6	15.09	12.97	92.72	96.46	<b>0.91</b>	<b>0.96</b>
Promedio	64.52	63.26	91.26	97.35	<b>0.59</b>	<b>0.92</b>

Tabla 4. Ganancia g de Hake, determinada con la ecuación 1.

para los GP la ganancia en el aprendizaje (g) es mayor a 0.7 (ganancia alta), con un promedio de 0.92. En tanto que para el grupo control se obtienen valores variados con un promedio de 0.59 (ganancia media). De acuerdo con estos resultados, en los grupos de prueba se obtuvo una ganancia en el aprendizaje mayor que en el grupo control. Estos resultados muestran que la estrategia lúdica aplicada favoreció más el reconocimiento de conceptos de metales, no metales, compuestos, compuestos binarios, tipos de nomenclatura química inorgánica, sales binaria y números de oxidación, que son conceptos básicos para la enseñanza aprendizaje de la nomenclatura química inorgánica de sales binarias.

#### *Escritura de la representación simbólica a partir del nombre de la sal binaria*

En la sección II del postest, el estudiante escribió la representación simbólica y el tipo de nomenclatura empleada a partir del nombre de la sal binaria en nomenclatura tradicional (reactivos 7-9), Stock (reactivos 10-12) y IUPAC (reactivos 13-15). En la Figura 5 se observan los resultados, los estudiantes del GE obtuvieron un porcentaje más alto de respuestas correctas que los estudiantes del GC. Se determinó, el promedio de los resultados por tipo de

nomenclatura tanto para el GC como para los GP (Tabla 5). Se observa que para el GC los resultados fueron del 47.8 %, 53.89 % y 76.09 % y para los GE fueron del 62.29 %, 72.7 % y 88.2 % para las nomenclaturas tradicional, Stock y IUPAC respectivamente. El rendimiento académico en los tres tipos de nomenclatura fue mayor en los GE que en el GC. Sin embargo, los resultados indican que las nomenclaturas que más se dificulta a los estudiantes son la tradicional y la Stock, probablemente porque los estudiantes no logran relacionar los sufijos (ico, oso) con el número de oxidación considerando que los sufijos son la primera pista que tienen los estudiantes para escribir la fórmula química a partir del nombre y por las dificultades para aprender, comprender y determinar el número de oxidación (Anderson, 1998; Calzaferri, 1999; Look, 2011; Sosa, 2014; Minkiewicz, *et al.*, 2018).

Estos resultados indican que el uso del cubo RUBIQUIM en los GE, generó un mayor mejoramiento cognitivo en los estudiantes ya que la mayoría identifican, asocian y aplican los conocimientos relaciones a las reglas de la nomenclatura de sales binarias (tradicional, IUPAC y Stock), permitiendo los niveles de aprendi-



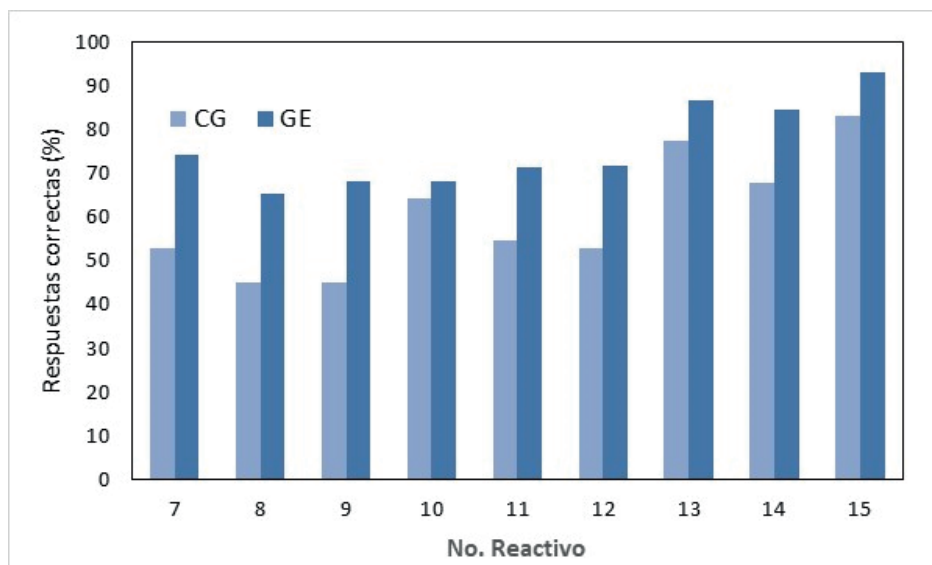


Figura 5. Escritura de la nomenclatura química a partir de la representación simbólica, en el grupo control (GC) y los grupos experimentales (GE). Reactivos: 7-9 (nomenclatura tradicional), 10-12 (nomenclatura Stock) y 13-15 (nomenclatura IUPAC). Elaboración propia.

zaje de recuperación, comprensión y aplicación (Marzano, 2001). Pero, tiene mayor impacto con la nomenclatura IUPAC, probablemente porque los prefijos (di, tri, tetra, penta...) permiten a los estudiantes deducir el número de aniones y cationes respectivamente y escribir las fórmulas químicas a partir del nombre.

Para evaluar la diferencia de aprendizajes al aplicar la estrategia del aprendizaje basado en juegos con el cubo RUBIQUIM, se determinó el índice (gABP), para los reactivos 7-15, utilizando los resultados del postest del GE comparado con los GC, de acuerdo con la ecuación 2. Los resultados se muestran en la Tabla 5. En primer lugar, se observan valores positivos de gABP obtenido de la aplicación del aprendizaje basado en juegos en todos los tipos de nomenclatura. En segundo lugar, se obtiene un valor de  $gABP = 0.41$  para la nomenclatura tradicional,  $gABJ = 0.40$  para la nomenclatura Stock y  $gABP = 0.51$  para la nomenclatura IUPAC, aunque esta es una

ganancia media característica de aprendizajes activos (Hake, 1998), ya que se adecuó la ecuación 1 a la ecuación 2 y en esta solo se comparan los aprendizajes finales del GC con los de los GE, la ganancia gABP positiva indica que la utilización del cubo RUBIQUIM, favoreció el aprendizaje de los tipos de nomenclatura Stock y tradicional, pero favoreció aún más el aprendizaje de la nomenclatura IUPAC cuando se les solicita a los estudiantes que escriban el nombre del compuesto a partir de la representación simbólica y estos logran la recuperación, comprensión y aplicación del conocimiento (Marzano, 2001), de las reglas para determinar el nombre de las sales binarias.

#### *Escritura del nombre de la sal binaria a partir de la representación simbólica*

En los reactivos 16-24 de la evaluación final se solicitó a los estudiantes dar el nombre del compuesto a partir de la representación simbólica, con la nomenclatura tradicional, IUPAC y Stock (cabe señalar que, en este

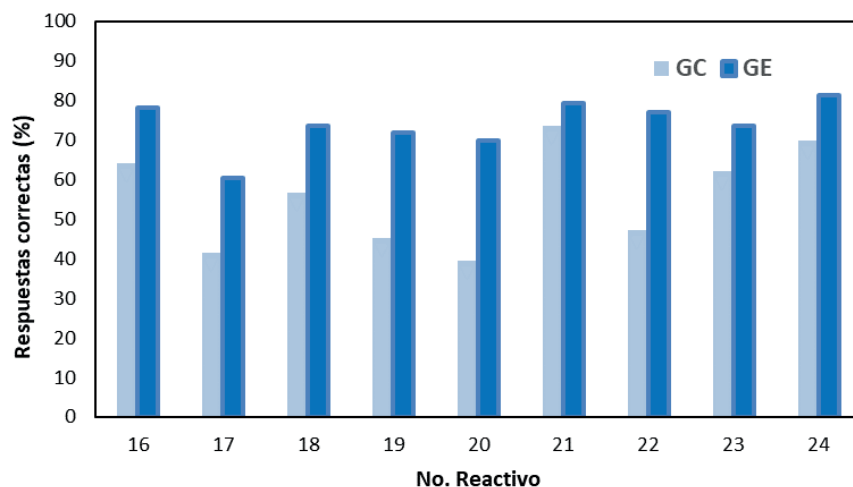


Figura 6. Escritura de la fórmula química a partir del nombre en el grupo control (GC) y los grupos experimentales (GE). Reactivos: 16-18 (nomenclatura tradicional), 19-21 (nomenclatura Stock) y 12-24 (nomenclatura IUPAC). Elaboración propia

mismo apartado además de la fórmula, se colocó la clasificación de los minerales de Hugo Strunz utilizada para mineralogía para los sulfuros y haluros), con el fin de que el estudiante compare esta nomenclatura “trivial” con las otras nomenclaturas.

En la Figura 6, se presentan los resultados de la evaluación al solicitarles que escribieran el nombre de la sal binaria a partir de la fórmula química, el GC obtuvo el 54.08 %, 52.27 % y 59.74 % cuando utilizaron la nomenclatura tradicional, Stock y IUPAC respectivamente. En tanto los GE, obtuvieron promedios 70.7 %, 73.94 %, 77.29 % con la nomenclatura tradicional, Stock y IUPAC respectivamente. Desde el punto de vista del rendimiento académico, el GC obtuvo calificaciones no aprobatorias, y los GE tuvieron promedios superiores al 70 %.

En la escritura del nombre a partir de la representación simbólica, nuevamente se determinó el índice (gABJ), para los reactivos 16-24, utilizando los resultados del postest del GE comparado con los GC, de

acuerdo con la ecuación 2. Se muestran en la Tabla 5, que los valores obtenidos de gABJ son 0.62, 0.63 y 0.66 para la nomenclatura tradicional, Stock y IUPAC respectivamente. Se observa que la escritura del nombre de las sales binarias a partir de la representación simbólica se dificulta más cuando se utiliza la nomenclatura tradicional, tanto para el GC como para los GE.

Sin embargo, la gABJ en promedio de 0.64 para la escritura del nombre de la sal a partir de la representación simbólica, es mayor que la gABJ de 0.44 obtenida para la escritura de representación simbólica a partir del nombre de la sal binaria, indicando que el ABJ favoreció más el aprendizaje de la escritura del nombre a partir de la representación simbólica.

Cabe hacer notar que los estudiantes tuvieron mayor dificultad para escribir la representación simbólica a partir del nombre de la sal binaria con la nomenclatura tradicional, también, tuvieron más dificultades para escribir la nomenclatura tradi-

No. Reactivo	Nomenclatura	Postest		Ganancia por aprendizaje basado en juegos ( $g_{ABJ}$ )
		GC	GE	
7. Bromuro de aluminio	Tradicional	52.83	74.3	0.46
8. Nitrato cúprico	Tradicional	45.28	65.3	0.37
9. Bromuro ferroso	Tradicional	45.28	68.2	0.42
<b>Promedio Tradicional</b>		<b>47.80</b>	<b>62.29</b>	<b>0.41</b>
10. Sulfuro de titanio (IV)	Stock	54.15	75.1	0.46
11. Nitruro de mercurio (I)	Stock	54.71	71.3	0.37
12. Yoduro de litio	Stock	52.83	71.9	0.40
<b>Promedio Stock</b>		<b>53.89</b>	<b>72.7</b>	<b>0.41</b>
13. Tetracloruro de manganeso	IUPAC	77.35	86.8	0.42
14. Heptasulfuro de direnio	IUPAC	67.92	84.7	0.52
15. Tricloruro de aluminio	IUPAC	83.01	93.1	0.59
<b>Promedio IUPAC</b>		<b>76.09</b>	<b>88.2</b>	<b>0.51</b>
16. ZnS	Tradicional	64.15	78.22	0.53
17. NiAs	Tradicional	41.50	60.33	0.60
18. FeS	Tradicional	56.60	73.56	0.74
<b>Promedio Tradicional</b>		<b>54.08</b>	<b>70.70</b>	<b>0.62</b>
19. NiS	Stock	45.28	71.77	0.40
20. PbS	Stock	39.62	69.79	0.70
21. CuS	Stock	73.46	79.34	0.79
<b>Promedio Stock</b>		<b>52.78</b>	<b>73.94</b>	<b>0.63</b>
22. MoS <sub>2</sub>	IUPAC	47.16	76.90	0.43
23. Ag <sub>2</sub> S	IUPAC	62.26	73.53	0.74
24. KCl	IUPAC	69.81	81.44	0.81
<b>Promedio IUPAC</b>		<b>59.74</b>	<b>77.29</b>	<b>0.66</b>

Tabla 5. Índice  $g_{ABJ}$  Hake obtenido del aprendizaje basado en juegos (Ecuación 2).

cional a partir de la representación simbólica y que de acuerdo con la IUPAC esta nomenclatura es considerada en desuso a

nivel mundial y con base en los resultados de esta investigación sería adecuado eliminar la enseñanza y aprendizaje de la no-



menclatura tradicional de los programas de Química para evitar confusiones con los tres tipos de nomenclatura y centrarse en mejorar la enseñanza y aprendizaje de las nomenclaturas Stock y IUPAC.

### Motivación

Respecto a la motivación por la actividad lúdica, desde el momento en que a los estudiantes se les dio el cubo de forma individual, se notaron muy interesados en la clase. Cada vez que el profesor explicaba los temas como número de oxidación, tipos de nomenclatura, nombres de los compuestos o fórmulas químicas, etcétera, los estudiantes recurrían a su cubo RUBIQUIM tratando de identificar, comprender y aplicar esa información. En la última sesión, los estudiantes se mostraron ansiosos de resolver el cubo. Aunque, la resolución del cubo no dependía únicamente de colocar los colores en cada cara, sino de colocar en la misma línea la información correspondiente, por ejemplo, como se observa en la Figura 7, cada integrante de cada equipo quería ser el primero en terminar de ordenar el cubo, para ganar el juego, lo que mantuvo en todo momento la motivación.

$\text{Cr}_2\text{S}_3$	Trisulfuro de dicromo	IUPAC
-------------------------	-----------------------	-------

Figura 7. Arreglo en línea de los datos del cubo RUBIQUIM

### Conclusiones

Después de aplicar la estrategia didáctica del aprendizaje basado en juegos utilizando el cubo RUBIQUIM, los estudiantes de los grupos experimentales lograron identificar de manera general, a los elementos de la tabla periódica; la mayoría de ellos mencionó el concepto de compuesto químico

y compuesto binario, así como el número de oxidación. Además, señalaron los tipos de nomenclatura química para nombrar sales binarias.

En cuanto a la nomenclatura, los estudiantes de los grupos experimentales lograron identificar, asociar y aplicar los conocimientos relaciones a las reglas de la Nomenclatura de sales binarias (tradicional, IUPAC y Stock). Se logró un mayor aprendizaje cuando se solicitó a los estudiantes escribir la representación simbólica a partir del nombre del compuesto utilizando la nomenclatura IUPAC, seguida de la Stock y finalmente la tradicional.

Los estudiantes lograron identificar con mayor facilidad la nomenclatura IUPAC, porque los prefijos (di, tri, tetra, penta...) permiten a los estudiantes deducir el número de aniones y cationes respectivamente y escribir las fórmulas químicas a partir del nombre.

La principal problemática para escribir correctamente las fórmulas o nombres en la nomenclatura Stock se debió a las dificultades para aprender, comprender y determinar el número de oxidación.

Respecto a la nomenclatura tradicional, los estudiantes no lograron comprender del todo la manera de utilizar los sufijos y prefijos que esta emplea; presentando más dificultad para escribir el nombre de los compuestos utilizando esta nomenclatura y para escribir las fórmulas químicas de los compuestos nombrados con la nomenclatura tradicional.

Por las dificultades de la enseñanza aprendizaje de la nomenclatura, este trabajo contribuye para fundamentar la necesidad

de eliminar de los programas de Química la enseñanza de la nomenclatura tradicional, ya que encuentra desuso, y además resulta confusa para los estudiantes al solicitarles que a partir de ella escribieran la fórmula de un compuesto químico, o que a partir de la representación simbólica nombraran al compuesto empleando esta nomenclatura y concentrarse en la enseñanza de la nomenclatura IUPAC y Stock.

Finalmente, con base en los resultados positivos en el índice de Hake (g) y en el índice del aprendizaje basado en juego gABP para la escritura de la representación simbólica a partir del nombre del compuesto y viceversa, estos indican la efectividad de esta estrategia didáctica. De acuerdo con los resultados obtenidos, esta propuesta de enseñanza lúdica utilizando el cubo RUBIQUIM motivó y mejoró la enseñanza y el aprendizaje cognitivo de la nomenclatura de sales binarias, y puede ser aplicada en el nivel medio superior o superior como estrategia de enseñanza.

### Referencias

Anderson, W. P. (1998). Common versus Uncommon Oxidation Numbers of Non-metals. *Journal of Chemical Education*, 75(2), 187-189. <https://doi.org/10.1021/ed075p187>

Bayir, E. (2014). Developing and Playing Chemistry Games To Learn about Elements, Compounds, and the Periodic Table: Elemental Periodica, Compoundica, and Groupica, *Journal of Chemical Education*, 91 (4), 531-535. <https://doi.org/10.1021/ed4002249>

Biró, G. I. (2014). Didactics 2.0: A Pedagogical Analysis of Gamification Theory from a Comparative Perspective with a Special

View to the Components of Learning. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 141, 148-151. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.05.027>

Bandler, R., & Grinder, J. (1979). *Frogs into princes: neuro linguistic programming*. Real People Press: Utha.

Bozkurt, A., & Durak, G. (2018). A systematic review of gamification research: In pursuit of homo ludens. *International Journal of Game-Based Learning*, 8(3), 15-33. <https://doi.org/10.4018/IJG-BL.2018070102>

Calzaferri, G. (1999). Oxidation Numbers, *Journal of Chemical Education*, 76(3), 362-363. <https://doi.org/10.1021/ed076p362>

Chimeo, J. (2000). How to Make Learning Chemical Nomenclature Fun, Exciting and Palatable. *Journal of Chemical Education*, 77(2), 144-145. <https://doi.org/10.1021/ed077p144>

Crute, T. (2000). Classroom nomenclature Games-Bingo. *Journal of Chemical Education*, 77(4), 481-482. <https://doi.org/10.1021/ed077p481>

DCA, D. d. (2004). *Manual de estilos de aprendizaje. Material autoinstruccional para docentes y orientadores educativos*. México: Dirección General de Bachillerato, DGB. Secretaría de Educación Pública, SEP. [https://biblioteca.pucv.cl/site/coleccion/manuales\\_u/Manual\\_Estilos\\_de\\_Aprendizaje\\_2004.pdf](https://biblioteca.pucv.cl/site/coleccion/manuales_u/Manual_Estilos_de_Aprendizaje_2004.pdf)

DGB, D. G. (2014). *Dirección de Coordinación Académica, Química I. Serie de programas de estudio*. México: Subsecretaría de Educación Media Superior (SEMS) .

- <http://www.sems.gob.mx/curriculoems/programas-de-estudio>
- DGB, D. G. (2014). *Programas de estudio 1er. Semestre Química I*. Obtenido de Programas de estudio 1er. Semestre Química I. [http://www.sems.gob.mx/work/models/sems/Resource/12615/5/images/BT\\_Quimica\\_I.pdf](http://www.sems.gob.mx/work/models/sems/Resource/12615/5/images/BT_Quimica_I.pdf)
- Franco Mariscal, A. J., Oliva Martínez, J. M., & Bernal Márquez, S. (2012). An Educational Card Game for Learning Families of Chemical Elements. *Journal of Chemical Education*, 89(8), 1044–1046. doi:10.1021/ed200542x
- García Belmar, A., y Bertomeu Sánchez, J. R. (1999). *Nombrar la materia: una introducción histórica a la terminología química*. Barcelona: Ediciones del Serbal.
- Gómez–Moliné, M. (2008). Obstáculos detectados en el aprendizaje de la nomenclatura química. *Educación Química*, 19(3), 201–206.
- Gutierrez Mosquera, A., & Barajas Perea, D. S. (2019). Incidencia de los recursos lúdicos en el proceso de enseñanza-aprendizaje de la química orgánica. *Educación Química*, 30(4), 57-70. DOI: <http://dx.doi.org/10.22201/fq.18708404e.2019.4.69991>
- Hutton, A. T., Damhus, T., Connelly, N. G., & Hartshorn, R. M. (Edits.). (2005). *Nomenclature of inorganic chemistry. IUPAC recommendations 2005*. Cambridge: RSC Publishing. [https://old.iupac.org/publications/books/rbook/Red\\_Book\\_2005.pdf](https://old.iupac.org/publications/books/rbook/Red_Book_2005.pdf)
- Kurushkin, M., & Mikhaylenko, M. (2015). Chemical Alias: An Engaging Way to Examine Nomenclature. *Journal of Chemical Education*, 92(10) 1678–1680. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.5b00244>
- Look, H. P. (2011). Expanded Definition of the Oxidation State. *Journal of Chemical Education*, 88(3), 282-283. <https://doi.org/10.1021/ed1005213>
- Martínez Díaz, O., Obaya V., Hernández, M. P., Ponce, P. G., Montaña, C., Vargas-Rodríguez, Y. M. (2020). Didactic game as a learning aid tool of redox process in the level of higher middle education. *International Journal of Current Research*, 12(11), 14571-14581. [eric.ed.gov/?id=ED609077](http://eric.ed.gov/?id=ED609077)
- Marzano, R. J. (2001). *Designing a new taxonomy of educational objectives. Experts in Assessment Series*, Guskey, T. R., y Marzano, R. J. (Eds.). Thousand Oaks, CA: Corwin..
- Maya, P. (2014). *Aprendizaje significativo de conceptos de nomenclatura inorgánica: una propuesta para el grado décimo*. Colombia: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Medellín.
- Meléndez, L., Aguilar, R., Arroyo, M., y Córdova, M. (2010). Esquemas de algoritmos y tarjetas en la enseñanza básica de la nomenclatura química inorgánica. *Contactos*, (76), 18–25. <https://xdoc.mx/preview/esquemas-de-algoritmos-y-tarjetas-en-la-enseanza-basica-uam-i-5e2f46937edd3>
- Minkiewicz, P., Darewicz, M. & Iwaniak. (2018). A. Introducing a Simple Equation to Express Oxidation States as an Alternative to Using Rules Associated with Words Alone. *Journal of Chemical Education*, 95(2), 340-342. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.7b00322>



- Montejo Bernardo, J. M., & Fernández González, A. (2021). Chemical Battleship: Discovering and Learning the Periodic Table Playing a Didactic and Strategic Board Game. *Journal of Chemical Education*, 98(3), 907–914. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.0c00553>
- Moreno, J. (2006). *Propuesta de modificación a la Nomenclatura Sistemática más simplificada en Química Inorgánica*. México: UNAM.
- Olivares Campillo, S. (2014). ¿Formulación química? Nomenclatura química. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 11(3), 416–425. <https://revistas.uca.es/index.php/eureka/article/view/2894/2572>
- Pimienta Prieto, J. (2012). *Estrategias de enseñanza–aprendizaje. Docencia universitaria basada en competencias*. México: Pearson Educación.
- Posada, R. (2014). *La lúdica como estrategia didáctica*. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Humanas, Departamento de Educación.
- Putz, L. M., Hofbauer, F., & Treiblmaier, H. (2020). Can gamification help to improve education? Findings from a longitudinal study. *Computers in Human Behavior*, 110, 106392. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2020.106392>
- Salazar, E., Obaya, A., Giammatteo, L., Vargas-Rodríguez, Y.M. (2019) Evaluating a didactic strategy to promote atomic models learning in High School students through Hake's method. *International Journal of Education and Research*. 7(5) 293-312. <https://www.ijern.com/journal/2019/May-2019/24.pdf>
- Sánchez, C., García, E., & Ajila, I. (2020). Enfoque pedagógico: la gamificación desde una perspectiva comparativa con las teorías del aprendizaje. 593 Digital Publisher CEIT, 5(4), 47-55. <https://doi.org/10.33386/593dp.2020.4.202>
- Solís, H. (2014). *Nomenclatura Química*. Delegación Azcapotzalco, México D.F. Grupo Editorial Patria S.A. de C.V.
- Sosa, P. (2014). Representación algebraica del método de Kauffman para asignar números de oxidación. *Educación Química*, 25(E1), 223-228.
- Vera de la Garza, C. G., & Padilla Martínez, K. (2020). *Nomenclatura básica de química inorgánica*. México: Universidad Nacional Autónoma de México. <http://www.librosoa.unam.mx/handle/123456789/3067>
- Vera-Monroy, S. P., Mejia-Camacho, A., Gamboa Mora, M. C. (2020). C=O CARBOHIDRATOS: efecto del juego sobre el aprendizaje. *Educación Química*, 31 (1), 23-35. <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2020.1.68522>
- Wirtz, M., Kaufmann, J., y Hawley, G. (2006). Nomenclature Made practical: Student Discovery of the Nomenclature Rules. *Journal of Chemical Education*, 83(4), 595–598. <https://doi.org/10.1021/ed083p595>
- Yenikalaycı, N., Çelikler, D., & Aksan, Z. (2019). Ion Hunters: Playing a Game To Practice Identifying Anions and Cations and Writing Their Names and Formulas. *Journal of Chemical Education*. 96(11),

2532–2534. <https://doi:10.1021/acs.jchemed.8b00732>

Zimmerman, C., & Croker, S. (2014). A prospective cognition analysis of scientific

thinking and the implications for teaching and learning science. *Journal of Cognitive Education and Psychology*, 13(2), 245–257. <https://doi.org/10.1891/1945-8959.13.2.245>.

## ANEXO A. PRETEST

### I. Conteste las siguientes preguntas

1. Mencione el nombre y símbolo de un metal, un no metal y un gas noble de la tabla periódica
2. ¿Qué es un compuesto químico?
3. ¿Qué es un compuesto binario?
4. ¿Qué tipos de nomenclatura química inorgánica conoces para nombrar a los compuestos?
5. ¿Qué es una sal binaria?
6. ¿Qué es el número de oxidación

### II. Completa el siguiente cuadro con los datos que solicitan

	Fórmula	Nombre del compuesto	Tipo de nomenclatura química inorgánica empleada
	7.	Bromuro férrico	8.
	9.	Tetracloruro de manganeso	10.
	11.	Sulfuro de titanio (IV)	12.
	$\text{LiN}_3$	13.	14.

### III. Obtenga el número de oxidación de cada catión y anión en los siguientes compuestos

15.	16.	17.	18.	19.	20.
Compuesto	Catión	Anión	Compuesto	Catión	Anión
$\text{AlN}$			$\text{TiS}_2$		



## ANEXO B. POSTEST

### I. Conteste las siguientes preguntas

1. Mencione el nombre y símbolo de un metal, un no metal y un gas noble de la tabla periódica
2. ¿Qué es un compuesto químico?
3. ¿Qué es un compuesto binario?
4. ¿Qué tipos de nomenclatura química inorgánica conoces para nombrar a los compuestos?
5. ¿Qué es una sal binaria?
6. ¿Qué es el número de oxidación

### II. Completa el siguiente cuadro con los datos que solicitan

	Fórmula	Nombre del compuesto	Tipo de nomenclatura química inorgánica empleada
	7.	Bromuro de aluminio	
	8.	Nitrato cúprico	
	9.	Bromuro ferroso	
	10.	Sulfuro de titanio (IV)	
	11.	Nitruro de mercurio (I)	
	12.	Yoduro de litio	
	13.	Tetracloruro de manganeso	
	14.	Heptasulfuro de direnio	
	15.	Tricloruro de aluminio	

### III. Nombra los siguientes compuestos utilizando la nomenclatura tradicional

Blenda	16. ZnS
Niquelina	17. NiAs
Pirrotina	18. FeS

### IV. Nombra los siguientes compuestos utilizando la nomenclatura Stock

Millerita	19. NiS
Galena	20. PbS
Covelina	21. CuS

### V. Nombra los siguientes compuestos utilizando la nomenclatura IUPAC

Molibdenita	22. MoS <sub>2</sub>
Argentita	23. Ag <sub>2</sub> S
Silvita	24. KCl

# **El estrés cambia nuestra alimentación y ocasiona diversas enfermedades**

**M en C. María Guadalupe Lopez Velazquez  
Dr. Nicolás Camacho Calderón  
Dra. María Elena Villagrán Herrera  
Dra. Adriana Aguilar-Galarza  
Dr. Cesar Campos-Ramírez**

***Centro de Investigación Biomédica Avanzada CIBA,  
Facultad de Medicina, Universidad Autónoma de Querétaro.***

**Resumen**

Durante las últimas décadas la sociedad ha experimentado un cambio en el estilo de vida en todos los sentidos, el clima, el trabajo, la tecnología, la alimentación y las enfermedades entre otros. Referente a las enfermedades se ha reportado un alarmante incremento en las enfermedades de carácter mental, entre las cuales el estrés es una de las de mayor prevalencia. Este desorden mental caracterizado por una sensación general de malestar e incomodidad acompañado de manifestaciones en nuestro cuerpo como dolor o cansancio se ha asociado a múltiples enfermedades. Sin embargo, existe muy poca información en México que asocie el fenómeno creciente del estrés con la crisis sanitaria de enfermedades crónicas como lo son la obesidad, diabetes, hipertensión las cuales son las principales causas de muerte en el país. Estas enfermedades son causadas principalmente por una mala alimentación, entre otros factores, en este trabajo proponemos que esta mala alimentación podría estar siendo propiciada, al menos en parte, por la experimentación de estrés que está sufriendo la población.

**Palabras clave**

Estrés, alimentación, enfermedades crónicas.

**Abstract**

During the last decades, society has experienced a drastic lifestyle change in every sense, climate, workplace, technology, diet and diseases among others. Regarding diseases, an alarming increase in mental illnesses has been reported, among which stress is one of the most prevalent. This mental disorder characterized by a general feeling of discomfort accompanied by manifestations in our body such as pain

or fatigue has been associated with multiple diseases. However, there is very little information in Mexico that associates the growing phenomenon of stress with the health crisis of chronic diseases such as obesity, diabetes, and hypertension, which are the main causes of death in the country. These diseases are mainly caused by poor diet, among other factors. In this work we propose that this poor diet could be caused, at least in part, by the experience of stress that the population is suffering.

**Keywords**

Stress, diet, chronic diseases.

**Estrés**

Primero que nada, tenemos que entender al estrés, existen múltiples definiciones de estrés con algunas diferencias, no significa que algunas estén mal y otras bien, sino simplemente que son distintas perspectivas de estudio de este fenómeno y que estas definiciones son complementarias y totalmente correctas. Podemos definir al estrés como una serie de respuestas que nuestro cuerpo realiza cuando se presentan situaciones o eventos que nosotros interpretamos como peligro a la integridad psicológica y/o física. Esta respuesta es muy compleja e incluye a nuestra mente y nuestro cuerpo, así como diferentes emociones y conductas (Morris et al., 2015). Cuando esta respuesta permite que el organismo alcance un equilibrio integral conocido como alostasis, el organismo es capaz de aprender, y esta adaptación lo hace más capaz de enfrentarse con facilidad a una situación igual o similar, e incluso a enfrentarse a retos más difíciles (Pool et al., 2015), esta situación se daría cuando afrontamos al estrés mediante técnicas resolutivas efectivas. Desafortunadamen-



te la mayoría de personas no afrontan al estrés de esta manera, sino que lo hacen generalmente realizando conductas adversas como el consumo de alcohol y tabaco o el alto consumo de alimentos, lo cual ocasiona que las personas “se debiliten” en su capacidad de lidiar con el estrés y los hagan más susceptibles a este. Ahora bien, actualmente se puede dividir al estudio del estrés en dos diferentes perspectivas; el estrés agudo y el estrés crónico.

El estrés agudo tiene que ver con la llamada “respuesta de pelea o huida”, esta involucra una serie de respuestas inmediatas del cuerpo en las que participa el sistema nervioso (sistema conformado por neuronas que controlan todos los mecanismos fisiológicos mediante neurotransmisores e impulsos eléctricos) y el sistema endocrino (sistema que comunica a diferentes órganos del cuerpo mediante hormonas que se secretan hacia el torrente sanguíneo). Durante esta respuesta es característica la liberación de una hormona llamada adrenalina, esta hormona se libera en las glándulas suprarrenales, que como su nombre lo indica, son unas glándulas que se sitúan arriba de cada riñón, la adrenalina es liberada una vez que nuestro organismo detecta un estímulo que pone en peligro nuestra vida (pero también se libera en otras situaciones normales), por ejemplo el ataque de un animal o de otra persona, cuando esto sucede la adrenalina sale a circulación y actúa sobre diversos órganos; sobre el corazón para acelerarlo, sobre los pulmones para aumentar nuestra respiración y sobre nuestros músculos para prepararlos y de esta manera poder pelear contra la amenaza o huir de la amenaza.

Por otro lado, el estrés crónico es aquel que se observa día a día en las actividades

cotidianas, este tipo de estrés no implica de manera importante la exposición a un peligro inminente o la amenaza a la vida. Este estrés se puede considerar de bajo grado y prolongado, es decir, una sensación que se prolonga semanas, meses o incluso años y es provocado por una amplia gama de estímulos estresantes como lo son las presiones del trabajo, la economía, disfunción familiar, la falta de empleo, o en el ambiente académico en el caso de la población joven. Como podemos ver este estrés crónico no pone en peligro nuestra vida como tal, pero si representa un malestar continuo que tiene de igual manera implicaciones a nivel fisiológico, por ejemplo la liberación de una hormona llamada cortisol, incluso comúnmente se le conoce como “la hormona del estrés”, al igual que la adrenalina se libera en las glándulas suprarrenales y tiene múltiples funciones en nuestro cuerpo, se sabe que afecta prácticamente a todos los órganos, particularmente al cerebro, musculo, hígado, corazón, tejido adiposo y sistema inmune. Dentro de las funciones que esta hormona tiene, se sabe que actúa como un depresor del sistema inmune, esto puede ser útil en algunas situaciones como enfermedades inflamatorias y enfermedades cutáneas, pero de manera general una secreción prolongada de cortisol hace que nuestras defensas se debiliten y nos hagamos proclives a diversas infecciones o enfermedades.

Uno de los papeles más relevantes del cortisol en nuestro cuerpo se da en el cerebro. Cuando esta hormona se libera en concentraciones bajas de forma prolongada, es decir cuánto tenemos estrés crónico, ocasiona múltiples cambios en nuestro cerebro que podemos ver reflejados en nuestra conducta, generalmente cuando se experimenta estrés crónico

nos volvemos más compulsivos y manejamos mal la expresión de nuestra personalidad, por ejemplo cuando una persona está experimentando una situación estresante es probable que reaccione con agresión o violencia ante un estímulo que normalmente se consideraría inofensivo, sin embargo cuando el cortisol está actuando en nuestro cerebro hace que nos volvamos más impulsivos y por lo tanto se reacciona de manera equivocada ante muchas situaciones. Otro efecto en el cerebro es sobre la regulación de nuestras emociones y sentimientos, se sabe que el cortisol actúa sobre las estructuras del cerebro encargadas de regular estas funciones, cuando actúa de manera prolongada se ha observado que se asocia a experimentación de emociones como ira, llanto, frustración, ansiedad, depresión, agresividad o incluso dolor. Adicionalmente se ha observado un importante papel en un área del cerebro encargada en la regulación del apetito y de la conducta alimentaria, el hipotálamo, en esta zona del cerebro el cortisol actúa como un activador del apetito, en otras palabras, cuando sentimos estrés se incrementa nuestro apetito, lo cual tiene muy importantes implicaciones en el desarrollo de enfermedades crónicas asociadas a la alimentación como la obesidad, diabetes o hipertensión, pero antes tenemos que aclarar el panorama de la obesidad y al alimentación en la actualidad.

### **Obesidad y su relación con el estrés y la alimentación**

Durante las últimas décadas la obesidad se ha convertido en una enfermedad con alarmante crecimiento. Las tasas se han incrementado a nivel mundial en todos los estratos socioeconómicos y zonas geográficas. Particularmente en América

Latina se ha observado un incremento de esta condición que se define de manera tradicional como un exceso de energía almacenada en el tejido adiposo corporal (Swinburn et al., 2009).

Esta enfermedad se clasifica mediante el Índice de Masa Corporal (IMC), el cual es una relación entre el peso en función de la altura. La clasificación refiere que un IMC igual o mayor a  $25 \text{ kg/m}^2$  se considera sobrepeso y un IMC mayor o igual a  $30 \text{ kg/m}^2$  se considera obesidad. Esta condición se desarrolla por un conjunto complejo de factores como los hereditarios o genéticos y aquellos dados por nuestro medio ambiente. Incluso en los últimos años se ha comprobado que también experiencias sociales y emocionales (como el estrés) pueden promover el desarrollo de obesidad. Si bien se acepta que los factores genéticos o la herencia tienen un papel importante en el desarrollo de esta condición, el incremento de esta enfermedad a la par de un drástico cambio en el estilo de vida apunta a que la obesidad está determinada mucho más por cambios medioambientales que por cambios genéticos, en otras palabras, muy difícilmente se nos hereda la obesidad como tal, más bien la adquirimos, principalmente gracias a una alimentación incorrecta.

Por otro lado, a la par del aumento de las tasas de sobrepeso y obesidad se ha observado un gran aumento en la producción y disponibilidad de alimentos industrializados muy pobres en nutrientes buenos (vitaminas, minerales, fibra y antioxidantes) y con un alto contenido de azúcar, conservadores y grasas. Este aumento de producción ocasiona que este tipo de alimentos estén ampliamente distribuidos en todas las ciudades de

México, ya sea en zonas rurales o urbanas. Incluso se ha observado que las poblaciones que más expuestas están a este tipo de productos son las que más los consumen, es decir que las familias que viven cerca de tiendas de conveniencia que tienen disponibles productos como refrescos, jugos industrializados, comida chatarra o golosinas son precisamente las que más consumen estos productos, además, si las familias no tienen cerca de su vivienda tiendas como fruterías es muy difícil que consuman estos alimentos saludables y de esta manera se fomenta un consumo exagerado de productos nocivos para la salud gracias a la producción incrementada por parte de la industria alimentaria y mayor disponibilidad de estos.

Este fenómeno es un cambio drástico en el estilo de alimentación de la población, durante la primera parte del siglo XX este patrón alimentario no existía, y la población consumía una dieta más natural basada en productos de origen vegetal (como frutas y granos) y de origen animal no provenientes de grandes fábricas o industrias. Además de lo antes mencionado existen otros factores que adquirimos a lo largo de nuestras vidas que afectan la alimentación que llevamos, como la edad, enfermedades, el nivel educativo, la raza o etnia, estado civil y factores psicosociales (Gises et al., 2010). Adicional a este cambio de patrón alimentario se ha observado un cambio en la sociedad actual referido al estilo de vida familiar, laboral y académico que generalmente se consideran más demandantes y difíciles de conllevar, en otras palabras, estilos de vida más estresantes.

El estrés y el consumo de productos ricos

en azúcar y grasas están estrechamente relacionados ya que el consumo de estos productos puede actuar como “alivio” del estrés por medio del sistema de placer del cerebro (propriadamente llamado sistema de recompensa), que está involucrado en la conducta alimentaria e influye en las respuestas de nuestro cuerpo ante el estrés. Este sistema de recompensa se activa cuando experimentamos situaciones que nos ocasionan placer o bienestar y están involucradas estructuras cerebrales como la corteza cerebral y el hipotálamo (encargadas del control de la personalidad y el apetito respectivamente) que ya mencionamos antes son afectadas por el estrés, en otras palabras, cuando experimentamos estrés tenemos una necesidad de activar nuestro sistema de recompensa para sentirnos mejor y comúnmente lo hacemos mediante la alimentación, particularmente el consumo de alimentos poco saludables. Aunque la relación entre el estrés y la conducta alimentaria en humanos ha sido ampliamente observada, los mecanismos por los cuales estos fenómenos se vinculan no han sido del todo entendidos, se acepta que algunas características generales como ser mujer, tener sobrepeso u obesidad y haber estado en una dieta restrictiva son factores que predisponen a comer en exceso ante condiciones de estrés, es decir, estas características junto con las emociones adversas del día a día le dan al individuo una mayor reactividad o sensibilidad al estrés (Adam y Epel, 2007).

### **Comedores emocionales**

El estudio de los temas que se abordaron anteriormente nos lleva a un fenómeno emergente cada vez más común en la sociedad mexicana actual, y este es la alimentación emocional. Tenemos que



mencionar primero que la regulación de la ingesta de alimentos está determinada por una serie de estímulos endógenos y exógenos, es decir que se producen en el interior de nuestro cuerpo o se reciben del exterior de nuestro cuerpo. Por ejemplo; cuando estamos caminando y se presenta un estímulo, como un anuncio de comida o la publicidad que nos invita a comer comida rápida, nuestro cerebro inmediatamente reacciona ante ese estímulo y nos provoca una sensación de deseo por consumir esa comida que se nos acaba de presentar, incluso nuestro cuerpo se empieza preparar para consumirla, porque de manera natural a los seres humanos cuando se nos presenta algún alimento significa que estamos a punto de comerlo y nuestro cuerpo se empieza a preparar para ello, por ejemplo con la salivación, este ejemplo es un estímulo exógeno. La parte complementaria son los estímulos internos, por ejemplo, las hormonas que se liberan cuando nuestro estómago está vacío, nuestro organismo detecta que al estómago le hace falta alimento y hace que este libere hormonas para que viajen a nuestro cerebro y tengamos la sensación de hambre, este es un mecanismo totalmente normal, ya que necesitamos tener suficiencia de comida para cumplir nuestras funciones corporales naturales. A esto se le puede denominar alimentación normal o alimentación equilibrada.

Sin embargo, existe otro tipo de alimentación, la alimentación emocional, esta se da propiamente cuando no tenemos apetito, o cuando nuestro estómago no está vacío como tal. Esta alimentación se da cuando experimentamos alguna emoción adversa como el mismo estrés, ansiedad o frustración, cuando los seres humanos experimentamos estas emociones nues-

tro cerebro siente la necesidad de comer de manera similar a cuando nuestro estómago está vacío, entonces en este tipo de alimentación no estamos comiendo por necesidad, sino por emociones. Esto unido al fenómeno de que diariamente en todas partes estamos altamente expuestos a una gama de publicidad de alimentos, lo cual colabora con el aumento de nuestro apetito aun cuando no lo requerimos, y el resultado final de esto es que estamos consumiendo alimentos cuando no tenemos una necesidad, sino cuando estamos expuestos a publicidad de estos y principalmente cuando estamos experimentando emociones negativas lo que lleva a un consumo exagerado y totalmente adverso. Esta tendencia se puede ver claramente en los últimos años, ya que ha aumentado la producción, disponibilidad y publicidad de alimentos hipercalóricos, a la par de un aumento en la prevalencia de enfermedades mentales como estrés y depresión, teniendo como resultado un ciclo de enfermedad, donde experimentamos la necesidad de comer por aliviar nuestras emociones adversas, una vez que comemos experimentamos un pequeño lapso de tiempo de bienestar, sin embargo las emociones adversas regresan y hacen que volvamos a comer, con el paso del tiempo este ciclo ocasiona el desarrollo de enfermedades crónicas que a la vez producen sensaciones adversas y así exacerban nuestro consumo de alimentos (Figura 1).

### **Otras enfermedades relacionadas con el estrés**

Algunos estudios han evaluado el vínculo que existe entre el estrés y la presión arterial, se ha encontrado que las personas que sean más reactivas al estrés mostrarán mayores niveles de presión diastólica y sis-

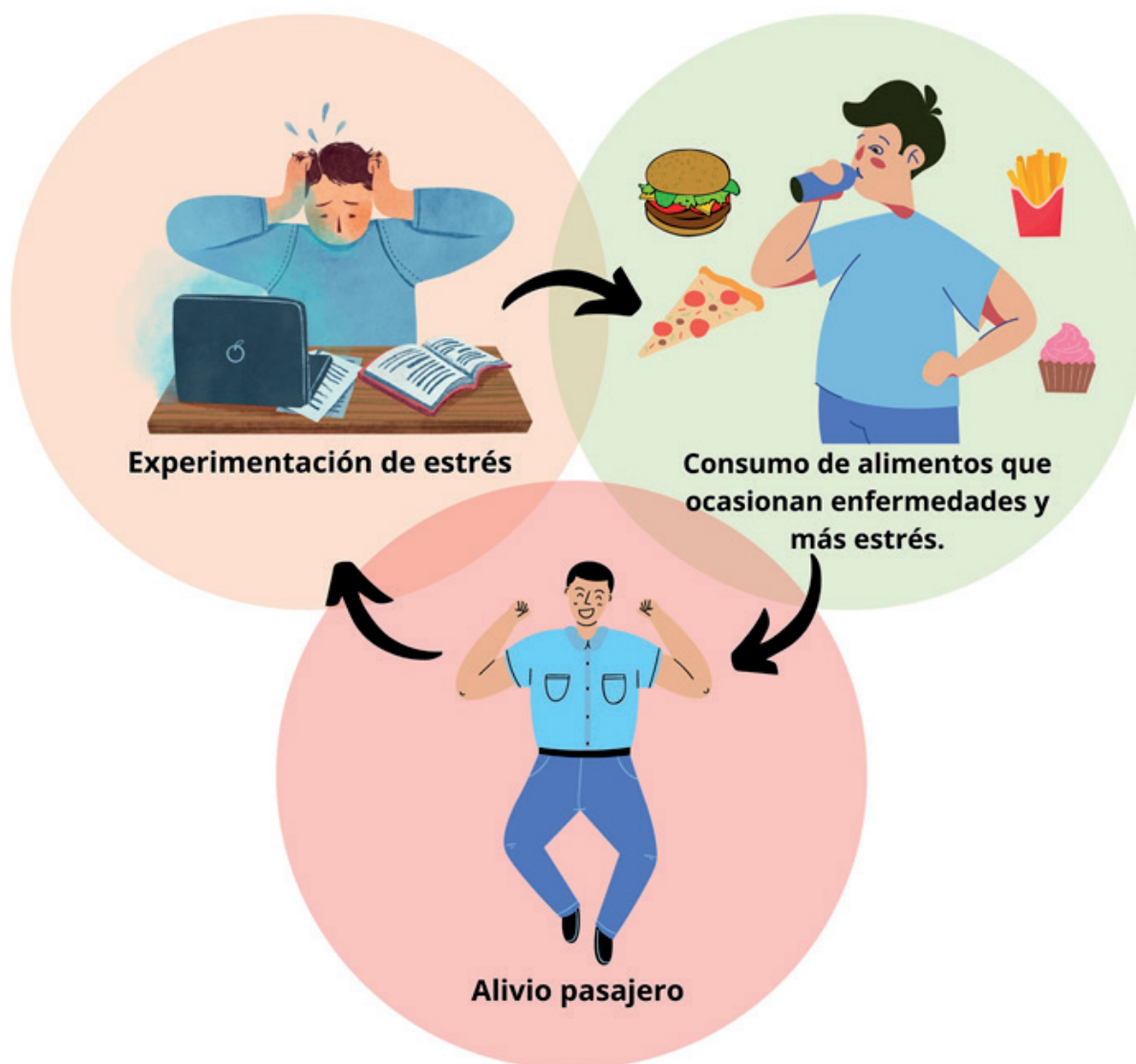


Figura 1. Ciclo de enfermedad ocasionado por el estrés. Fuente: Elaboración propia

tólica, aunque el proceso de desarrollo de presión arterial alta puede llevar años se ha propuesto que las personas más reactivas al estrés tienen 21 % más de riesgo de desarrollar hipertensión en los próximos 10 años. Esto ha llevado a proponer que dentro del manejo de la hipertensión se considere también el manejo del estrés o de la reactividad al estrés ya que solo así se podrán obtener buenos resultados en el tratamiento de esta enfermedad, incluso

un estudio evaluó que las exposiciones al estrés durante la jornada laboral se verá reflejado en un incremento en la presión arterial ambulatoria, esto significa que aun cuando ya están fuera del trabajo donde no se percibe el estímulo estresante los valores de presión alta se mantienen, alarmantemente se ha observado también que la presión puede incrementar durante las horas de sueño, esto es de vital relevancia ya que la presión arterial alta conlleva a un daño

orgánico, infarto al corazón e hipertrofia ventricular (Cuspidi et al., 2010). También se ha estudiado el estrés sobre el desarrollo y progresión de enfermedad cardiovascular. Se ha encontrado que existe mayor riesgo de aparición de enfermedad cardiovascular cuando se ha estado expuesto a estrés psicológico en el trabajo o durante la infancia.

Un aspecto particular de la experimentación de estrés se da durante el sueño. El ciclo circadiano es una de las características que los seres humanos debemos de tomar en cuenta a largo de nuestras vidas y respetar nuestras horas de sueño respectivo a las horas del ciclo luz y oscuridad. Se considera que durante las horas de sueño nocturnas es un estado de recuperación y de seguridad para nuestra fisiología, sin embargo, se ha observado que el estrés afecta nuestro ciclo circadiano al afectar a nuestro sistema nervioso simpático, que es el encargado de regular nuestras funciones básicas de reposo y reparación durante las horas de sueño. Se encontró en diversos estudios que aquellas personas que no manifiestan un descenso en el ritmo cardiaco y en la presión sanguínea durante la noche ocasionado por el estrés tienen mayor riesgo de mortalidad en comparación con aquellos que no están sometidos a estrés y que si manifiestan descensos normales en la presión sanguínea y ritmo cardiaco. Incluso se ha observado que los estresores agudos como el hecho de ofrecer un discurso en público puede ocasionar disfunciones en el ritmo cardiaco y la presión alta sanguínea la noche anterior.

Por otra parte se ha asociado el estrés con diversas disfunciones del sistema inmune, particularmente con la activación de genes relacionados con una inflamación o una respuesta inflamatoria crónica y con la disminución en la expresión de genes rela-

cionados con una protección ante infecciones y diversas enfermedades, por lo tanto de manera general se ha comprobado que la percepción de estrés está asociada a una debilitación del sistema inmune y por lo tanto nos hace propensos enfermedades de todo tipo (Cole, 2013).

Finalmente tenemos que abordar un tema primordial que se ha dejado un poco de lado en el estudio del estrés, y este es la experiencia del estrés en edades tempranas de la vida, si bien el estudio de este tema se enfoca en experiencias actuales existe evidencia que muestra los efectos adversos cuando se experimenta durante los primeros años de vida. De acuerdo a las definiciones utilizadas aquí y a la ejemplificación y permisividad de definiciones del estrés, tenemos que mencionar que el estrés en la etapa infantil se puede definir también como “experiencias adversas en la niñez” (O’Connor, et al., 2021). De manera general se ha encontrado que los individuos que han experimentado situaciones adversas como experiencias traumáticas o violencia en el hogar tienen más probabilidad de desarrollar patologías de carácter físico y psicológico. Particularmente se ha observado que niños que sufren maltrato en su hogar tienen disfunciones en el sistema endocrino e inmune, así como mayor predisposición al desarrollo de enfermedades crónicas como cáncer y diabetes. Un dato alarmante fue el que se encontró en un estudio en 2020 (O’Connor et al., 2020) donde se observó que el 80% de los adultos que han intentado el suicidio han experimentado experiencias traumáticas moderadas o severas durante su infancia

### **Conclusión**

La investigación actual nos muestra que nuestro organismo tiene una amplia gama



de respuestas incluso a nivel genético ante eventos adversos, esto abre nuevas interrogantes acerca de lo que debemos considerar como estrés en sí. No se ha logrado una generalización para el concepto de estrés, teniendo en cuenta que existen diferentes visiones en cuanto su conceptualización, comúnmente la diferencia radica en conceptualizar al estrés como algo objetivo o subjetivo, ambos conceptos se han observado que tienen implicaciones en las respuestas fisiológicas. Se ha demostrado que las reacciones fisiológicas tienen mayor relación cuando se mide al estrés de manera subjetiva en comparación con mediciones objetivas. Por lo tanto, lo mejor sería dar cierta permisividad en cuanto a la medición del estrés, estudiarlo ampliamente y tener un panorama más profundo y así poder de evaluar las consecuencias sobre la salud humana.

### **Bibliografía**

Adam, T., Epel, E. Stress, eating and the reward system. *Physio & Behav.* 91, pp. 449-458. 2007.

Cole, S. Social regulation of human gene expression: mechanisms and implications for public health. *Am. J. Public Health* 103, pp. 84-92. 2013

Cuspidi, C., Giudici, V., Negri, F., Sala, C. Nocturnal nondipping and left ventricular hypertrophy in hypertension: an updated review. *Exp. Rev. Cardiovasc. Ther.* 8, pp. 781-792. 2010

Giskes, K., van Lenthe, F., Avendano-Pabon, M., Brug, J. A systematic review of environmental factors and obesogenic dietary intakes among adults: are we getting closer to understanding obesogenic environments? *Obes Rev.* 12, pp. 95-106. 2010

Morris, M., Beilharz, J. Maniam, J., Reichelt, A., Westbrook, R. Why is obesity such a problem in the 21st century? The intersection of palatable food, cues and reward pathways, stress, and cognition. *NeurosciE & Biobehavioral Reviews.* 18 pp. 36-45. 2015

O'Connor, D., Branley-Bell, D., Green, J., Ferguson, E., O'Carroll, R., O'Connor, R. Effects of childhood trauma, daily stress and emotions on daily cortisol levels in individuals vulnerable to suicide. *J. Abnorm. Psychol.* 129, pp. 92-107. 2020

O'Connor, D., Thayer, F., Vedhara, K. Stress and health: A review of psychobiological processes. *Annual review of psychology*, 72, pp. 663-688. 2021

Pool, E., Brosch, T., Delplanque, S., Sander, D. Stress increases cue-triggered "wanting" for sweet reward in humans. *J of Ex Psycho: Animal Learning and Cognition.* 41, pp. 128. 2015

Swinburn, B., Sacks, G., Ravussin, E., Increased food energy supply is more than sufficient to explain the US epidemic of obesity. *Am. J. Clin. Nutr.* 90, pp. 1453-1456. 2009

# Múltiples colores en lagartijas: polimorfismo en color ¿qué es y cómo se mantiene?



**Dr. Aaron García-Rosales**

*Laboratorio de Ecología y Comportamiento Animal, Departamento de Biología, Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa*

**Dr. César A. Díaz-Marín**

**Dr. Aurelio Ramírez-Bautista**

*Laboratorio de Ecología de Poblaciones, Centro de Investigaciones Biológicas, Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo*

**Resumen.**

Muchas especies de lagartijas que viven en una misma población, pueden mostrar diferentes colores en una misma región del cuerpo. En biología, a este fenómeno se le conoce como polimorfismo en coloración, fenómeno que si bien no es muy común en la naturaleza, tampoco es tan raro. En esta revisión, se describen algunos procesos que contribuyen al mantenimiento y evolución del polimorfismo en color; así como algunos de los estudios más representativos realizados con diferentes especies de lagartijas.

**Palabras clave:** Morfos de color, competitividad, estrategias de reproducción, agresividad.

**Abstract.**

Many species of lizards that live in the same population can show different colors in the same region of the body. In biology, this phenomenon is known as coloration polymorphism, a phenomenon that, although not very common in nature, is not that rare either. In this review, some processes that contribute to the maintenance and evolution of color polymorphism are described; as well as some of the most representative studies carried out with different species of lizards.

**Keywords:** Color morphs, competitiveness, reproduction strategies, aggressiveness.

**Introducción**

En la naturaleza, existen especies de animales donde los individuos de una misma población (individuos de la misma especie que viven en un lugar particular), muestran diferentes colores en una misma regione del cuerpo. En biología, este

fenómeno natural es denominado polimorfismo en coloración, ya que hace referencia a la presencia de múltiples individuos de diferente color y que pertenecen a una misma especie (Fig. 1). A cada uno de estos individuos o grupo de individuos que presentan un mismo tipo de color en una cierta región corporal, se le denomina “morfo” o “morfo de color”. Algunos estudios con lagartijas han documentado que estos morfos de color podrían utilizar diferentes estrategias para alcanzar el éxito reproductor (Taborsky et al., 2008), es decir, dependiendo de ciertos atributos morfológicos y fisiológicos presentes en cada morfo de color, los más fuertes y/o competitivos pelearan por conseguir recursos (alimento, hembras, escondites, entre otros), mientras que aquellos morfos que no son tan fuertes y/o competitivos, generalmente buscan como robarle el recurso a los morfos más fuertes y/o competitivos. Estas diferentes formas o estrategias para alcanzar el éxito reproductor entre los múltiples morfos de color, puede mejorar el potencial reproductivo de un cierto morfo de color, y dar como resultado una desigualdad en la retención de los recursos (territorios y alimentos de mejor calidad, un mayor número de hembras, entre otros), y por lo tanto, una dominancia relativa de cierto morfo de color sobre los demás (Sinervo y Lively, 1996; Lattanzio y Miles, 2016). Sin embargo, para que el polimorfismo en color se mantenga, se requiere que cada morfo de color tenga un potencial reproductivo similar en un periodo amplio de tiempo (Lattanzio y Miles, 2016); es decir, que cada morfo de color produzca el mismo número de crías y que estas tengan la misma probabilidad de sobrevivir y reproducirse en comparación con las crías de los demás morfos de color.



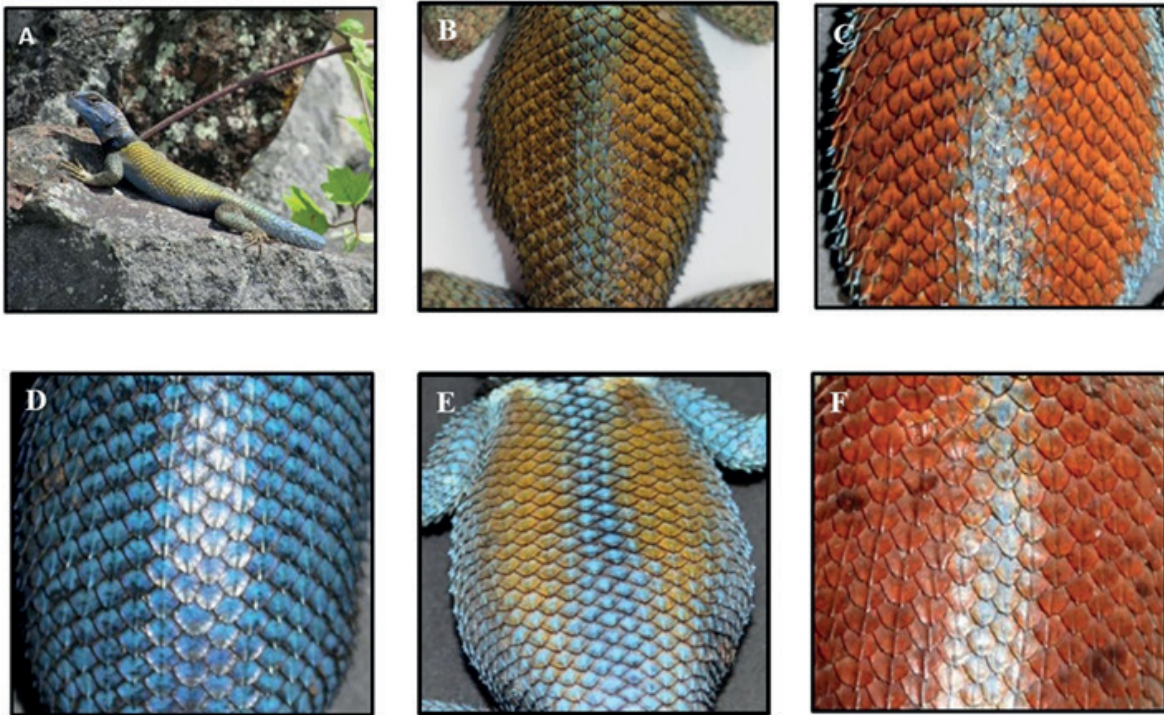


Figura 1. En la lagartija *Sceloporus minor* (A), el polimorfismo en coloración se observa en la región dorsal de los machos. En esta especie, no todos los morfos de color se encuentran presentes en todas las localidades. B y C machos de la localidad de El Enzuelado, D-F, machos de la localidad de La Manzana. Ambas localidades se encuentran en el estado de Hidalgo. Fotos de Aaron García-Rosales.

### ¿Cómo se mantienen los múltiples colores en una misma población?

Diferentes procesos pueden contribuir al mantenimiento y evolución del polimorfismo en color de una especie, tal como la selección apostática, selección disruptiva, selección sexual, y divergencia de nicho (Sinervo y Lively, 1996; Galeotti et al., 2003; Lattanzio y Miles, 2016), los cuales se explican a continuación:

- La selección apostática o selección dependiente de la frecuencia hace referencia a que los depredadores consumirán con mayor frecuencia a los morfos de color más abundantes en la población, en comparación con los morfos de color menos abundantes. Cuando el morfo abundante es consumido con mayor frecuencia, se convertirá en un morfo raro, y el morfo raro que casi no fue consumido, ahora se convertirá en un morfo abundante, y de esta forma se forman ciclos con repetición continua (Sinervo y Lively, 1996; Gray y McKinnon, 2007). De esta manera, la supervivencia y éxito reproductivo de un morfo de color depende de la frecuencia de ocurrencia de los demás morfos de color presentes en la misma población.
- La selección disruptiva es un tipo de selección natural en el que se favorece a los individuos que muestran carac-

terísticas sobresalientes y opuestas (p. ej. individuos con coloraciones brillantes y otros individuos con coloraciones opacas). Es decir, si en una población se observan individuos con diferente grado de variación en un rasgo corporal, la selección favorecerá a los que muestran rasgos corporales de los extremos de una distribución determinada, y así por lo menos dos morfos serían favorecidos (Galeotti et al., 2003; Gray y McKinnon, 2007).

- La selección intra-sexual es un tipo de selección natural en el que la hembra elige con que macho se apareará. Por lo que los machos muestran ciertos rasgos que pueden ser atractivos para las hembras (en el caso de las lagartijas generalmente son los patrones de color), y que influyen en la selección y preferencia de un macho sobre otros pretendientes de la hembra. Así, el polimorfismo en color se mantiene en una población si existe una preferencia de las hembras por un morfo de color con ciertas características. En este caso, los patrones de coloración funcionan como un sistema de señalización ya que indican la capacidad de sobrevivir, de encontrar pareja, y de producir descendientes (Galeotti et al., 2003).
- La divergencia de nicho hace referencia a que los individuos de una población utilizan diferentes recursos y condiciones del ambiente (alimento, refugio, espacio, entre otros), es decir, los diferentes individuos pueden consumir distintos tipos de presas, utilizar diferentes refugios, buscar alimento en diferentes horas del día, entre otros. De esta manera, se evita una competencia fuerte por un mismo

recurso y todos los individuos pueden coexistir en la misma población. Por lo tanto, el polimorfismo en color se puede mantener si los diferentes morfos de color explotan diferentes recursos del ambiente (Lattanzio y Miles, 2016; Scali et al., 2016).

### Algunos ejemplos

El caso más estudiado con una especie de lagartija polimórfica es el de *Uta stansburiana* (lagartija de costado manchado), en el que el polimorfismo en color se mantiene por selección dependiente de la frecuencia (Sinervo y Lively, 1996). Los machos de esta lagartija, exhiben diferente coloración en la garganta, por lo que los morfos de color se pueden clasificar en naranja, azul, y amarillo. Los machos naranjas son considerados como ultradominantes, porque presentan mayores niveles de testosterona (hormona relacionada con la agresividad y actividad) en relación con los otros dos morfos de color, lo que a su vez se asocia a una conducta territorial (defienden un área en específico), así como con una mayor actividad y resistencia física. Este patrón de conducta les permite defender grandes o mejores territorios que contienen varias hembras y, constantemente, tratan de usurpar el territorio y hembras de otros machos de diferente color (Sinervo y Lively, 1996; Sinervo et al., 2000). Los machos azules (dominantes) defienden territorios pequeños, lo que les permite vigilar y controlar mejor a sus hembras; este morfo muestra niveles más bajos de testosterona que los machos naranjas, pero mayores niveles de esta hormona que los machos amarillos. Por otro lado, los machos amarillos no son territoriales, por lo que varios individuos pueden coexistir en una sola área sin agredirse, y se distribuyen a lo largo de los territorios

de otros machos con morfos anaranjados y azules para aparearse con las hembras de éstos, sin llamar la atención de los residentes debido a que su morfología y coloración tiende a ser similar a la de las hembras (Sinervo y Lively, 1996; Sinervo et al., 2000). Este conjunto de comportamientos se pueden ver como una analogía del juego de “piedra, papel, o tijeras” (Sinervo y Lively, 1996), debido a que la ventaja de los machos naranjas (piedra) disminuye al tener grandes territorios que les impiden resguardar a todas sus hembras, oportunidad que es aprovechada por los machos amarillos (papel) para aumentar su éxito reproductor apareándose con sus hembras, misma que disminuye cuando la ventaja de los machos azules (tijera) aumenta, ya que al tener un territorio pequeño, son más efectivos en el resguardo de las hembras en contra de los machos amarillos, pero es ineficiente en contra del morfo naranja (piedra), teniendo éste nuevamente la ventaja sobre los azules (tijera) (Sinervo y Lively, 1996; Sinervo et al., 2000). En otras palabras, la estrategia del morfo naranja le gana a la del morfo azul, y la de este último le gana a la del morfo amarillo y, a su vez, la estrategia del morfo amarillo le gana a la del morfo naranja. De esta manera, la frecuencia de los morfos cambia con el tiempo, formando un ciclo que permite mantener estable el polimorfismo en la población.

Por otra parte, Scali et al. (2016) propone que el polimorfismo en la lagartija roquera *Podarcis muralis* (morfos con gargantas de color blanco, rojo, y amarillo), podría mantenerse por divergencia de nicho alimentario (dietas diferentes), ya que ellos analizaron los hábitos alimentarios de seis poblaciones de esta especie para evaluar si los morfos de color difie-

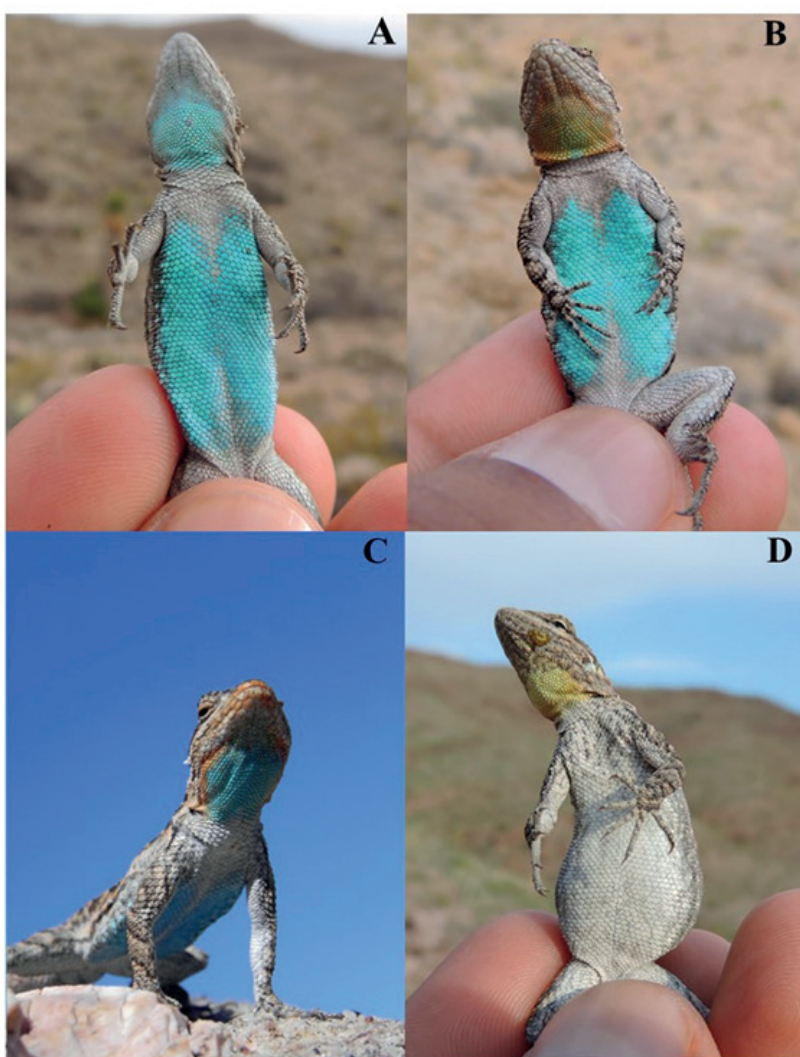
ren en el tipo de presas que consumen. Estos autores encontraron que la dieta es diferente entre los morfos, registrando una mayor similitud entre la dieta de los morfos blancos y los rojos, una menor similitud entre los morfos blancos y amarillos, y una similitud prácticamente nula (dieta diferente) entre los machos rojos y amarillos. Además, observaron que los morfos tienen afinidad o preferencia por consumir algún tipo de presa que los otros morfos no consumen. Por lo tanto, los autores proponen que los morfos de color de esta especie de lagartija han evolucionado con una preferencia específica por cierto tipo de presa, y que solo se comparte parcialmente con otros morfos, así que esta segregación de nicho trófico reduciría la competencia por el alimento, promoviendo así su coexistencia en la misma localidad (Scali et al., 2016).

De manera similar, Lattanzio y Miles (2016) sugieren que el polimorfismo en una población se puede mantener si los morfos son capaces de explotar un mismo recurso (p. ej. alimento, refugio, entre otros) pero en diferente grado (divergencia intraespecífica de nicho). Para esto, los autores analizaron la dieta y uso del espacio en la lagartija polimórfica *Urosaurus ornatus* (lagartija de árbol norteña; Fig. 2), y encontraron una especialización en el consumo de presas para cada morfo, lo que sustenta la hipótesis de divergencia intraespecífica de nicho trófico. Esta divergencia podría estar asociada con la morfología mandibular de cada morfo, ya que el morfo azul tiene una mandíbula más grande que en el morfo amarillo y, este a su vez, tiene una mandíbula más grande que la del morfo naranja (Lattanzio y Miles, 2016). Esto podría ser una limitante para el consumo de ciertas presas, ya que



se ha observado que en otras especies de lagartijas, los individuos más grandes o con mandíbulas amplias comen presas más grandes y duras en comparación con individuos de menor tamaño o con mandíbulas estrechas. Además, existe evidencia de que los diferentes morfos de color de esta especie tienen una afinidad por ciertas condiciones ambientales, por ejemplo, el morfo azul prefiere condiciones húme-

das y frías, mientras que el morfo naranja sea asocia con condiciones más estacionales, y el morfo amarillo prefiere condiciones secas y cálidas (Lattanzio, 2022). Por lo tanto, al preferir y distribuirse en condiciones ambientales diferentes dentro de la misma área de distribución, los morfos de color estarían expuestos a diferentes tipos de presas, ocasionando que sus dietas tiendan a ser más diferentes entre sí.



*Figura 2. Polimorfismo en la coloración de la garganta de Urosaurus ornatus de la estación de investigación “Indio Mountains” en Texas, USA. A = macho morfo azul, B = macho morfo amarillo, C = macho morfo naranja-azul y D = hembra morfo amarillo. En esta especie solo los machos presentan parches ventrales azules. Fotos de Vicente Mata-Silva.*

### Consecuencias de polimorfismo en color

Independientemente del proceso que este manteniendo el polimorfismo, las diferencias entre morfos de una especie y/o población polimórfica puede ocasionar que, en algún momento, los individuos no sean capaces de reproducirse entre ellos (aislamiento reproductor) y con esto iniciar el proceso para generar nuevas especies (especiación). Esto es más probable en especies polimórficas con amplio rango de distribución, en las que las poblaciones estén sometidas a diferentes presiones ambientales (variación en la temperatura, precipitación, alimento, etc.) que promueven variación entre ellas en la diversidad de morfos de color, hasta el punto en el que se dé un aislamiento reproductivo (McLean et al., 2014). Es decir, esta población con nuevos rasgos puede

volverse reproductivamente incompatible con las demás poblaciones y, en consecuencia, iniciaría un proceso de especiación (McLean et al., 2014).

Un ejemplo de esto se puede observar en el trabajo publicado por Bastiaans et al. (2014), quienes evaluaron experimentalmente el comportamiento reproductivo de dos poblaciones de la lagartija del mezquite *Sceloporus grammicus*, en la que el polimorfismo en el color está determinado por la coloración de la garganta (Fig. 3). Específicamente, los autores realizaron comparaciones de la preferencia de las hembras hacia machos de su misma población y machos de diferente población. Los resultados mostraron que las hembras rechazaron con mayor frecuencia a los machos de la población diferente y este rechazo fue más notorio cuando los machos utili-

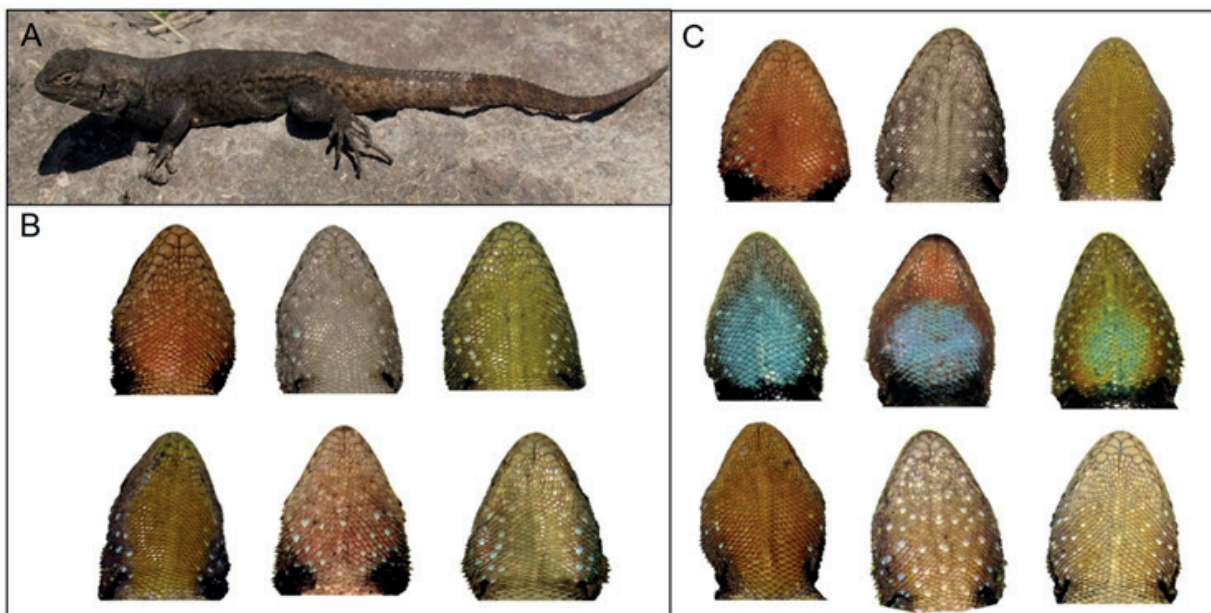


Figura 3. El polimorfismo en la coloración de la lagartija *Sceloporus grammicus* (A) está definido por la coloración de la garganta en ambos sexos. Aquí se muestran los morfos de color de hembras (B) y machos (C) presentes en tres localidades de Hidalgo y una de Puebla, México. En todo su rango de distribución, es importante notar que no todos los morfos de ambos sexos se encuentran presentes en todas las localidades y tampoco en la misma abundancia. Fotos de Cesar Díaz-Marín.

zados en un mismo experimento mostraban mayor variación en la coloración de la garganta (colores o tonalidades que no se encuentran en la población de origen de las hembras). Estos resultados muestran que las hembras pueden discernir entre los diferentes morfos de los machos y que existen ciertos rasgos que son atractivos para ellas, los cuales puede encontrar en individuos de su misma población, aunque no siempre se encuentra ese rasgo en otras poblaciones de la misma especie. Esta falta de aceptación hacia los machos de otras poblaciones podría contribuir al aislamiento reproductivo y así, favorecer el proceso de especiación.

### Consideraciones finales

Los múltiples colores (polimorfismo en color) que muestran las lagartijas en una misma especie, es más común de lo que parece, y se puede observar en diferentes regiones del cuerpo de los individuos y, de acuerdo con diversos estudios existen varios procesos que pueden originar y mantener el polimorfismo en color. Esas fuerzas que mantienen el polimorfismo actúan sobre la morfología, la conducta, y la fisiología de los diferentes morfos de color, originando divergencia entre ellos, la cual en algún punto puede ser tan grande y evidente que ocasione que estos individuos no se puedan reproducir entre ellos (aislamiento reproductor), generando así nuevas especies (especiación).

### Agradecimientos

Agradecemos a Vicente Mata-Silva por proporcionarnos las fotos de *Urosaurus ornatus*.

### Literatura citada

Bastiaans, E., Bastiaans, M. J., Morinaga, G., Gaytán, J. G. C., Marshall, J. C.,

Bane, B., Mendez de la Cruz, F. y Sinervo, B., Female preference for sympatric vs. allopatric male throat color morphs in the mesquite lizard (*Sceloporus grammicus*) species complex, *PloS one*, 9[4], pp. 1-12, 2014. Doi: 10.1371/journal.pone.0093197

Galeotti, P., Rubolini, D., Dunn, P. O. y Fasola, M., Colour polymorphism in birds: causes and functions, *Journal of Evolutionary Biology*, 16[4], pp. 635-646, 2003. Doi: 10.1046/j.1420-9101.2003.00569.x

Gray, S. M. y McKinnon, J. S., Linking color polymorphism maintenance and speciation, *Trends in Ecology & Evolution*, 22[2], pp. 71-79, 2007. Doi: 10.1016/j.tree.2006.10.005

Lattanzio, M. S., Climate mediates color morph turnover in a species exhibiting alternative reproductive strategies, *Scientific Reports*, 12, pp. 1-13, 2022. Doi: 10.1038/s41598-022-12300-7

Lattanzio, M. S. y Miles, D. B., Trophic niche divergence among colour morphs that exhibit alternative mating tactics, *Royal Society Open Science*, 3[4], pp. 1-13, 2016. Doi: 10.1098/rsos.150531

McLean, C. A., Stuart Fox, D. y Moussalli, A., Phylogeographic structure, demographic history and morph composition in a colour polymorphic lizard, *Journal of Evolutionary Biology*, 27[10], pp. 2123-2137, 2014. Doi: 10.1111/jeb.12464

Scali, S., Sacchi, R., Mangiacotti, M., Pupin, F., Gentili, A., Zucchi, C., Sannolo, M., Pavesi, M. y Zuffi, M. A., Does a polymorphic species have a 'polymorphic' diet? A case study from a lacertid lizard, *Biological Journal of the Linnean Society*,



117[3], pp. 492-502. 2016. Doi: 10.1111/bij.12652

Sinervo, B. y Lively, C. M., The rock–paper–scissors game and the evolution of alternative male strategies, *Nature*, 380[6571], 240-243, 1996. Doi:10.1038/380240A0

Sinervo, B., Miles, D. B., Frankino, W. A., Klukowski, M. y DeNardo, D. F., Testosterone, endurance, and Darwinian fitness: natural and sexual selection on the phy-

siological bases of alternative male behaviors in side-blotched lizards, *Hormones and Behavior*, 38[4], pp. 222-233, 2000. doi: 10.1006/hbeh.2000.1622

Taborsky, M., Oliveira, R. F. y Brockmann, H. J., The evolution of alternative reproductive tactics: concepts and questions. En Oliveira, R. F., Taborsky, M. y Brockmann, H. J., (Eds.), *Alternative reproductive tactics: an integrative approach*, Cambridge University Press, 2008, pp. 1-21.

# Algunos problemas antiguos en matemáticas elementales

**Yuri N. Skiba**

*Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático,  
Universidad Nacional Autónoma de México*

**Abstract.**

The ancient problems presented in this article provide the reader with a wonderful opportunity to follow the development of mathematical thought since ancient times. Brief biographical comments serve as a useful addition to the text of the old problems.

**Keywords:** Ancient problems in elementary mathematics; Effective methods for solving them by famous mathematicians.

**Resumen.**

Los problemas antiguos presentados en este artículo brindan al lector una maravillosa oportunidad de seguir el desarrollo del pensamiento matemático desde la antigüedad. Breves comentarios biográficos sirven como una adición útil al texto de los problemas antiguos.

**Palabras clave:** Problemas antiguos en matemáticas elementales; Métodos efectivos para resolverlos por matemáticos famosos.

Los textos matemáticos más antiguos datan de principios del segundo milenio antes de Cristo. En estos textos encontramos formas bastante convenientes de resolver una serie de problemas prácticos relacionados con diversas esferas de la actividad humana (agricultura, construcción, comercio, etc.).

La experiencia demuestra que el uso de problemas antiguos en el aula y en actividades extraescolares despierta el interés por las matemáticas, anima a los estudiantes a crear de forma independiente, muestra iniciativa e ingenio, proporciona una excusa natural para pequeñas digresiones históricas sobre sus compiladores,

quienes, por regla general, fueron los grandes matemáticos de su época, y sobre el estado de las disciplinas matemáticas del pasado lejano.



**Euclides de Alejandría** (323 – 283 a. C.). Se le conoce como “el padre de la geometría”. Fue el fundador de la escuela de matemáticas de la ciudad. Su trabajo más famoso fue los *Elementos*, considerado a menudo el libro de texto de más éxito de la historia de las matemáticas.

**Problema 1** (Euclides). Usando una regla y un compás, construye un triángulo equilátero en el segmento AB dado. La regla no está graduada.

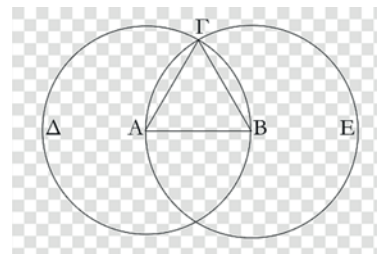
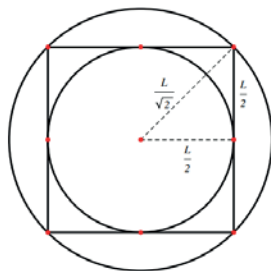


Fig. 1.

Solución: Construyamos dos círculos alrededor de los puntos A y B con un radio igual a la longitud del segmento AB (Fig. 1). Uno de los puntos de intersección de las circunferencias (por ejemplo, el punto  $\Gamma$ )





**Arquímedes de Siracusa** (287 a. C. - 212 a. C.) fue un físico, ingeniero, inventor, astrónomo, matemático y filósofo griego. Es considerado uno de los más grandes matemáticos de la antigüedad y de toda la historia en general. Entre sus logros en física se encuentran sus fundamentos en hidrostática, estática y su explicación del principio de palanca. Es conocido por desarrollar máquinas innovadoras, incluidas armas de asedio y el tornillo de Arquímedes que lleva su nombre. Notemos que Arquímedes fue el primer matemático que tuvo un conocimiento preciso de la existencia del número  $\pi$ .

**Problema 2** (Arquímedes). El área del círculo circunscrito alrededor de un cuadrado es el doble del área del círculo inscrito (Fig.2).

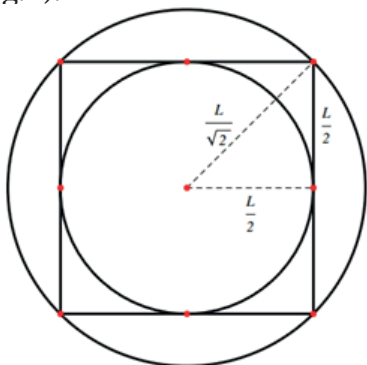


Fig. 2.

**Solución:** Sea  $L$  el lado de un cuadrado. El área del círculo circunscrito alrededor del cuadrado es

$$S_{circ} = \pi \left( \frac{L}{\sqrt{2}} \right)^2 = \frac{1}{2} \pi L^2$$

El área del círculo inscrito en el cuadrado es

$$S_{insc} = \pi \left( \frac{L}{2} \right)^2 = \frac{1}{4} \pi L^2$$

Por lo tanto,

$$S_{circ} = 2S_{insc} .$$

**Problema 3** (Arquímedes). La superficie de un segmento esférico es igual al área de un círculo cuyo radio es la línea AB que conecta la parte superior del segmento con el círculo de la base del segmento (Fig.3).

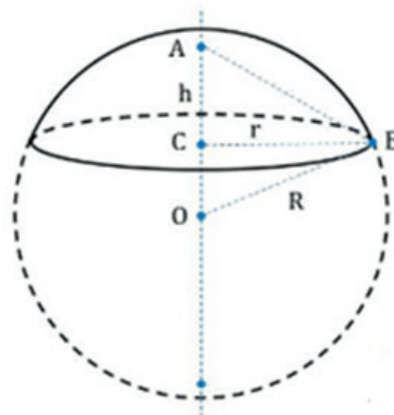


Fig. 3.

**Solución:** La superficie de un segmento esférico es

$$S_{segm} = 2\pi Rh .$$

Según el teorema de Pitágoras,

$$AB^2 = h^2 + r^2 = h^2 + R^2 - (R - h)^2 = 2Rh .$$

Por lo tanto, al área del círculo con radio AB es  $S_{circ} = \pi AB^2 = 2\pi Rh = S_{segm} .$

**Problema 4** (Arquímedes). Una bola está inscrita en el cilindro, y la altura del cilindro es igual al diámetro de la bola (Fig.4). Demuestre que el volumen del cilindro es  $3/2$  del volumen de la bola y que la superficie del cilindro es  $3/2$  de la superficie de la bola.

Calcular el volumen de una esfera fue uno de los descubrimientos que más valoró Arquímedes de los muchos que realizó en su vida. Mostró de manera muy original que el volumen de una esfera es igual a dos tercios del volumen de un cilindro circular circunscrito a ella. Esto le causó una impresión tan fuerte que pidió grabar esta figura en su tumba en memoria de sus mejores ideas.

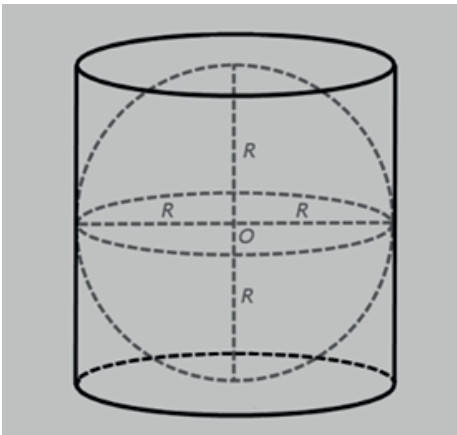


Fig.4.

**Solución:** Teniendo en cuenta la condición del problema, obtenemos

$$V_{cil} = \pi R^2 \cdot 2R = \frac{3}{2} \cdot \left(\frac{4}{3} \pi R^3\right) = \frac{3}{2} V_{bola}$$

para el volumen del cilindro, y

$$\begin{aligned} S_{cil} &= 2\pi R \cdot 2R + 2\pi R^2 = 6\pi R^2 \\ &= \frac{3}{2} \cdot (4\pi R^2) = \frac{3}{2} S_{bola} \end{aligned}$$

para la superficie del cilindro.



**Herón de Alejandría** (10 – 75 d.C.) fue un importante geómetra y trabajador de la mecánica que inventó muchas máquinas, incluida una turbina de vapor. Su obra matemática más conocida es la fórmula del área de un triángulo en términos de las longitudes de sus lados.

**Problema 5** (Herón). Dados dos puntos A y B en el mismo lado de la línea P, encuentra un punto C en P tal que la suma de las distancias de A a C y de B a C sea la más pequeña.

**Solución:** Construimos un punto D simétrico al punto B con respecto a la recta P (Fig.5). La intersección del segmento AD con la recta P es el punto C buscado, ya que  $ACB=ACD$  y ACD es el camino más corto entre los puntos A y D.

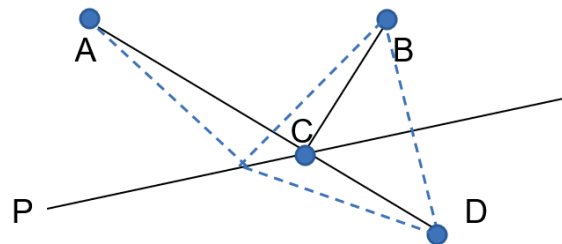


Fig.5.

**Problema 6** (Leyenda de Sissa). En India, había un poderoso brahmán llamado Rai

Bhalit. Ordenó a su sirviente Sissa, que creara un juego capaz de entretenerle. Sissa presentó a su señor el ajedrez. Rai Bhalit quedó tan encantado que le permitió escoger su recompensa. Sissa le dijo: «Señor, soy hombre modesto, y me conformaría con que me paguéis un grano de trigo por el primer cuadrado, dos por el segundo, cuatro en el tercero, ocho en el cuarto, etc.». El brahmán, encantado por la modesta petición accedió en seguida, pero su alegría pronto se trocaría en ira cuando se dio cuenta de que ni con todo el trigo de su país alcanzaría a pagar semejante suma. ¿Cuántos granos pidió el sabio?



**Solución** (notemos que 1 kg de trigo contiene 25,000 granos):

$$\begin{aligned} S_{64} &= 1 + 2^1 + 2^2 + 2^3 + 2^4 + \dots + 2^{63} \\ &= (2^1 - 1) + (2^2 - 2^1) + (2^3 - 2^2) + (2^4 - 2^3) + \dots + [2^{64} - 2^{63}] \\ &= 2^{64} - 1 = 18446744073709551615. \end{aligned}$$



**Nicomachus de Gerasa** (60 – 120 d.C.) fue un filósofo griego antiguo, matemático y

teórico de la música. El tratado “Introducción a la Aritmética” escrito por Nicómaco de Gerasa en el siglo II, sirvió durante mucho tiempo como libro de texto sobre matemáticas elementales. Es una enciclopedia numérica pitagórica. La tradición de tales escritos parece remontarse a la Antigua Academia de Platón. El siguiente problema está tomado de su tratado.

**Problema 7** (Nicomaco de Gerasa). Demuestre que, si dividimos la serie de todos los números impares en grupos en los que el número de miembros aumentará como una serie de números naturales, entonces la suma de los miembros de cada grupo será igual al cubo del número de sus miembros.

**Solución:** De hecho, por verificación directa establecemos que, si una serie de números impares se divide en grupos, como lo requiere la condición del problema, es decir,

$$1 + (3+5) + (7+9+11) + (13+15+17+19) + \dots$$

Tenemos

$$\begin{aligned} 1 &= 1^3, \\ 3+5 &= 8 = 2^3 \\ 7+9+11 &= 27 = 3^3 \\ 13+15+17+19 &= 64 = 4^3, \text{ etcétera.} \end{aligned}$$

Damos ahora una prueba general del hecho establecido. El número de términos en los primeros  $(n-1)$  grupos es

$$1 + 2 + 3 + 5 + \dots + (n-1) = \frac{n(n-1)}{2}$$

El último número en el  $(n-1)$ -ésimo grupo es  $n(n-1)-1$ . Por lo tanto, el primer número en el  $n$ -ésimo grupo es  $n(n-1)-1+2=n^2-n+1$ , y en último número del mismo grupo es

$$n^2 - n + 1 + 2(n-1) = n^2 + n - 1$$

Por lo tanto, la suma de los miembros en el  $n$ -ésimo grupo es igual a



$$\frac{n^2 - n + 1 + n^2 + n - 1}{2} \cdot n = n^3$$

lo que se necesitaba demostrar.



**Omar Jayam** (1048 – 1131 d.C.) fue un matemático, astrónomo y poeta persa. Se educó en las ciencias en su nativa Nishapur y en Balkh. Posteriormente se instaló en Samarcanda, donde completó un importante tratado de álgebra. Bajo los auspicios del sultán de Seljuq, Malik-Shah, realizó observaciones astronómicas para la reforma del calendario, además de dirigir la construcción del observatorio de la ciudad de Isfahán. La fama de Jayam en Occidente se debe fundamentalmente a una colección de cuartetos, los Rubaiyat, cuya autoría se le atribuye y que fueron versionados en 1859 por el poeta británico Edward Fitzgerald.

**Problema 8** (Omar Jayam). Resolver la ecuación  $\frac{1}{x^2} + 2\frac{1}{x} = \frac{5}{4}$ .

**Solución:** El mismo Omar Jayam resolvió este problema de la siguiente manera. Pongamos  $\frac{1}{x} = z$ . La ecuación acepta la forma

$$z^2 + 2z = \frac{5}{4}$$

Sumando 1 a los lados izquierdo y derecho, obtenemos

$$z^2 + 2z + 1 = \frac{9}{4}, \quad \text{ó} \quad (z + 1)^2 = \frac{9}{4}$$

De donde  $z + 1 = \frac{3}{2}$ , ó  $z = \frac{1}{2}$ . Por lo tanto,  $x = 2$ .



**Bhaskara Acharia** (1114-1185) fue un matemático y astrónomo indio. Fue el líder de un observatorio cósmico en Ujjain, el principal centro matemático de la antigua India. Conocido por ser el creador de la fórmula cuadrática o resolvente. Las cuatro secciones de su obra principal tratan de la aritmética, el álgebra, las matemáticas de los planetas y las esferas, respectivamente.

**Problema 9** (Bhaskara Acharia). Demostrar que

$$\sqrt{10 + \sqrt{24} + \sqrt{40} + \sqrt{60}} = \sqrt{2} + \sqrt{3} + \sqrt{5}$$

**Solución:**

$$\begin{aligned} & \sqrt{10 + \sqrt{24} + \sqrt{40} + \sqrt{60}} \\ &= \sqrt{2 + 3 + 5 + 2\sqrt{2 \cdot 3} + 2\sqrt{2 \cdot 5} + 2\sqrt{3 \cdot 5}} \\ &= \sqrt{(\sqrt{2} + \sqrt{3} + \sqrt{5})^2} = \sqrt{2} + \sqrt{3} + \sqrt{5} \end{aligned}$$

**Problema 10** (Bhaskara Acharia). Encuentra un triángulo rectángulo en el que la hipotenusa sea el mismo número que el área.

**Solución:**

Solución 1 (de Bhaskara): Supongamos que la hipotenusa es  $(m^2+n^2)x$ , el cateto 1 es  $(m^2-n^2)x$  y el cateto 2 es  $2mnx$ ,  $m > n$ . Según el teorema de Pitágoras,

$$[(m^2+n^2)x]^2 = [(m^2-n^2)x]^2 + [2mnx]^2$$

Además, para satisfacer la condición del problema,

$$(m^2+n^2)x = mnx^2(m^2-n^2)$$

es decir,

$$x = \frac{m^2+n^2}{mn(m^2-n^2)}$$

Por lo tanto, la hipotenusa es

$$(m^2+n^2)x = \frac{(m^2+n^2)^2}{mn(m^2-n^2)}$$

el cateto 1 es

$$(m^2-n^2)x = \frac{m^2+n^2}{mn}$$

y el cateto 2 es

$$2mnx = \frac{m^2+n^2}{m^2-n^2}$$

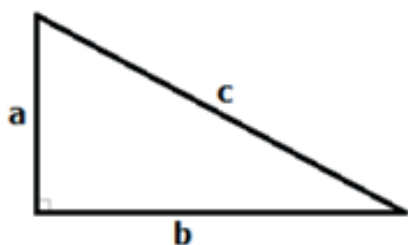


Fig. 6.

**Solución 2** (moderna). Según el teorema de Pitágoras,  $c^2=a^2+b^2$  (Fig.6), y para satisfacer la condición del problema,  $c = \frac{1}{2}ab$ . Es decir,

$$a^2 + b^2 = \frac{1}{4}a^2b^2.$$

De aquí obtenemos la razón entre los cate-tos del triángulo:

$$a^2 = \frac{4b^2}{b^2-4}, \quad b > 2$$

En particular, un triángulo isósceles es posible sólo si

$$a = b = \sqrt{8}.$$



**Franciscus Vieta** (1540-1603) fue un abogado y matemático francés. Se le considera uno de los principales precursores del álgebra. En 1571, pasó a ser abogado en el Parlamento de París, y se le nombró consejero en el Parlamento de Rennes en 1573. En 1576, entró al servicio del rey Enrique III. En 1580, pasó al servicio exclusivo del rey en el Parlamento de París. Entre los problemas matemáticos que Viète aborda, hay que citar la resolución completa de las ecuaciones de segundo grado.

**Problema 11** (Vieta). Resolver la ecuación  $x^2+px+q=0$  usando la sustitución  $x=y+z$ .

**Solución:** Usando la sustitución  $x=y+z$ , la ecuación se obtiene la forma

$$y^2+y(2z+p)+z^2+pz+q=0$$

Aprovechando la arbitrariedad en  $z$ , suponemos que  $2z+p=0$ , es decir,  $z = -\frac{p}{2}$ . Entonces

$$z^2 + pz + q = \frac{p^2}{4} - \frac{p^2}{2} + q = q - \frac{p^2}{4}$$

Como resultado,  $y^2 + q - \frac{p^2}{4} = C$ , ó

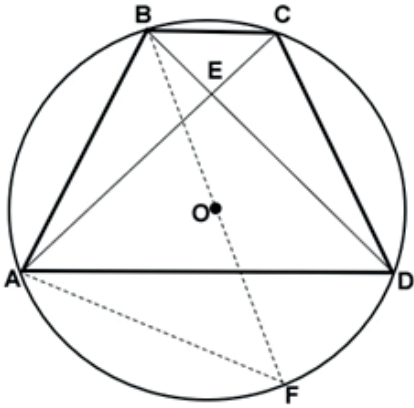
$$y^2 = \frac{p^2}{4} - q, \text{ es decir, } y = \pm \sqrt{\frac{p^2}{4} - q}.$$

Por lo tanto,  $x = y + z = -\frac{p}{2} \pm \sqrt{\frac{p^2}{4} - q}$ .

De aquí se deduce el teorema de Vieta:

$$x_1 + x_2 = -p \quad \text{y} \quad x_1 \cdot x_2 = \frac{p^2}{4} - \frac{p^2}{4} + q = q.$$

donde  $x_1$  y  $x_2$  son dos raíces de la ecuación.



**Problema 12.** En un cuadrilátero ABCD, cuyas diagonales AC y BD son mutuamente perpendiculares (Fig.7), la suma de los cuadrados de dos lados opuestos es igual al cuadrado del diámetro d del círculo circunscrito alrededor de cuadrilátero:

$$AB^2 + CD^2 = d^2 \quad \text{y} \quad BC^2 + AD^2 = d^2$$

Además,

$$BE^2 + EC^2 + AE^2 + ED^2 = d^2.$$

**Brahmagupta (590-670)**

Se desconoce el autor de este problema. Sin embargo, incluso en la antigüedad, Arquímedes sabía la última fórmula. Una serie de problemas interesantes sobre un cuadrilátero inscrito en una cir-

conferencia pertenece al matemático y astrónomo indio Brahmagupta



**Solución:** Usaremos las siguientes tres propiedades:

- 1) Un ángulo inscrito es la mitad del arco que abarca;
- 2) Todos los ángulos inscritos en una circunferencia que abarcan el mismo arco son iguales;
- 3) En el mismo círculo, o en círculos congruentes, dos cuerdas son iguales si y sólo si subtenden arcos iguales.

Dibujamos el diámetro BF. Tenemos  $\angle BAF = 90^\circ$  (ya que abarca el diámetro).

Sea  $\cup AF$  el arco AF. Obviamente,

$$\begin{aligned} \cup AF &= 2\angle ABF = 2(90^\circ - \angle AFB) \\ &= 2(90^\circ - \frac{1}{2}\cup AB) = 2(90^\circ - \angle ACB). \end{aligned}$$

Además,  $\angle CBD = 90^\circ - \angle ACB$  en el triángulo rectangular ECB y, por lo tanto,

$$\cup AF = 2\angle CBD = \cup CD$$

De aquí se deduce que  $AF=CD$ . Usando el triángulo rectangular BAF, obtenemos

$$BF^2 = AB^2 + AF^2 = AB^2 + CD^2 = d^2.$$



De la misma manera se demuestra que  $BC^2+AD^2=d^2$ . Además, usando el teorema de Pitágoras, obtenemos

$$BE^2+EC^2=BC^2 \text{ y } AE^2+ED^2=AD^2.$$

Al sumar las dos últimas fórmulas obtenemos

$$BE^2+EC^2+AE^2+ED^2=BC^2+AD^2=d^2$$

lo que se necesitaba demostrar.

### Referencias

Boyer, C. B. (1991). *A History of Mathematics*. New York, Wiley.

Calinger, R. (1999). *A Contextual History of Mathematics*. Upper Saddle River, NJ, Prentice-Hall.

Chistyakov, V.D. (1962). Collection of ancient problems (en ruso).

Rouse Ball, W.W. (1960). *A Short Account of the History of Mathematics*. New York, Dover Publications.





# **Métodos de conservación como herramienta para salvaguardar agentes de control biológico útiles en el control de plagas**

**Dr. Miguel Angel Ayala Zermeño**

**M. en C. Angélica María Berlanga Padilla**

**Dr. Roberto Montesinos Matías**

*Colección de Hongos Entomopatógenos,*

*Departamento de Control Biológico, (CNRFDGSVSENASICA-SADER)*

**Dra. Alba Priscilia Suaste Dzul**

*Hongos Antagonistas, Departamento de Control Biológico,*

*(CNRFDGSVSENASICA-SADER)*

**Dra. en Nohemí García Ortiz**

*Área de Hongos Entomopatógenos,*

*Departamento de Control Biológico, (CNRFDGSVSENASICA-SADER)*

**M. en C. Jorge Antonio Sánchez González**

*Jefe del Departamento de Control Biológico,*

*(CNRFDGSVSENASICA-SADER)*



**Resumen:**

Los microorganismos desempeñan un papel vital, ya sea en la naturaleza o en diferentes ámbitos de las actividades humanas. En el caso de la agricultura contamos con microbios para usarlos como poderosos aliados en la regulación de poblaciones de insectos o patógenos que atacan nuestros campos de cultivo. A este respecto en México, se han realizado grandes esfuerzos para contar con colecciones de dichos organismos, por lo que surgen algunas preguntas: ¿qué se ha realizado para conservar la diversidad de estos minúsculos seres? ¿qué métodos se utilizan para guardarlos? ¿esos métodos son eficientes? ¿cómo hemos aprovechado este valioso recurso genético? Adentrémonos, para conocer su importancia, y los beneficios que aportan a la sanidad vegetal en nuestro país.

**Palabras clave:** plaga, enfermedad, antagonismo, entomopatógeno

**Abstract:**

Microorganisms play a vital role, whether in nature or in different areas of human activities. In the case of agriculture, we have microbes to use as powerful allies in the regulation of insect populations or pathogens that attack our crop fields. In this regard in Mexico, great efforts have been made to have collections of these organisms, so some questions arise: what has been done to conserve the diversity of these tiny beings, what methods are used to store them, are these methods efficient, how have we taken advantage of this valuable genetic resource? Let's take a closer look at their importance and the benefits they bring to plant health in our country.

**Keywords:** pest, disease, antagonism, entomopathogen

En la última década, la población en México se ha incrementado en 14 millones de habitantes (INEGI, 2020), lo que hace imperativo asegurar productos agrícolas en cantidad y calidad para la alimentación y nutrición de toda la población. Sin embargo, anualmente se pierde entre el 10 y el 28% de la producción de cultivos, debido a plagas y enfermedades en las plantas. Este problema se ha acentuado como consecuencia del impacto del cambio climático (Secretaría de la CIPF, 2021); aunado a las pérdidas en almacén por la contaminación de los alimentos y piensos con micotoxinas (toxinas producidas por hongos), representando un grave riesgo para la salud humana y animal.

La presencia constante de plagas en cultivos económicamente importantes (Secretaría de la CIPF, 2021), hace necesario considerar todas las alternativas para su control, una de las cuales es el uso de hongos entomopatógenos (HE). Los HE son un grupo de organismos que sólo pueden verse a través de un microscopio, y a simple vista son muy parecidos a aquellos hongos con aspecto polvoriento que crecen sobre panes o frutas en descomposición en nuestras cocinas, solo que los HE tienen la capacidad de enfermar y causar la muerte en insectos cuando se depositan sobre la cutícula “la piel” de los insectos, además de arañas y ácaros.

**El valor actual de las colecciones de microorganismos**

México tiene diferentes tipos de climas, cada clima representa un desafío para cualquier especie que es capaz de adaptarse y vivir en ese sitio, con el paso del tiempo estas especies que logran adaptarse y vivir pasan la información a su descendencia sobre “cómo tener éxito” en ese



ambiente, lo que en general hace que la siguiente generación sea más hábil para resistir las condiciones en las que se han desarrollado sus antecesores. No obstante, nos ha tocado vivir una época en la que hemos sido testigos de cómo la biodiversidad de nuestro planeta disminuye año con año. La importancia de la diversidad o variedad, radica en que, en caso de un cambio muy drástico de las condiciones climáticas, muchas variedades morirán, pero alguna o algunas de las especies logrará adaptarse a las nuevas condiciones para empezar a poblar el lugar nuevamente, lógicamente entre más especies existan, mayor será la posibilidad de que alguna lo logre (Equihua y Hernández, 2013).

La pérdida de suelo que provoca la agricultura intensiva, las quemadas forestales, la conversión a desarrollos urbanos y los cambios de temperatura, son algunos factores que han propiciado dicho fenómeno, ya que se modifican las condiciones ambientales en el que estos organismos habitan y algunos tienden a desaparecer (Equihua y Hernández, 2013). No podemos dejar que toda esa variedad de organismos se pierda sin tratar de hacer una “copia” de las instrucciones de cómo “hacer” o reproducir a la mayor cantidad de organismos que han pasado por el planeta, esas instrucciones están guardadas en forma de información genética dentro de las semillas para el caso de las plantas y en forma de esporas o conidios en los hongos, por lo que se han hecho esfuerzos por resguardar esa diversidad.

Ante el deterioro continuo de nuestro entorno, se han generado áreas naturales protegidas e infraestructuras especializadas para salvaguardar la biodiversidad, en la que se guarda una “copia de segu-

ridad” de los organismos. Esto ocurre de manera similar a lo que hacemos con los archivos en nuestras computadoras por si algo les llegara a ocurrir, solo que nosotros resguardamos la información en una USB o en la “nube”. Algunos de los esfuerzos globales encaminados a consumir ese objetivo, han llevado a generar la infraestructura como el almacén de semillas más grande del mundo, el cual es conocido como «La bóveda global de semillas de Svalbard», donde se encuentran las especies cultivables de plantas de todo el mundo, localizado en una isla remota entre Noruega y el polo norte donde las temperaturas son extremadamente bajas, tanto que, si los equipos de refrigeración llegarán a fallar, el permafrost (hielo permanente) conservaría las semillas por mucho tiempo, gracias a la baja temperatura y humedad del ambiente (SIAP, 2016).

### **Resguardo de la biodiversidad en México**

La obtención de “copias de seguridad” de algunas especies de organismos que de manera natural sólo se encuentran en México, lo que se conoce como organismos endémicos, se resguarda en algunas instituciones como es el caso del Centro Nacional de Recursos Genéticos (CNRG) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), catalogado como el “Arca de Noé del Siglo XXI”, ubicado en Tepatitlán de Morelos, Jalisco, el cual surgió como una acción gubernamental de seguridad agroalimentaria, de cuidar y preservar para generaciones futuras (SADER, 2016). Y para el caso de los HE que son microorganismos especializados en el control de plagas, se localizan en la Colección de Hongos Entomopatógenos (incluidos hongos antagonistas) (CHE) del Departamento de Control Biológico (DCB)



Figura 1. Edificio de la Colección de Hongos Entomopatógenos en Tecomán, Colima.

del Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA)(CNRF-DGSV) (<https://www.gob.mx/senasica/documentos/coleccion-de-hongos-entomopatogenos>), (Figura 1).

Actualmente dicha colección cuenta con una copia de 1888 aislados de hongos entomopatógenos (HE) y antagonistas, los aislados de patógenos de insectos, proceden de todos estados de la república mexicana, ubicados en alrededor de 12 géneros y obtenidos de plagas presentes en 37 cultivos. Mientras que la CHE cuenta con 258 aislados de hongos antagonistas del género *Trichoderma spp.* procedentes de cinco estados bananeros, y alrededor de 400 aislados del cultivo de maíz. La CHE inició resguardando HE desde 1991, algunos de estos hongos se utilizan para controlar diversas plagas ya que los laboratorios productores de organismos benéficos de diferentes estados de la república los han adquirido para su comercialización, son parte de los programas oficiales de la DGSV para el control del psílido asiático

de los cítricos (*Diaphorina citri*), importante plaga en los estados donde se cultiva limón, naranja y toronja (Figura 2); las plagas de la langosta y chapulín presentes en los estados del centro y sureste del país que afecta a cultivos como el maíz, frijol y pastos, entre otros.



Figura 2. *Cordyceps javanica*, micosando una ninfa del psílido asiático de los cítricos *Diaphorina citri*.

También se ha trabajado probando diferentes hongos de la colección para utilizar los

que sean capaces de atacar a escarabajos ambrosiales, que son una importante plaga del aguacate; además se realiza algo similar para el gusano elotero y cogollero, que son plagas importantes del maíz, entre otras. Sin embargo, la actividad primordial que se realiza en la CHE, se dirige a guardar copias de hongos para asegurar su viabilidad y utilizarlos como organismos potenciales contra plagas presentes y en un futuro las que aún no se encuentran en nuestro país. Así ocurre con el uso de controladores biológicos nativos del género *Trichoderma sp.*, este hongo antagonista se ha trabajado para la prevención (Figura 3), el control y el manejo de la marchitez por *Fusarium oxysporum f. sp. cubense* raza 4 Tropical en musáceas. Aunque la plaga, ya está presente en tres países de Latinoamérica (Colombia, Perú y Venezuela), no ha ingresado a nuestro país. La magnitud de las consecuencias económicas asociadas *F. oxysporum f. sp. cubense* raza 4, radica en los daños económicos que potencialmente representaría para los cultivos del plátanos y bananas en México.

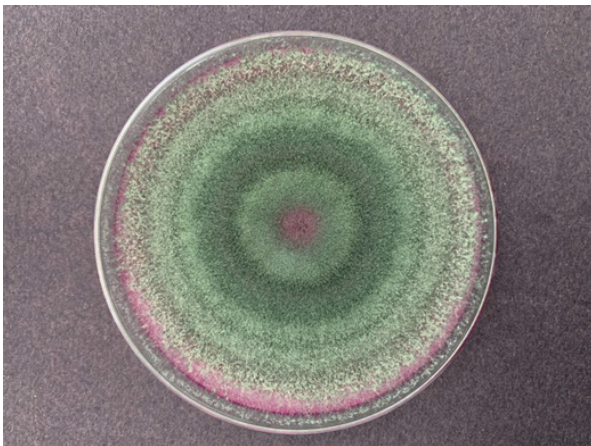


Figura 3. El hongo antagonista *Trichoderma sp.*

### Aliados naturales para el control de plagas y enfermedades en el campo mexicano

Los HE son un grupo de microbios que des-

taca por su capacidad de enfermar por contacto y causar la muerte en insectos plaga. Los HE son aliados importantes que regulan a las poblaciones de insectos de manera natural. Dentro de la gran diversidad de HE, existen algunos que atacan a varios órdenes de insectos y otros que son específicos. Es a partir de los conidios de estos hongos (presentes en el suelo, partes vegetales o en el aire), que al estar en contacto con el cuerpo del invertebrado da inicio la enfermedad. A partir de este fenómeno presente en la naturaleza, se han elaborado diversos productos insecticidas hechos con los conidios del hongo (micoinsecticidas y biofungicidas), para utilizarse en el campo mexicano. Por otro lado, existen otros hongos benéficos, llamados antagonistas, que son hábiles para atacar a “otros hongos” que dañan a la planta. *Trichoderma sp.* es un hongo antagonista capaz de controlar diversos organismos causantes de enfermedades (Figura 4), como bacterias, nematodos y, especialmente, otros hongos, ya sea compitiendo directamente por los nutrientes, ayudando al crecimiento de las plantas o actuando en defensa de la misma; aunque podría actuar como parásito del hongo fitopatógeno (Sood *et al.*, 2016).

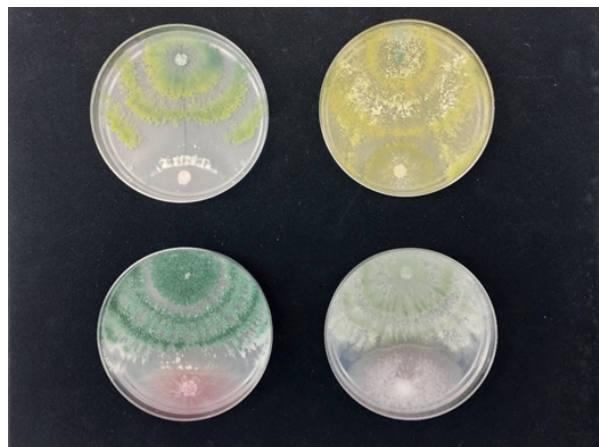


Figura 4. Confrontación entre hongos fitopatógenos y antagonistas.



Algunas de las especies más utilizadas en el control de plagas agrícolas y enfermedades son *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae*, *Metarhizium acridum*, *Metarhizium rileyi* (Figura 5), *Cordyceps javanica*, *Hirsutella thompsonii*, *Akanthomyces lecanii*, *Cordyceps fumosorosea*, *Aschersonia aleyrodes* (Figura 6), y *Trichoderma* sp., éstas y otras especies se conservan en la CHE.

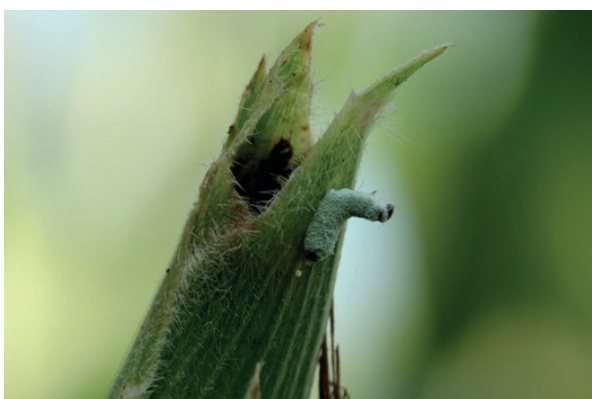


Figura 5. Larva de lepidóptero micosada con el hongo entomopatógeno, *Metarhizium rileyi*.



Figura 6. *Aschersonia aleyrodes*, ocasionando micosis a *Aleurocanthus woglumi*.

### Principios de la conservación utilizadas por las colecciones

Así como las semillas de plantas se guardan a temperaturas muy bajas y en un ambiente lo más seco posible, (lo que fun-

ciona para las semillas conocidas como semillas ortodoxas), para el caso de los conidios de los hongos, se deben tener cuidados similares. Los HE pueden conservarse vivos por períodos prolongados e inclusive varias décadas utilizando técnicas adecuadas a las que se les denomina “métodos de conservación”, los cuales son implementados en general en las colecciones de cultivos (<https://wfcc.info/guideline>).

Los principios de las técnicas consisten en conservar el HE a bajas temperaturas (-70 y -196°C), al menos dos veces menor a la que se registra en la punta del Everest (-30°C) para ello se utilizan ultracongeladores y con nitrógeno en su forma líquida (Figura 7). La eliminación de agua de las muestras por el proceso de sublimación (liofilización), el secado del hongo al crecer en un soporte de gel de sílice, limitar la cantidad de oxígeno a la que puede acceder el hongo y así evitar la evaporación de agua (aceite mineral), son otros de los principios de las técnicas para la conservación. Bajo estas condiciones, los hongos entran en un tipo de hibernación, letargo o están adormecidos (latencia) hasta que se les proporcionan nuevamente las condiciones necesarias para su reactivación y desarrollo (Humber 2012; Ayala-Zermeño *et al.*, 2017).

Por otro lado, como es bien sabido, muchos eventos desafortunados le pueden suceder a los recintos donde se encuentran resguardadas las valiosas semillas, desde un corte de energía eléctrica provocando que se apaguen los refrigeradores, hasta un temblor que interrumpa las vías de suministro de nitrógeno líquido, es por eso que para guardar un solo tipo de hongo en la colección del CNRCB se emplean tres métodos de conservación y así es como se

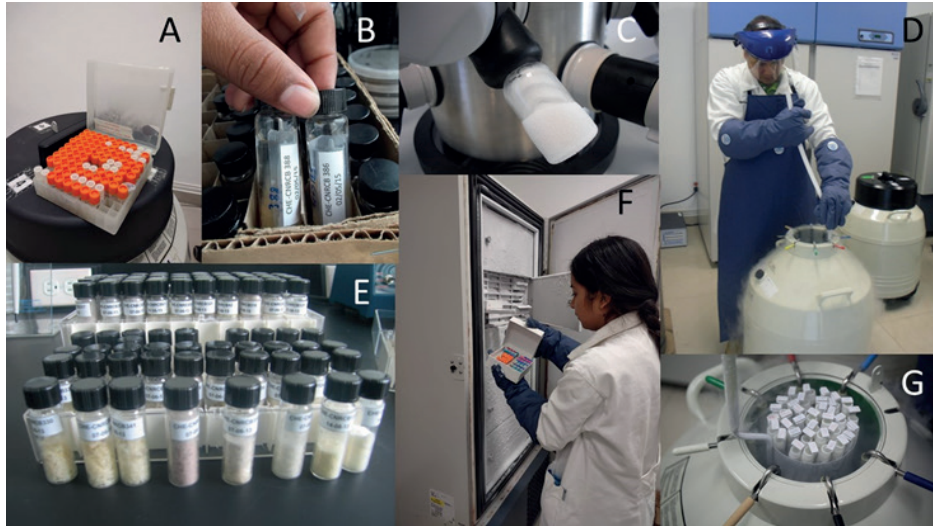


Figura 7. Métodos de conservación para hongos entomopatógenos agua estéril (A), aceite mineral (B), liofilización (C), nitrógeno líquido (D y G), gel de sílice (E) y  $-70^{\circ}\text{C}$  (F).

asegura que siempre tendremos una “copia” de un hongo de interés.

Además, debemos considerar las necesidades particulares de algunos hongos, ya que no todos toleran estos procedimientos, por ejemplo, muchos son sensibles a los métodos que hacen uso de bajas temperaturas. Existen diferentes métodos de conservación y dependiendo del tiempo que los microorganismos pueden permanecer viables en ellos, se pueden clasificar de preservación a corto, mediano y largo plazo. A continuación, describiremos de un modo general en qué consiste cada una de las técnicas de conservación de los hongos.

### Agua destilada

Aunque las semillas ortodoxas y muchos conidios de hongos entomopatógenos se conservan mejor cuando se les retira el agua, parece contrario a la intuición que el agua también pueda funcionar como un potente conservante de la integridad de los conidios, aun así la técnica de conservación en agua es uno de los métodos

más utilizados para la guardar hongos a mediano plazo debido a la simplicidad de la técnica y la fácil disponibilidad de materiales utilizados por la mayoría de los laboratorios y colecciones, para este método de conservación se utiliza como principio la conservación a  $4^{\circ}\text{C}$ , tal que puede utilizarse incluso un refrigerador doméstico. El procedimiento consiste en guardar pequeños discos de medio de cultivo con secciones de la colonia del hongo en contenedores de plástico llamados viales, a los cuales se les añade un volumen conocido de agua estéril y se almacenan a  $4^{\circ}\text{C}$ . Este método funciona bien porque a diferencia de otros métodos que veremos más adelante, evita el estrés, potencialmente letal, asociado a la descongelación o la rehidratación rápida, además de que el agua amortigua cambios rápidos de temperatura (Figura 7). Esta técnica permite la conservación de algunas especies de HE entre 7 y 8 años, como los son *Beauveria bassiana* y *Akanthomyces lecanii* (Ayala-Zermeno *et al.*, 2023) no obstante, algunas especies como *Hirsutella citriformis* pueden

llegar a perder prontamente su viabilidad (Ayala-Zermeño *et al.*, 2017).

### **Aceite mineral**

Entre los primeros métodos para garantizar la disponibilidad de los hongos comestibles durante algunos meses, se ha utilizado la conservación en aceite de origen vegetal, sal y algunas especies, además de un proceso rústico de envasado al vacío en frascos de cristal (Agroconsultora plus, 2023). Obviamente un hongo sometido a este proceso no será viable, pero sí tendrá las cualidades para consumirse como alimento. En el caso de la conservación de HE, la finalidad no es su consumo, sino mantenerlos con vida, para cumplir este fin, los HE se crecen en pequeños recipientes de vidrio, en los cuales, al observar la presencia de esporas, serán cubiertas con aceite mineral, y para prolongar su subsistencia se conservarán a una temperatura estable de  $25 \pm 2^\circ\text{C}$  (Figura 7). Los HE de la CHE se han preservado vivos de 6 a 7 años (Ayala-Zermeño *et al.*, 2023).

### **Gel de sílice**

Con este método de conservación se utiliza como soporte cristales de sílice, el cual es un producto presente en nuestras vidas, y es común encontrarlo dentro de pequeñas bolsitas de papel transpirable en cajas de zapatos, en bolsos para damas, en medicamentos y otros productos; la función de estos cristales es la de favorecer la eliminación de agua disponible y por consecuencia que los HE conservados en este método disminuyen su tasa de crecimiento, lo que permite que se mantengan vivos por más tiempo, con esta técnica se han logrado conservar algunas especies de HE entre 7 y 10 años según la especie fúngica (Figura 7) (Ayala-Zermeño *et al.*, 2017; Ayala-Zermeño *et al.*, 2023).

### **Secado por congelación (Liofilización)**

Este método se remonta a tiempos prehistóricos y fue utilizado por los incas del Perú, para conservar sus alimentos (BBC, Mundo Noticias, 2011). A finales de la década de 1880 se empezó a utilizar a escala laboratorio, cuando se entendieron sus principios básicos. En la actualidad, la tecnología de congelación y vacío, se utiliza industrialmente en el área farmacéutica y alimentaria. Es una técnica que consiste en deshidratar o secar el bioproducto (suspensión congelada de las estructuras reproductivas/conidios) en condiciones de vacío, por el fenómeno de sublimación (evaporación de moléculas de agua de fase sólida a gas), sin alterar la composición del resto de biomoléculas. Las muestras se mantienen en refrigeración durante 12 horas y a continuación se congelan a  $-50^\circ\text{C}$ , luego se colocan en equipos especializados cuya función es eliminar el agua contenida en la muestra (Ayala-Zermeño *et al.*, 2017). Este procedimiento de liofilización es comúnmente utilizado por las colecciones de microorganismos que ofrecen servicios generales para el envío e intercambio de muestras, por la seguridad que ofrece (están inactivos) (Figura 7) (Humber, 2012). El método de secado por congelación se ha logrado conservar cepas hasta por 20 años en International Mycological Institute (UK).

### **Ultracongelación ( $-70^\circ\text{C}$ ) y criopreservación ( $-196^\circ\text{C}$ )**

La congelación y la ultracongelación son las técnicas comúnmente utilizadas para la conservación de alimentos, su principio se basa en congelar el agua que contienen, hacerlo de manera rápida, favorece la formación de una mayor cantidad de cristales



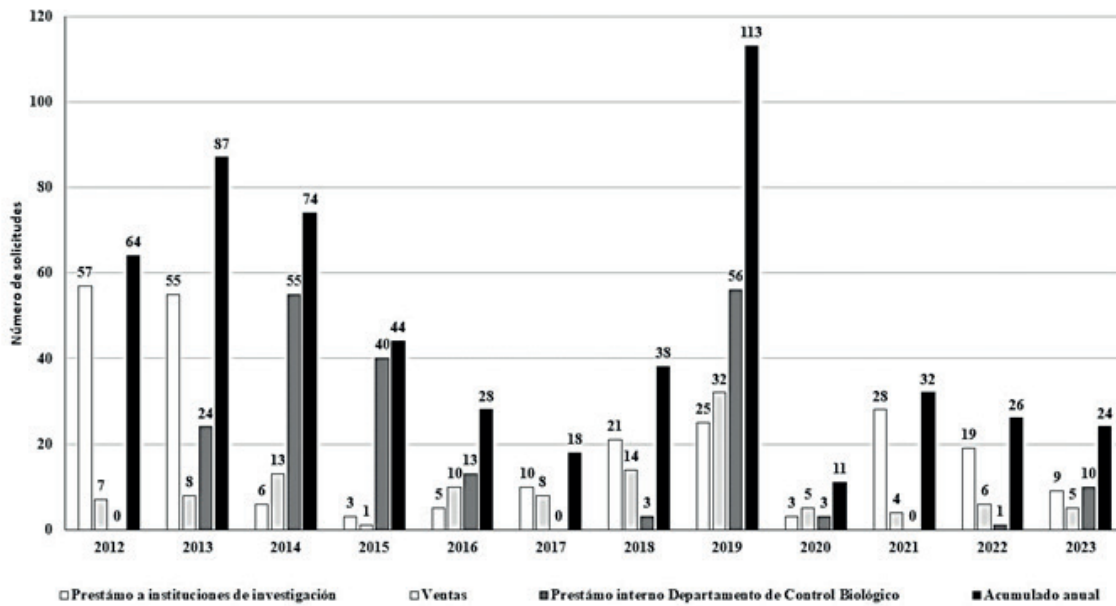


Figura 8. Aislados proporcionados por la colección de 2012 a 2023.

les de pequeño tamaño, lo que mantiene la textura y el aroma natural de los alimentos. No obstante, si la congelación es lenta, se forman pocos cristales de gran tamaño, lo que provoca la rotura de tejidos celulares de los alimentos y la pérdida de la textura durante el descongelado (Consumer, 2009). Algo similar sucede con la preservación de organismos ya que para tolerar los descensos drásticos de temperatura se deben utilizar crioprotectores (azúcares, glicerol, leche descremada), para evitar la formación de cristales de gran tamaño que pudieran destruir las estructuras que desean conservar de los HE. Muchos de los HE de la CHE han sido conservados a  $-70$  y  $-196^{\circ}\text{C}$ , siendo ésta una de las mejores técnicas de conservación para mantenerlos vivos, incluso por más de dos décadas o por tiempo indefinido (Figura 7) (Mier *et al.*, 2005; Ayala-Zermeño *et al.*, 2017).

### Impacto/beneficio de la CHE del SENASICA, que promueve

### una agricultura sustentable en el campo mexicano

El SENASICA, a través de la CHE promueve el uso de organismos nativos como agentes de control de plagas de insectos en el campo mexicano. A lo largo ya de más de una década de su creación en un espacio exclusivo en el DCB, la CHE ha otorgado más de 535 copias de HE, ya sea como donación a instituciones educativas o de investigación (formación de especialistas), préstamo interno para investigación y por concepto de venta a laboratorios particulares (Figura 8). Los HE son un componente esencial, en el manejo integrado de plagas (MIP). Estos hongos pueden ser utilizados en formulaciones denominadas micoinsecticidas o en esporas libres, como alternativa sustentable a los productos sintéticos, usados tradicionalmente para el control de plagas.

El uso de HE, tiene la ventaja de no contaminar el ambiente u ocasionar daño en

otros vertebrados, en comparación con los agentes de combate químico, altamente tóxicos no solo para los insectos. Como ejemplo tenemos el caso del control de la plaga de la langosta centroamericana *Schistocerca piceifrons piceifrons*, de 2009 a 2016 se utilizó *Metarhizium acridum*, alcanzando reducciones de su población de más del 90% en diferentes estados de nuestro país. Las aplicaciones *M. acridum* para controlar a la plaga de la langosta abarcaron una superficie aproximada de 11,107 ha, reemplazando el uso de 222.14 ton de paratión metílico, principal insecticida sintético utilizado, a una concentración del 3% (Arredondo-Bernal y Rodríguez-Vélez; 2020).

En conclusión, la CHE (colección de hongos compuesta por antagonistas y entomopatógenos) es considerada en la actualidad de alta prioridad para el SENASICA y de un gran valor para México, al salvaguardar su biodiversidad, un patrimonio con el potencial de controlar plagas presentes y futuras, y así coadyuvar para proteger la agricultura nacional de manera sostenible. Además, es una fuente de conocimiento, debido a que suministra material biológico a universidades, académicos, productores agrícolas y laboratorios comercializadores de agentes de control biológico, que se benefician como usuarios principales. La omisión en actividades de conservación de la biodiversidad deja en peligro a las especies nativas y sus hábitats los cuales pudieran perderse debido a la destrucción de los ecosistemas, el crecimiento urbano y deterioro climático en diversas regiones de nuestro país.

## Referencias

Agroconsultora plus, *Hacer conservas de hongos como estrategia para expandir su*

*consumo*, <https://www.agroconsultoraplus.com/conservas-hongos-comestibles/>, 2023.

Arredondo-Bernal, H.C., Rodríguez-Vélez B., 21 *Biological Control in Mexico*. In: van Lenteren, J, Bueno, VHP, Luna, MG, Colmenarez, Y (Eds.). *Biological Control in Latin America and the Caribbean Its Rich History and Bright Future*, CABI, 2020, pp. 312–33.

Ayala-Zermeño, M.A., Berlanga-Padilla A.M., Regla-Márquez C.F., Lino-López G.J., Muñoz-Paredes F., Montesinos-Matías R. y Sánchez-González J.A., Long-term preservation and genetic stability of entomopathogenic fungal species. *Journal of Microbiological Methods*, 208, pp. 106711, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.mimet.2023.106711>.

Ayala-Zermeño, M.A., Gallou A., Berlanga-Padilla A.M., Andrade-Michel G.Y., Rodríguez-Rodríguez J.C., Arredondo-Bernal H.C., Montesinos-Matías R., Viability, purity and genetic stability of entomopathogenic fungi species using different preservation methods. *Fungal Biology*, 121, 920-928, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.funbio.2017.07.007>

BBC, Mundo Noticias, *Proponen método para conservar alimentos fuera de la nevera*. [https://www.bbc.com/mundo/noticias/2011/11/111117\\_argentina\\_conservar\\_alimentos\\_sin\\_frio\\_lav](https://www.bbc.com/mundo/noticias/2011/11/111117_argentina_conservar_alimentos_sin_frio_lav). 2011.

Consumer, *Ultracongelación de alimentos*. <https://www.consumer.es/seguridad-alimentaria/ultracongelacion-de-alimentos.html>, 2009.

Equihua, M. y Hernández A., *¿Por qué es importante para México mantener su bio-*

*diversidad?*. <https://www.inecol.mx/inecol/index.php/es/2013-06-05-10-34-10/17-ciencia-hoy/344-por-que-es-importante-para-mexico-mantener-su-biodiversidad>, 2013.

Humber, R.A., *Preservation of entomopathogenic fungal cultures*. In: Lacey, L (Ed.). *Manual of Techniques in Invertebrate Pathology*. Academic Press, 2012, pp. 317–328.

INEGI, *Cuéntame de México: Población*. <https://cuentame.inegi.org.mx/poblacion/habitantes.aspx?tema=P#:~:text=Durante%20los%20%C3%BAltimos%2070%20a%C3%B1os,en%2014%20millones%20de%20habitantes.2020>.

Mier, T., Toriello C., Ayala-Zermeño M.A. y Navarro-Barranco H., *Conservación de Hongos Entomopatógenos para el Control Biológico de Plagas Agrícolas*. Ciencias Biológicas y de la Salud Cuadernos 51, Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco, 2005, pp.1–39.

SADER, *Centro Nacional de Recursos Genéticos, resguardo de la riqueza de Méxi-*

*co*. <https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/centro-nacional-de-recursos-geneticos-resguardo-de-la-riqueza-de-mexico>, 2016.

Secretaría de la CIPF, *Revisión científica del impacto del cambio climático en las plagas de las plantas. Un desafío mundial en la prevención y la mitigación de los riesgos de plagas en la agricultura, la silvicultura y los ecosistemas*. Roma. FAO en nombre de la Secretaría de la CIPF. 2021. <https://doi.org/10.4060/cb4769es>

SIAP, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, *Svalbard: La Bóveda Global de Semillas*. <https://www.gob.mx/siap/articulos/svalbard-la-boveda-global-de-semillas>, 2016.

Sood, M., Kapoor D., Kumar V., Sheteiw M.S., Ramakrishnan M., Landi M., Ariniti F. y Sharma A., *Trichoderma: The “Secrets” of a Multitalented Biocontrol Agent*. *Plants*, 9, pp.762, 2020. <https://doi.org/10.3390/plants9060762>





# **Síntesis Verde de Nanopartículas de ZnO: Aspectos Generales y Actividades Biológicas**

**Dr. Diego Carlos Bouttier-Figueroa**

**Dr. Ramón Enrique Robles-Zepeda**

*Departamento de Ciencias Químico-Biológicas,  
Universidad de Sonora*

**Dr. Cristóbal Joel González-Pérez**

**Dra. Hisila del Carmen Santacruz-Ortega**

*Departamento de investigación en polímeros y materiales,  
Universidad de Sonora*

**Ing. Jorge Luis Pliego-Martínez**

*Departamento de Administración,  
Universidad de Sonora*



## Resumen

La síntesis verde de nanopartículas tiene como objetivos primordiales la reducción de la contaminación en la síntesis de nanomateriales y la mejora en costos de producción, estas características la hacen una tecnología prometedora y de relevancia. En este tipo de síntesis es posible emplear diferentes fuentes, las cuales pueden ser plantas, microorganismos e incluso residuos agroindustriales. Dentro de estas fuentes existen diferentes fitoquímicos que desempeñan un papel en la síntesis y formación de diferentes nanopartículas, entre las cuales nos enfocaremos en las formadas con óxido de zinc (ZnO). Esto debido a que el ZnO es un semiconductor que se utiliza en diversas áreas como salud, química, ambiental, electroquímica y electrónica. En el presente escrito se presentan diferentes fuentes verdes empleadas para la formación de ZnO, se hace énfasis en los distintos órganos de las plantas y cuáles han sido los resultados obtenidos observándose tamaño, morfología y aplicaciones, además de presentar de manera genérica el protocolo para la obtención de extractos de dichos órganos y el mecanismo general propuesto para la formación de las nanopartículas. Finalmente se da a conocer una conclusión y aspectos futuros para ser considerados en futuras investigaciones.

**Palabras clave:** Actividad antimicrobiana, Actividad antiproliferativa, Extractos naturales, Óxido de Zinc

## Abstract

Green synthesis of nanoparticles has as primary objectives the reduction of pollution in the synthesis of nanomaterials and improvement in production costs, these characteristics make it a promising and relevant technology. In this type of synthesis, it is possible to use different sources,

such as plants, microorganisms and agro-industrial waste. Within them, there are different phytochemicals that play a role in the synthesis and formation of different nanoparticles, among which we will focus on those formed with zinc oxide (ZnO). This is because ZnO is a semiconductor that is used in various areas such as health, chemistry, environmental, electrochemistry, and electronics. This diffusion presents different green sources used for the formation of ZnO, emphasis is placed on the different parts of plants and what have been the results obtained, observing size, morphology and applications, in addition to presenting in a generic way the protocol for obtaining extracts of these plants' parts and the general mechanism proposed for the formation of nanoparticles. Finally, a conclusion and future aspects are disclosed to be considered in future research.

**Keywords:** Antimicrobial activity, Antiproliferative activity, Natural extracts, Zinc oxide

## Introducción

La nanotecnología es una ciencia emergente que ha revolucionado distintos campos científicos. Los nanomateriales poseen un amplio rango de aplicaciones debido a su tamaño y morfología, características que les confieren propiedades únicas. En este sentido, diversos compuestos se pueden utilizar con la finalidad de obtener nanopartículas. Uno de estos compuestos es el óxido de zinc (ZnO).

El ZnO ha sido clasificado como un compuesto generalmente reconocido como seguro (GRAS) debido a que no hay reportes que indiquen carcinogenicidad, genotoxicidad o causas de toxicidad en humanos. Esto ha permitido su empleo

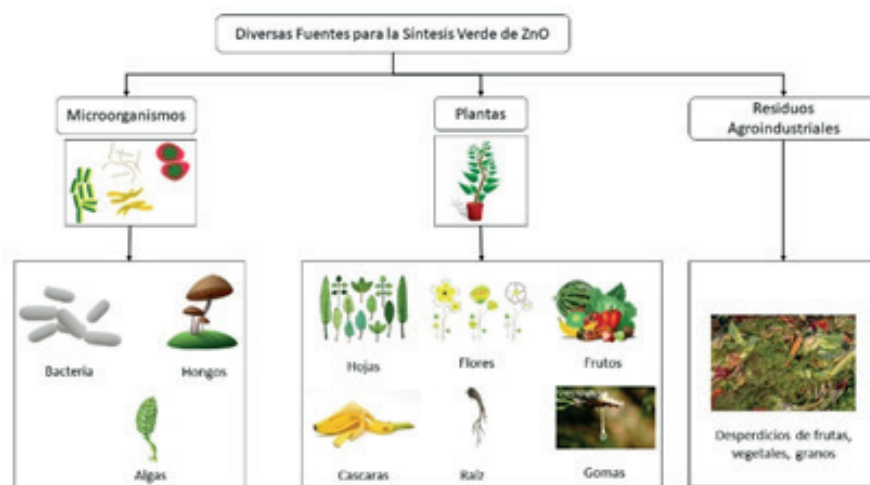


Figura 1. Esquema de distintas fuentes para la síntesis de nanopartículas de ZnO. (<https://pixabay.com/es/>).

en productos para la piel, ya sea como antimicrobianos y/o protectores solares; además, es empleado en otras industrias, como en la fabricación de dispositivos emisores de luz UV, sensores de gases y fotocatalisis. Las nanopartículas de ZnO se pueden crear mediante métodos químicos, físicos o biológicos. Los métodos químicos para la síntesis de nanopartículas incluyen precipitación, microemulsión y técnicas hidrotermales, sin embargo, éstos consumen mucha energía y utilizan temperaturas y/o presiones altas. Las técnicas físicas incluyen deposición por vapor, plasma e irradiación ultrasónica, estas técnicas también consumen mucha energía y utilizan equipos complejos muy costosos. Los métodos biológicos, han sido muy prometedores al ser considerados procesos amigables con el ambiente, incluso utilizan poca energía y son económicos en comparación con los métodos antes mencionados. En los métodos biológicos se pueden emplear plantas, microorganismos o residuos agroindustriales para la formación de las nanopartículas (Bandeira et al., 2020).

La síntesis biológica o verde de las nanopartículas de ZnO emplea diferentes compuestos conocidos como fitoquímicos. En estos compuestos se incluyen alcaloides, glucósidos, flavonoides, taninos, terpenoides, fenóles, saponinas, proteínas y vitaminas. La importancia de los fitoquímicos recae en que poseen un rol en la formación, estabilización y recubrimiento de las nanopartículas. Esta divulgación pretende dar a conocer las diferentes fuentes utilizadas para la síntesis verde de nanopartículas de ZnO, haciendo énfasis en las partes de plantas que han generado exitosamente este material, el mecanismo propuesto para la síntesis, así como algunas aplicaciones de estas nanopartículas.

### Síntesis Verde de ZnO Empleando Diferentes Fuentes

Las diferentes fuentes para la síntesis verde de ZnO incluyen plantas, microorganismos y residuos agroindustriales. Esta variedad de fuentes permite tener una gran cantidad de materia prima para obtener nanopartículas de este óxido. Un esquema de las diferentes fuentes empleadas se muestra en la Figura 1.



Las plantas y los vegetales pueden contener compuestos biológicos activos, como isoflavonoides, flavonoides, xantófilas y carotenoides, los cuales desempeñan un papel en la síntesis de nanomateriales. Para obtener estos compuestos, se suele seguir un proceso de extracción líquido-sólido cambiando los solventes de extracción para obtener diferentes fitoquímicos. La extracción, básicamente, es llevar los fitoquímicos de la fuente verde (ver Figura 1) a una solución. Los pasos son sencillos, primero se recolecta la fuente de interés, se lava con agua para remover impurezas y, posteriormente, se desinfectan. Enseguida, las partes limpias se cortan en tamaños más pequeños o se muelen para formar polvos. Posteriormente, los polvos se ponen en contacto con el solvente de extracción, los más utilizados son agua, etanol, metanol y propanol. La selección del solvente y la temperatura de extracción es importante, ya que los fitoquímicos obtenidos pueden variar por estas condiciones. Finalmente, el solvente conteniendo los fitoquímicos, se somete a una reducción de volumen por evaporación, los remanentes se secan usualmente por liofilización (remoción de solventes en su totalidad) y son almacenados hasta su empleo (Vidal-Gutiérrez et al., 2021).

### **Extractos de Plantas**

Las nanopartículas de ZnO que se generan mediante la síntesis verde presenta algunas ventajas en comparación con otras materias primas. En comparación con los microorganismos, la síntesis de nanopartículas empleando partes de plantas suele ser más rápida, así como, presenta una mayor diversidad de tamaños y formas como producto final. Las diferentes fuentes de extractos de plantas se mencionan a continuación:

### **-Extracto de Hojas**

Diversas investigaciones previas ya han demostrado que las hojas de las plantas son buena materia prima para la síntesis de nanopartículas de ZnO. Las hojas, generalmente, son láminas verdes, planas y delgadas, que visten los vegetales, unidas al tallo o a las ramas por el pecíolo o por una parte basal alargada, en las que principalmente se realizan las funciones de transpiración y fotosíntesis. Las hojas de *Pandanus odorifer* han sido utilizadas para crear nanopartículas de ZnO esféricas con tamaño promedio de 90 nm, con actividad antibacteriana y antiproliferativa de células cancerígenas. Los grupos funcionales que intervienen en su formación son hidroxilo, amina y carbonilos (Hussain et al., 2019). Por otro lado, hojas de *Syzygium Cumini* han sido utilizadas para la formación de nanopartículas de 11.35 nm con estructura cristalina hexagonal con la capacidad de degradar azul de metileno, demostrando que también son aplicables en tratamientos de aguas residuales.

### **-Extracto de Flores**

Otra parte de las plantas que se ha utilizado con el fin de sintetizar nanopartículas de ZnO, son las flores. Las flores son el brote de muchas plantas, formado por hojas de colores, del que se formará el fruto. Las flores de *Nyctanthes arbor-tristis* poseen grupos hidroxilo, amina, y carboxilo que permitieron la síntesis de nanopartículas de 12 a 32 nm, capaces de inhibir el crecimiento de hongos de importancia agroindustrial (Jamdagni et al., 2018). Además, se ha demostrado que las nanopartículas de ZnO, con un tamaño de 25 nm con estructura cristalina hexagonal, sintetizadas usando las flores de *Lantana Cama-*

ra tienen capacidad antiinflamatoria, actividad de fotodegradación de colorantes y actividad electroquímica.

### **-Extracto de Frutas**

Algunas investigaciones han demostrado que las frutas pueden llegar a convertirse en buenos precursores de las nanopartículas de ZnO. Las frutas son el producto del desarrollo del ovario de una flor después de la fecundación, en el que quedan contenidas las semillas, y en cuya formación cooperan con frecuencia tanto el cáliz como el receptáculo floral y otros órganos. Las frutas de *Averrhoa carambola* contienen flavonoides, azúcares reductores y grupos fenólicos que participan en la formación de nanopartículas de ZnO, obteniendo estructuras en forma de hojuelas con tamaño de 20 nm, son capaces de degradar el colorante rojo Congo lo que les da aplicabilidad en tratamiento de aguas industriales (Chakraborty et al., 2020). Las frutas de *Artocarpus gomezianus* se pueden utilizar para sintetizar esferas de ZnO, dichas esferas suelen tener un tamaño entre 10 y 30 nm, y presentar actividad antiproliferativa ante células cancerígenas, así como, antimicrobiana y antifúngicas, lo que les confiere propiedades para aplicarlas en salud.

### **-Extracto de Cáscaras**

La cáscara es la corteza o cubierta exterior de las frutas, la cual también ha sido utilizada como uno de los precursores para la formación de nanopartículas de ZnO. La cáscara de piña se ha empleado por sus grupos hidroxilo, amina y carboxilos para la síntesis de ZnO, con tamaños que rondan entre 8 y 46 nm, con estructura cristalina hexagonal, con actividad antibacteriana y un prometedor

uso en empaque para alimentos (Basri et al., 2020). También, la cáscara de plátano permitió la formación de nanopartículas que inhiben el crecimiento de células cancerígenas y con actividad antibacteriana, en forma de hojuelas y varillas de 27.93 a 423 nm.

### **-Extracto de Semillas**

La semilla es parte del fruto de las fanerógamas (Grupo de plantas que tiene la capacidad de producir semillas). Esta contiene el embrión de una futura planta, protegido por una testa, derivada de los tegumentos del primordio seminal. Las semillas de *Peganum harmala* poseen terpenoides, aminoácidos y proteínas que auxilian en la síntesis de ZnO de tamaño de 40 nm con capacidad de remoción de cromo de agua contaminada (Fazlzadeh et al., 2017). Incluso, estas se han producido también mediante semillas de *Ricinus communis* con diferentes morfologías y actividades antibacteriana y antioxidante (Shobha et al., 2019).

### **Mecanismo Propuesto para la Formación**

#### **de Nanopartículas de ZnO Vía Verde**

Los compuestos bioactivos presentes en las fuentes verdes contienen grupos O-H, C=C o C-H en terpenoides, flavonoides o alcaloides. El mecanismo de formación de las nanopartículas de ZnO posee varias etapas 1) Enlazamiento de fitoquímico con iones  $Zn^{+2}$ ; 2) Formación de complejos de Zinc; 3) Reducción de iones  $Zn^{+2}$ ; 4) Quelación de los iones  $Zn^{+2}$  por las biomoléculas formando complejos  $Zn^{2+}$ -biomolécula; 5) Formación de nanopartículas de ZnO (Bouttier-Figueroa & Sotelo-Lerma, 2019). Un esquema empleando como ejemplo galactomano se muestra en la Figura 2.

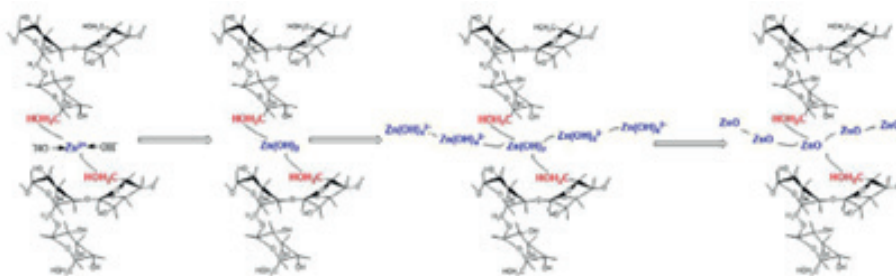


Figura 2. Mecanismo propuesto para la formación de nanopartículas de ZnO empleando como modelo galactomanano (Bouttier-Figueroa & Sotelo-Lerma, 2019).

### Actividades biológicas de las nanopartículas de ZnO

Las aplicaciones de las nanopartículas de ZnO, poco a poco, se han vuelto muy diversas, esto debido a que han demostrado poder ejercer diferentes actividades biológicas de relevancia. Entre las principales actividades se encuentran actividad antibacteriana, actividad antifúngica, actividad insecticida y larvicida y actividad antiproliferativa. Estas actividades son de relevancia ya que, en la actualidad, existen diversas problemáticas en diversas áreas como salud, alimentación y agricultura en las que se pudieran utilizar estas NP. A continuación, se menciona levemente estas actividades biológicas:

#### Actividad antimicrobiana

Varias investigaciones han demostrado que existen nanopartículas de ZnO obtenidas mediante síntesis verde que han ejercido buena actividad antimicrobiana. Los principales microorganismos que se han utilizado, en los que se ha ejercido actividad de estas nanopartículas han sido Bacterias Gram positivas y Gram negativas, y hongos. Entre estos microorganismos que se han examinado están *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus*, *Klebsiella pneumoniae*, *Bacillus subtilis*, *Aspergillus flavus* y *Candida al-*

*bicans*. En la gran mayoría de los casos se prueban concentraciones en  $\mu\text{g/ml}$ , que van de 0 a 50, y el efecto antimicrobiano es dosis-dependiente.

#### Actividad insecticida y larvicida

Las nanopartículas de ZnO realizadas por síntesis verde han demostrado tener buena actividad larvicida. Estas nanopartículas ejercen actividad contra larvas que suelen tener un impacto relevante en la salud como son *Anopheles stephensi*, *Culex quinquefasciatus* y *Culex tritaeniorhynchus*. Las concentraciones que han logrado tener buen efecto biológico de este tipo rondan 8 a 10  $\mu\text{g/ml}$  (Vijayakumar et al, 2013).

#### Actividad antiproliferativa

Una de las aplicaciones más prometedoras y relevantes que pueden tener las nanopartículas de ZnO es la antiproliferativa. Ya se ha demostrado previamente que estas partículas tienen la capacidad de actuar contra células de carcinoma hepatocelular humano (HepG2) y células de adenocarcinoma pulmonar humano (A549), induciendo la muerte celular por apoptosis. Estos resultados promueven la potencial aplicación de estas moléculas como agentes anticancerígenos en un futuro.



## Conclusiones

Existen diferentes fuentes verdes que son útiles para la síntesis de nanopartículas de ZnO. Se hizo énfasis en los extractos provenientes de plantas, discutiendo las cualidades de las nanopartículas obtenidas empleando diferentes órganos vegetales. La presencia de fitoquímicos en las fuentes biológicas permite la reducción, oxidación, recubrimiento y estabilización de las nanopartículas de ZnO pudiendo variar en morfología o tamaño dependiendo de los precursores empleados en la síntesis. La producción verde de nanopartículas de ZnO genera materiales que pueden ser empleados en áreas de salud, electrónica, catálisis, electrónica, ambiental, entre otras lo que abre áreas de investigación para conocer como afecta el producto final al papel que buscan desempeñar.

A pesar de que existe un gran progreso en el desarrollo de nanomateriales de ZnO, hay una brecha con oportunidades de desarrollo en optimizar las condiciones de reacción para obtener mejores rendimientos, se debe de buscar que la síntesis verde sea la principal manera de crear estos materiales. Además, el mecanismo exacto de formación de las nanopartículas aun se encuentra en debate ya que se presentan como hipótesis y por ende hace falta evidencia directa que no se encuentra disponible a la fecha. Es necesario equipos avanzados que puedan auxiliar a comprender este fenómeno y que la industria pueda implementar lo que se obtiene a nivel laboratorio.

Por último, las aplicaciones de estas nanopartículas en salud siguen siendo ampliamente estudiada y por el momento los resultados son muy prometedores, por lo cual pudiéramos estar frente a una mo-

lécula que en un futuro pudiera estar teniendo aplicaciones importantes dentro de la medicina.

## Referencias

Bandeira, M., Giovanela, M., Roesch-Ely, M., Devine, D. M., & da Silva Crespo, J. (2020). Green synthesis of zinc oxide nanoparticles: A review of the synthesis methodology and mechanism of formation. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 15(February), 100223. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2020.100223>

Basri, H. H., Talib, R. A., Sukor, R., Othman, S. H., & Ariffin, H. (2020). Effect of synthesis temperature on the size of ZnO nanoparticles derived from pineapple peel extract and antibacterial activity of ZnO–starch nanocomposite films. *Nanomaterials*, 10(6). <https://doi.org/10.3390/nano10061061>

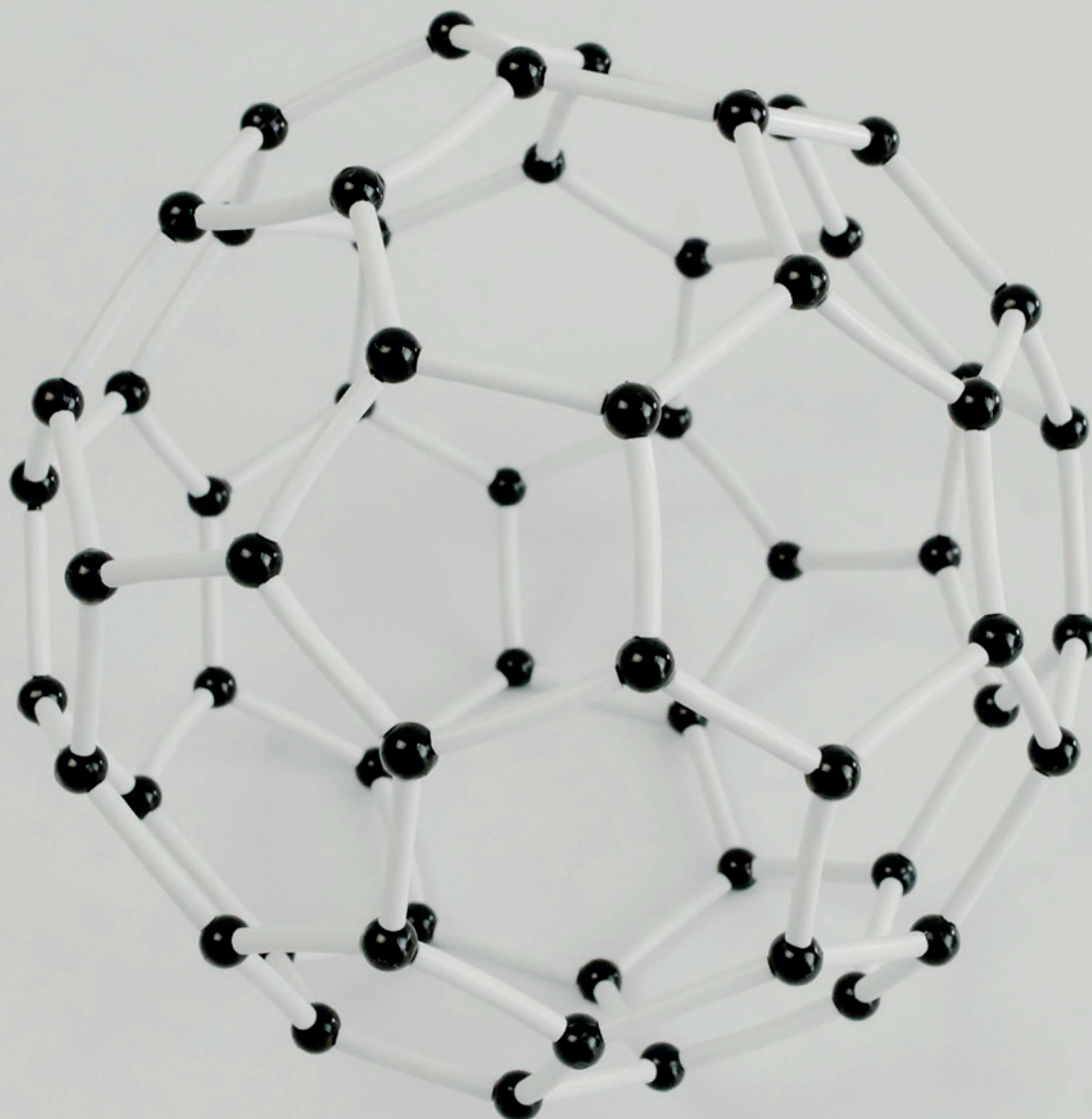
Bouttier-Figueroa, D. C., & Sotelo-Lerma, M. (2019). Fabrication and characterization of an eco-friendly antibacterial nanocomposite of galactomannan/ZnO by in situ chemical co-precipitation method. *Composite Interfaces*, 26(2), 83–95. <https://doi.org/10.1080/09276440.2018.1472457>

Chakraborty, S., Farida, J. J., Simon, R., Kasthuri, S., & Mary, N. L. (2020). *Averrhoë carrambola* fruit extract assisted green synthesis of ZnO nanoparticles for the photodegradation of congo red dye. *Surfaces and Interfaces*, 19(February), 100488. <https://doi.org/10.1016/j.surfin.2020.100488>

Fazlzadeh, M., Khosravi, R., & Zarei, A. (2017). Green synthesis of zinc oxide nanoparticles using *Peganum harmala* seed extract, and loaded on *Peganum harmala*

- seed powdered activated carbon as new adsorbent for removal of Cr(VI) from aqueous solution. *Ecological Engineering*, 103, 180–190. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.02.052>
- Hussain, A., Oves, M., Alajmi, M. F., Hussain, I., Amir, S., Ahmed, J., Rehman, M. T., El-Seedi, H. R., & Ali, I. (2019). Biogenesis of ZnO nanoparticles using: *Pandanus odorifer* leaf extract: Anticancer and antimicrobial activities. *RSC Advances*, 9(27), 15357–15369. <https://doi.org/10.1039/c9ra01659g>
- Jamdagni, P., Khatri, P., & Rana, J. S. (2018). Green synthesis of zinc oxide nanoparticles using flower extract of *Nyctanthes arbor-tristis* and their antifungal activity. *Journal of King Saud University - Science*, 30(2), 168–175. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2016.10.002>
- Shobha, N., Nanda, N., Giresha, A. S., Manjappa, P., Sophiya, P., Dharmappa, K. K., & Nagabhushana, B. M. (2019). Synthesis and characterization of Zinc oxide nanoparticles utilizing seed source of *Ricinus communis* and study of its antioxidant, antifungal and anticancer activity. *Materials Science and Engineering C*, 97(December 2018), 842–850. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2018.12.023>
- Vidal-Gutiérrez, M., Torres-Moreno, H., Hernández-Gutiérrez, S., Velázquez, C., Robles-Zepeda, R. E., & Vilegas, W. (2021). Antiproliferative activity of standardized phytopreparations from *Iberivillea sonora* (S. Watson) Greene. *Steroids*, 169(March). <https://doi.org/10.1016/j.steroids.2021.108824>
- Vijayakumar, S., Vinoj, G., Malai-kozhundan, B., Shanthi, S., & Vaseeharan, B. (2015). *Plectranthus amboinicus* leaf extract mediated synthesis of zinc oxide nanoparticles and its control of methicillin resistant *Staphylococcus aureus* biofilm and blood sucking mosquito larvae. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 137, 886-891. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2014.08.064>

**Moléculas con la misma geometría  
pero distintas propiedades  
electrónicas: una breve revisión  
del fullereno mono-endoédrico  
(La, Gd, Sc, Eu) $@C_{82}$**



**Jaime Gustavo Rodríguez Zavala  
Zuriel Natanael Cisneros García  
Alessandro Romo Gutiérrez**  
*Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de los Lagos*



### Resumen

En el presente trabajo se realizará una breve síntesis de resultados del fullereno  $C_{82}$  endoédrico con un sólo átomo en su interior. Específicamente, se revisarán los compuestos  $M@C_{82}$ , ( $M=La, Gd, Sc$  y  $Eu$ ). De los resultados en la literatura científica se encuentra que la posición del átomo endoédrico en el fullereno es la misma para cada compuesto. Sin embargo, las propiedades que se obtienen de estas nanoestructuras son distintas, demostrando de esta manera la importancia del conocimiento del arreglo electrónico en las moléculas.

### Abstract

In the present work, a brief synthesis of the results of the endohedral  $C_{82}$  fullerene with a single atom inside will be carried out. Specifically, the  $M@C_{82}$  ( $M=La, Gd, Sc, \text{ and } Eu$ ) will be reviewed. The results in the scientific literature show that the endohedral atom's position in the fullerene is the same for each compound. However, the properties obtained from these nanostructures are different, thus demonstrating the importance of knowledge of the electronic arrangement of the molecules.

**Palabras clave:** Fullereno  $C_{82}$ , ( $La, Gd, Sc$  y  $Eu$ ) $@C_{82}$ , estructura molecular, propiedades electrónicas,

**Keywords:**  $C_{82}$  Fullerene, ( $La, Gd, Sc, \text{ and } Eu$ ) $@C_{82}$ , molecular structure, electronic properties.

### Introducción

A mediados de la década de los 80s del siglo pasado, el estudio de materiales nanoestructurados dió un gran avance al sintetizar y reportar por primera vez la estructura esférica con sesenta átomos de carbono ( $C_{60}$ ) (Kroto, 1985). Junto con ella se encontraron diversos tamaños de cúmulos esféricos de átomos de carbono (ver Fig. 1), a los cuales les llamaron fulerenos debido al parecido con las estructuras tridimensionales propuestas por el arquitecto norteamericano Richard Buckminster Fuller. Gracias a su forma geométrica y estructura electrónica (arreglo de los electrones) se visualizaron toda una gama de aplicaciones para dichas estructuras, dando como resultado la obtención del premio Nobel de química a los científicos Robert F. Curl, Harold W. Kroto y Richard E. Smalley en 1996.

Diversas de estas aplicaciones se relacionan con el encapsulamiento de átomos o moléculas en la cavidad del fullereno. El fullereno típico para llevar a cabo el encapsulamiento de átomos es el conocido como carbono 82 o  $C_{82}$ . De hecho, la primera extracción exitosa de fulerenos endoédricos (fulerenos con átomos en su interior) fue en

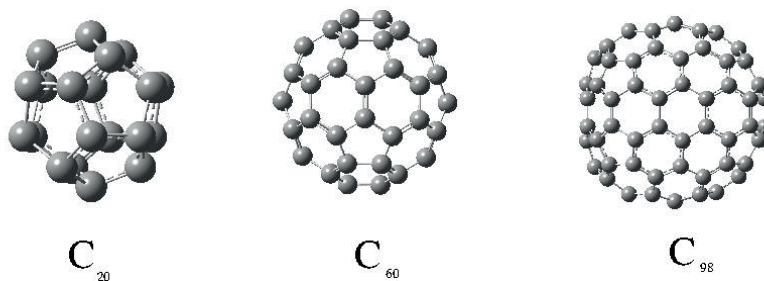


Figura 1. Fulerenos  $C_{20}$ ,  $C_{60}$  y  $C_{98}$ .

1991, cuando Y. Chai *et. al.* (Chai, 1991) lograron sintetizar  $La@C_{82}$  (el símbolo @ nos indica que el átomo de lantano se encuentra dentro del fullereno  $C_{82}$ ). Considerando que los átomos metálicos de los grupos 2, 3, 4, y 5 en la tabla periódica son los más efectivos para ser encapsulados en fullerenos, de acuerdo al proceso de síntesis de arco de descarga, podemos dividir en compuestos con uno, dos, tres, o cuatro átomos metálicos en el interior del fullereno. Cuando se encapsulan tres o cuatro átomos metálicos, éstos normalmente demandan elementos no metálicos como el nitrógeno, carbono o el oxígeno, como catalizadores para formar cúmulos metálicos en la cavidad. Por otra parte, cuando dos átomos son encapsulados, éstos pueden presentarse como dímeros o en la forma de carburos metálicos. Sin embargo, cuando un sólo átomo metálico es encapsulado en el fullereno (metalofullereno mono-endoédrico), éste se presenta sin ningún otro átomo como catalizador. Éste último caso demuestra la importancia, como es veré en la siguiente sección, del átomo encapsulado. Ésto debido a la gran diferencia que se ha encontrado en las propiedades electrónicas de los fullerenos con distintos átomos en su interior, aún cuando se tiene arreglos geométricos muy similares.

### **Metalofullerenos Mono-Endoédricos**

Los metalofullerenos mono-endoédricos son vistos como los más simples prototipos de fullerenos endoédricos. Debido a ello, dichos sistemas son de gran interés académico.

Como es bien conocido, en el grafito los átomos de carbono forman capas hexagonales con interacciones débiles entre capa y capa. Si en una de esas capas se forma un pentágono, dicha capa se curva, de tal manera que al tener hasta 12 pentágonos

la estructura de carbono se cierra por completo, formando una molécula esférica con pentágonos y hexágonos. Se ha demostrado que para tener una alta estabilidad de la estructura, los pentágonos deben estar aislados por los hexágonos, a esto se le conoce como la regla del pentágono aislado. Tomando en cuenta dicha regla, existen 9 maneras de arreglar los 82 átomos de carbono formando el fullereno  $C_{82}$  (ver Fig. 2) (Manolopoulos, 1992), a cada arreglo se le conoce como isómero.

El orden de estabilidad, del isómero más estable al menos estable, es la siguiente:  $3 > 4 > 2 > 1 > 5 > 6 > 9 > 8 > 7$  (Rodríguez-Zavala, 2011). Aquí es importante señalar que el isómero 9 se encuentra entre los tres últimos en estabilidad. Sin embargo, cuando un átomo metálico es encapsulado, existe una transferencia de carga del átomo endoédrico a la caja del fullereno, redistribuyendo el orden de estabilidad y encontrando que el isómero 9 es el preferido para encapsular al metal.

El átomo dentro del fullereno modifica considerablemente la estructura electrónica de la caja de carbonos, dando como resultado propiedades totalmente distintas a nivel macroscópico. Ejemplo de ello es el encapsulamiento de lantánidos en el  $C_{82}$ , los cuales han recibido mucha atención debido principalmente a sus aplicaciones en medicina. Por una parte el compuesto  $Gd@C_{82}$  se ha usado como agente de contraste, o anti-tumoral, mientras el compuesto  $La@C_{82}$  se ha utilizado como radio-trazador, incluso se ha utilizado en la construcción de sólidos para fenómenos de conducción eléctrica (Popov, 2013).

$La@C_{82}$  es conocido como el prototipo de metalofullereno endoédrico ya que es el

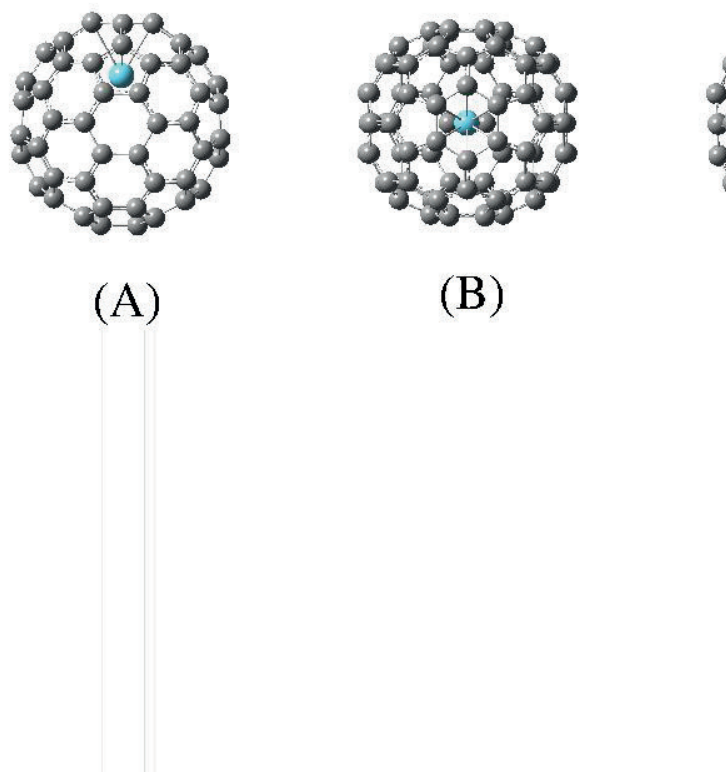


Figura 2. Isómeros del fullereno  $C_{82}$  siguiendo la regla del pentágono aislado.

primer endoédrico que fue producido macroscópicamente (Chai, 1991). A través de espectros experimentales de  $^{13}\text{C}$  RMN (Resonancia Magnética Nuclear) y cálculos teóricos se obtuvo que el isómero 9 es el que alberga al átomo de lantano (Akasaka, 2000). Además de tener un estado de oxidación trivalente, es decir, creando un sistema  $\text{La}^{+3}@\text{C}_{82}^{-3}$ . Su estructura presenta al lantano cerca de un hexágono sobre un eje de simetría (ver Fig. 3).

Por otra parte, para el compuesto  $\text{Gd}@\text{C}_{82}$ , la posición del átomo de gadolinio a implicado varios estudios experimentales y teóricos, sin embargo, Suzuki *et al.* (Suzuki, 2012) clarificó la posición del gadolinio a través de la obtención de la estructura cristalina por difracción de rayos X, encontrando que el átomo de Gd se encuentra cerca del anillo hexagonal al igual que La

en el sistema previamente discutido.

La estructura de  $\text{Sc}@\text{C}_{82}$  fue determinada experimentalmente (Nishibori, 1998), además corroboraron que el Sc se encuentra dentro del isómero 9 en una posición cercana a un anillo hexagonal al igual que ocurre en los sistemas previos.

El compuesto  $\text{Eu}@\text{C}_{82}$  es divalente, es decir, existe una transferencia de dos electrones del Eu al fullereno, creándose un sistema  $\text{Eu}^{+2}@\text{C}_{82}^{-2}$ . Se encontró que los sistemas divalentes son difíciles de obtener. De acuerdo a Huang *et al.* (Huang, 1998) la producción de  $\text{Eu}@\text{C}_{82}$  es de apenas el 7% de la producción de  $\text{La}@\text{C}_{82}$ . Por otro lado, al igual que Gd en el compuesto  $\text{Gd}@\text{C}_{82}$  la localización del átomo de Eu fue en un inicio ambigua, sin embargo, a través de cálculos teóricos Mizorogi *et al.*



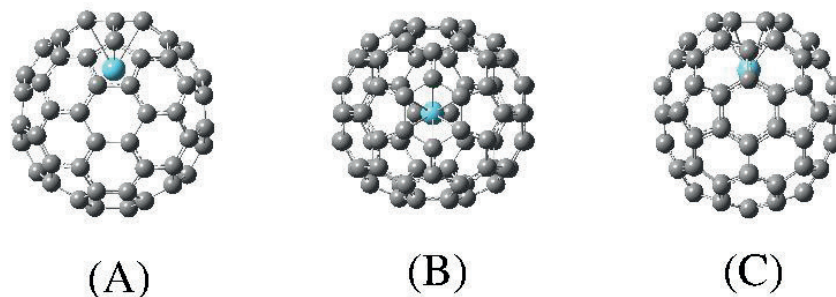


Figura 3. Diferentes vistas del isómero más estable del fullereno  $M@C_{82}$  ( $M=La, Gd, Sc$  y  $Eu$ ).

(Mizorogi, 2006) revelaron que la posición del Eu es la misma que los sistemas previos, es decir, cerca a un anillo hexagonal.

### Conclusiones

Se presentaron cuatro sistemas, el compuesto prototipo de metalofulfereno mono-endoédrico y trivalente  $La@C_{82}$ , un compuesto magnético  $Gd@C_{82}$ , un compuesto no lantánido  $Sc@C_{82}$ , y un compuesto divalente  $Eu@C_{82}$ . A pesar de que todos estos sistemas son distintos en su estructura electrónica, las posiciones de los átomos endoédricos, así como la caja del fullereno es la misma para todos ellos. No obstante, la diferencia en la estructura electrónica en cada compuesto nos lleva a propiedades totalmente distintas. De ello se puede observar la importancia del conocimiento del arreglo electrónico en moléculas y nanoestructuras.

### Bibliografía

Akasaka, T., Wakahara, T., Nagase, S., Kobayashi, K., Waelchli, M., Yamamoto, K., ... y Kadish, K. M.,  $La@C_{82}$  Anion. An Unusually Stable Metallofullerene. *J. Of the American Chemical Society*, 122(38), pp.9316-9317, 2000. doi: 10.1021/ja001586s

Chai, Y., Guo, T., Jin, C., Haufler, R. E., Chibante, L. F., Fure, J., ... y Sma-

lley, R. E., Fullerenes with metals inside. *The Journal of Physical Chemistry*, 95(20), pp.7564- 7568, 1991. doi: 10.1021/j100173a002

Huang, H., y Yang, S., Relative Yields of Endohedral Lanthanide Metallofullerenes by Arc Synthesis and their Correlation with the Elution Behavior. *J. Phys. Chem.*, 102, pp.10196-10200, 1998. doi: 10.1021/jp982926n

Kroto, H. W., Heath, J. R., O'Brien, S. C., Curl, R. F., y Smalley, R. E.,  $C_{60}$ : Buckminsterfullerene. *Nature*, 318(6042), pp.162-163, 1985. doi: 10.1038/318162a0

Manolopoulos, D. E., y Fowler, P. W., Molecular Graphs, Point Groups, and Fullerenes. *J. Phys. Chem.*, 96(10), pp.7603-7614, 1992. doi: 10.1063/1.462413

Mizorogi, N., y Nagase, S., Do  $Eu@C_{82}$  and  $Gd@C_{82}$  have an anomalous endohedral structure?. *Chemical Physics Letters*, 431, pp.110-112, 2006. doi: 10.1016/j.cplett.2006.09.046

Nishibori, E., Takata, M., Sakata, M., Inakuma, M., y Shinohara, H., Determination of the Cage Structure of  $Sc@C_{82}$  by Synchrotron Powder Diffraction. *Che-*

*mical Physics Letters*, 298, pp.79-84, 1998. doi: 10.1016/S0009-2614(98)01133-6

Popov, A. A., Yang, Sh., y Dunsch, L., Endohedral Fullerenes. *Chemical Reviews*, 113, pp.5989-6113, 2013. doi: 10.1021/cr300297r

Rodríguez-Zavala, J. G. Tenorio, F. J., Samaniego, C., Méndez-Barrientos, C. I., Peña- Lecona, F. G., Muñoz-Maciel, J., y Flores-Moreno, R., Theoretical Study on

the Sequential Hydroxylation of C<sub>82</sub> Fullerene Based on Fukui Function. *Molecular Physics*, 109(14), pp.1771-1783, 2011. doi: 10.1080/00268976.2011.591743

Suzuki, M., Lu, X., Sato, S., Nikawa, H., Mizorogi, N., Slanina, Z., ... y Akasaka, T., Where does the Metal Cation Stay in Gd@C<sub>2v</sub>(9)-C<sub>82</sub>? A Single-Crystal X-ray Diffraction Study. *Inorganic Chemistry*, 51, pp.5270-5273, 2012. doi: 10.1021/ic300186y



