

Contactos, Revista de Educación en Ciencias e Ingeniería

Abril - Junio 2024

ISSN: 2683-2607

No. 133

**¿La IA Generativa infringe los
derechos de autor de los artistas?**

**El agave y sus derivados:
Una fuente de alimentos funcionales**

**El océano, la física
y la aproximación de Stommel**

**Anatomía y arquitectura foliar: caso
del género *Zanthoxylum* (Rutaceae)**



UNIVERSIDAD
AUTÓNOMA
METROPOLITANA

Revista de las divisiones de CBI y CBS



Contenido

Contactos, Revista de Educación en Ciencias e Ingeniería

No. 133 Abril - Junio 2024

| | | | |
|---|----|---|----|
| | | <i>Anatomía y arquitectura foliar: caso del género Zanthoxylum (Rutaceae)</i> | 47 |
| Editorial | 3 | Dra. Agustina Rosa Andrés Hernández Dr. David Martínez Moreno Dr. Daniel Sihuanca Mendoza Ana Laura García Gutiérrez | |
| <i>¿La IA Generativa infringe los derechos de autor de los artistas?</i> | 5 | | |
| Cristian Daniel Avila Montoya MC Alma E. Martínez Licona | | <i>El océano, la física y la aproximación de Stommel</i> | 55 |
| <i>El agave y sus derivados: Una fuente de alimentos funcionales</i> | 14 | Dr. Jorge Castro López Bárbara Zavala Trujillo | |
| Dra. Mónica Alejandra Robles Arias M. en C. Lorena Gómez Ruiz Dra. Alma Cruz Guerrero | | <i>¿Que tan genuinamente cuántica es la información cuántica en un sistema de dos qubits?</i> | 64 |
| <i>Los sismos en México son trepidatorios u ondulatorios ¿mito o realidad?</i> | 22 | Dr. Manuel Ávila Aoki Cristina Juárez Landín | |
| Dr. Edgar Tapia Hernández Ricardo Gutiérrez Medellín | | <i>¿Sabes cómo recolectar musgos y helechos?</i> | 71 |
| <i>Selaginella y sus adaptaciones a ambientes estresantes</i> | 28 | M. B. Alejandra Castrejón Varela M. C. Aniceto C. Mendoza Ruiz Dra. Blanca Pérez García | |
| Lic. Andrés Romero Freg Dra. Susana Valencia A. | | <i>Polímeros de alto rendimiento: Polibencimidazoles en celdas de combustible. Generación de electricidad limpia.</i> | 79 |
| <i>¿Síndrome de ovario poliquístico causado por disruptores endocrinos?</i> | 42 | Dra. Miriam García Vargas Dr. Joaquín Palacios Alquisira Dra. Carla Aguilar Lugo Dra. Larissa Alexandrova | |
| María Fernanda González Camargo Dra. María de los Angeles Martínez Martínez | | <i>La química en nosotros y nosotros en la química</i> | 87 |
| | | Dr. Jonathan Osiris Vicente Escobar Dra. Obdulia Medina Juárez | |

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 Liconá
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. 133, Abril - Junio 2024, es una publicación trimestral de la Universidad Autónoma Metropolitana a través de la Unidad Iztapalapa, División de Ciencias Básicas e Ingeniería y División de Ciencias Biológicas y de la Salud. Prolongación Canal de Miramontes 3855, Col. Ex-Hacienda San Juan de Dios, Alcaldía Tlalpan, C.P. 14387, México, Ciudad de México y Av. Ferrocarril San Rafael Atlixco 186, Col. Leyes 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 Editora responsable MC Alma E. Martínez Liconá. Certificado de Reserva de Derechos al Uso Exclusivo de Título No. 04-2023-061914482700-102, ISSN 2683-2607, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número, Mtra. Alma E. Martínez Liconá; Unidad Iztapalapa, División de CBI y CBS; fecha de última modificación 30 de Junio de 2024. Tamaño del archivo 19.0 MB.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación.

Queda estrictamente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización de la Universidad Autónoma Metropolitana.

Fecha de Publicación: Abril-Junio 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

Editorial

El equipo de la revista Contactos, Revista de Educación en Ciencias e Ingeniería presenta el segundo número de este año, con temas interesantes y muy variados.

Comenzamos mencionando temas de tecnología, como lo es el de Inteligencia Artificial Generativa, analizando si infringe o no los derechos de autor al usar herramientas como DALL-E 3, por otro lado, en el área de la salud, está el artículo, “¿Síndrome de ovario poliquístico causado por disruptores endocrinos?” artículo que trata de lo poco certero que puede ser diagnosticar este síndrome y se explica qué son los disruptores endocrinos y lo que pueden desencadenar.

Seguimos con temas de sismos en México, explicando cómo saber si son trepidatorios u ondulatorios, además encontraremos temas sobre plantas, en los artículos “Selaginella y sus adaptaciones a ambientes estresantes”, “Anatomía y arquitectura foliar: caso del género *Zanthoxylum* (Rutaceae)”, y “El agave y sus derivados: Una fuente de alimentos funcionales”.

Esto es solo una breve descripción de algunos de los artículos que encontrarán, una vez que comiencen a leer este número, esperando que todos los artículos sean de su agrado e interés.

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.



¿La IA Generativa infringe los derechos de autor de los artistas?

Cristian Daniel Avila Montoya
MC Alma E. Martínez Licona
Universidad Autónoma Metropolitana - Iztapalapa

Introducción

Imaginemos que surge una idea clara y precisa para una imagen que deseamos crear. Nos acercamos a las fronteras de la tecnología con herramientas como DALL-E 3, una de las innovaciones más destacadas en inteligencia artificial generativa que ha capturado múltiples miradas. Estas herramientas tienen la asombrosa capacidad de transformar conceptos en imágenes en cuestión de segundos. Introducimos una descripción detallada y, casi mágicamente, se genera una imagen que representa visualmente tu idea.

Sin embargo, aquí es donde las cosas se ponen interesantes. ¿Podemos decir realmente que la imagen creada es nuestra? Desde la introducción de DALL-E 2 en abril de 2022, el debate sobre la inteligencia artificial generativa se ha intensificado. Los artistas y diseñadores han expresado su preocupación ante la apropiación de sus obras por parte de corporaciones tecnológicas sin su consentimiento explícito. Dichas empresas han utilizado trabajos publicados para entrenar sus modelos generativos a gran escala, lo que plantea un dilema ético significativo, dado que los resultados de estos modelos generativos entran en competencia directa con los creadores originales en el mercado.

El tema va más allá de si la inteligencia artificial es capaz de producir arte o ser creativa. Actualmente, nos enfrentamos a desafíos legales y éticos más complejos, como la determinación de si el uso de herramientas de IA generativa constituye una forma de plagio. ¿Están las empresas tecnológicas proporcionando a los usuarios obras que en realidad pertenecen a otros artistas? Es un tema complicado que nos lleva a reflexionar sobre qué es la IA gene-

rativa y cómo su uso debe ser ético y legalmente correcto en el mundo del arte.

¿Qué es la IA generativa?

La inteligencia artificial generativa es un campo fascinante que va más allá de la simple memorización de datos. Imagina una IA que no solo almacena información, sino que también tiene la habilidad de crear algo completamente nuevo, ya sea un texto, una imagen, un audio, un video o incluso modelos en 3D. Esta capacidad creativa de la IA se basa en el aprendizaje, no en la memorización, lo que significa que puede generar contenido original y valioso (Amazon Web Services, 2023).

A menudo, hay un malentendido común de que la IA simplemente copia y pega fragmentos de datos existentes, como si fuera una base de datos gigante que regurgita patrones previamente vistos. Sin embargo, la realidad es mucho más compleja y emocionante. La IA generativa utiliza principios matemáticos, conocidos como distribuciones probabilísticas (Talin, B, 2023), para predecir la probabilidad de diferentes resultados y crear algo nuevo a partir de esa predicción.

En lugar de copiar directamente, la IA se inspira en ejemplos anteriores para abstraer y combinar conceptos de manera innovadora [Figura 1]. Es similar a cómo un artista puede inspirarse en el mundo que lo rodea (De Mántaras, R. L, 2023), pero luego crea una obra de arte única. De la misma manera, la IA generativa toma referencias y aprende de ellas para producir algo que nunca antes se había visto.

Entender la IA generativa implica reconocer que no se trata solo de tecnología, sino también de creatividad y probabilidad. Es un campo que está cambiando rápidamente y que promete transformar la forma en

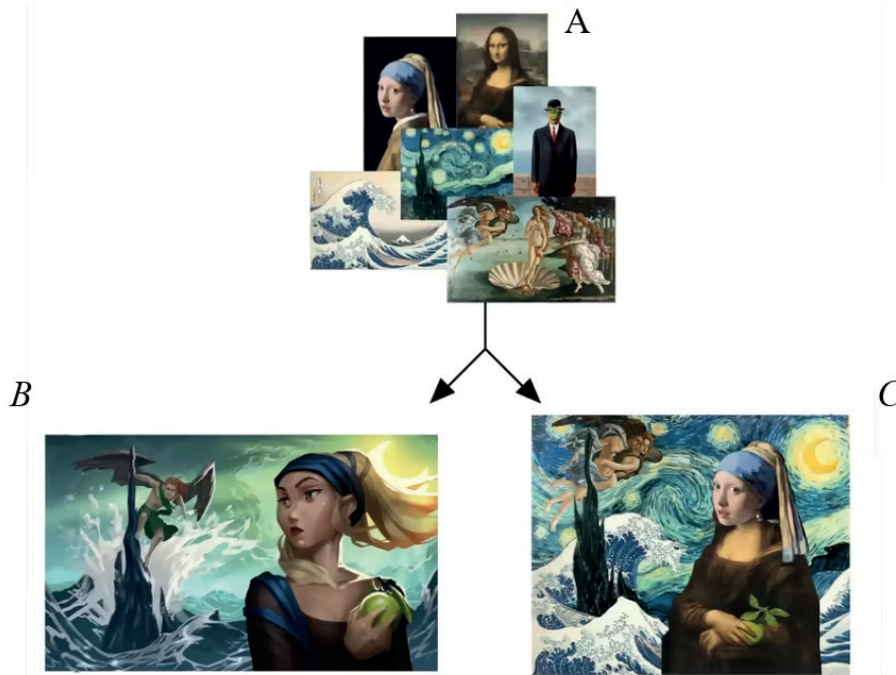


Figura 1. A. Arte como referencias; B. Como los artistas lo usan como inspiración; C. Como la IA lo usa como muestreos.

que interactuamos con el mundo digital. Para poder entender mejor el concepto de ia generativa realmente de lo que tenemos que empezar profundizar es del concepto de distribución probabilística.

Entendiendo la IA generativa: el salto de datos a distribuciones probabilísticas

Una distribución de probabilidad es un concepto matemático que asigna a cada posible resultado de un experimento aleatorio una probabilidad específica. Estas distribuciones son fundamentales en la estadística y se utilizan para modelar fenómenos en los que hay incertidumbre (Jhoan Steven, 2019). Existen dos tipos principales:

- **Distribuciones discretas:** Se utilizan cuando el conjunto de posibles resultados es finito o contable. Ejemplos incluyen la distribución binomial y la distribución de Poisson.

- **Distribuciones continuas:** Se aplican cuando los resultados posibles forman un continuo. Ejemplos comunes son la distribución normal y la distribución exponencial.

Las distribuciones de probabilidad se pueden representar mediante fórmulas matemáticas, tablas de probabilidad o gráficamente a través de funciones de densidad o de masa de probabilidad. Por ejemplo, la función de densidad de probabilidad (PDF) para una distribución normal se expresa como:

$$f(x|\mu, \sigma^2) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

Donde mu es la media y sigma² es la varianza de la distribución.

Para ilustrar este concepto, consideremos la siguiente pregunta: ¿Cuánto mide un ajolote? No todos tenemos ajolotes en mente

como para estimar su tamaño de inmediato, pero sabemos que no todos los ajolotes son iguales en tamaño. Dado que varían, nuestra pregunta se complica un poco más. La solución es medir una muestra representativa de ajolotes para obtener una estimación aproximada. Al hacerlo, recopilamos diversas medidas que conformarán nuestro conjunto de datos.

Con esta información en mano, estamos listos para analizarla y responder a nuestra pregunta original. Como se puede apreciar en la [Figura 2], las medidas se distribuyen a lo largo del eje horizontal, mostrando una tendencia clara. Hay una mayor acumulación de medidas cerca de un tamaño medio, y a medida que nos alejamos de este punto central, encontramos menos ejemplares de tamaños extremos. Esto nos indica que ciertas longitudes son más comunes que otras. A partir de estos datos, podemos inferir que existe una distribución de probabilidad, es decir, una relación matemática que nos indica la probabilidad de encontrar un ajolote de un tamaño específico.

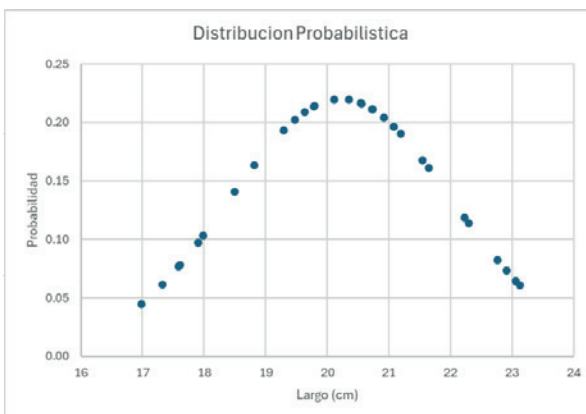


Figura 2. Gráfica de distribución de probabilidad de las medidas de los ajolotes.

Con eso acabamos de crear un modelo generativo que es capaz de generar nuevos

tamaños de ajolotes si ahora quitamos los datos en concreto y solo dejamos la gráfica lineal de distribución [Figura 3] ahora imaginemos que para un nuevo ajolote te inventes un tamaño que sea realista para nuestra distribución de probabilidad, entonces es más probable que se elija un peso que esté alrededor de la media entre 19 y 21 cm, y con mucha menos probabilidad dirías un peso que se encuentre por las zonas más alejadas de la gráfica y si se hiciera esto con un número N de personas el resultado se asemejará a los datos obtenidos antes hasta que poco a poco se irá reproduciendo la distribución de probabilidad original, con esto estamos generando nuevos datos o tamaños de ajolotes que sin ser necesariamente

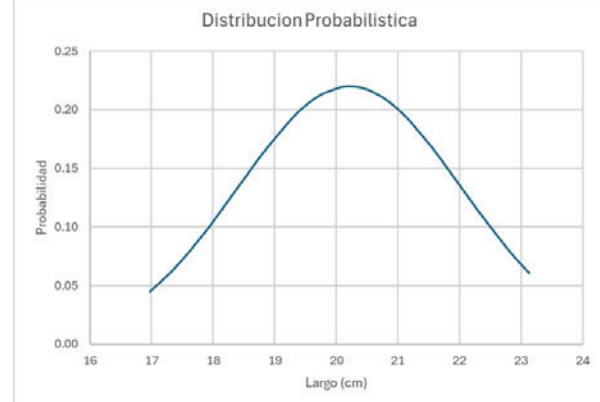


Figura 3. Gráfica de distribución de probabilidad o modelo.

La inteligencia artificial generativa opera mediante la creación de modelos generativos y distribuciones de probabilidad. Estos modelos son capaces de producir nuevos datos sin la necesidad de interactuar directamente con el conjunto de datos original.

Creación visual AI: de probabilidades a imágenes

Ahora que ya conocemos lo que es una distribución de probabilidad, enfrentamos un nuevo problema con las imágenes. A diferencia de los ajolotes que solamen-

te era un dato, una imagen se compone de millones de píxeles. Cada píxel posee tres valores que pueden variar en las intensidades de los colores rojo, verde y azul (RGB), es decir si antes teníamos una distribución unidimensional (por que solo teníamos una variable) ahora estaríamos hablando de aprender a modelar millones de números en espacios de millones de dimensiones, así que para esto lo vamos a simplificar un poco, vamos a trabajar con el concepto de una imagen muy simplificada donde esta va a ser únicamente de 2px por 2 px y sus valores irán de 0 a 1 para tonalidades de blanco a negro, y además los píxeles están “agrupados” es decir variamos solamente un número y dos píxeles cambiarán de color como en la imagen [Figura 4].

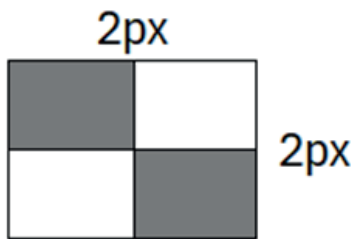


Figura 4. Concepto de imagen simplificada.

Y ahora tenemos 2 variables para controlar el tipo de imágenes que podemos representar y también podemos actuar de forma similar a como hicimos con los ajolotes, pero esta vez representaremos en una gráfica de 2 dimensiones las 2 variables que controlarían los colores de los píxeles, la variable x que variaría los colores de los dos píxeles grises [Figura 4] y una variable y que va a variar los píxeles blancos, ambas pueden ir de 0 a 1, donde 0 es negro y 1 es blanco, pasando por una escala de grises. Esta es la forma en que vamos a representar nuestras imágenes simplificadas [Figura 5].

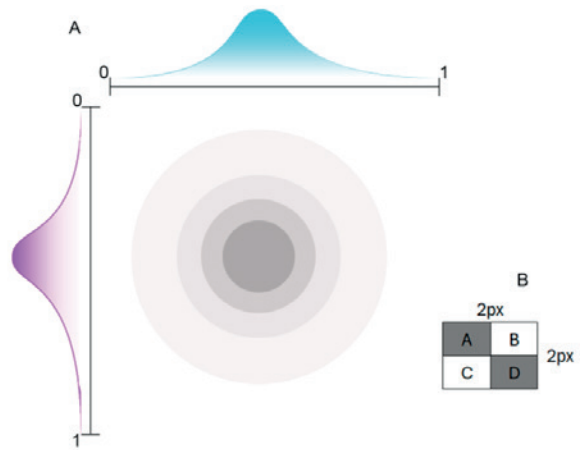


Figura 5. A. Distribución de probabilidad de 2 variables. B. Píxeles agrupados, grupo A {A,D} grupo B {B,C}.

Y ahora podemos proceder de la misma forma en que lo hicimos con los ajolotes lo que es aprender la distribución a partir de datos, para este ejemplo recopilamos varias imágenes ya existentes de un tipo concreto [Figura 6]

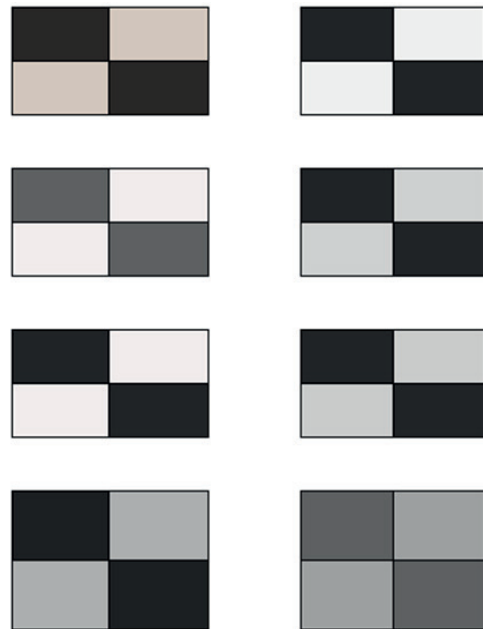


Figura 6. Dataset de entrenamiento para el ejemplo

Este conjunto de imágenes tiene ligeras variaciones pero que si las situamos en nuestra gráfica de distribución se empiezan a acomodar en la región donde los píxeles cuya variable es x se acomodan cerca del 0, como los píxeles que tienen variable y y se acomodan cerca del 1 nos queda la distribución [Figura 7] y ahora si generamos una imagen a partir de un valor de la zona con mayor probabilidad obtendremos una imagen similar a las del dataset original.

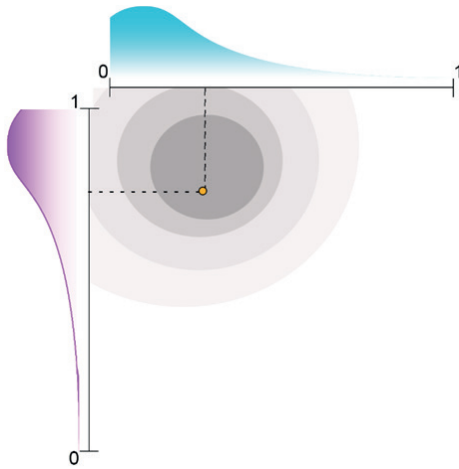


Figura 6. Distribución de probabilidad con el dataset de entreno, se toma una muestra aleatoria del área de mayor probabilidad.

Tenemos imágenes similares en características aunque no exactamente iguales que las del dataset original, y aquí es lo que hace la IA generativa que aprende las distribuciones y no los datos en concreto (Feuerriegel, Hartmann, Janiesch, & Zschech, 2023). Y para este caso en concreto que se usaron imágenes extremadamente simples, se puede llevar el modelo a las imágenes que conocemos con miles y miles de píxeles, como por ejemplo autos los cuales serían nuestros datos y aprender de ellos la distribución de probabilidad donde todas las imágenes de autos existen, y a partir de ella es donde la IA puede generar nuevas imágenes que no tienen porque existir en el dataset de entrenamiento.

Partiendo de esto pueden surgir argumentos para decir que la IA no es creativa ni original ya que no puede crear aquello que le hemos dado como dataset, como se dijo antes si le damos autos puede aprender su distribución y ¿nadamas ¿no?

Ahora vamos a tomar el modelo anterior pero agregamos nuevas imágenes al dataset de entrenamiento [Figura 7]

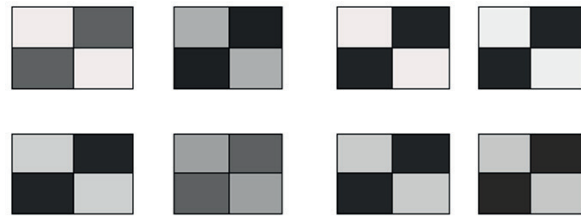


Figura 7. Conjunto nuevo de imágenes para agregar al dataset de entrenamiento

Con forme los vayamos “poniendo” en la grafica se iran cada uno acoplando a su respectivo lugar en funcion de sus valores x e y , ahora lo que tenemos seria un modelo generativo [Figura 8] capaz de generar imágenes con las diagonales en negro y blanco alternadamente [Figura 7 y 6] como lo son nuestros datos de entrenamiento.

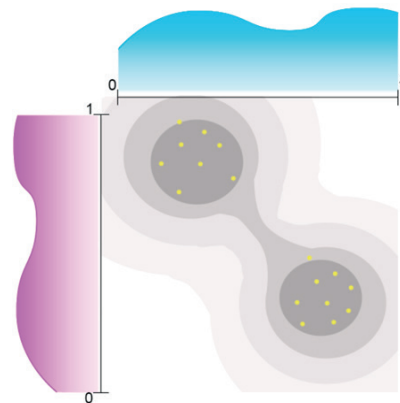


Figura 8. Modelo de probabilidad con los dos conjuntos de datasets

Ahora la capacidad de nuestro modelo de generalizar nos crea una distribución que “conecta” ambos espacios un área que tiene mayor probabilidad entre medias de nuestros datos de entrenamiento lo que nos permite generar un nuevo tipo de imagen, una donde los valores de x e y están a 0.5, ahora se creó una imagen donde todos los píxeles son grises, una nueva categoría de imagen que surge de la interpolación entre las 2 categorías aprendidas, y hay que destacar que es una imagen que no se parece en nada a los datos de entrenamiento originales. Es de esta interpolación y de los conceptos que aprende la IA es con lo que se puede aprovechar para hacer creaciones totalmente nuevas, que no vamos a encontrar en el dataset original, como puede ser que se entrenó con imágenes de autos y palomitas pero ahora puede generar imágenes de autos hechos de palomitas [Figura 9], es de esta capacidad que tiene de interpolar de aquellas categorías aprendidas, que podemos decir que la IA puede crear cualquier tipo de dato totalmente nuevo.



Figura 9. Auto hecho de palomitas generado por DALL-E 3

Siendo así, teniendo los millones de conceptos aprendidos por la IA y sus infinitas combinaciones que surgen de estos, se vuelve muy improbable que un usuario usando la herramienta genera una imagen que termine siendo igual o un plagio de una que estuviera en el dataset original, y sin embargo hay artículos que demuestran que lo que la IA a veces genera son imágenes idénticas [Figura 10]



Figura 10. Obtenida del paper: *Extracting Training Data from Diffusion Models*

Réplicas digitales: el arte de la IA y el overfitting

Ahora que sabemos que la tarea que realiza la IA generativa no es aprender los datos como tal sino aprender su distribución, es cuando podemos abordar 2 de los principales problemas, donde se puede presentar que la distribución y el dato son casi el mismo, donde el resultado que arrojaría la IA sería una imagen plagiada. Abordando el primer problema, la IA no genera contenido aleatorio si no este no tendría sentido, si no que viene condicionada a un prompt el cual está dado por el usuario final, con lo que le podemos indicar al modelo de que parte de la distribución queremos la imagen y así delimitamos de que zonas queremos obtener los datos. A través del prompt o del lengua-



Figura 11. Imagen generada por DALL-E 3 con el prompt “un cuadro al estilo renacentista”



Figura 12. Imagen generada por DALL-E 3 con el prompt “un cuadro al estilo renacentista”

je podemos ir variando las regiones de las distribuciones más específicas y concretas, hasta el punto de que la región represente a una imagen única. Por ejemplo una vez tenemos un modelo que aprendió una distribución podemos darle prompts como “un cuadro al estilo renacentista” [Figura 11]

O también podemos seguir acotando la distribución de donde queremos sacar la imagen y pedirle “una pintura al estilo de Leonardo da Vinci” [Figura 12] o podemos ir directamente a acotar la distribución y con el prompt “la mona lisa” podemos obtenerla ya que solo hay una.

Y ahí es cuando llega el problema ya que solo hay una mona lisa, ya que nuestro prompt acotó tanto la distribución, donde sí pueden haber pequeñas variaciones de textura o color, pero a vista de cualquier persona esta imagen generada es un plagio. ¿Significa esto que si nuestro prompt es tan específico vamos a terminar generando imágenes que son copias del dataset

original? la respuesta es que no, ya que se debe dar otra condición para que el plagio coursera y esta es la sobrerrepresentación, antes se mencionó que mona lisa solamente existe una, sin embargo si buscamos en internet (y por tanto datos que conforman el dataset) nos vamos a encontrar con múltiples versiones de esta, entonces ¿Por que la IA solo plagia la que todos conocemos? pues aquí está la respuesta ya que la IA actúa en muchas ocasiones similar a nosotros, por ejemplo si se le pidiera a un grupo de personas que cierren los ojos y se imaginen a la mona lisa seguramente será la versión original. Si esto ocurre es por que estamos siempre con la idea de este cuadro el cual está sobrerrepresentado y esta nos lleva a memorizar. En el caso de la IA si damos al dataset de entrenamiento imágenes del mismo tipo la distribución se vuelve cada vez más acotada o con menor varianza, donde llega al punto de dejar de ser distribuciones y pasan a ser conceptos memorizados. La sobrerrepresentación también en deep learning nos lleva a la

memorización y está a su vez al overfitting (por sobrerrepresentación) donde esté sumado a un prompt muy específico nos pueda llevar a una situación de plagio, donde generará un dato que está sobrerrepresentado y que por tanto produzca overfitting sumado a un prompt que sea lo suficientemente específico como para inducir a la IA a generar estos conceptos.

Y es esta fórmula que se reproduce en muchas de las acusaciones de plagio contra estos modelos generativos, por ejemplo el paper *Extracting Training Data from Diffusion Models* donde mencionan que estos modelos son capaces de plagiar datos del entrenamiento hasta el punto de generar calcos idénticos, sin embargo lo que no se explica mucho es que esa investigación estaba buscando esto, y para poder investigarlo han usado la fórmula que usamos antes donde en el paper se menciona que están usando imágenes que se encuentran altamente repetidas en el dataset original.

Donde podemos concluir ¿Plagia la IA generativa? la respuesta es Sí pero únicamente en circunstancias muy específicas, como se comentó cuando el dato está sobrerrepresentado en el dataset original y cuando inducimos el modelo con un prompt muy específico.

Bibliografía

Google Cloud. (2023). *¿Qué es la IA generativa y cuáles son sus aplicaciones?* <https://cloud.google.com/use-cases/generative-ai?hl=es>

Amazon Web Services, Inc (2023) *¿Qué es la IA generativa?* <https://aws.amazon.com/es/what-is/generative-ai/>

Talin, B. (2023). *¿Qué es la IA Generativa?* - Todo lo que necesitas saber: significado, modelos y ejemplos. <https://morethandigital.info/es/que-es-la-ia-generativa-significado-modelos-ia-y-ejemplos/>

De Mántaras, R. L. (2023). *La inteligencia artificial y las artes. Hacia una creatividad computacional* <https://www.bbvaopenmind.com/articulos/la-inteligencia-artificial-y-las-artes-hacia-una-creatividad-computacional/>

Jhoan Steven (2019) *¿Qué es la distribución de probabilidad?* <https://www.pragma.co/es/blog/que-es-la-distribucion-de-probabilidad>

Juan Pablo Del Alcazar Ponce (2024) *Inteligencia artificial generativa, discriminativa y otros enfoques relevantes.* <https://blog.formaciongerencial.com/inteligencia-artificial-generativa-discriminativa-y-otros-enfoques-relevantes/>

Feuerriegel, S., Hartmann, J., Janiesch, C., & Zschech, P. (2023). *Generative AI. Business & Information Systems Engineering.*

Carlini, N., Hayes, J., Nasr, M., Jagielski, M., Sehwag, V., Tramèr, F., Balle, B., Ippolito, D., & Wallace, E. (2023). *Extracting Training Data from Diffusion Models.* Editorial/Universidad: Google, DeepMind, ETHZ, Princeton, UC Berkeley.

Dot CSV (2024) *La IA Generativa... ¿Plagia A LOS ARTISTAS? (Explicación Técnica).* <https://www.youtube.com/watch?v=i-bue3mFBh5c>



El agave y sus derivados: Una fuente de alimentos funcionales

Dra. Mónica Alejandra Robles Arias
M. en C. Lorena Gómez Ruiz
Dra. Alma Cruz Guerrero
Dpto. Biotecnología.
Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa

Resumen

La actual pandemia por COVID-19 ha dejado de manifiesto la importancia de mantener una alimentación sana con la finalidad de prevenir y combatir dicha enfermedad. Sin embargo, una alimentación adecuada podría reducir el riesgo de padecer otros problemas de salud como algunos tipos de cáncer, enfermedades cardiovasculares, por lo que es importante consumir alimentos que más allá de nutrir ejerzan un efecto benéfico en nuestro organismo y provoque una mejora en nuestra salud, es decir, incluir en nuestra dieta los llamados alimentos funcionales.

El agave es un alimento funcional natural que contiene compuestos con actividad biológica tales como compuestos fenólicos, saponinas, saponinas y oligosacáridos como las agavinas y fructooligosacáridos. Aunado a esto, existen derivados del agave como el aguamiel y el pulque los cuales son fuentes naturales de prebióticos, probióticos y simbióticos que ejercen actividades importantes en diferentes sistemas del organismo como el inmune, digestivo y respiratorio.

Palabras clave: Agave, alimentos funcionales, prebióticos, probióticos.

Abstract

The current COVID-19 pandemic has revealed the importance of maintaining a healthy diet in order to prevent and combat this disease. However, an adequate diet could reduce the risk of suffering from other health problems such as some types of cancer, cardiovascular diseases. Therefore, it is important to consume foods that, beyond nourishing, have a beneficial effect on our body and cause an improvement in our health, thus, include in our diet the so-called functional foods.

Agave is a natural functional food that contains compounds with biological activity such as phenolic compounds, saponins, saponins and oligosaccharides, such as agavins and fructooligosaccharides. Additionally, there are agave derivatives such as mead and pulque which are natural sources of prebiotics, probiotics and symbiotics that exert important activities in different systems of the organism such as the immune, digestive and respiratory systems.

Keywords: Agave, functional foods, prebiotics, probiotics.

Introducción

La reciente pandemia por el COVID-19 resaltó la importancia de mantener una alimentación sana, poniendo de manifiesto que, entre los grupos vulnerables se encuentran personas que presentan obesidad, hipertensión, diabetes, entre otros. Si bien, ningún alimento o suplemento alimenticio tiene la capacidad de prevenir y curar la infección causada por el virus SARS-CoV-2, una alimentación saludable influye en la capacidad de nuestro organismo para prevenir y combatir las infecciones causadas por este virus debido al fortalecimiento del sistema inmunitario. Asimismo, una alimentación adecuada podría reducir el riesgo de padecer otros problemas de salud como algunos tipos de cáncer, enfermedades cardiovasculares, etc. (WHO, 2023).

Adicionalmente a una alimentación sana, es necesario incluir alimentos que contengan componentes con una actividad biológica que ejerza un efecto benéfico en nuestro organismo y que provoque una mejora en nuestra salud, es decir, incluir en nuestra dieta los llamados alimentos funcionales (de Heredia, 2016).

El agave es una planta que contiene diversos compuestos bioactivos, por ejemplo, los compuestos fenólicos presentes en el agave confieren actividad antioxidante, mientras que las sapogeninas y saponinas confieren actividad antiinflamatoria. Adicionalmente, el agave es una fuente rica de agavinas y fructooligosacáridos, los cuales son fibra dietética que ayuda a modular la microbiota gastrointestinal y protege la barrera gastrointestinal, la cual es la principal línea de defensa contra patógenos (Huezcas-Garrido *et al.*, 2022), por lo tanto, el agave es un alimento funcional natural.

Origen y evolución de los alimentos funcionales

Con el avance de la ciencia se ha buscado que la nutrición pase de ser “adecuada”, es decir, que deje de enfocarse en evitar los déficits alimenticios, a ser una nutrición “óptima”, siendo el objetivo proveer una buena calidad de vida al individuo, otorgándole protección ante diversas afecciones patológicas. Sin embargo, el reto a futuro es la “nutrición a la carta”, la cual será diseñada dependiendo los factores genéticos y medioambientales de las personas (Silveira-Rodríguez, *et al.*, 2003). Siendo un comienzo, la inclusión de alimentos funcionales en la dieta de la sociedad.

El término de alimento funcional se originó en Japón en los años 80 del siglo anterior. El Ministerio de salud de Japón se percató que la esperanza de vida había aumentado, lo que generaba un mayor gasto al sistema de salud, por lo que era necesario garantizar una mejor calidad de vida evitando la aparición de enfermedades y con ello abatir costos al sistema de salud. De esta forma nace un proyecto cuya finalidad fue conocer otras funciones de los alimentos a parte de su función nutritiva,

surgiendo el concepto de alimento funcional. Actualmente, se siguen realizando investigaciones centradas en identificar componentes bioactivos en los alimentos, así como demostrar con evidencias científicas, sus efectos benéficos en la salud (de Heredia, 2016).

A pesar de que, en muchos países los alimentos funcionales están regulados, en realidad no existe un marco legal que los reconozca debido a que no hay como tal una definición consensuada, lo que da origen a muchas definiciones. En términos generales, los alimentos funcionales abarcan aquellos alimentos que otorgan beneficios a la salud más allá de solo nutrir al individuo y que, al poseer componentes biológicamente activos, generan una mejora en una o varias funciones del organismo reduciendo el riesgo de contraer ciertas enfermedades. Por lo tanto, un alimento funcional puede ser natural o conseguirse incrementando la concentración del compuesto funcional propio del alimento, por la incorporación de un componente con actividad biológica o mediante el aumento de la biodisponibilidad del elemento de interés (Granato *et al.*, 2020)

Para que un alimento sea considerado como funcional debe cubrir las siguientes características:

- Presentarse en forma de alimentos de consumo diario.
- Poseer propiedades nutritivas y beneficiosas en el organismo.
- Disminuir o prevenir el riesgo de adquirir enfermedades y mejorar la salud del consumidor.
- Ejercer un efecto benéfico comprobable dentro de las porciones normalmente consumidas (de Heredia, 2016).

El pulque y aguamiel como probióticos

Seguramente, los alimentos funcionales más populares son los que contienen bacterias probióticas. Los probióticos, son microorganismos vivos que, al ser ingeridos en cantidades suficientes, ejercen un efecto benéfico en la salud del consumidor. (Benítez *et al.*, 2015). Investigaciones recientes avalan que los probióticos ejercen actividades importantes en diferentes sistemas del organismo como el inmune, digestivo y respiratorio, además, podría tener un impacto importante en el alivio de enfermedades infecciosas en los infantes y grupos vulnerables (Benítez, 2015). Más aún, microorganismos del género *Lactobacillus* y *Bifidobacterium* han sido empleados como una alternativa a los antibióticos en algunas situaciones gastrointestinales, así como en el tratamiento de alergias alimentarias, intolerancia a la lactosa, entre otras (Gimeno-Creus, 2004).

Existen diversas formas de incluir probióticos en nuestra dieta, sin embargo, la manera más sencilla es mediante alimentos que funcionen como vehículo de estos microorganismos. Dentro de los alimentos en los que podemos encontrar probióticos destacan los productos lácteos fermentados como el yogur, kéfir, jocoque y el popularmente consumido en México, Yakult® (Ramírez-Ramírez *et al.*, 2011). Sin embargo, en nuestro país existen otras alternativas de alimentos probióticos, que han sido consumidos desde tiempos ancestrales y que representan una alternativa vegana, nos referimos al aguamiel y el pulque.

El aguamiel, es la savia que se obtiene al hacer un agujero en la piña del agave (Figura 1a). Este líquido está compuesto por proteínas, aminoácidos, y azúcares, entre los que se encuentran los fructooligosac-

cáridos, los cuales abordaremos posteriormente. Así mismo, podemos encontrar la presencia nativa de microorganismos, primordialmente bacterias ácido lácticas las cuales tienen potencial probiótico y por lo tanto la capacidad de inhibir el crecimiento de bacterias patógenas (Huezcas-Garrido *et al.*, 2022).

Por su parte, el pulque (Figura 1b) se obtiene a partir de la fermentación del aguamiel, dando como resultado una bebida alcohólica blanca y viscosa por lo que debe ser consumida con moderación, sin embargo, debido a la presencia de microorganismos entre los que destacan bacterias ácido lácticas del género *Lactobacillus* y *Leuconostoc*, su consumo podría ejercer efectos benéficos en la salud de quien lo consume. Estudios recientes plantean que estas bacterias presentan resistencia a las barreras antimicrobianas del tracto gastrointestinal como serían las enzimas presentes en la saliva o al pH ácido del estómago; además, muestra adherencia a la mucosa intestinal, por lo que su consumo moderado podría servir como tratamiento en infecciones y desórdenes gastrointestinales (Escalante *et al.*, 2016).

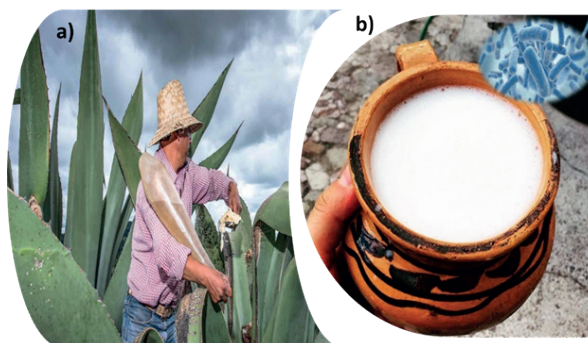


Figura 1. a) Extracción de aguamiel
b) Bebida tradicional “pulque”

El agave y sus derivados son una fuente importante de prebióticos

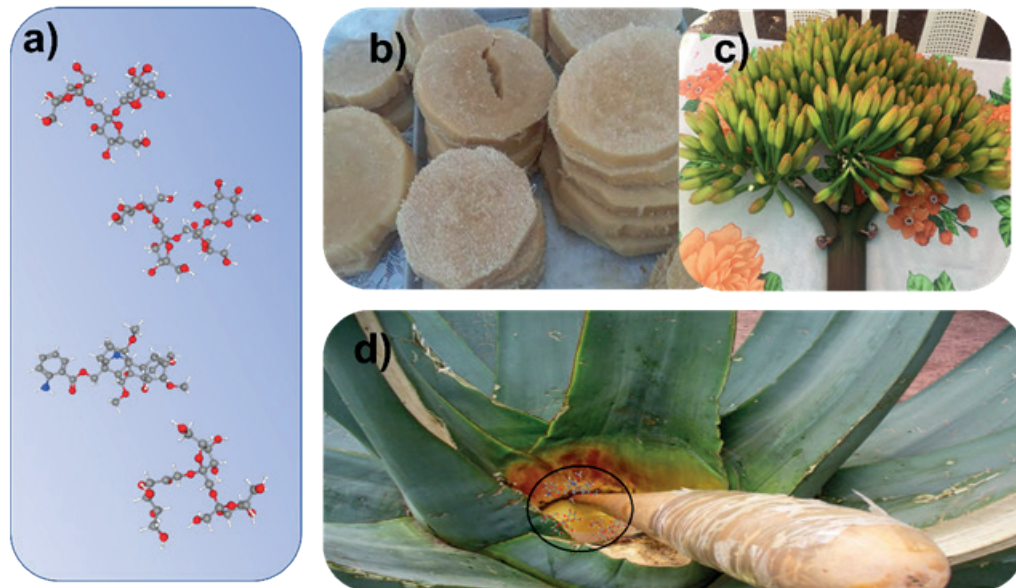


Figura 2. Presencia de a) prebióticos en b) quiote, c) flor de agave y d) aguamiel.

El concepto de “prebiótico” fue utilizado por primera vez en 1955 para referirse a “aquellas sustancias nutricionales no digeribles y que benefician selectivamente al huésped, estimulando al crecimiento y actividad de una o más bacterias benéficas en el colon, por lo tanto, mejoran la salud del hospedero” (Benítez *et al.*, 2015). A partir de esta definición podemos decir que los prebióticos son el alimento de los probióticos.

Como ejemplo de sustancias prebióticas podemos encontrar la fibra, azúcares no absorbibles, alcoholes de azúcares y oligosacáridos. El agave, es una fuente natural de agavinas, la cual es considerada como fibra dietética y tiene la capacidad de estimular el crecimiento selectivo de las bacterias presentes en el colon como bifidobacterias y lactobacilos, evitando la proliferación de organismos patógenos como *Escherichia coli* y *Clostridium spp.* Además, las agavinas ayudan a reforzar las funciones inmunológicas ante ciertos tipos de cáncer, aumentan la biodisponi-

bilidad de minerales, así como a disminuir la respuesta glicémica (Huezcas-Garrido *et al.*, 2022).

Dentro del grupo de oligosacáridos, se encuentran los fructooligosacáridos (Figura 2a), los cuales podemos encontrar en la planta de agave y que han recibido una gran atención debido a sus propiedades prebióticas (Benítez, 2015). Una opción de incluir el agave en nuestra dieta y por ende tanto los fructooligosacáridos como las agavinas, así como sus propiedades benéficas, es mediante el consumo directo del tallo de la planta o quiote y su flor (Figura 2b y 2c), por ejemplo, en Hidalgo, Tlaxcala y el Estado de México, se consume el tallo de la flor de agave, mejor conocido como quiote, preparado en dulce, además la flor se puede consumir a la mexicana o rellena de queso.

Además de encontrar estos compuestos en el agave, el aguamiel (Figura 2d) es también una fuente rica de fructooligosacáridos, los cuales podrían ayudar a pre-



Figura 3. Presencia de prebióticos y probióticos en a) pulque y b) aguamiel.

venir el aumento de peso, hiperglucemia, así como la acumulación de grasa, esto debido a que promueven la liberación de péptidos que participan en los procesos que regulan la saciedad (Huezcas-Garrido *et al.*, 2022).

Simbiosis en el pulque y el aguamiel

Los simbióticos presentan una mezcla de probióticos y prebióticos que aumentan la supervivencia de las bacterias benéficas a la salud y que tiene el fin de modificar la microbiota intestinal y su metabolismo (Benítez, *et al.*, 2015). El pulque es un alimento simbiótico de consistencia viscosa debido a la presencia de dextrano producido durante el proceso de fermentación, dando lugar a los llamados prebióticos. Además, en esta bebida podemos encontrar microorganismos probióticos. Debido a la presencia tanto de prebióticos como probióticos, el pulque causaría un efecto benéfico en la salud de los consumidores al inhibir la presencia de microorganismos patógenos como resultado del incremento de bacterias benéficas. Además,

como resultado de la interacción prebiótico-probiótico, se ayudaría a evitar la incidencia de algunos tipos de cáncer (Huezcas-Garrido *et al.*, 2022).

Como se mencionó previamente, el aguamiel es una fuente importante de compuestos prebióticos entre los que destacan las agavinas y los fructooligosacáridos, sin embargo, en esta bebida también encontramos una gran variedad de microorganismos entre los que destacan bacterias probióticas como *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus paracasei* y *Leuconostoc mesenteroides*; por lo que el aguamiel es un alimento simbiótico. Debido a esta simbiosis, el consumo de aguamiel podría ser empleado como auxiliar en el tratamiento de enfermedades gastrointestinales como diarrea, intolerancia a la lactosa, así como a prevenir algunas alergias y mejorar la respuesta inmune (Villareal-Morales *et al.*, 2019).

Conclusión

El empleo de prebióticos, probióticos y

simbióticos, está siendo utilizado como terapia en aspectos clínicos, además, debido a la preocupación de la población por consumir alimentos que aporten efectos benéficos en su salud, se ha dado énfasis al desarrollo y consumo de alimentos funcionales cuyo beneficio vaya más allá de nutrir al consumidor a otorgarle protección contra diversas enfermedades o padecimientos.

Como se mencionó en este artículo, el agave es un alimento funcional que aporta diversos beneficios a quienes lo consumen, ya sea mediante el consumo directo de la planta como el quiote o la flor del agave; o el consumo de bebidas producidas a partir del agave como el pulque y el aguamiel, las cuales son fuentes importantes de prebióticos y probióticos.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Centro Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca otorgada para el estudiante de posdoctorado MARA. Además, agradecen a la Universidad Autónoma Metropolitana por el apoyo para la elaboración de este trabajo.

Referencias

Benítez, J., Zamboni, E., Salame, M., Cerrutti, R., Soto, L., Baroni, D. y Poluján, D., Probióticos, prebióticos y simbióticos. *Tecnología Láctea Latinoamericana* 87, 2015.

de Heredia, M. R., Alimentos funcionales. *Farmacia profesional*, 30[3], pp. 12-14, 2016.

Escalante, A., López Soto, D. R., Velázquez Gutierrez, J. E., Giles-Gómez, M., Bolívar, F. y López-Munguía, A., Pulque, a traditional Mexican alcoholic ferment-

ed beverage: historical, microbiological, and technical aspects. *Frontiers in microbiology*, 7, 2016. [https://doi: 10.3389/fmicb.2016.01026](https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.01026)

Gimeno-Creus, E., Alimentos prebióticos y probióticos: la polémica científica sobre sus beneficios. *Offarm: Farmacia y Sociedad*, 23[5], pp. 90-98, 2004.

Granato, D., Barba, F. J., Bursac Kovačević, D., Lorenzo, J. M., Cruz, A. G. y Putnik, P., Functional foods: Product development, technological trends, efficacy testing, and safety. *Annual review of food science and technology*, 11, pp. 93-118, 2020. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-032519-051708>

Huezcas-Garrido, L., Alanís-García, E., Ariza-Ortega, J. A. y Zafra-Rojas, Q. Y., Subproductos de interés nutricional y funcional de Agave salmiana. *Revista chilena de nutrición*, 49[2], pp. 250-262, 2022. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-75182022000200250>

Ramírez-Ramírez, J. C., Rosas-Ulloa, P., Velázquez-González, M. Y., Ulloa, J. A. y Arce-Romero, F., Bacterias lácticas: Importancia en alimentos y sus efectos en la salud. *Revista Fuente* 2[7], 2011.

Silveira-Rodríguez, M.B., Monereo-Meñas S., y Molina-Baena, B. "Alimentos funcionales y nutrición óptima: ¿Cerca o lejos?" *Revista española de salud pública* 77, pp. 317-331, 2003.

Villarreal-Morales, S. L., Muñiz-Márquez, D. B., Michel-Michel, M., González-Montemayor, Á. M., Escobedo-García, S., Salas-Tovar, J. A., y Rodríguez-Herrera, R. Aguamiel a fresh beverage from Agave

spp. sap with functional properties. *Natural Beverages*, Academic Press. 2019, pp. 179-208.

WHO. 2023. <https://www.who.int/es/campaigns/connecting-the-world-to-combat-coronavirus/healthyathome/healthyathome---healthy-diet> (16/02/2023).

**Los sismos en México son
trepidatorios u ondulatorios
¿mito o realidad?**



Dr. Edgar Tapia Hernández
Ricardo Gutiérrez Medellín
Universidad Autónoma Metropolitana - Azcapotzalco

Resumen

Después de los sismos del 2017 fue notorio el uso de redes sociales para difundir información relacionada con la actividad sísmica, la que no confiable en todos los casos. Un caso notorio es el hecho que los sismos se clasifique en oscilatorios y ondulatorios, que intentan relacionar la dirección de la propagación de las ondas sísmicas con el daño estructural en los edificios. En este artículo se discute la propagación de las ondas sísmicas, su estudio y medición para aclarar que todos los sismos tienen componentes horizontales y verticales. Se discuten requerimientos normativos que han intentado definir las con fines de diseño sísmico como una proporción de las fuerzas laterales.

Abstract

After the 2017 earthquakes, the use of social media to disseminate information related to seismic activity was notorious, which is unreliable in all cases. A notorious case is the fact that earthquakes are classified as oscillatory and undulatory, which attempt to relate the direction of seismic wave propagation with structural damage to buildings. This paper discusses the propagation of seismic waves, their study, and their measurement to clarify that all earthquakes have horizontal and vertical components. Normative proposals that have tried to define them for seismic design purposes as a proportion of lateral forces are discussed.

Palabras clave: Sismo; edificio; componente vertical; componente horizontal

Keywords: Earthquake, building; vertical component; horizontal component

Sismo trepidatorio y ondulatorios

Después de un sismo intenso, es común escuchar conversaciones de personas que

relacionan el daño en las estructuras o elementos estructurales con la dirección de las demandas sísmicas. Si la demanda que percibieron fue vertical se refieren que se trató de un sismo trepidatorio y si la demanda que predomina en su percepción es horizontal, le llaman sismo ondulatorio, pero ¿esto es correcto?

La realidad es que los sismos no se pueden clasificar simplemente en trepidatorio u oscilatorio, sino que durante todos los sismos existen ondas que se propagan a través del suelo en el plano horizontal y con una componente vertical. La predominancia de las componentes en una cierta posición depende de: i) la profundidad donde ocurrió el sismo, ii) el tipo de contacto entre las placas tectónicas que originaron el sismo y iii) las características de los estratos de suelo que cruzaron hasta llegar al sitio.

Los sismos se originan por el movimiento de placas tectónicas. Ese movimiento relativo genera esfuerzos cortantes en la zona de contacto entre las placas. Cuando se supera el esfuerzo resistente se libera energía como un terremoto que se transmite a la corteza en todas direcciones.

Las ondas sísmicas

Las ondas sísmicas se dividen en primarias (ondas P) y las secundarias (ondas S), que se subdividen en ondas Rayleigh y ondas Love. Las ondas P son compresivas y se propagan en un plano longitudinal. Las ondas S se propagan en dirección ortogonal con movimientos arriba – abajo, izquierda – derecha e, incluso, con un movimiento elíptico retrogrado y, por ello, son las más destructivas.

La propagación de ondas durante un sismo se estudia mediante estaciones acele-

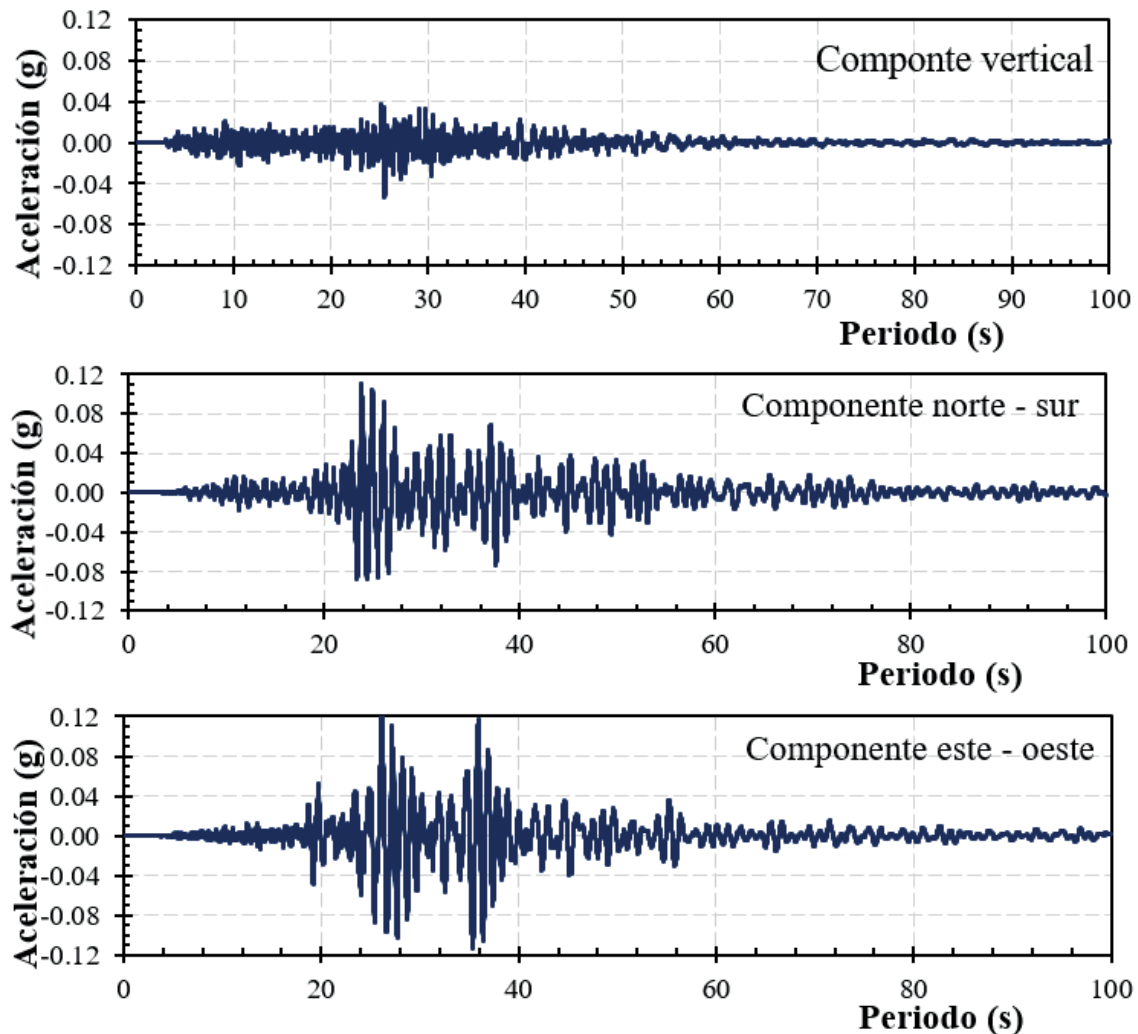


Figura 1. Registro de la estación en la Alberca Olímpica del 19 de septiembre del 2017

rométricas que registran los cambios de aceleración que tiene el terreno durante el evento. Con fines ilustrativos, en la figura 1 se muestra la historia de aceleraciones que se grabó en la Alberca Olímpica en la Alcaldía Benito Juárez en la Ciudad de México durante el sismo del 19 de septiembre del 2017 de magnitud $M_w = 7.1$ (Tapia y García 2020). Se muestran las aceleraciones que se grabaron en la dirección norte – sur, este – oeste y en la dirección vertical. Este sismo se registró en el límite del Estado de Puebla y Morelos a menos de 120 km del punto donde se localiza la estación.

Entre más cerca esté el acelerómetro del epicentro, la componente vertical será más importante, pero no dejaría de existir las componentes horizontales. Entonces, dado que los sismos tienen las tres componentes (dos en el plano horizontal y uno en la vertical), la supuesta clasificación de un sismo en trepidatorio y oscilatorio está basado íntegramente en la percepción.

Si una persona está en el piso 30 de un edificio alto, es bastante probable que las componentes en el plano dominen su percepción dado el desplazamiento horizontal

de la estructura y la persona argumentaría que se trató de un sismo oscilatorio. Si hubiera otra persona a nivel de banqueta en el mismo edificio, donde los estratos del suelo pudieran reflejar la sensación de que la componente vertical es muy grande, para el mismo evento, se argumentaría que se trató de un sismo trepidatorio.

Cargas laterales sobre los edificios

Debido a que los edificios tienen una respuesta gobernada por los desplazamientos laterales, las demandas sísmicas en el plano horizontal son más dañinas (figura 2). De hecho, los códigos especializados como la Norma Técnica Complementaria para el Diseño por Sismo (NTC-DS) del Reglamento de la Ciudad de México dedican esfuerzos estrictos para definir las demandas sísmicas horizontales con el mayor detalle posible, puesto que la carga lateral rige la respuesta de los edificios. Las demandas verticales tienen poca relevancia en edificios, salvo en casos donde hay volados o balcones de claros muy largos y, de hecho, no están formalmente definidas en las NTC-DS.



Figura 2. Daño en edificios provocados por demandas sísmicas en la Ciudad de México.

En contraste, si se trata de una estructura gobernada por los desplazamientos verticales, como en los puentes, la componente vertical rige el diseño de los elementos estructurales. Igualmente, esa componente vertical puede ser importante si el epicentro del sismo se localiza muy cerca del edificio. Por ejemplo, durante el sismo del 19 de septiembre del 2022 ocurrió el colapso de una estructura en Manzanillo, Colima (figura 3) por un problema en la conexión que pudo deberse a la acción combinada de la componente horizontal y vertical.



Figura 4. Daño por sismo en edificio en la zona epicentral en Manzanillo, Colima.

Se han realizado algunos esfuerzos por definir las demandas sísmicas de la componente vertical como una proporción de la componente horizontal V/H en función de las características dinámicas del edificio como el periodo fundamental T (figura 3). Uno de los esfuerzos más conocido y más utilizado durante muchos años, está publicado en Newmark *et al.* (1973), a partir de sismos registrados en la costa de California en Estados Unidos, que propuso $V/H= 0.5$. En Japón, el estudio más difundido lo realizaron Kawashima *et al.* (1985), que para los registros japoneses propusieron $V/H= 1/3$. En ambos

casos, la propuesta es constante e independiente de las características del edificio.

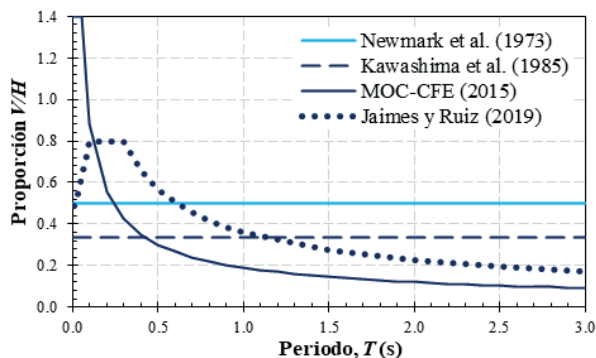


Figura 3. Proporción entre la componente vertical y la componente horizontal V/H .

Más recientemente, Jaimes y Ruíz (2019) desarrollaron una propuesta para las condiciones específicas de la Ciudad de México (figura 3), que es dependiente de las propiedades dinámicas del edificio, en función del periodo T . Finalmente, el Manual de Obras Civiles de la Comisión Federal de Electricidad contiene una propuesta (MOC-CFE 2015), que debido a que pretende ser aplicable para todo el país no consigue ser una aproximación conservadora en todos los casos (Tapia y Gutiérrez 2022). Pese a estos esfuerzos, se requieren más estudios para establecer la proporción entre la componente horizontal y la vertical para poder integrar propuestas sólidas en los reglamentos de diseño sísmico.

Conclusiones

Todavía hay un largo camino que recorrer para conocer el comportamiento de las placas tectónicas. De hecho, es poco lo que se ha podido explorar físicamente y son pocos años en los que ha podido contar con la tecnología para la medición de los sismos. Pese a este panorama, es algo cierto que todos sismos tienen componentes horizontales y verticales y, por ende, no se deben clasificar en trepidatorios u oscilatorios.

El hecho que una componente domine es algo relativo y depende altamente del sitio donde se encuentre la persona al momento del sismo. Lo que sí es una realidad, es que la ocurrencia de sismos en la mayor parte de México es una amenaza constante, por lo que siempre hay que estar preparados y bien informados. Igualmente, conviene seguir implementando esfuerzos para estudiar la proporción entre las componentes del sismo en la dirección horizontal y vertical para que los edificios sean seguros ante sismos intensos.

Referencias

CFE-MOC (2015). “Manual de diseño de obras civiles. Diseño por sismo. Recomendaciones y Comentarios”. Instituto de Investigaciones Eléctricas (INEEL), Comisión Federal de Electricidad (CFE). Diciembre.

Jaimes, M.A. y Ruiz-García J. (2019), “New vertical-to-horizontal ratio spectrum due to intraslab earthquakes for soft-soil sites of Mexico City”. *Soil Dynamic Earthquake Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2019.105804>

Kawashima, K., K. Aizawa y K. Takahashi (1985), “Attenuation of peak ground motion and absolute acceleration response spectra of vertical ground motion”, *Memorias, Japan Society of Civil Engineers*, Vol. 1, No. 2, pp. 169-176. https://www.jstage.jst.go.jp/article/jscej1984/1985/362/1985_362_169/_pdf

Newmark, N.M. (1973), “A Study of vertical and horizontal spectra”, *Reporte WASH-1255*, Washington, D.C., U.S. Atomic Energy Commission, Directorate of Licensing. [https://engineering.purdue.edu/~ce573/Documents/A%20Study%20of%20Vertical%20and%20Horizontal%20Earthquake%20Spectra%20\(Newmark\).PDF](https://engineering.purdue.edu/~ce573/Documents/A%20Study%20of%20Vertical%20and%20Horizontal%20Earthquake%20Spectra%20(Newmark).PDF)

NTC-DS-2020 (2020). Normas Técnicas Complementarias para el Diseño por Sismo. En Gaceta Oficial de la Ciudad de México. Gobierno de la Ciudad de México. Junio.

Tapia E. y García J.S. (2020), "Damage assessment and Seismic behavior of Steel Buildings during the Mexico Earthquake of September 19, 2017". Earth-

quake Spectra. Vol. 36, Issue 1. <https://doi.org/10.1177/8755293019878186>

Tapia E. y Gutiérrez R. (2022), "Componente vertical en sismos registrados en la Ciudad de México", Memorias, XXIII Congreso Nacional de Ingeniería Estructural. Noviembre, Zacatecas, Zacatecas.

Selaginella y sus adaptaciones a ambientes estresantes

Lic. Andrés Romero Freg
Dra. Susana Valencia A.
Departamento de Biología Comparada, UNAM

Abstract

The origin of terrestrial plants goes back to the Ordovician and since then these organisms have developed the ability to colonize the terrestrial environment through the emergence of adaptations to conquer even the most extreme environments. This article presents information collected about *Selaginella*, in particular, data on its origin, general morphological characteristics, its life cycle and richness in Mexico; with special emphasis on the morpho-anatomical and physiological adaptations that allow them to face challenging climates with water deficit, intense light and high temperatures, thanks to the acquisition of morphological and physiological adaptations that place them as an important gene bank for the development of better crops that can overcome climate change and above all the scarcity of water that humanity faces today.

Keywords: water stress, *Selaginella* morphology, tolerance, desiccation

Resumen

El origen de las plantas terrestres nos remonta al periodo Ordovícico y desde entonces estos organismos han desarrollado la capacidad de colonizar el medio terrestre a través del surgimiento de adaptaciones para conquistar incluso los ambientes más extremos. En este artículo se presenta información recopilada sobre *Selaginella*, en particular se presentan datos sobre su origen, características morfológicas generales, su ciclo de vida y riqueza en México; con énfasis especial en las adaptaciones morfo-anatómicas y fisiológicas que les permiten enfrentar climas desafiantes con déficit de agua, luminosidad intensa y altas temperaturas,

gracias a la adquisición de adaptaciones morfológicas y fisiológicas que los colocan como un importante banco de genes para el desarrollo de mejores cultivos que puedan sortear el cambio climático y sobre todo la escases de agua que hoy enfrenta la humanidad.

Palabras clave: estrés hídrico, morfología de *Selaginella*, tolerancia, desecación.

Introducción

Desde su aparición en el periodo Ordovícico las plantas desarrollaron la capacidad de colonizar ambientes inhóspitos, partiendo de un ambiente acuático estricto a ambientes subacuáticos en las orillas de cuerpos de agua dulce y después, avanzando hacia áreas más secas para completar su terrenalización gracias a la presencia de cutículas, estomas, tejidos de sostén, de conducción de agua y de protección de sus esporas, que les permitieron evitar la desecación y así colonizar diversos ambientes. Con el desarrollo de la semilla durante el Devónico, las plantas se expandieron a prácticamente todos los rincones del planeta, aún en sitios semidesérticos o desérticos (Figura 1).

A lo largo de su historia sobre la tierra, las plantas desarrollaron formas diversas que les permitieron adaptarse a diferentes ambientes, resultando en más de 300,000 especies que actualmente viven en los ambientes más increíbles en todo el mundo.

Un caso apasionante es el de las adaptaciones en las plantas de ambientes extremadamente secos, con alta intensidad lumínica y con temperaturas que sobrepasan los 40°C. Estas condiciones pueden ser nocivas y causar daños irreversibles en el metabolismo, la desnatu-

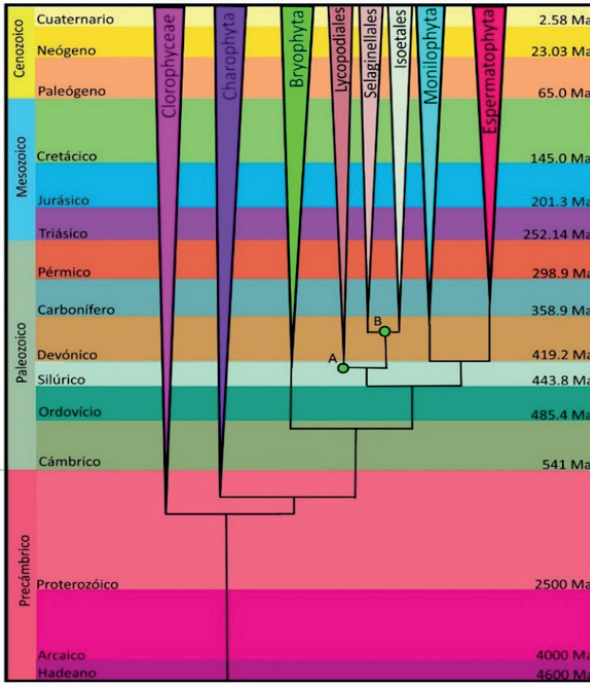


Figura 1: Filogenia del reino plantae. A nodo escisión Lycoposida (*Lycopodiales*) e isoetopsida (*Selaginellales* e *Isoetales*) (392-451Ma), B. Divergencia de *Selaginellales* e *isoetales* (372-392 Ma). Elaborado con base en Philip *et al.*, (2021), Schmidt *et al.*, (2020) y, Zhang *et al.*, (2019).

ralización de las proteínas y deterioro de los organelos celulares. Plantas como algunos musgos, ciertas especies de *Selaginella* (la doradilla), las suculentas y los cactus, han conseguido adaptaciones morfológicas y fisiológicas para desarrollarse en estos sitios que resultan muy interesantes de conocer.

De esta forma, en el presente escrito se presenta una compilación de las principales características anatómicas, morfológicas y fisiológicas de las especies de *Selaginella* con tolerancia a condiciones ambientales extremas de temperatura, luz y desecación.

Selaginella, diversidad

y relaciones filogenéticas

Las *selaginellas* conforman un grupo de plantas que surgieron en ambientes húmedos y cálido-templados (Mickel *et al.* 2004) durante el Devónico tardío (Figura 1). Actualmente la mayoría de las especies se desarrollan en estos climas, pero algunas crecen en ambientes xéricos altamente estresantes, con prevalencia de suelos salinos, alcalinos o yesosos, y con largas temporadas sin lluvia que van de 7 a 12 meses. El estudio de estas especies ha revelado información importante para entender su sobrevivencia en ambientes desafiantes. La interesante información generada al respecto promete ser útil en la obtención de “mejoras” en cultivos de maíz, trigo, arroz y cebada, que son hoy en día la base de la alimentación humana.

Las *selaginellas* se clasifican en las Lycopphyta, éstas son las plantas vasculares actuales más antiguas que se conocen y son el grupo hermano del resto de las plantas vasculares. Lycopphyta incluye tres grupos vivientes: Lycopodiales, Isoetales y *Selaginellales*; este último comprende a la familia *Selaginellaceae* con un solo género, *Selaginella* que agrupa entre 700 y 800 especies con amplia distribución ecológica, se le puede encontrar tanto en climas húmedos como selvas tropicales, en climas fríos como los bosques árticos de pinos, en climas extremos como el matorral xerófilo y en desiertos rocosos.

Villaseñor (2016) señala que para México existen 79 especies de *Selaginella* distribuidas en todos los estados, excluyendo Quintan Roo de donde no se cita ninguna (Figura 2). Mientras que Mickel y colaboradores (2004) citan 80 especies,

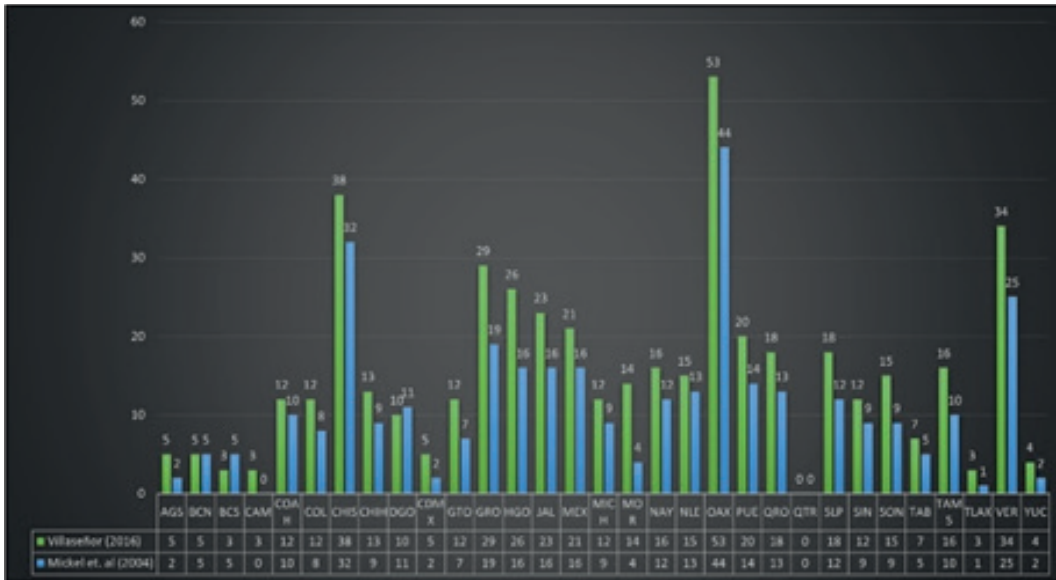


Figura 2: Gráfica comparativa de la distribución por estado de las especies de Selaginella en México.

excluyendo los estados de Campeche y Quintana Roo nuevamente. (Figura 2).

Ciclo de vida

Las *selaginellas* son hierbas que pueden vivir varios años. Como todas las plantas terrestres, su ciclo de vida presenta alternancia de fases, es decir, presentan una etapa que recibe el nombre de esporofito (porque produce esporas a través de meiosis) y que alterna con una etapa que se llama gametofito (porque produce gametos femeninos y masculinos).

La fase esporofítica es la más larga y notoria de *Selaginella*. Ésta es diploide (2n) y se conforma por raíces, tallos y hojas. Las raíces surgen de una estructura llamada rizóforo. Los tallos generalmente se ramifican de forma dicotómica y llevan a las hojas. Las hojas tienen un sólo haz vascular central y longitudinalmente ubicado, además presentan un apéndice basal en la cara superior llamado lígula. Se pueden encontrar especies con hojas de distinta

MITOSIS: Proceso de división celular en células somáticas, que da como resultado dos células con la misma información genética(No hay recombinación genética)

MEIOSIS: Proceso de división celular en células sexuales, que da como resultado cuatro células con la mitad de la información genética (Hay recombinación genética)

forma y posición en la planta (plantas anisófilas). También hay especies isófilas en las que todas las hojas son similares y se disponen de forma helicoidal alrededor del tallo.(Figura 3).

En etapa reproductiva, las hojas de los ápices de las ramas producen un esporangio en la superficie superior, estas hojas se llaman esporófilas y su agrupación en el ápice de las ramas forma una estructura de forma prismática llamada estróbilo (Figura 4).

Las esporas se forman en los esporangios a través de meiosis. Son de dos tipos, micro y megasporas, éstas se originan en micro y megasporangios respectivamente. Los

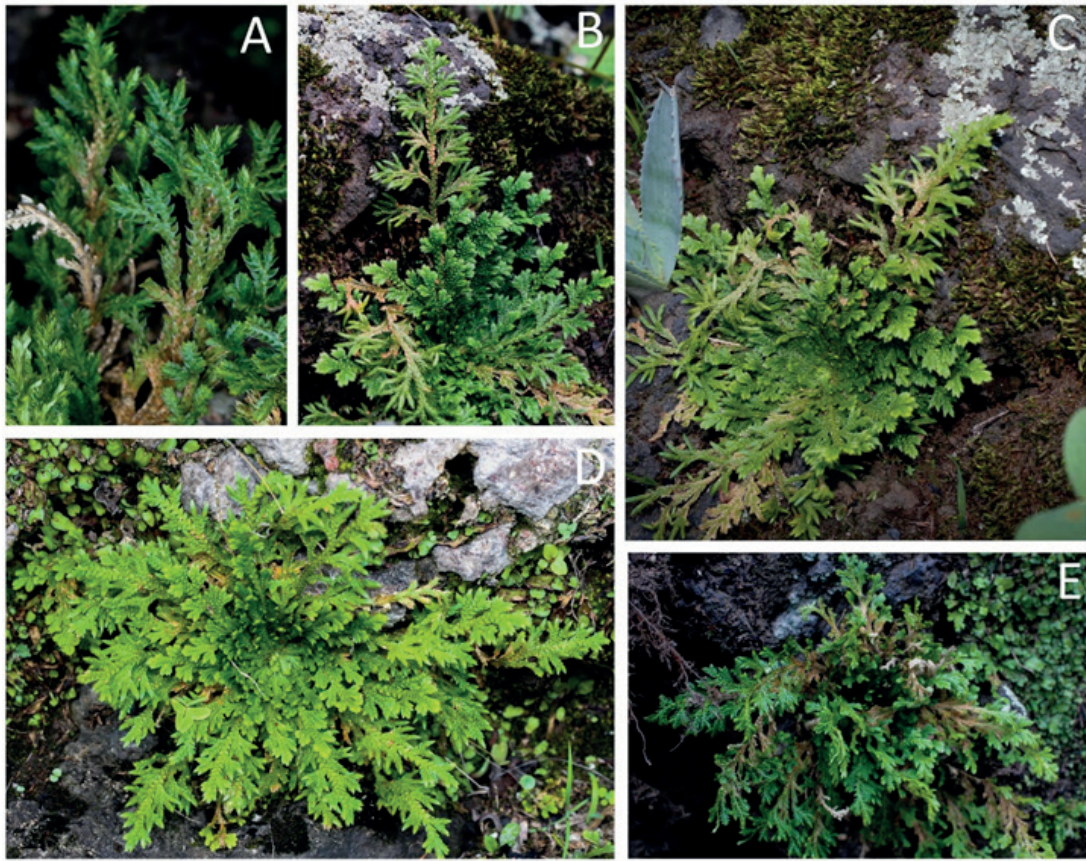


Figura 3: Diferentes Selaginellas anisófilas en su hábitat natural. En la 3C y 3D se muestra el crecimiento helicoidal.

microsporangios forman miles de microsporas, mientras que los megasporangios se caracterizan por formar cuatro megasporas funcionales en cada uno (Adame-González *et al.*, 2019). Las megasporas germinan endospóricamente y dan origen a los gametofitos femeninos y a los gametangios (arquegonios), cada arquegonio forma una ovo-célula o gameto femenino (oosfera). Las microsporas originan gametofitos masculinos endospóricos (dentro de la pared de la espora) reducidos a un anteridio, éstos formarán numerosos gametos masculinos biflagelados (anterozoides). Los gametos masculinos requieren de agua para trasladarse hasta el gametofito femenino y fecundar a la oosfera para formar el cigoto (2n) y con esto vuelve a

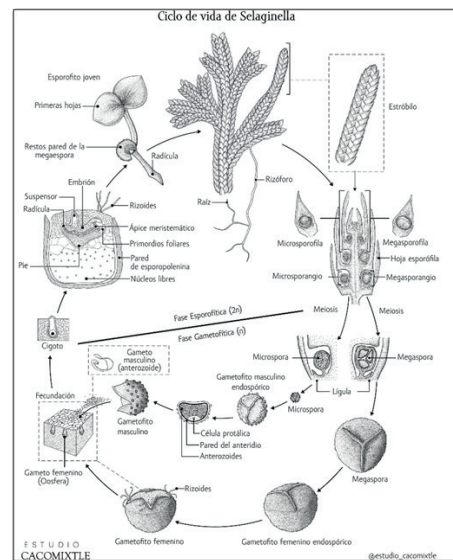


Figura 4: Ciclo de vida general de Selaginella.

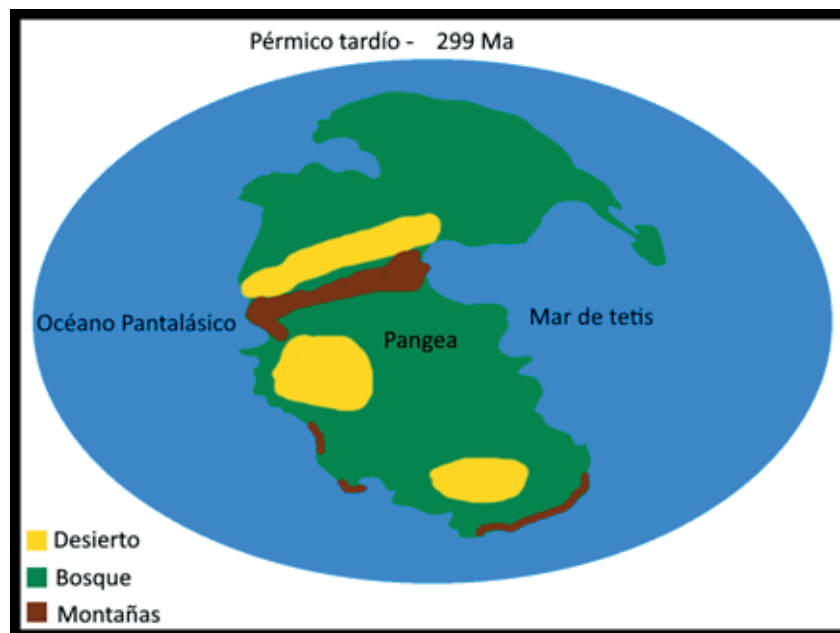


Figura 5. Distribución general de ecosistemas en Pangea. (Modificado del portal de la NASA, 2019 y Klaus et al., 2016).

iniciar la fase diploide ($2n$) o esporofítica. El cigoto dará origen a un embrión que se protege y se nutre del gametofito femenino hasta alcanzar la independencia y formar rizoides con raíces, tallos y hojas, cerrándose así el ciclo de vida. Una característica interesante en el ciclo es la permanencia de los gametofitos (tanto del femenino como del masculino) dentro de la pared de las esporas respectivas (gametofitos endospóricos), abriéndose y liberando a los anterozoides cuando éstos están maduros y dejando expuestos los arquegonios, también cuando éstos alcanzan la madurez. De esta forma, la pared de esporopolenina, uno de los biopolímeros más resistentes de la naturaleza, le proporciona protección a la fase más frágil del ciclo de vida de las plantas, a la fase gametofítica o productora de gameto. (Figura 4).

¿Cuándo surge *Selaginella*?

Se estima que el género se originó en el Devónico, hace alrededor de 383 millones de años (Figura 1). Aunque el macrofósil más

antiguo data del Carbonífero temprano, de entre 323 y 358 Ma. Se propone que los ancestros de *Selaginella* eran plantas arborescentes que evolucionaron a través de un proceso de variación en el hábito, el cual se fue modificando de un porte arborescente a uno arbustivo para al final decantar por el porte herbáceo que hoy en día es el que se presenta en el grupo (Figura 1).

Durante el Pérmico tardío hace unos 299 millones de años, en el supercontinente Pangea, ocurrió un efecto de isla caracterizado por tener un clima con alto contraste entre las zonas que tenían contacto con el gran océano y las que se localizaban al centro de Pangea. Esto produjo la fragmentación del género *Selaginella* en dos ambientes que propiciaron la adaptación ecológica del género a dos grandes ecosistemas, uno con bajas precipitaciones similar al de la sabana y matorrales y el otro con precipitaciones elevadas como el de las selvas tropicales, surgiendo así es-

pecies tolerantes a la desecación y otras que son sensibles al estrés hídrico (Klaus *et al.*, 2016). (Figura 5).

En México podemos encontrar especies de *Selaginella* tolerantes a la desecación en climas extremos como son los que presentan el Desierto de Chihuahua, la Cuenca del Balsas y la región de Tehuacán-Cuicatlán (Figura 6).

Adaptaciones morfo-anatómicas de las especies de *Selaginella* tolerantes a la desecación.

Las especies isófilas de *Selaginella* y las anisófilas con crecimiento en roseta (como *Selaginella lepidophylla*, comúnmente conocida como Doradilla) (Figura 3C y 3D), presentan varias modificaciones morfológicas que les permite desarrollarse en climas estresantes.

De acuerdo con Adame-González *et al.* (2019), en las plantas isófilas las hojas se distribuyen de forma helicoidal y muy apretada (con entrenudos muy cortos), provocando que las hojas se superpongan generando “autosombra” y mejorando la capacidad de la planta de minimizar la pérdida de agua por transpiración, además de proteger al tejido de daño oxidativo. Las hojas presentan una cutícula gruesa y las células de la epidermis tienen paredes engrosadas que evitan la pérdida de agua, además están cubiertas de ceras epicuticulares que las dotan de protección adicional al reflejar la incidencia de los rayos UV evitando el sobrecalentamiento que podría dañar el material genético. En el envés los estomas se concentran principalmente en la parte central de la lámina a lo largo de la hoja, en una zona hundida (conocida como surco estomático), y ocasionalmente rodeados por tricomas que los

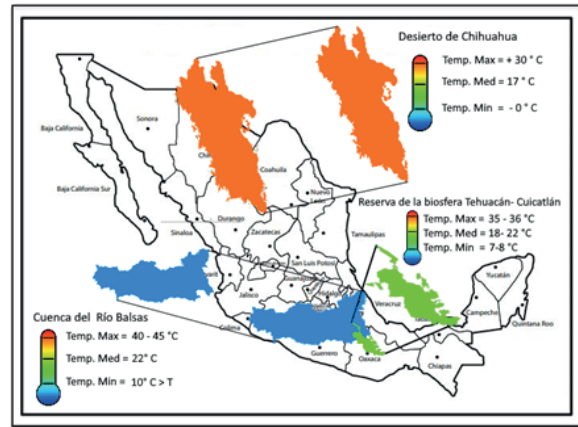


Figura 6: Áreas con climas extremos en donde se distribuyen especies de *Selaginella* con adaptaciones al estrés hídrico, altas temperaturas y alta incidencia lumínica. (Datos tomados de CONAMP, 2003, INECC, 2007, INEGI, n.f, CONAP y PNUD, 2020).

protegen y disminuyen la pérdida de agua por evapotranspiración. En el mesófilo, al interior de la epidermis inferior (envés), hay un par de zonas con tejido esclerenquimático que flanquea el surco estomático y que se extienden longitudinalmente, este tejido compensa la presión producida por la turgencia que causa la expansión o el plegamiento por deshidratación (como un acordeón) de acuerdo al potencial hídrico dentro de la planta.

Las especies de *Selaginella* con hojas anisófilas conocidas como plantas de la resurrección, presentan un crecimiento particular denominado “en roseta”, en éstas las hojas también se disponen apretadamente creando sombra entre ellas. Las hojas presentan una epidermis con paredes externas altamente engrosadas y con una cutícula muy gruesa, principalmente en la cara que queda expuesta cuando la planta está sometida a mayor estrés ambiental. En México tenemos nueve especies con este tipo de crecimiento, aunque la más estudiada es *S. lepidophylla*. En

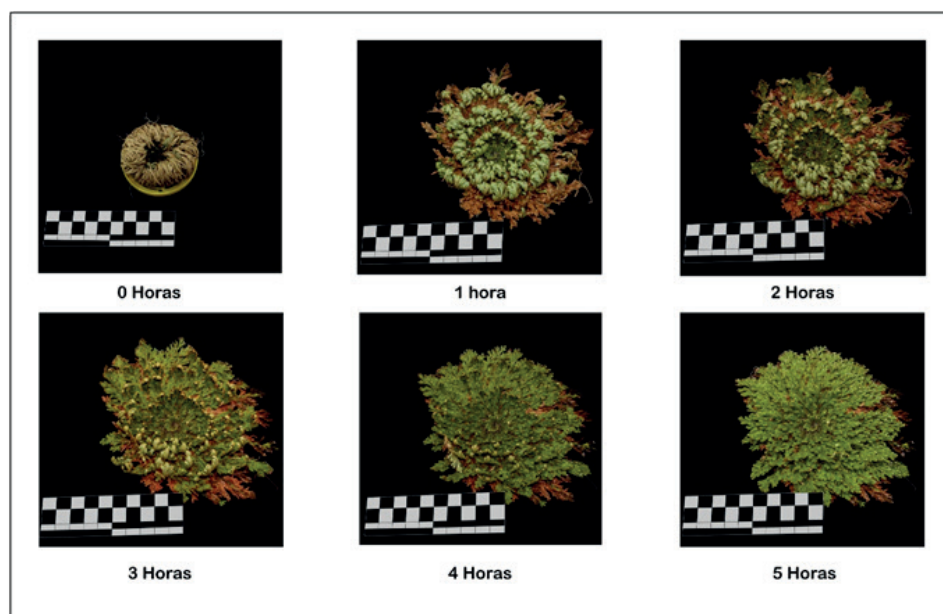


Figura 7: Proceso de rehidratación de *Selaginella lepidophylla*. El tiempo indicado en la base de cada fotografía indica el tiempo después de suministrar agua a la planta.

el crecimiento en roseta, las ramas surgen apretadamente formando una hélice sobre el rizoma principal, lo cual origina un crecimiento helicoidal que resulta en una roseta, en donde la zona principal de crecimiento queda ubicada en el centro de la planta, esta disposición de las ramas se puede observar cuando la planta está hidratada. (Figura 3).

El crecimiento en roseta les da ventajas a las *selaginellas* de la resurrección cuando se enfrentan al período seco del año que puede extenderse por varios meses. Durante esta época las ramas, que tienen una morfología aplanada y que crecieron apretadamente se curvan sobre sí mismas hacia el centro de la planta formando una “esfera” que protege al meristemo (zona de crecimiento) y la superficie fotosintética de daño por fotoirradiación, esta acción deja expuesta solo la cara abaxial de las hojas laterales más viejas, que además presentan una coloración grisácea que

refleja la luz para evitar el sobrecalentamiento. Cuando las condiciones hídricas son favorables, sus ramas se vuelven a extender en unas cuantas horas y se observa una planta con un aspecto fresco y verde a lo cual deben su nombre como plantas de la “resurrección”, exponiendo el haz o cara adaxial de las hojas (Figuras 3C, 3D y 7F).

Los movimientos de curvamiento y extensión que presentan las ramas de las *selaginellas* de la resurrección son posibles gracias a que en la zona del cortex de las ramas hay una distribución diferencial entre la zona del haz y la del envés en cuanto a la cantidad de lignina y hemicelulosa en los tejidos que conforman la zona del cortex. Esto produce un gradiente de rigidez a lo largo de la rama y entre las dos caras del tallo; teniendo mayor fuerza la cara superior y mayor flexibilidad la cara inferior. Además, Brulé *et al.* (2019) encontraron que hay una distribución diferencial de lignina y hemicelulosa entre los tallos

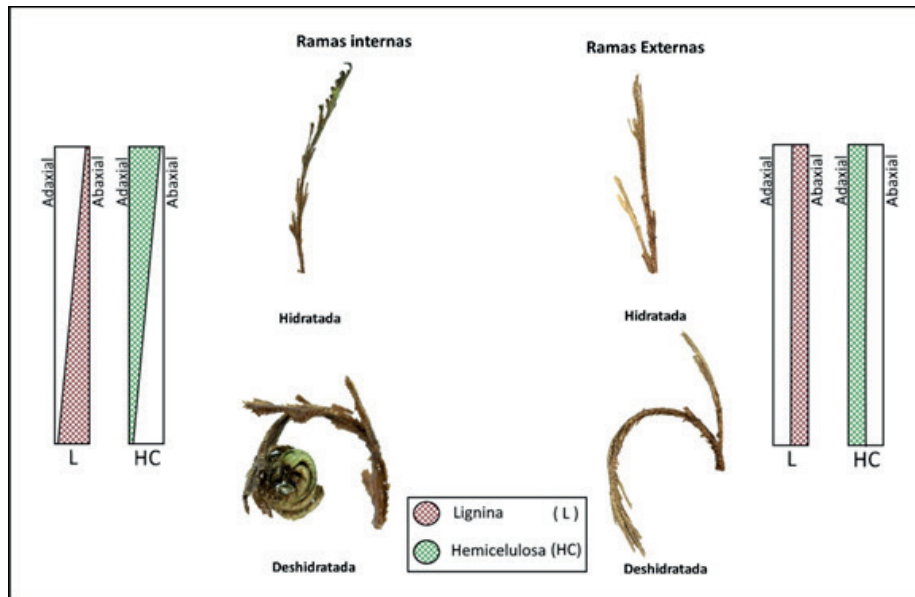


Figura 8: Distribución de lignina y hemicelulosa en las ramas de *Selaginella modificada* de Brulé et al. (2019).

internos y externos. Los tallos internos presentan mayor curvatura gracias a la presencia de lignina en la base, que decrece hacia la punta, mientras que la hemicelulosa decrece de las puntas a la base, dando así una zona altamente flexible en las puntas y en la base una zona más rígida. Mientras que en los tallos externos la variación se presenta entre la cara adaxial que presenta tejidos con paredes engrosadas de hemicelulosa y la cara abaxial con tejidos con paredes celulares engrosadas principalmente con lignina (Figura 8).

En cuanto a los tejidos de conducción en el tallo de *Selaginella*, éstos se arreglan en un cilindro vascular central con el xilema en el centro rodeado de floema formando lo que se conoce como una haplostela. El cilindro vascular puede estar separado de la zona del córtex por una laguna llena de aire, la evidencia sugiere que ésta se forma como consecuencia de la disminución del potencial hídrico en hasta un 80% menos en al-

gunas especies de *Selaginella*. La laguna de aire evita el colapso del tejido vascular por déficit de agua. La corteza y el periciclo están interconectados por trabéculas a través de los plasmodesmos. Adicionalmente se ha sugerido que las cavidades de aire almacenan CO₂, lo cual es una característica que pueden presentar las plantas con hábitat acuático o semiacuático, y que apoyaría la propuesta del origen de *Selaginella* en sitios húmedos o inundables. Según Green (2010), el almacenamiento de CO₂ en cavidades aéreas para su posterior utilización en el proceso fotosintético, podría representar una ruta fotosintética distinta a las conocidas C₃, C₄ y CAM, pero que de alguna forma puede ser comparada con el metabolismo CAM. Green la llamó “lycopsid photosynthetic pathway” o ruta fotosintética de las licópsidas.

El xilema en *Selaginella* está conformado generalmente por células conocidas como traqueidas, pero en algunas especies isófi-

las y en *S. lepidophylla* se han encontrado elementos de vaso que permiten entender su presencia a través de su funcionamiento en un hábitat xérico, ya que los vasos permiten conducir de manera más eficiente y rápida el agua una vez que ésta está disponible y reestablecer el metabolismo de la planta (Schneider y Carlquist, 2000).

Adaptaciones fisiológicas del género *Selaginella* a los ambientes con estrés hídrico:

Las *selaginellas* isófilas y las de la resurrección acompañan sus adaptaciones morfológicas y anatómicas para enfrentar los climas desafiantes, con cambios fisiológicos regulados genéticamente, que le confieren tolerancia al déficit de agua, a las altas temperaturas y a la alta incidencia lumínica. Además, le permiten la protección del aparato fotosintético y su pronta recuperación cuando el agua está disponible, estas adaptaciones juegan un papel crítico en la supervivencia de la planta.

Eunchae *et al.* (2021) identificaron a los genes ELIP, PPR, LEA, SNF, TTP, TPS y ABCG como los principales involucrados en la tolerancia a la desecación de la planta de la resurrección *S. tamariscina*. Los dos primeros están involucrados en la protección del fotosistema de la planta, mientras que LEA confiere a las estructuras bioquímicas reducción del daño oxidativo, SNF participa en la resistencia fisiológica de la planta, TTP y TPS participan en el metabolismo de los azúcares y ABCG en el metabolismo de las purinas y tiaminas (Tabla 2).

Adicionalmente existen proteínas anti-golpe de calor o HSP's (por sus siglas en inglés), que ayudan a la planta a protegerse de variaciones súbitas de temperatura

manteniendo la estabilidad metabólica y fotosintética (Wahid *et al.*, 2007) (Tabla 2).

| NOMBRE DEL GEN | ETAPA EN LA QUE SE REGULA | ACTIVIDAD PRINCIPAL |
|---|---|--|
| ELIP (proteínas inducidas por la luz temprana) | Regulado + en deshidratación y menos en rehidratación | Protección de las hojas durante el estrés lumínico y papel importante en la fotoprotección. |
| PPR (pentatricopéptidos repetidos) | -Deshidratación y +Rehidratación | Favorece el mantenimiento y desarrollo de los cloroplastos |
| LEA (Proteínas abundantes tardías de la embriogénesis) | En rehidratación | Resistencia a la desecación reduciendo el daño oxidativo de las estructuras bioquímicas después de la desecación |
| SNF (Proteínas de sacarosa no fermentada) | Rehidratación | Resistencia fisiológica de las plantas. Participa en la regeneración del metabolismo de carbohidratos (biosíntesis de almidón). |
| TTP (Trehalosa fosfato-fosfatasa) | Se activa en la rehidratación completa. | Codifica para la enzima que transforma a la Trehalosa-6-phosphato a Trehalosa. |
| TPS (trehalosa fosfo-sintetasa) | Se activa en la rehidratación completa | Involucrada en la formación de trehalosa. Codifica para la enzima que cataliza la formación de Trehalosa-6-phosphato desde el sustrato UDO-glucosa |
| ABCG (sub familia G de Transportadores dependientes de ATP) | En rehidratación | Actúan con ABA para regular la apertura y cierre de estomas en condiciones de estrés |

Tabla 2. Principales genes involucrados en la tolerancia a la desecación de *S. tamariscina* y su función principal. (Elaborada con base en Eunchae *et al.*, 2021 y Wahid *et al.*, 2007).

Mención especial merecen los genes involucrados en la vía de señalización de la fitohormona ABA (ácido abscísico), ya que éstos están directamente relacionados con la respuesta al estrés y juegan un papel crucial en la tolerancia a la sequía, reduciendo hasta en un 95% la pérdida de agua por transpiración al inducir el cierre estomático.

La acumulación de compuestos de bajo peso molecular que promueven el equilibrio osmótico en los tejidos vegetales sometidos a estrés, resulta en una estrategia efectiva contra la sequía, salinidad y altas temperaturas. *Selaginella*, almacena diversos compuestos para este fin, entre ellos polialcoholes como el sorbitol y xilitol, flavonoides y glutatión (Alejo-Jacuinde *et al.*, 2020), aminoácidos como la

prolina, aminos como la glicina-betaína (y otras enzimas antioxidantes (Tabla 3).

| COMPUESTO | FUNCIÓN |
|-------------------------|---|
| Sorbitol y xilitol | Actúan como osmoprotectores estabilizando la estructura de las proteínas. |
| Flavonoides y glutatión | Presentes en rutas metabólicas para evitar el estrés oxidativo. |
| Prolina y manitol | Aumentan la osmolaridad, controlando el agua que entra y sale de las células. |
| Glicina-betaína | Protege encimas y proteínas del fotosistema II |

Tabla 3. Principales osmolitos almacenados en *Selaginella*.

Toldi y colaboradores (2009) señalan que, aunque hay una drástica inhibición en la fotosíntesis, particularmente en la reducción de la eficiencia del fotosistema II en las especies de *Selaginella* en condiciones estresantes, éstas mantienen el contenido de clorofila de sus células sin variación significativa, por lo que se conocen como plantas homoioclorófilas. Esta condición conlleva a la producción continua de radicales libres también conocidas como especies reactivas del oxígeno (ROS) que pueden dañar la estructura y función celular. Las especies de *Selaginella* con alto estrés hídrico, han desarrollado sistemas de protección ante los ROS, utilizando enzimas como las superóxido-dismutasa (SOD), la cual es la única enzima en las plantas que es capaz de oxidar y reducir al mismo tiempo (dismutar). Otro antioxidante que regula la homeostasis de los (ROS), es el ascorbato, que protege a las membranas celulares. Los metabolitos secundarios como taninos, flavonoides, alcaloides y carotenoides ayudan a disminuir el efecto oxidativo en periodos largos de sequía.

La Trehalosa es un disacárido compuesto por dos moléculas de glucosas y con concentraciones elevadas en *S. lepidophylla* y en otras especies con tolerancia a la desecación. La Trehalosa funciona como se-

cuestrador de oxidantes, previene la desnaturalización de proteínas y detiene la fusión de membranas en la células. Además, produce el efecto de “vitrificación” del citoplasma, que en términos prácticos es similar a rellenar la célula con gelatina muy densa que atrapa todo en el interior, por lo que se aumenta la protección ante el daño físico y químico que pueda causar el déficit de agua. La “vitrificación”, genera que el citoplasma tenga mayor contención de la forma y función celular, previniendo daños en los tejidos o en los organelos de la célula, dotando de flexibilidad al momento del plegamiento propio de *Selaginella*, como respuesta ante la disminución del potencial hídrico.

Este importante funcionamiento en la protección celular durante la desecación en *Selaginella*, proviene de genes TPS (Trehalosa fosfato sintetasa) de origen microbial. La presencia de bacterias tiene un papel crítico en la supervivencia de la planta, tal como lo muestran los cultivos in vitro en condiciones estériles que, sin la presencia de los microorganismos resultó en un desarrollo limitado de *Selaginella* (Pampurova *et al.*, 2014). La presencia de microorganismos endófitos, principalmente de bacterias y hongos, se conserva tanto en las células secas como hidratadas de *Selaginella*.

Consideraciones sobre las adaptaciones de *Selaginella* a la tolerancia a la desecación

Las especies de *Selaginella* tolerantes a la desecación pueden no estar emparentadas entre sí, pero comparten características morfológicas, anatómicas, histológicas, fisiológicas y genéticas que les permiten sortear por años, las condiciones ciclicas de deshidratación severa y rehidratación e

inicio de su metabolismo unas horas después de estar en presencia de agua, lo anterior producto de la selección adaptativa a la que han estado sometidas a lo largo de su historia evolutiva.

Las grandes capacidades de “resurrección” de *Selaginella* frente a condiciones estresantes de agua, temperatura y luz, colocan a su biblioteca genómica como una propuesta notable para la exploración y futura aplicación de su conocimiento en la edición genética de cultivos de importancia para el ser humano, a través de transgénesis, que puede desarrollar genes exóticos estables y heredables para dotar de mejores herramientas a los cultivos para hacerlos más resistentes y con mejor uso del agua. Esto podría ser realmente importante ante las puertas del cambio climático, que traerá consigo menor acceso a recursos hídricos y climas más extremos en un futuro no muy lejano.

Ejemplo de esto son los estudios de Madhavi y colaboradores (2022) quienes encontraron en *S. lepidophylla* un factor de transcripción, que permite aumentar significativamente el crecimiento, desarrollo y eficiencia en el uso del agua en las plantas. Otra aplicación es la que se le da a la trehalosa, como un promotor de la actividad metabólica de proteínas en condiciones de estrés biótico, volviéndolo un producto de alta importancia en el desarrollo de productos comerciales para aumentar la osmoprotección en plantas ornamentales (Mascorro *et al.*, 2005).

Gracias al estudio y entendimiento de plantas sorprendentes como las *selagine-llas* de la resurrección y las isofilas, podemos obtener información útil para desarrollar tecnología y aplicaciones en los

cultivos de la actualidad, para prepararlos para el futuro, con mejores herramientas genéticas para sortear el inevitable escenario, donde la falta de agua y el aumento de la temperatura global, hagan de la termorresistencia y la tolerancia a la desecación, no solo una ventaja competitiva en el medio, sino también un factor selectivo y determinante en la producción de cultivos de importancia. Actualmente, ya se utilizan algunas aplicaciones del conocimiento sobre *Selaginella*, pero falta recorrer un largo camino para lograr un entendimiento más amplio y robusto sobre la tecnología aplicable a partir de plantas como esta.

Referencias:

1. Adame-González, A. B., Muñiz-DL, M. E., & Valencia-A. S., Comparative leaf morphology and anatomy of six *Selaginella* species (*Selaginellaceae*, subgen. *Rupestrae*) with notes on xerophytic adaptations. *Flora*, 260, 151482. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2019.151482> . 2019.*
2. Alejo-Jacuinde, G., González-Morales, S. I., Oropeza-Aburto, A., Simpson, J., & Herrera-Estrella, L., Comparative transcriptome analysis suggests convergent evolution of desiccation tolerance in *Selaginella* species. *BMC Plant Biology*, 20(1). <https://doi.org/10.1186/s12870-020-02638-3> . 2020.
3. Brulé, V., Rafsanjani, A., Asgari, M., Western, T. L. & Pasini, D., Three-dimensional functional gradients direct stem curling in the resurrection plant *Selaginella lepidophylla*. *Journal of The Royal Society Interface*, 16(159), 20190454. <https://doi.org/10.1098/rsif.2019.0454> , 2019.
4. Eunhae Kwon, Prakash Basnet, Neha Samir Roy, Jong-Hwa Kim, Kweon Heo, Kyong-Cheul Park, Taeyoung Um, Nam-

- Soo Kim & Ik-Young Choi, Identification of resurrection genes from the transcriptome of dehydrated and rehydrated *Selaginella tamariscina*, 16:12, DOI: <https://doi.org/10.1080/15592324.2021.1973703> , 2021.*
5. Gechev, T.S., van Breusegem, F., Stone, J.M., Denev, I. y Laloi, C., Reactive oxygen species as signals that modulate plant stress responses and programmed cell death. *BioEssays* 28, 1091-1101., <https://doi.org/10.1002/bies.20493> , 2006.
6. Green, W. A., The function of the Aerenchyma in arborescent lycopsids: Evidence of an unfamiliar metabolic strategy. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 277(1692), 2257–2267. <https://doi.org/10.1098/rspb.2010.0224> , 2010.
7. Iba, K., Acclimative response to temperature stress in higher plants: approaches of gene engineering for temperature tolerance. *Annu. Rev. Plant Biol.* 53:225-245., <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.53.100201.160729>, 2002.
8. J. O. Mascorro Gallardo, N. Avonce, G. Iturriaga., BIOTECNOLOGÍA DE LA TREHALOSA EN LAS PLANTAS Revista Chapingo. Serie horticultura, julio-diciembre, año/vol. 11, número 002 Universidad Autónoma Chapingo Chapingo, México pp. 193-202, 2005.
9. Klaus, K. V., Schulz, C., Bauer, D. S., & Stützel, T., Historical biogeography of the ancient lycophyte genus *Selaginella*: early adaptation to xeric habitats on Pangea. *Cladistics*, 33(5), 469–480. <https://doi.org/10.1111/cla.12184> , 2016.*
10. Madhavi A. Ariyaratne, Bernard W.M. Wone, Overexpression of the *Selaginella lepidophylla* bHLH transcription factor enhances water-use efficiency, growth, and development in *Arabidopsis*, *Plant Science*, Volume 315, 111129, ISSN 0168-9452, <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2021.111129>, 2022.
11. Martí, M.C., Camejo, D., Fernandez-García, N., Rellán-Aí lvarez, R., Marques, S., Sevilla, F. y Jiménez, A, Effect of oil refinery sludges on the growth and antioxidant system of alfalfa plants. *Journal of Hazardous Materials* 172, 879-885, <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.06.083>, 2009.
12. Mickel, J.T., A.R. Smith, & I.A. Valdespino Q., *Selaginella*. In: J.T. Mickel and Smith (eds.). *The pteridophytes of Mexico*. *Memoirs of the New York Botanical Garden*. 88: 550-602, 2004.
13. Nagesh, R., and V.R. Devaraj., High temperature and salt stress response in French bean (*Phaseolus vulgaris*). *Aust. J. Crop Sci.* 2:40-48, 2008.
14. Pampurova, S., Verschooten, K., Avonce, N. & Van Dijck, P., Functional screening of a cDNA library from the desiccation-tolerant plant *Selaginella lepidophylla* in yeast mutants identifies trehalose biosynthesis genes of plant and microbial origin. *Journal of Plant Research*, 127(6), 803-813. <https://doi.org/10.1007/s10265-014-0663-x> , 2014.*
15. Schneider, E. L., & Carlquist, S., SEM Studies on the Vessels of Heterophyllous Species of *Selaginella*. *The Journal of the Torrey Botanical Society*, 127(4), 263–270. <https://doi.org/10.2307/3088644> , 2000.
16. Schwacke, R., S. Grallath, K.E. Bre-

- itkreuz, E. Stransky, H. Stransky, W.B Frommer, and D. Rentscha., LeProT1, a transporter for proline, glycine betaine, and g-amino butyric acid in tomato pollen. *Plant Cell* 11:377-391., 1999.
17. Toldi O, Tuba Z, Scott P. Vegetative desiccation tolerance: Is it a goldmine for bioengineering crops? *Plant Sci* 2009;176:187–99, 2009.
18. Villaseñor, J. L., Checklist of the native vascular plants of Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 87(3), 29–30. <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2016.06.017>, 2016.
19. Wahid, A., S. Gelani, M. Ahsraf, and M.R. Fooland., Heat tolerance in plants: an overview. *Environ. Exp.Bot.* 61:199-223. 2007. * Lecturas recomendadas.



**¿Síndrome de ovario
poliquístico causado
por disruptores endocrinos?**

**María Fernanda González Camargo
Dra. María de los Angeles Martínez Martínez**
Facultad de Medicina UAEMéx

Resumen:

El síndrome de ovario poliquístico tiene múltiples causas por lo que todavía es difícil llegar a un diagnóstico certero y que por eso depende de un conjunto de variables clínicas y bioquímicas que ayudan a definirlo como síndrome.

Los disruptores endocrinos son factores de tipo ambiental que pueden desencadenar una desregulación hormonal como lo es el síndrome de ovario poliquístico y que dependerá mucho a qué condiciones estuvo expuesta y en qué momento de la vida estuvo; y juegan un papel fundamental en la regulación hormonal y que afecta también en el estilo de vida del paciente, por lo cual involucra mayor investigación en cuestión de la duración del efecto y en qué condiciones se encuentra el paciente para tomar acciones

Palabras clave: Síndrome de ovario poliquístico, disruptores, endócrinos

Summary:

Polycystic ovarian syndrome has multiple causes, which is why it is still difficult to reach an accurate diagnosis and for this reason it depends on a set of clinical and biochemical variables that help define it as syndrome.

Endocrine disruptors are environmental factors that can trigger hormonal dysregulation such as polycystic ovarian syndrome and that will depend a lot on what conditions you were exposed to and at what point in life you were; and they play a fundamental role in hormonal regulation and also affect the patient's lifestyle, which requires further investigation into the duration of the effect and under what conditions to take action at the moment the patient.

Keywords: Polycystic ovarian syndrome, disruptors, endocrine

Los disruptores endocrinos (DEs) son compuestos que alteran el funcionamiento normal del sistema endocrino tanto en los humanos como de la vida silvestre.

Son agentes químicos que interfieren en la síntesis, secreción, transporte y eliminación natural de hormonas en el cuerpo que son los responsables del mantenimiento y control de la homeostasis, reproducción y/o comportamiento que se encuentran tanto en el aire, en el agua, en el suelo donde se cultiva nuestro alimento.

Los DEs asemejan a la actividad hormonal actuando entre los receptores de las células que cumplen cierta función específica que necesita el cuerpo (Kabir et al., 2015) y compiten con las hormonas para ser captadas por los receptores de las células.

Una demostración sencilla sería a nivel celular, los receptores cumplen muchas funciones como la captación de insulina para tomar la glucosa para ser después convertida en energía, su afectación en estos receptores por haber captado a los disruptores pueden provocar la resistencia a la insulina como consecuencia de su exposición o tiempo de ingestión (Kabir et al., 2015)

Existen investigaciones relacionadas a la estrona y estradiol (responsables del desarrollo de las características sexuales femeninas) donde analizan cómo la regulación del ciclo menstrual puede ser afectada por distintos tipos de DEs durante los últimos 10 años (Kabir et al., 2015).

Mecanismo

Pero ¿Cómo actúan los disruptores endocrinos en los procesos hormonales?

Se ha demostrado que la exposición ante estos DEs como hormonas sintéticas pueden provocar la esterilidad, cambios de peso, desarrollo anormal de extremidades y miembros sexuales esto dependiendo en qué momento y la cantidad de DEs a la que fueron expuestos (Hu et al., 2018)

El Síndrome de Ovario Poliquístico (SOP) es un trastorno endocrino metabólico altamente prevalente y su presencia debe sospecharse en cualquier mujer en edad reproductiva (Srnovršnik et al., 2023)

Para considerar SOP se deben presentar al menos 3 de las siguientes características (Vanhauwaert, 2021):

- Hirsutismo (vello oscuro o grueso en la cara)
- Híper androgenismo (calvicie, voz gruesa, senos disminuidos, etc)
- Irregularidades menstruales
- Resistencia a la insulina (del 60 al 80% de los pacientes los presenta y juega un papel en las consecuencias metabólicas

con DM2, enfermedades cardiovasculares e hígado graso)

- Morfología poliquística (presencia de quistes)
- Infertilidad, entre otros.

Aunque no se conocen específicamente todos los mecanismos por los cuales se presenta el SOP, existe evidencia que sugiere que el medio ambiente combinado con predisposiciones genéticas o herencia pueden ser las causantes de dicho padecimiento (Jozkowiak et al., 2023)

SOP y disruptores endocrinos

El disruptor más conocido que está relacionado con el SOP es el Bisfenol A o también conocido como BPA que afectan a los receptores de nuestras células y provoque alteraciones en nuestro órganos y tejidos. Existen más disruptores endocrinos como los bifenilos poli bromados (BPB) que están presentes en los animales domésticos que también se acumulan en el tejido adiposo, muscular e hígado, el cual se puede encontrar en los alimentos que se consumen diariamente (Srnovršnik et al., 2023)

En la siguiente tabla se muestran algunos de los DEs que están asociadas a la regulación hormonal y/o el SOP

| Disruptores endocrinos | En donde se encuentran | Efectos hormonales |
|--|---|---|
| Bisfenol A | <ul style="list-style-type: none"> • Resinas de policarbonato contenedores de alimentos, botellas de agua, biberones, forros interiores, discos compactos, cajas, latas, adhesivos, partes de autos, filtros de agua, poliestirenos, etc. | <ul style="list-style-type: none"> • Disminución del recuento de folículos laterales. • Resistencia a la insulina. • Desregulación del ciclo celular. |
| Ftalatos | <ul style="list-style-type: none"> • Uso en la flexibilidad de plásticos. • Juguetes infantiles, suelos, cosméticos, envases de alimentos, productos de belleza, insecticidas, agua potable, cinturones, suelas de zapato y materiales de construcción. | <p>Alteran</p> <ul style="list-style-type: none"> • Desarrollo de las células germinales. • Niveles de hormonas infantiles y comportamiento. • Disminuyen la calidad del semen. • Endometriosis. • Relacionado con cáncer. |
| <p>Dioxinas</p> <p>Se consideran los peores tóxicos causados por el hombre</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Productos que se producen dentro de la combustión. • Plaguicidas. • Plásticos. • Piensos y alimentos. | <ul style="list-style-type: none"> • Problemas en la reproducción y desarrollo. • Interferencia con hormonas. • Asociados a cáncer. |

(Kabir et al., 2015; Zhan et al., 2023)

Conclusiones:

Algunas de las recomendaciones relacionadas a la alimentación que se han difundido son el uso de materiales como vidrio y fibras naturales, evitar el consumo de alimentos ultraprocesados, preferir alimentos frescos y naturales y mantener medidas de higiene tanto personales como con los alimentos.

En el área de producción de alimentos se recomienda evitar el uso de pesticidas y otros químicos o productos que contengan parabenos; es necesario establecer políticas internacionales respecto al uso de sustancias disruptoras en toda la industria.

Así mismo es importante considerar las investigaciones sobre disruptores no solamente en mujeres embarazadas o con SOP, sino en toda la población incluyendo también efectos en el medio ambiente; un ejemplo sería, identificar cantidad de disruptores acumulados en personas que tienen obesidad contra quienes están “aparentemente” sanos y así llegar a una intervención más clara y certera para establecer medidas de prevención y tratamiento.

Cuantificar los niveles de los disruptores en diferentes tejidos y órganos permitiría establecer evidencia sobre el daño general que causan, ya que se encuentran presentes en casi todo lo que nos rodea.

Referencias:

Hu, Y., Wen, S., Yuan, D., Peng, L., Zeng, R., Yang, Z., Liu, Q., Xu, L., & Kang, D. (2018). The association between the environmental endocrine disruptor bisphenol A and polycystic ovary syndrome: a systematic review and meta-analysis. In *Gynecological Endocrinology* (Vol. 34, Issue 5, pp.

370–377). Taylor and Francis Ltd. <https://doi.org/10.1080/09513590.2017.1405931>

Jozkowiak, M., Piotrowska-Kempisty, H., Kobylarek, D., Gorska, N., Mozdziak, P., Kempisty, B., Rachon, D., & Spaczynski, R. Z. (2023). Endocrine Disrupting Chemicals in Polycystic Ovary Syndrome: The Relevant Role of the Theca and Granulosa Cells in the Pathogenesis of the Ovarian Dysfunction. In *Cells* (Vol. 12, Issue 1). MDPI. <https://doi.org/10.3390/cells12010174>

Kabir, E. R., Rahman, M. S., & Rahman, I. (2015). A review on endocrine disruptors and their possible impacts on human health. In *Environmental Toxicology and Pharmacology* (Vol. 40, Issue 1, pp. 241–258). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2015.06.009>

Srnovršnik, T., Virant-Klun, I., & Pinter, B. (2023). Polycystic Ovary Syndrome and Endocrine Disruptors (Bisphenols, Parabens, and Triclosan)—A Systematic Review. *Life*, 13(1), 138. <https://doi.org/10.3390/life13010138>

Vanhauwaert, P. S. (2021). Síndrome de ovario poliquístico e infertilidad. *Revista Médica Clínica Las Condes*, 32(2), 166–172. <https://doi.org/10.1016/j.rm-clc.2020.11.005>

Zhan, W., Tang, W., Shen, X., Xu, H., & Zhang, J. (2023). Exposure to bisphenol A and its analogs and polycystic ovarian syndrome in women of childbearing age: A multicenter case-control study. *Chemosphere*, 313. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.137463>

A photograph of a pink lotus flower bud in a pond, surrounded by large green leaves. The flower is in the center, and the leaves are in the foreground and background. The text is overlaid on the image.

Anatomía y arquitectura foliar: caso del género *Zanthoxylum* (Rutaceae)

Dra. Agustina Rosa Andrés Hernández

Dr. David Martínez Moreno

Dr. Daniel Sihuanca Mendoza

Ana Laura García Gutiérrez

Facultad de Ciencias Biológicas de la Benemérita

Universidad Autónoma de Puebla.

Resumen

La anatomía vegetal es una disciplina biológica que estudia las estructuras morfo-anatómicas; facilita el entendimiento de dichas estructuras a través del tiempo y su interrelación con el ambiente; lo que contribuye a la resolución de problemas en áreas como botánica y ecofisiología, nos proporciona información y datos que suministran soluciones tentativas para los aspectos taxonómicos.

En este trabajo se aborda un ejemplo del uso de estos caracteres foliares en 12 especies mexicanas del género *Zanthoxylum*. El método empleado fue la diafanización de hojas y microtecnica de anatomía de inclusión en parafina para la obtención de cortes histológicos. Las especies se caracterizan por la presencia de glándulas de aceite, diversidad en los tricomas (simples, multicelulares, estrellados y peltados); se reconocen patrones en la disposición de las glándulas y se describen caracteres de la anatomía de las hojas como formas del pecíolo, sistema vascular, presencias de fibras y parénquima en empalizada con uno o dos estratos. Se observa una mayor diversidad de formas en las especies mexicanas.

Abstract

Plant anatomy is a biological discipline that studies morpho-anatomical structures; facilitates the understanding of these structures over time and their interrelation with the environment; which contributes to problem solving in areas such as botany and ecophysiology through the study of structure, provides us with information and data that offer tentative solutions for taxonomic aspects. This paper addresses an example of the use of these leaf characters in 12 Mexican species

of the genus *Zanthoxylum*. The method used was the diafanization of leaves and anatomy microtechnique of inclusion in paraffin to obtain histological cuts. Species are characterized by the presence of oil glands, diversity in trichomes (simple, multicellular, starry, and pelted); patterns are recognized in the arrangement of the glands and characteristics of the leaf anatomy are described as petiole forms, vascular system, presence of fibers and parenchyma in palisade with one or two stratum. A greater diversity of forms is observed in Mexican species.

Palabras clave: Glándulas, patrones de venación, mesófilo, pecíolo.

Keywords: Glands, vein patterns, mesophyll, petiole.

Introducción

La hoja es el órgano que puede proporcionar un gran número de evidencias y parámetros morfo-anatómicos que pueden ser utilizados para caracterizar y/o resolver aspectos taxonómicos a nivel de género o especies como los grupos de *Bursera* y *Rhus*. El caso de estudio pertenece a la familia Rutaceae contiene a miembros de importancia económica, es una familia que tiene entre 1600 a 1900 especies aproximadamente (Grosso *et al.*, 2008), la mayoría de las especies de esta familia son de clima tropical y subtropical, es más numerosa en América. La mayoría son especies leñosas, con hojas alternas u opuestas, sin estípulas, simples, palmado o pinnado-compuestas, con espinas. Las hojas con glándulas translúcidas, aromáticas, con puntos translucidos en las hojas (limonoides), responsables de los olores en cada especie; este carácter organoléptico es utilizado para reconocer

a la familia en el campo (Miranda *et al.*, 2000 y Judd *et al.*, 2002).

El género *Zanthoxylum* consta de 200 especies principalmente de distribución pantropical en adición con otras especies de regiones templadas del oeste de Asia y Norteamérica. Se reconocen cinco secciones (*Zanthoxylum*, *Tobinia*, *Pterota*, *Macqueria* y *Novo*) con base en las estructuras florales (Reynel, 1995), de las cuales se tienen representantes en México (tabla 1). En cuanto a sus estructuras foliares, sus hojas son alternas, comúnmente pinnadas; pubescentes o glabras, los folíolos opuestos o alternos, la presencia de glándulas es evidente al mirarla a contraluz, su margen puede ser oblicuo, crenado, crenulado, aserrado o entero, los peciolo y raquis pueden ser alados o no. En México se reportan 17 especies (Porter, 1976 y Reynel, 1995).

Metcalfé y Chalk (1957 y 1979) reconocen en *Zanthoxylum*, peciolo de forma circular, epidermis con células mucilaginosas, tricomas glandulares multicelulares, un sistema vascular cerrado, y cristales presentes en córtex; en el mesofilo presenta cavidades secretoras y células de aceite. Se ha reportado para especies Africanas con tricomas unicelulares, pluricelulares, glándulas esquizogénas rodeadas de células epiteliales con secreciones amarillas y

rojas; en el mesofilo de la hoja varios estratos de parénquima en empalizada (Ogundipe 2002, Arambarri *et al.*, 2006).

En cuanto a la arquitectura foliar, Dede (1962) presentó el primer estudio de los patrones de venación en la familia Rutaceae, delimitó siete patrones de venación. Tipo I: “rayos de sol” donde las cavidades secretoras forman un anillo, borde se encuentra envuelto por vénulas, tipo II: “abierto” las cavidades se localizan en los márgenes del foliolo rodeados por las venas; tipo III anillo abierto en el margen, las vénulas están en contacto con el borde de la cavidad secretora sin embargo estas lo rodean en forma de un anillo discontinuo.

Los estudios de anatomía foliar para el género *Zanthoxylum* (Rutaceae) son escasos y no se han reportado trabajos para las especies Mexicanas. Se considera importante la investigación de estas estructuras como posible fuente de evidencias taxonómicas para el género, además, México al poseer una fisiografía muy particular, es considerado como centro de diversificación para el género *Zanthoxylum*.

Materiales y método.

Para este estudio se usó principalmente material herborizado de la colección del herbario MEXU; y material fresco producto de colectas botánicas en el estado de

Cuadro 1. Especies trabajadas obtenidas de herbario MEXU y colecta botánica.

| Sección <i>Tobinia</i> | Sección <i>Macqueria</i> |
|---|---------------------------------|
| <i>Z. procerum</i> Donn. Sm. | <i>Z. arborescens</i> Rose |
| Sección <i>Zanthoxylum</i> | <i>Z. belizense</i> Lundell |
| <i>Z. purpusii</i> T.S. Brandeg Aff. | <i>Z. elephantiasis</i> Macfad. |
| <i>Z. anodynum</i> A. Moli. | <i>Z. mayanum</i> Standl. |
| Sección <i>Pterota</i> | <i>Z. microcarpum</i> Griseb. |
| <i>Z. elegantissimum</i> Engl. | <i>Z. melanostictum</i> C. & S. |
| <i>Z. liebmanianum</i> (Engl.) P. Wils. | |
| <i>Z. culantrillo</i> H.B.K. | |

Cuadro 1. Especies trabajadas obtenidas de herbario MEXU y colecta botánica.

Puebla (Cuadro 1), del material herborizado se tomaron folíolos y pecíolos de tres especímenes distintos por especie; los cuales se hidrataron con hidróxido de sodio para su posterior y se fijo en formol-ácido acético-alcohol-agua (FAA). En cuanto al material colectado se obtuvieron tres especímenes por cada especie.

Trabajo de laboratorio.

Las muestras fijadas se colocaron en cassettes de inclusión, se deshidrataron en alcoholes graduales hasta 100%, para incluir en parafina; se cortaron con un micrótopo de deslizamiento (marca Leica), a 9-12 μm ; los cortes se tiñeron con safranina-verde rápido y se montaron con resina sintética marca Hycel (Ruzin, 1999 y Sandoval, 2005).

Resultados

En la anatomía del pecíolo y láminas se re-

conocieron tricomas unicelulares, pluricelulares, peltados y glandulares multicelulares, siendo los tricomas unicelulares los más comunes; se encontraron dos tipos de cutícula lisa y estriada; en cuanto a la presencia de glándulas las secciones Macqueria, *Zanthoxylum* y *Pterota* se encuentran asociadas al córtex, siendo la sección Macqueria la que tiene un mayor número de glándulas (de dos a seis), las que no presentan glándulas son la sección Tobinia y *Z. elegantissimum* (*Pterota*); sistema vascular cerrado; xilema con fibras; médula parenquimática; las especies presentan fibras perivasculares discontinuas en la mayoría, así como la presencia de material ergástico como contenidos oscuros y cristales prismáticos (Fig. 1A-F). *Tobinia*, *Zanthoxylum* y *Pterota* presentan un solo estrato de parénquima en empalizada. Sin embargo la sección Macqueria presenta dos estratos de parénquima en empalizada (Fig. 2A-D).

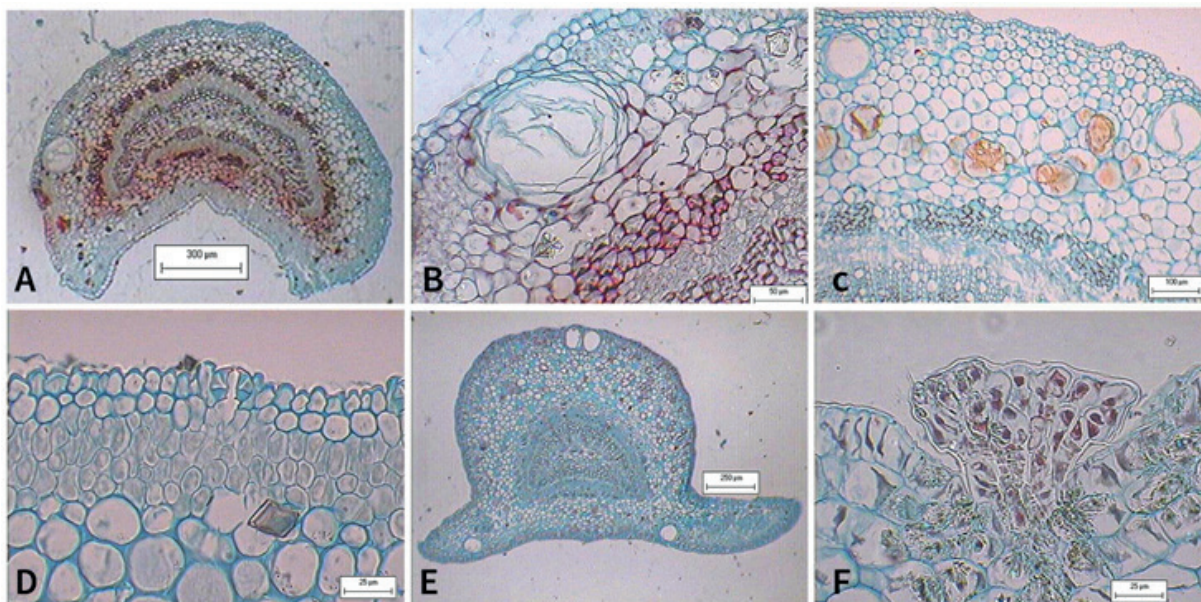


Figura 1. Anatomía de pecíolo de especies de *Zanthoxylum*, todas con glándulas de aceite. A-B. *Z. culantrillo*, pecíolo tipo lenticular, con sistema vascular cerrado y fibras perivasculares. C. *Z. procerum* presenta el córtex con contenidos rojos. D. *Z. liebmanianum* presenta en córtex un tipo especial de córtex (tipo empalizada) y se observa un cristal prismático y con presencia de hipodermis. E. *Z. mayanum*, pecíolo lenticular con alas. F. *Z. melasnostictum* con tricoma peltado.

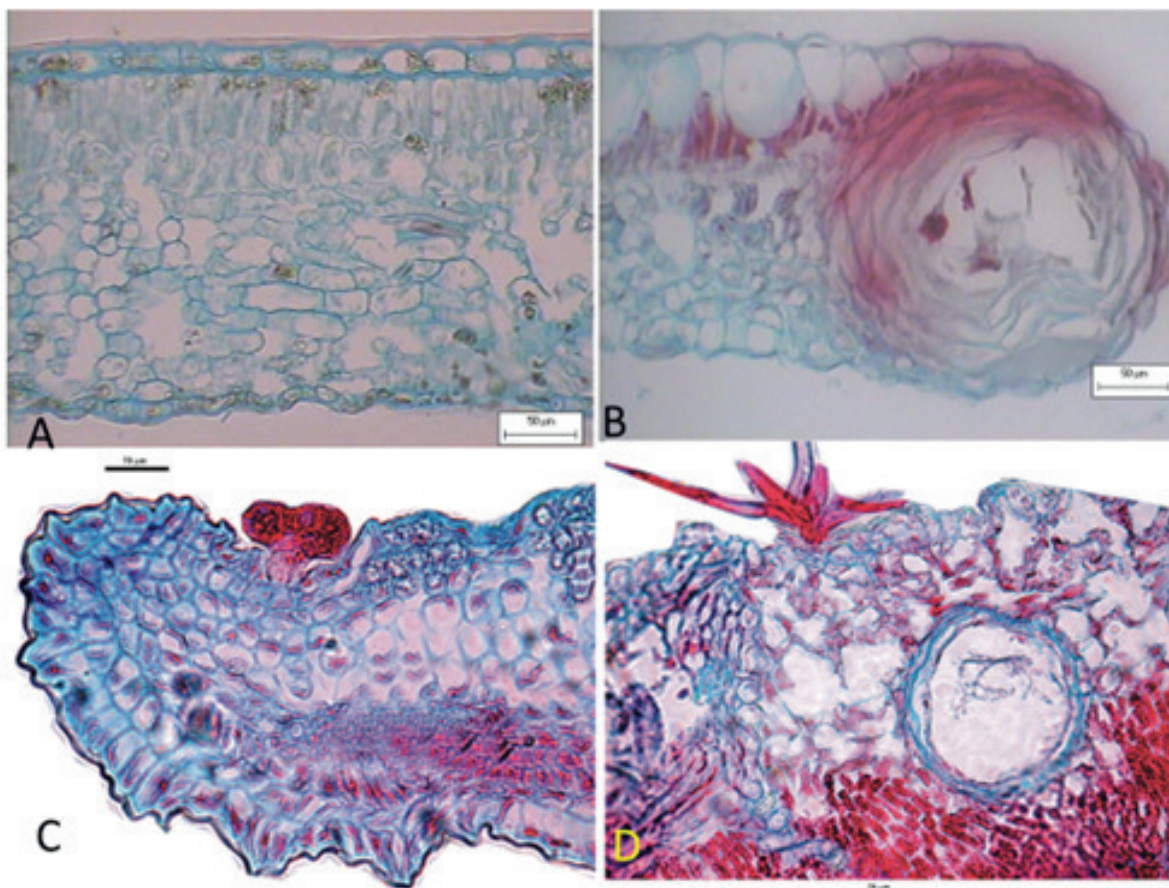


Figura 2. Láminas de las hojas de *Zanthoxylum*. A. *Z. liebmanianum* con dos estratos de parénquima en empalizada. B. *Z. elegantissimum* con glándulas en el margen, C. *Z. procerum* con tricomas glandulares y D. tricoma estrellado de *Z. belizense*.

En cuanto a los patrones de venación las hojas son pinnadas con margen entero ondulado y aserrado, con patrón de venas broquidóromo y venación terciaria reticulada y ramificada. Las venulas son simples y ramificadas se forman areolas sin forma definida. En cuanto a las glándulas algunos especímenes tienen escasos o no tienen glándulas (Fig 3. B, C, D, E, G). En las especies donde hay abundantes glándulas se reconoce el tipo I, donde la glándula es rodeada por una vena (Fig. 2 A); tipo II donde las venulas caen libres en la glándula (Fig. C); tipo III. Glándulas dentro de areolas (F y G);

tipo IV Glándulas sobre las venas (H,I) y en el margen además varias tienen en el margen (Fig. D; E, H).

Discusión

Metcalfe y Chalk (1957) mencionan que *Zanthoxylum* presenta la forma del pecíolo circular. Sin embargo, en este trabajo se reconocieron dos tipos más en la forma del pecíolo, predominando la forma lenticular y con alas. En este trabajo se encontró que la sección Tobinia y algunas especies de la sección Macqueria y Pterota presentan epidermis papilosa, como lo reportan Metcalfe y Chalk (1957) pero

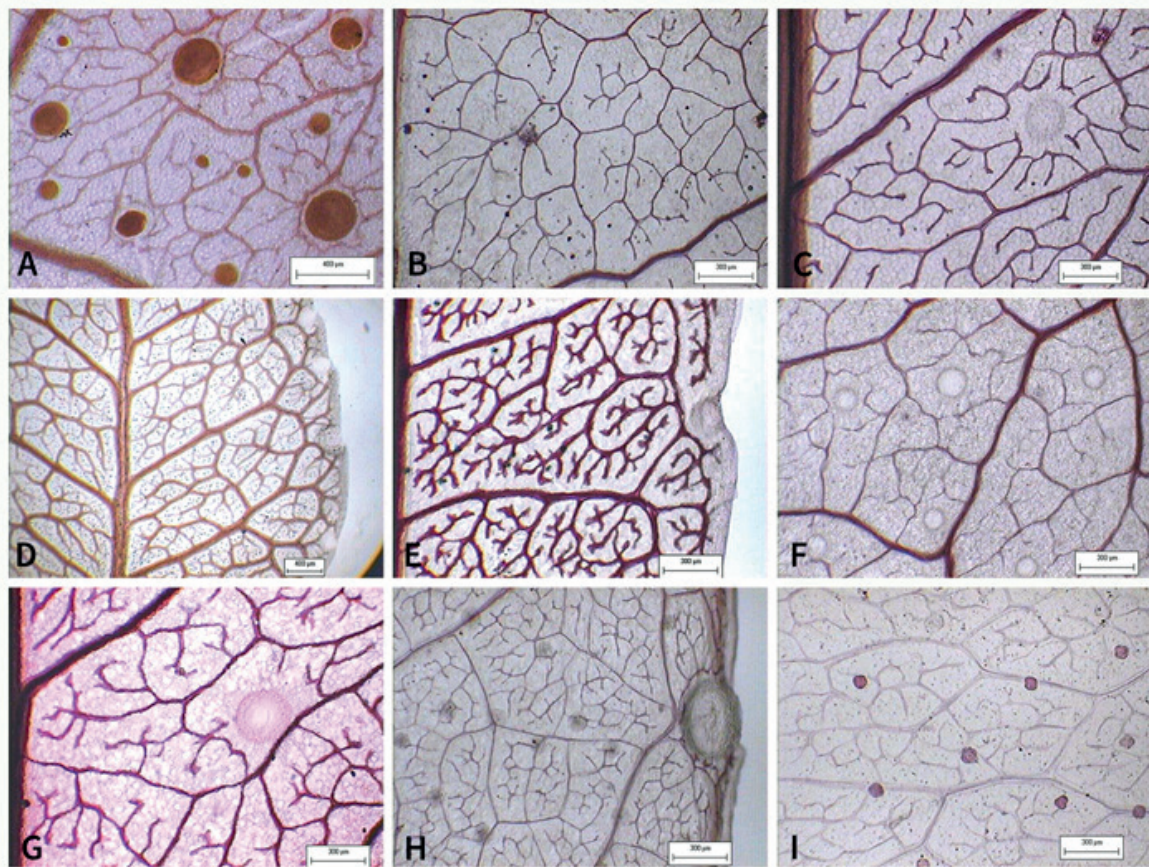


Figura 3. Patrones de venación de las especies de *Zanthoxylum*. A. *Z. microcarpun* con glándula tipo I. B. *Z. culantrillo* con escasas glándulas o nulas. C. *Z. elegantissimum* con glándulas tipo II. D. *Z. liebmanianum* y E. *Z. melanostictum* con glándulas en el margen. F-G. *Z. monophyllum* con glándulas tipo III. H-I. *Z. clava-herculis* con glándulas tipo IV.

en *Z. liebmanianum* de la sección Pterota presenta hipodermis, su presencia infiere funciones termoreguladoras y/o protección (Dickison, 2000 y Rudall, 2007). Con respecto a los tricomas; se reconocen una diversidad de tricomas unicelulares, pluricelulares, estrellados, peltados y glandulares multicelulares, siendo los tricomas unicelulares los más comunes, Además en este trabajo la sección *Zanthoxylum*, así como las especies *Z. elegantissimum* (Pterota) y *Z. elephantiasis* (Macqueria) son glabras, debido a que los tricomas pueden ser efímeros y perderse a lo largo de la vida de las plantas

(Dickison, 2000 y Evert, 2006). Las secciones Tobinia, *Zanthoxylum*, Macqueria y *Z. elegantissimum* (Pterota) presenta un solo tipo de parénquima mientras que las especies *Z. liebmanianum* y *Z. culantrillo* de la sección Pterota se encontraron dos tipos de parénquima en su córtex, a lo cual este tejido es considerado una novedad evolutiva dentro del género. Las especies generalmente presentan células oleíferas asociadas al córtex. En cuanto a la presencia de glándulas las secciones Macqueria, *Zanthoxylum* y Pterota se encuentran asociadas al córtex, siendo la sección Macqueria la que tiene un

mayor número de glándulas (de dos a seis), las glándulas tienen la función de reserva, defensa y protección por medio de las secreciones que producen (Dickison, 2000 y Evert, 2006). El sistema vascular del pecíolo en todas las secciones es cerrado como lo describen Metcalfe y Chalk (1957) y Arrambari *et al*, (2006). El crecimiento secundario es frecuente en la sección Tobinia, *Z. elegantissimum* (Pterota), *Z. arborescens*, *Z. elephantiasis*, *Z. belizense* y *Z. mayanum* (Macqueria). La mayoría de las especies presenta fibras perivasculares y la disposición mayormente encontrada fue discontinua, en menor proporción cubriendo al cilindro vascular, cuya función principal es mecánica y a veces de protección, es poco frecuente que no presenten fibras perivasculares. La mayoría de las especies presentan material ergástico; los taninos ofrecen protección al protoplasto contra la desecación, putrefacción y destrucción por ramoneo o ataque de insectos, los cristales prismáticos y drusas son depósitos de calcio los cuales su función aun no ha sido bien determinada pero se lo que se sabe es que ayudan a la formación de cámaras aéreas, actúan como soporte estructural, dispersores o concentradores de los rayos luminosos y también poseen la capacidad para regular los procesos de transporte de calcio a través de la membrana plasmática (Evert, 2006).

Todas las especies presentan epidermis uniestratificada, Ogundipe (2002) para las especies Africanas solo reporta tricomas unicelulares y pluricelulares mientras que en este trabajo se reconoce mayor diversidad de tricomas como en el pecíolo. Ogundipe (2002) para las especies Africanas reporta de uno hasta cuatro estratos para el parénquima en empalizada, en

este estudio las especies de la secciones Tobinia, *Zanthoxylum* y Pterota presentan un solo estrato de parénquima en empalizada. Sin embargo, la sección Macqueria presenta dos estratos de parénquima en empalizada. En las especies descritas en este trabajo se encontraron células oleíferas asociadas al parénquima en empalizada, este carácter ya ha sido reportado por Metcalfe y Chalk (1957), Ogundipe (2002) y Arrambari *et al*, (2006).


En los patrones de venación las especies mexicanas reportan los mismos patrones descritos por (Dede, 1962).

Aunque *Zanthoxylum* es un género con numerosas especies, las especies mexicanas presentan en su anatomía mayor variabilidad, mientras que en los patrones de venación son caracteres comunes a los ya descritos por otros autores.

Bibliografía

1. Arrambari, A.M., Freire, S.E., Colares, M.N., Bayón, N.D., Novoa, M.C., Monti, C. y Stenglein, S.A. Leaf anatomy of medicinal shrubs and trees from gallery forests of the Paranaense province (Argentina). Part 1. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica* 41(3-4): 233- 268, 2006.
2. Dede, A.R. Venation Patterns in the Rutaceae. *American Journal of Botany* 49 (5): 490 – 497, 1962.
3. Dickison, W.C. 2000. Integrative plant anatomy. San Diego. Academic Press, 2000 pp. 533.
4. Evert, R.F. 2006. Esau's Plant Anatomy: Meristems, Cells, and Tissues of the Plant Body: Their Structure, Function,

- and Development, third Edition. Wiley Interscience, 2006, pp. 624.
5. Groppo, M., Pirani, J.R., Salatino M.L., Blanco, S.R. y Kallunki, J.A. Phylogeny of Rutaceae based on twononcoding regions from cpDNA. *American Journal of Botany* 95 (8):985-1005, 2008.
 6. Judd, W.S., Campbell, C.S., Kellogg, E.A., Stevens P.F. y Donoghue, M.J. Plant systematics: A phylogenetic approach. Second edition. Sinauer Associates, 2002, pp.611.
 7. Metcalfe, C.R. y Chalk, L.C. Anatomy of the Dicotyledons 1. Clarendon Press, Oxford, 1957, pp. 724.
 8. Metcalfe, C.R. y Chalk, L.C. Anatomy of the Dicotyledons 1. Volume I. Clarendon Press, Oxford, 1979, pp. 276.
 9. Miranda, D.E., Bohren, V.A., Keller, H., Grance, L.A. y Gartland H.M. A key to recognize woody species of the Rutaceae family in the Paranaense Forest. Argentina. through dendrological features. *Quebracho* 8(1): 47-55, 2000.
 10. Ogundipe, O.T. Leaf anatomical studies on eleven species of *Zanthoxylum* Linn. (Rutaceae). *Phytomorphology* 52(2): 103-112, 2002.
 11. Porter, D.M. *Zanthoxylum* (Rutaceae) in North America North of Mexico. *Brittonia* 28 (4): 443-447, 1976.
 12. Reynel, C. Systematics of neotropical *Zanthoxylum* L. (Rutaceae) with account on the wood anatomy of genus. University of Missouri-St. Louis, 1995.
 13. Rudall, P.J. Anatomy of flowering plants: And introduction to structure and development. Third edition. Cambridge University Press, 2007, pp. 145.
 14. Ruzin, S.E. Plant microtechnique and microscopy. New York, United States of America. Oxford University Press, 1999, pp. 322.
 15. Sandoval, Z.E. 2005. Técnicas aplicadas al estudio de la anatomía vegetal. Cuaderno No 38. Instituto de Biología de la Universidad Autónoma de México, 2005, pp. 277.



El océano, la física y la aproximación de Stommel

Dr. Jorge Castro López
Bárbara Zavala Trujillo
Instituto de Recursos, Campus Puerto Ángel, Universidad del Mar

Resumen

Henry Stommel (1948) propone el primer modelo matemático para explicar la circulación superficial del agua en el océano Atlántico norte, este modelo se caracteriza por su sencillez y elegancia para desarrollar su ecuación dictaminante, lo que se considera en este trabajo como una ventaja y una ventana de oportunidades para un primer acercamiento a la oceanografía física a estudiantes de ciencias e ingenierías. Stommel usa las ecuaciones básicas de la dinámica de fluidos, el efecto Coriolis y los esfuerzos del viento, por lo que, el objetivo de este trabajo es presentar de manera desglosada estos principios físicos, así como los conceptos y herramientas matemáticas para proporcionar una práctica pedagógica actualizada.

Palabras clave: Atlántico norte, práctica pedagógica, oceanografía física, Coriolis.

Abstract

Henry Stommel (1948) proposes the first mathematical model to explain the surface circulation of water in the North Atlantic Ocean, this model is characterized by its simplicity and elegance to develop its governing equation, which is considered in this work as an advantage and a window of opportunities for a first approach to physical oceanography for science and engineering students. Stom-

mel uses the basic equations of fluid dynamics, the Coriolis effect and the efforts of the wind, hence so, the objective of this work is to present these physical principles in a detail way, as well as the mathematical concepts and tools to provide a pedagogical practice.

Keywords: North Atlantic, pedagogical practice, physics oceanography, Coriolis.

Introducción

En el Atlántico norte, y en las grandes cuencas, la circulación superficial del agua del océano se conforma por un circuito cerrado o giro, y algo importante que se ha observado en esta circulación superficial es la asimetría que existe en las corrientes de la frontera este con respecto de las de la frontera oeste, Figura 1. Se ha documentado (Salmon, 1998) que las corrientes de la frontera oeste, son corrientes intensas, angostas y profundas que fluyen hacia el norte, transportando aguas cálidas a los polos; en cambio, las corrientes de la frontera este, son amplias, someras y débiles, que fluyen hacia el sur transportando agua fría. Pero ¿cuál es la razón de que exista esta asimetría? En este trabajo se pretende aprovechar el modelo realizado por Henry Stommel en 1948 para hacer un acercamiento e introducción al estudio de la física que explica esta asimetría en las corrientes.

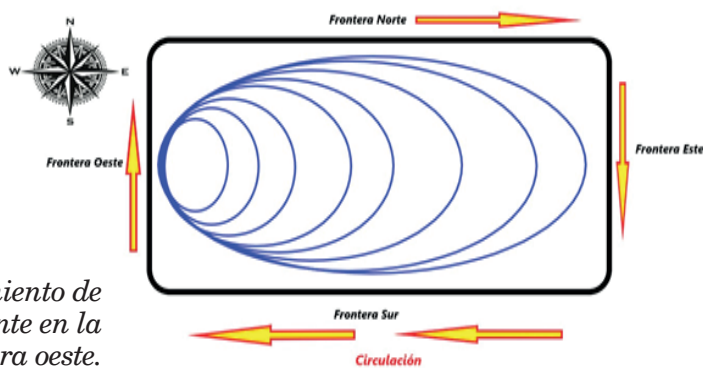


Figura 1. Apilamiento de las líneas de corriente en la frontera oeste.



Figura 2. Corriente del Golfo (1), Corriente de las Canarias (2), Corriente Ecuatorial (3)

Antecedentes oceanográficos

En la Figura 1, se aprecia que la circulación superficial de los océanos forman un giro, el cual, es conocido como giro oceánico. El fenómeno del apilamiento de las líneas de corriente en la frontera oeste, que corresponde a una intensificación del flujo se presenta tanto en el océano Atlántico como en el océano Pacífico. En el Atlántico norte a la corriente que representa este fenómeno se le conoce como Corriente del Golfo y a la corriente del Pacífico norte se le conoce como Corriente de Kuroshio. El giro del Atlántico norte está conformado, entonces, por la corriente del Golfo, la cual gira en dirección de las manecillas del reloj y comprende la frontera oeste y la frontera norte; la corriente de las Canarias que se desplaza hacia el sur a lo largo de la frontera este, y la corriente Ecuatorial norte, que se desplaza de este a oeste a lo largo de la frontera sur. La Figura 2 muestra el Giro del atlántico norte con sus fronteras naturales.

En la figura 3 se muestra la estructura vertical del Giro del Atlántico Norte en donde se aprecia que la corriente de Golfo (que transporta aguas cálidas al Norte) es profunda y con la longitud del vector queremos indicar que es más rápida que

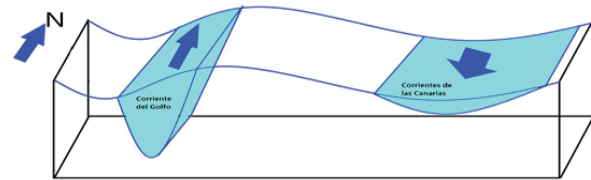


Figura 3. Estructura vertical del Giro del Atlántico norte.

la corriente de las Canarias; ahora por otro lado, la corriente de las Canarias, la cual lleva aguas más frías hacia el Sur, es somera, ancha y lenta. También se puede observar que la superficie del océano forma una especie de montaña, esto es, que dentro del giro hay un acumulamiento de agua que modifica el nivel del mar.

Un poco de historia del Giro del Atlántico norte

Las primeras observaciones registradas para la corriente Ecuatorial del norte se realizaron desde los primeros viajes transatlánticos de Cristóbal Colón, ya que es en sus cuadernos de bitácora donde relata lo siguiente: “cerca del ecuador terrestre por asegurado que las aguas van con los cielos” (Von Humboldt, 1949) es decir, que las aguas en el océano se mueven de este a oeste como el aparente movimiento del Sol, la luna y los demás astros. Después, en 1512 Antón de Alaminos (Garrison, 2006) quien conducía las naves de Juan Ponce de León descubre la corriente del Golfo, de la cual describe que conduce aguas calidas de latitudes bajas a latitudes altas; el mismo Ponce de León escribe lo siguiente cuando se dirigía de la Florida al sur: “El día siguiente, yendo por el borde de la mar los tres navíos, vieron una corriente que, aunque tenían viento largo, no podían andar adelante, sino atrás; y al fin se conoció que era tanta la corriente, que podía más que el viento. Los dos na-

víos que se hallaban más cerca de tierra fondearon, pero era tan grande la corriente, que hacía rehilar los cables [del ancla]” (Garrison, 2006). En 1515 Pedro Mártir de Anglería (1457-1526) dice que dicha corriente recorre el mar de las Antillas y el Golfo de México para finalmente llegar a las costas de Irlanda, las islas Hébridas y Noruega, es el primero que argumenta que la Corriente del Golfo es el resultado del desvío de la Corriente Ecuatorial del norte al chocar con el continente. La primera descripción gráfica de la corriente del Golfo fue hecha por William Gerard De Brahm en 1764, sin embargo, fue Benjamín Franklin (Garrison, 2006) quien hizo mediciones de temperatura superficial a lo largo de la corriente y realizó observaciones sobre los efectos del viento en cuerpos de agua someros, especulando de que eran los vientos quienes apilaban el agua en el continente y por presión originaban la fuerte Corriente del Golfo.

Importancia del Giro del Atlántico norte

La importancia climática del Giro del Atlántico norte radica en las propiedades físicas del agua del océano, en particular del calor específico en su estado líquido, el cual se define como la cantidad de calor que hay que suministrar a una unidad de masa para elevar su temperatura una unidad. Resulta que el calor específico del agua es de los más altos de la naturaleza, lo que se traduce en que hay que suministrar una gran cantidad de energía para elevar su temperatura, esto es, si dejamos un recipiente con agua y una barra de acero a la luz del sol (en un día muy caluroso y en el desierto) durante algunas horas, el agua se calentará un poco, pero la barra de acero se calentará tanto que es probable que nos quememos si la agarramos. Del

mismo modo si alejamos el recipiente con agua y la barra de metal de la luz del sol notaremos que la barra de metal se enfría rápidamente, mientras que el agua tardará mucho tiempo más. Esta propiedad permite que el agua del Golfo de México conserve su temperatura alta cuando se desplaza hacia el noreste llevando estas aguas cálidas a regiones más frías, regulando así la temperatura tanto del océano como de la atmósfera. Hay que notar que la cantidad de agua que transporta esta corriente es de unos 80 millones de metros cúbicos por segundo (Garrison, 2006), así que, la cantidad de energía térmica que transporta es enorme, de hecho, al ser el agua más densa que el aire el océano transporta más energía que la atmósfera.

El efecto Coriolis

En mecánica clásica usualmente se estudia la fuerza de Coriolis sobre objetos a escalas no muy grandes, como puede ser la desviación en la trayectoria de un proyectil o el péndulo de Foucault, en donde el efecto se reduce sólo a pequeñas perturbaciones, sin embargo, a escalas mayores como en los fluidos geofísicos, la fuerza de Coriolis tiene efectos dominantes. El efecto Coriolis consiste en una aparente fuerza que modifica la trayectoria de un cuerpo al moverse en un marco de referencia en rotación (Salmon, 1998). En un fluido geofísico su velocidad se ve afectada por la rotación de la Tierra, donde el cambio en las componentes u y v de la velocidad está dado por:

$$\frac{du}{dt} = fvy \quad \frac{dv}{dt} = -fu,$$

donde f se le denomina el parámetro de Coriolis y se define como $f = 2\Omega \sin(\phi)$, siendo ϕ la latitud geográfica y Ω la velocidad de rotación de la Tierra. Lo primero a notar es

que si $\phi=0$ el efecto de Coriolis desaparece, ya que el $\text{sen}(\phi)=0$. Nótese además que debajo de la línea ecuatorial los valores $\text{sen}(\phi)$ son negativos. Todo lo anterior físicamente significa que cuando se tiene una boya en el hemisferio norte y se impulsa hacia el oeste, entonces, la trayectoria de la boya se verá deflectada en todo momento hacia la derecha de su trayectoria y en contraparte si la boya se encuentra en el hemisferio sur y es impulsada nuevamente hacia el oeste, ésta se desviará hacia la izquierda de su movimiento, finalmente si la boya está exactamente en el ecuador y es lanzada hacia el oeste ésta seguirá en línea recta (Figura 4).

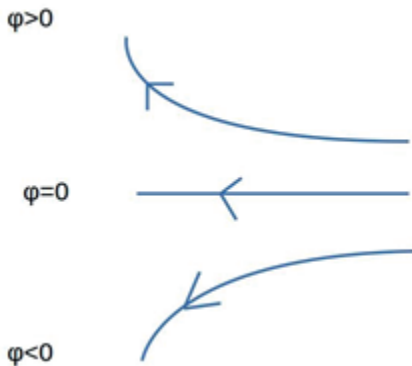


Figura 4. Trayectoria de una boya dependiendo su latitud

Planteando el problema

De las observaciones hechas por los navegantes surgen entonces las siguientes preguntas:

- ¿Por qué se hace un giro?
- ¿Por qué en la frontera oeste la corriente es más rápida y transporta más agua?

Para contestar lo anterior enumeremos también las herramientas con las que con-

taba Stommel para proponer su modelo:

- Un registro de la dirección de los vientos,
- la certeza de la rotación de la Tierra,

Ahora imaginemos un océano rectangular y cerrado, en el cual existen vientos con direcciones opuestas y en latitudes contrapuestas, entonces, habrá también un arrastre opuesto, o, corrientes opuestas, generando así un giro como lo podemos ver en la figura 6.

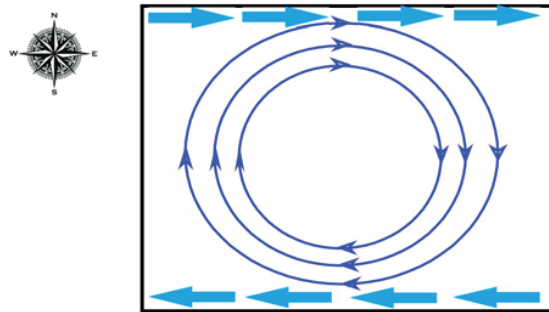


Figura 6. Viento hacia el este y viento hacia el oeste provocando un giro

Sobre el Atlántico norte y cerca del Ecuador hay vientos que soplan de este a oeste a los cuales se les llama vientos Alisios. En latitudes altas los vientos soplan de oeste a este, los llamados vientos del oeste. Entonces, son los vientos mencionados (los Alisios y los del oeste) los que producen el Giro del Atlántico norte.

Antecedentes matemáticos

Sea $\vec{V} = u(x, y, t)\hat{i} + v(x, y, t)\hat{j}$ un campo vectorial, entonces, la divergencia (∇) de \vec{V} será

$$\nabla \cdot \vec{V} = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y}$$

Ahora supongamos que

$$\nabla \cdot \vec{V} = 0. \quad (1)$$

Entonces, se garantiza la existencia de una función $\psi(x,y,t)$ que cumple con

$$u(x,y) = \frac{\partial \psi}{\partial y} \quad v(x,y) = \frac{\partial \psi}{\partial x} \quad (2)$$

dicha función recibe el nombre de función corriente y este nombre es porque cuando lo anterior sucede, es decir, cuando la divergencia de \vec{V} es cero, entonces, el campo de velocidades permanece en todo instante tangente a $\psi(x,y,t)$. Esta función corriente entonces nos dirá las trayectorias de las partículas del fluido que estamos estudiando y es lo que buscó Stommel con su modelo.

Las Ecuaciones de Navier-Stokes

La segunda ley de Newton para una partícula está dada por

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m} \quad (3)$$

donde \vec{a} es la aceleración de la partícula, m es la masa de la partícula y \vec{F} es la fuerza que se le aplica a la partícula. Lo que nos dice esta segunda ley es que la aceleración es proporcional a la fuerza que se le aplica, esto es que a mayor fuerza mayor aceleración e inversamente proporcional a la masa, es decir, si hay más masa y se mantiene la misma fuerza, la aceleración va a ser menor. Por otro lado, para un fluido, que no se comporta como una partícula y que se conforma tanto de variables dinámicas como termodinámicas esta segunda ley de Newton debe de contemplar, i) la continuidad de la masa, es decir, que la masa no se pierda ni se cree conforme el fluido se mueve. ii) La conservación de momentos, la cual se refiere a que si no hay fuerzas externas, la cantidad total de movimiento del fluido debe permanecer constante durante todo el trayecto. iii) la advección que es el transporte de las pro-

iedades del fluido, que pueden ser termodinámicas como calor, salinidad o de otro tipo como los contaminantes. Así que para un fluido en movimiento está segunda ley es un conjunto acoplado de ecuaciones diferenciales parciales denominadas las ecuaciones de Navier-Stokes y están dadas por

$$\rho \frac{D\vec{V}}{Dt} = -\nabla p + \rho \vec{F} + \mu \nabla^2 \vec{V} \quad \nabla \cdot \vec{V} = 0. \quad (4)$$

Donde ρ es la densidad del agua, p es la presión sobre la superficie del océano, \vec{F} son las fuerzas puntuales y μ la viscosidad del fluido. Vemos entonces que también cumple que cambio de velocidad es proporcional a las diferentes fuerzas que se le aplican a un volumen determinado.

La aproximación de Stommel

El modelo se plantea para reproducir la circulación del Atlántico norte, pero sobre todo Stommel tiene la intención de explicar el mecanismo físico que da origen y desarrollo a la corriente del Golfo, es decir, al apiñamiento de las líneas de corriente en la frontera oeste del océano. Stommel utiliza las siguientes premisas para su modelo (Stommel 1948):

- Geométricamente propone un océano cúbico similar al Atlántico norte en sus dimensiones, este océano estará confinado en un cubo quedando la superficie libre.
- El viento ejerce un forzamiento sobre la superficie que, a su vez, produce un gradiente de presión sobre el flujo.
- Toma en cuenta el efecto Coriolis.
- Aproxima al fondo del océano como plano.

- Introduce una fuerza de fricción como término disipativo.

Veamos entonces estas premisas en lenguaje matemático:

Así pues, el océano cúbico de medidas $x=\lambda, y=b, z=D$ lo podemos representar por siguiente dominio (Malek, 2012):

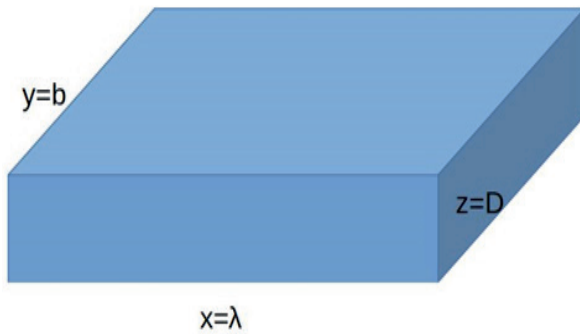


Figura 7. Océano propuesto por Stommel

- Para simular la acción de los vientos Stommel propone la función $-F \cos\left(\frac{\pi y}{b}\right)$ (Stommel, 1948) donde podemos observar que al ser $y=0$ ($\cos(0)=1$) implica que los vientos se desplacen de este a oeste sobre la frontera sur, es decir, la fuerza, $-F$, es máxima y hacia el oeste en el ecuador. Por otro lado si $y=b$ ($\cos(\pi) = -1$) entonces la fuerza, F , es máxima y hacia el este sobre la frontera norte del océano, aquí entonces la dirección del viento cambia a una dirección opuesta que en el ecuador (Figura 6).
- La fuerza de fricción estará dada por $R\vec{V}$ donde R es el coeficiente de fricción.
- Por último, considerando un estado estacionario, es decir, que no hay aceleración, y tomando en cuenta que $\mu \nabla^2 \vec{V} \ll 1$ las ecuaciones de Navier-Stokes escritas en sus componentes quedan como:

$$0 = fDv - F \cos\left(\frac{\pi y}{b}\right), \quad (5)$$

$$0 = -fDu - Rv - gD \frac{\partial h}{\partial y}, \quad (6)$$

$$\frac{\partial Du}{\partial x} + \frac{\partial Dv}{\partial y} = 0 \quad (7)$$

Ahora, haciendo una serie de derivadas cruzadas, agrupando términos, sumando las componentes (5) con (6) y finalmente sustituyendo en (7) se obtiene la siguiente ecuación

$$v(D+h) \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right) + \left(\frac{F\pi}{b}\right) \text{sen}\left(\frac{\pi y}{b}\right) + R \left(\frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y}\right) = 0. \quad (8)$$

Es entonces en la ecuación (8) donde podemos ver a la fuerza de Coriolis afectando a la componente v de la velocidad. En este momento hacemos uso de la función corriente, $u(x, y) = \frac{\partial \psi}{\partial y}$ y $v(x, y) = \frac{\partial \psi}{\partial x}$, para re-escribir la ecuación (8) de la siguiente forma:

$$\nabla^2 \psi + \alpha \frac{\partial \psi}{\partial x} = \gamma \text{sen}\left(\frac{\pi y}{b}\right). \quad (9)$$

Finalmente la ecuación (9) es la ecuación de gobierno o ecuación dictaminante, es decir, es la ecuación a resolver y la que nos proporcionará las líneas de corriente. Las condiciones de frontera que se le imponen, son las siguientes:

$$\psi(0, y) = \psi(\lambda, y) = \psi(x, 0) = \psi(x, b) = 0. \quad (10)$$

Lo que significa, geoméricamente, es que las fronteras mismas del océano de Stommel son paralelas a las líneas de corriente, esto es, la corriente no atraviesa las fronteras.

Solución a la ecuación de gobierno

La solución de la ecuación (9), por separa-

ción de variables, se encuentra en artículo original de Stommel (Stommel,1948; Maleck, 2012) y está dada por:

$$\psi(x, y) = -\gamma \left(\frac{b}{\pi}\right)^2 [-1 + ke^{(m_1x)} + (1 - k)ke^{(m_2x)}] \text{sen}\left(\frac{\pi y}{b}\right).$$

Finalmente, podemos ya visualizar el comportamiento de la función corriente, para lo cual Stommel estableció los valores de los parámetros involucrados de la siguiente forma

1. Profundidad del océano, $D = 200$ m,
2. longitud, $\lambda = 10,000$ km,
3. latitud, $b = 2\pi \times 10,000$ km,
4. coeficiente de fricción, $R = 0.02$,
5. forzamiento del viento, $\gamma = 1 \frac{\text{dina}}{\text{cm}^2}$.

Para la gráfica de la función corriente, ψ , (líneas de corriente), se utilizó el software de cómputo Octave (Figura 8).

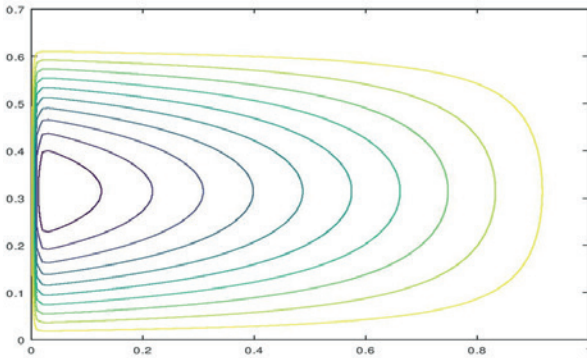


Figura 8. Apilamiento de las líneas de corriente

En la Figura 8, se aprecia como se simula la circulación del Atlántico norte y podemos observar como se reproduce el aumento de flujo en la frontera oeste del océano. Stommel así explica, por primera vez, que ese aumento de flujo se debe a la acción del efecto Coriolis sobre las partículas de agua. Por otro lado, usando las relaciones de la ecuación (2), esto es, si se deriva la función corriente con respecto a

x y con respecto a y de manera separada se encuentran las componentes de la velocidad del fluido v y u respectivamente,

$$u(x, y) = \frac{\partial \psi}{\partial y} = \gamma \left(\frac{b}{\pi}\right) \left[-1 + \frac{e^{m_2x} - 1}{e^{m_2x} - e^{m_1x}} e^{m_1x} + \frac{1 - e^{m_1x}}{e^{m_2x} - e^{m_1x}} e^{m_2x}\right] \cos\left(\frac{\pi y}{b}\right),$$

$$v(x, y) = \frac{-\partial \psi}{\partial x} = \gamma \left(\frac{b}{\pi}\right)^2 \left[-1 + \frac{e^{m_2x} - 1}{e^{m_2x} - e^{m_1x}} m_1 e^{m_1x} + \frac{1 - e^{m_1x}}{e^{m_2x} - e^{m_1x}} m_2 e^{m_2x}\right] \sin\left(\frac{\pi y}{b}\right),$$

(11)

En la figura 9 se aprecia como la velocidad del fluido en la frontera oeste es considerablemente mayor que en el resto del océano de Stommel.

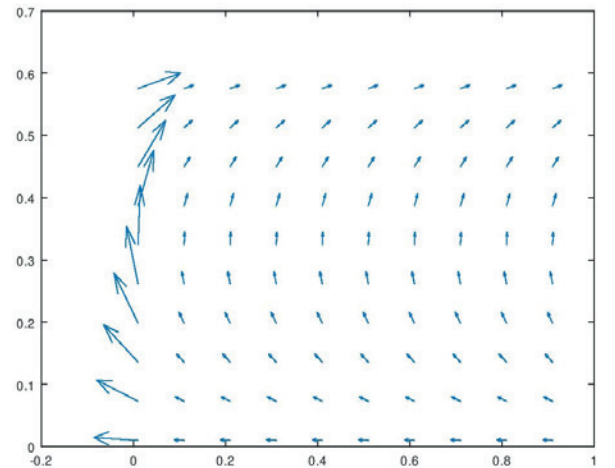


Figura 9. Campo de velocidades asociado a la función corriente .

Conclusiones

Para un acercamiento a la física del océano el modelo de Stommel es un ejemplo claro de cómo usar el lenguaje matemático para interpretar fenómenos físicos, se aprecia como la inclusión correcta de los diferentes procesos explican y reproducen el comportamiento de la naturaleza. Este trabajo pretende también cubrir la escasez de material en lengua castellana, ya que, la difusión y una adecuada introducción a el estudio del océano es importante, sobre todo en un país como México que tie-

ne 231,813 de mar territorial y 11,122 km de litoral (INEGI).

Referencias

[1] Garrison, T (2006) *Essentials of Oceanography*. Fifth edition. Brooks/Cole Cengage Learning. Canada. 463 pp.

[2] Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). *Referencias geográficas y extensión territorial de México*. < inegi.org.mx >.

[3] Kämpf, J. (2009). *Ocean modelling for beginners*. Adelaide, Australia: Springer-Verlag.

[4] G. de la Laza-Espino y C. Cáceres-Márquez (1994) *Lagunas Costeras y el Litoral Mexicano*. UNAM-UABCS. 525 pp.

[5] Stommel, Henry. (1948). *The westward*

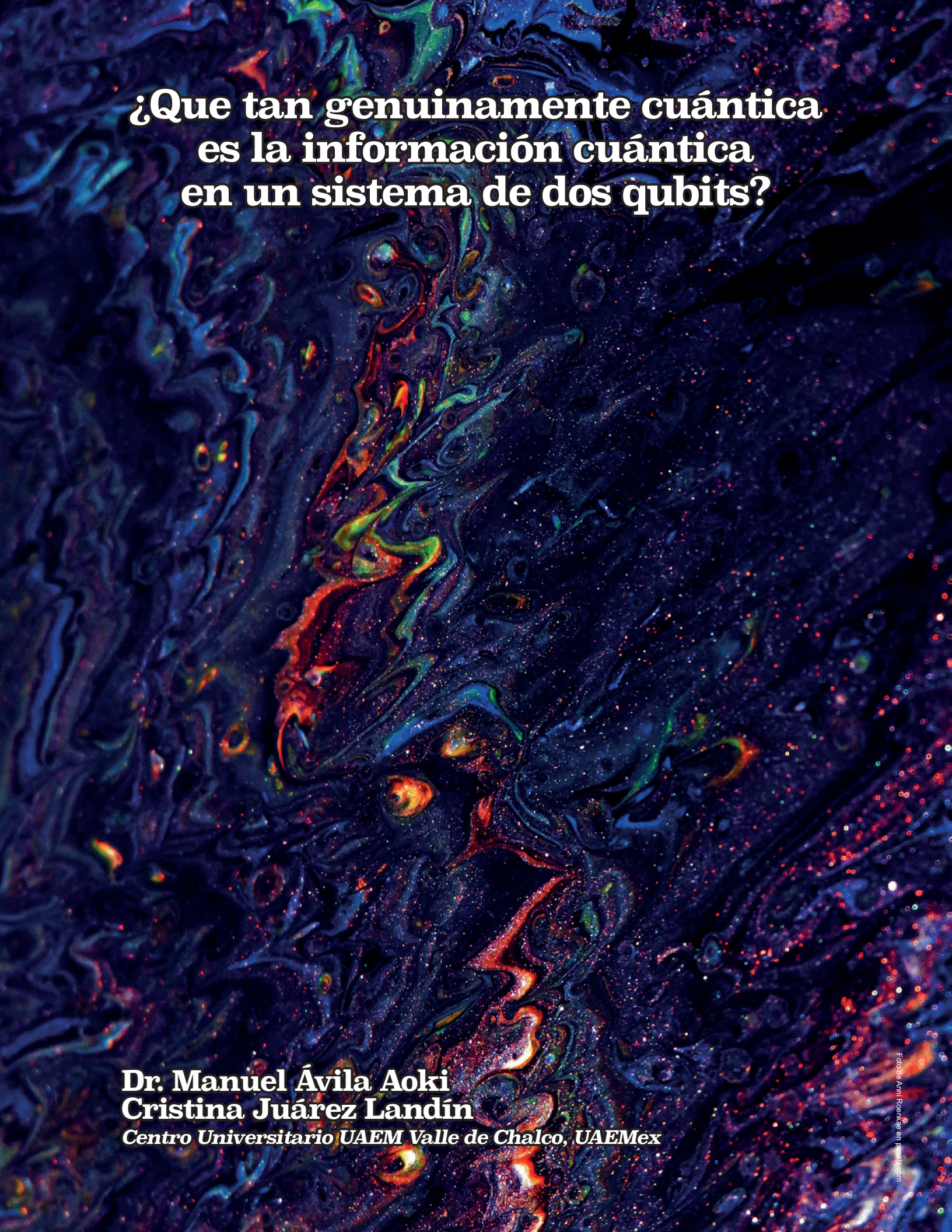
intensification of wind-driven ocean currents. American Geophysical Union. Vol. (29)3. 202-206.

[7] Vanderbrouk, F., Berthier, L., Gheusi, F. (2002). *Coriolis force in geophysics: an elementary introduction and examples*. ArXiv:physics. Vol(1). 1-6.

[6] Von Humboldt, A. (1949). *Océano, atmósfera y geomagnetismo*. Buenos Aires, Argentina: Espasa-Calpe.

[8] Salmon, R. (1998). *Geophysical Fluid Dynamic*. New York.: Oxford University Press.

[9] Malek, R. (2012) *Physical Oceanographic, a mathematical introduction with Matlab*. Boca Raton, Florida.: CRC Press, Taylor and Francis Group.



**¿Que tan genuinamente cuántica
es la información cuántica
en un sistema de dos qubits?**

**Dr. Manuel Ávila Aoki
Cristina Juárez Landín**
Centro Universitario UAEM Valle de Chalco, UAEMex

Resumen:

Para evitar no deseados efectos de decoherencia, se considera un sistema de dos qubits expuestos a un reservorio común a muy bajas temperaturas. La información cuántica asociada al sistema de dos qubits tiene una contribución clásica y una contribución cuántica. Se deriva la respectiva expresión para las correlaciones clásicas y para las correlaciones cuánticas en función del tiempo. Se considera el caso de tiempos remotos ($t \rightarrow \infty$). En dicha situación se halla el límite genuinamente cuántico donde las correlaciones clásicas desaparecen y por tanto la Información Cuántica es genuinamente cuántica. Se demuestra que el concepto de conservación que subyace detrás de la ganancia (pérdida) de Información Cuántica será proporcional a la conservación de la energía interna del sistema a temperatura constante. En caso de ganancia (pérdida) de Información Cuántica el sistema tomará (cederá) energía interna de (hacia) los alrededores.

Palabras claves: dos-qubits; correlación clásica; discordia cuántica; información cuántica mutua; entropía; energía

Abstract:

In order to avoid unwanted effects of decoherence, it is considered a two qubits systems exposed to a common reservoir at very low temperatures. Quantum Information associated to the two qubits system has both a classical contribution and a quantum contribution. It is derived the respective expression for both classical correlations and quantum correlations as a function of time. It is considered the case of remote times ($t \rightarrow \infty$). In such a situation the genuinely quantum limit where the classical correlations vanish and then Quantum Information is genuinely quan-

um is found. It is shown that the concept of conservation behind generation (loss) of Quantum Information will be proportional to energy conservation of the system at constant temperature. In case of generation (loss) of Quantum Information the system will absorb (transfer) internal energy from (towards) the environment.

Keywords: two-qubits; classical correlation; quantum discord; mutual quantum information; entropy; energy

Introducción

La cantidad de Información Cuántica es un ingrediente fundamental para diversos diferentes protocolos de la Informática Cuántica tales como Teleportación Cuántica (Bennet, 1993), Codificación Densa Cuántica (Bennet, 1992), Intercambio de entrelazamiento (Zukowski, 1993) y Criptografía Cuántica (Ekert, 1991). Para un sistema de dos qubits, la Información Cuántica permite caracterizar cuando dicho sistema es separable, entrelazado, clásicamente correlacionado ó cuánticamente correlacionado (Alber, 2001), (Horodecki, 2009), (Yang, 2010), (Yang, 2013). El termino Información Cuántica es muy genérico e incluye Entrelazamiento y Discordia Cuántica (Yang, 2013).

En este contexto surge la siguiente pregunta: ¿Qué tan genuinamente cuántica es la Información Cuántica? Para responder esta pregunta en el presente trabajo se considera un sistema de dos qubits acoplado a un reservorio estructurado común a temperatura fija constante cercana al cero absoluto. Se halla que la cantidad de Información Cuántica tiene una contribución proveniente de correlaciones clásicas. Se considera el caso de tiempos remotos $t \rightarrow \infty$ y en dicho caso se deriva el límite en

donde las correlaciones clásicas desaparecen y por tanto la Información Cuántica es genuinamente cuántica.

El presente trabajo se organiza como sigue: Primero se presenta el modelo. Posteriormente se halla una expresión algebraica para la cantidad información cuántica mutua. En se deriva la respectiva expresión para el caso de tiempos remotos. Se proporciona una discusión y se concluye con un sumario en las conclusiones.

Materiales y métodos

Consideremos un sistema cuántico abierto de dos qubits acoplados a un reservorio bosónico común a temperaturas cercanas al cero absoluto para evitar un ruido cuántico no deseado. El Hamiltoniano del sistema total es

$$H=H_S+H_R+H_{int} \quad (1)$$

donde H_S es el Hamiltoniano de los dos qubits, H_R es el Hamiltoniano del reservorio y H_{int} es el Hamiltoniano de interacción Sistema-Reservorio. En las aproximaciones dipolo y onda-rotante el Hamiltoniano total puede ser desarrollado como (Maniscalco, 2008)

$$H_S=\omega_1 \sigma_+^1 \sigma_-^1 + \omega_2 \sigma_+^2 \sigma_-^2, \quad (2)$$

$$H_R=\sum_k \omega_k b_k^+ b_k \quad (3)$$

$$H_{int}=(\alpha_1 \sigma_+^{(1)} + \alpha_2 \sigma_+^{(2)}) \sum_k g_k b_k + c \cdot h, \quad (4)$$

donde b_k^+ (b_k) son los operadores de creación (aniquilación) de cuantos del reservorio, $\sigma_{\pm}^{(a)}$ y ω_a son el operador de inversión y la frecuencia de transición del qubit a respectivamente, ω_k es la frecuencia asociada al modo k del reservorio y $\alpha_a g_k$ describe la intensidad del acoplamiento entre el qubit

a y el modo k del reservorio, α_a es la constante de acoplamiento adimensional real midiendo la intensidad del acoplamiento Qubit-Reservorio. En lo que sigue se denotará la constante de acoplamiento colectiva mediante $\alpha_T=(\alpha_1^2+\alpha_2^2)^{1/2}$ y la intensidad relativa de interacción como $r_a=\alpha_a/\alpha_T$ ($a=1,2$).

El presente estudio se va a delimitar al caso en el cual solo una excitación en el sistema está presente además de que el reservorio está en el vacío. Asimismo se supondrá que inicialmente ($t=0$) el sistema de dos qubits no está entrelazado con el reservorio y que el estado inicial de todo el sistema será

$$|\Phi(0)\rangle = [A|1\rangle_1|0\rangle_2 + B|0\rangle_1|1\rangle_2] \otimes_k |0_k\rangle_R, \quad (5)$$

donde A y B son números complejos tales que $|A|^2 + |B|^2 = 1$, $|0\rangle_a$ ($|1\rangle_a$) es el estado base (excitado) del qubit a ($a=1,2$) y $|0_k\rangle_R$ es el estado del reservorio con cero excitaciones en el modo k . El estado inicial $|\Phi(0)\rangle$ evolucionará en el tiempo de acuerdo a $|\Phi(t)\rangle = e^{-iHt}|\Phi(0)\rangle$ (Sakurai, 2017). Este estado puede ser factorizado como

$$|\Phi(t)\rangle = c_1(t)|1\rangle_1|0\rangle_2|0\rangle_R + c_2(t)|0\rangle_1|1\rangle_2|0\rangle_R + \sum_k c_k(t)|0\rangle_1|0\rangle_2|0_k\rangle_R, \quad (6)$$

donde $|0_k\rangle_R$ es el estado del reservorio con solo una excitación en el modo k y $|0\rangle_R = \otimes_k |0_k\rangle_R$. La matriz reducida de densidad de estados la cual es obtenida del operador $|\Phi(t)\rangle\langle\Phi(t)|$ será la siguiente

$$\rho(t) = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & |c_1(t)|^2 c_1(t) c_2^*(t) & 0 & 0 \\ 0 & c_1^*(t) c_2(t) & |c_2(t)|^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 - |c_1(t)|^2 - |c_2(t)|^2 \end{pmatrix}. \quad (7)$$

Resultados

Suponiendo que la densidad espectral del reservorio está dada por

$$J(\omega) = \frac{W^2}{\pi} \frac{\gamma}{(\omega - \omega_c)^2 + \gamma^2}, \quad (8)$$

donde ω_c es la frecuencia fundamental de la cavidad, la solución de la respectiva ecuación de Schroedinger estará dada por (Yang, 2013)

$$c_1(t) = [r_2^2 + r_1^2 \epsilon(t)]c_1(0) - r_1 r_2 [1 - \epsilon(t)]c_2(0), \quad (9)$$

$$c_2(t) = -r_1 r_2 [1 - \epsilon(t)]c_1(0) + [r_1^2 + r_2^2 \epsilon(t)]c_2(0), \quad (10)$$

siendo

$$\epsilon(t) = e^{-\frac{(\gamma - i\delta(t))t}{2}} \left[\cosh(\Omega t/2) + \frac{(\gamma - i\delta(t))}{\Omega} \sinh(\Omega t/2) \right], \quad (11)$$

donde $\delta_1 = \delta_2 = \delta$, $\Omega = \sqrt{\gamma^2 - \Omega_R^2 - 2i\delta\gamma}$, $\Omega_R = \sqrt{4W^2\alpha_T^2 + \gamma^2}$ la frecuencia de Rabi generalizada y $R = W\alpha_T$ la frecuencia de Rabi en el vacío.

- Información cuántica mutua

Para dos subsistemas A y B descritas por un estado cuántico bipartita $\rho_{AB} = \rho_S$ la correlación total entre ellos será la información cuántica mutua (Maziero, 2009)

$$\tau(\rho_S) = S(\rho_A) + S(\rho_B) - S(\rho_S), \quad (12)$$

donde $S(\rho) = -\text{Tr}(\rho \log_2 \rho)$ es la entropía de Von Neumann de la matriz de densidad ρ y ρ_A (ρ_B) es el operador reducido de densidad para los subsistemas A (B). Por otra parte, la información cuántica mutua está definida también, en términos de la correlación cuántica (discordia cuántica) (Ollivier, 2001) D y la correlación clásica C (Vedral, 2003) a través de

$$\tau(\rho_S) = D(\rho_S) + C(\rho_S). \quad (13)$$

La expresión analítica para las correlaciones clásicas será la siguiente

$$C(\rho_S) = [1 - |c_1(t)|^2 - |c_2(t)|^2] \log_2 [1 - |c_1(t)|^2 - |c_2(t)|^2] - \sum_{a=1,2} [1 - |c_a(t)|^2] \log_2 [1 - |c_a(t)|^2]. \quad (14)$$

Por otra parte la correlación cuántica será

$$D(\rho_S) = |c_1(t)|^2 \log_2 \left(1 + \frac{|c_2(t)|^2}{|c_1(t)|^2} \right) + |c_2(t)|^2 \log_2 \left(1 + \frac{|c_1(t)|^2}{|c_2(t)|^2} \right). \quad (15)$$

- Energía interna e información cuántica

De acuerdo a la Primera Ley de la Termodinámica (Bailyn, 1994), en ausencia de fuerzas externas la energía interna total U , estará dada por

$$\Delta U = T \Delta S, \quad (16)$$

donde T es la temperatura del sistema y S es la entropía del sistema. De acuerdo a las Ecs. (12), (13) y (16) la energía interna U estará relacionada a la información cuántica τ a través de

$$\Delta U = T \Delta \tau = T (\Delta D + \Delta C). \quad (17)$$

Resultados

- Caso: Tiempos Remotos ($t \rightarrow \infty$)

En lo que sigue supondremos sin pérdida de generalidad que $c_1(t=0) = 1$ y $c_2(t=0) = 0$. Para tiempos remotos, los coeficientes de las Ecs. (9) y (10) serán $c_1(t \rightarrow \infty) = r_2^2$ y $c_2(t \rightarrow \infty) = -r_1 r_2$. Por otra parte, la Ecuación (17) nos dice que en este límite el incremento de energía interna e información cuántica estará dado por

$$U(t \rightarrow \infty) - U(t=0) = T [\tau(t \rightarrow \infty) - \tau(t=0)]. \quad (18)$$

De las Ecs. (9), (10), (11), (14), (15) y (17) se tendrá que

$$U(t \rightarrow \infty) - U(t=0) = T \left[r_2^4 \log_2 \left(1 + \frac{r_2^2}{r_1^2} \right) + r_1^2 r_2^2 \log_2 \left(1 + \frac{r_1^2}{r_2^2} \right) + (1 - r_2^4 - r_1^2 r_2^2) \log_2 (1 - r_2^4 - r_1^2 r_2^2) - (1 - r_2^4) \log_2 (1 - r_2^4) - (1 - r_1^2 r_2^2) \log_2 (1 - r_1^2 r_2^2) \right]. \quad (19)$$

Vale la pena observar que en el caso límite cuando $r_2 \ll 1$, la correlación clásica de la Ec. (14) es nula en tiempos remotos y solo sobrevive la correlación cuántica (discordia) por lo que la Información Cuántica es genuinamente cuántica. En este límite genuinamente cuántico, la Ec. (19) se reduce a

$$U(t \rightarrow \infty) - U(t=0) = T r_1^2 r_2^2 \log_2 \left(1 + \frac{r_1^2}{r_2^2} \right) \quad (20)$$

Como se puede apreciar de la Ecuación anterior, dado que $\Delta U > 0$ entonces hay una ganancia de Entropía. Lo anterior es consistente con la Segunda Ley de la Termodinámica.

Observar también que dado que $U(t \rightarrow \infty) - U(t=0) > 0$, en tiempos remotos hay ganancia tanto de Energía Interna así como de Información Cuántica.

Discusión

En la literatura es aceptado sin reparo que la información cuántica es genuinamente cuántica. En el presente trabajo se ha demostrado que la información cuántica mutua de un sistema de dos qubits recibe contribuciones clásicas. Esto no es un elemento inesperado ya que la información cuántica mutua se define en términos de la entropía la cual surge precisamente del mundo macroscópico clásico. No es una tarea inmediata hallar el límite genuinamente cuántico de la informa-

ción cuántica mutua. Este límite representa la correlación cuánticamente pura y estará relacionado a la discordia cuántica. El concepto de conservación que subyace detrás de la ganancia (pérdida) de Información Cuántica será proporcional a la conservación de la energía interna del sistema a temperatura constante. En caso de ganancia (pérdida) de Información Cuántica el sistema tomará (cederá) energía interna de (hacia) los alrededores. De acuerdo con la Segunda Ley de la Termodinámica en el remoto futuro deberá haber una ganancia de entropía con lo cual el sistema de dos qubits ganara información cuántica.

Conclusiones

Como se puede observar de la Ecuación (13), la cantidad de Información Cuántica Mutua contiene contribuciones tanto de correlaciones cuánticas así como de correlaciones clásicas del sistema de dos qubits. Así, el cambio en la Información Cuántica del sistema de qubits es proporcional al intercambio de Energía Interna del sistema a temperatura constante..

Por razones históricas comúnmente se considera a la Entropía como una cantidad estrictamente clásica macroscópica. En el presente trabajo se ha mostrado que la Entropía es una cantidad que contiene tanto elementos clásicos así como elementos cuánticos tal como lo muestra la Ecuación (13). En dicha ecuación se puede apreciar que la cantidad de Entropía del sistema de qubits es la suma de las correlaciones clásicas y las correlaciones cuánticas. Una suposición básica para el presente trabajo es que los dos qubits bajo estudio, estén expuestos a un reservorio común. Dicha hipótesis lleva a que la matriz reducida de densidad de estados de la Ecuación (7) ten-

ga una forma simétrica. Se ha hallado una expresión para la información cuántica τ dada por la Ecuación (13). La información cuántica tiene una componente clásica y una componente estrictamente cuántica. Se hallan las expresiones para las correlaciones clásicas y las correlaciones clásicas dadas por las Ecuaciones (14) y (15) respectivamente. En el presente trabajo se considera el caso límite de tiempos remotos ($t \rightarrow \infty$). En dicha situación se ha hallado el límite genuina mente cuántico donde las correlaciones cuánticas desaparecen se alcanza cuando $r_2 \ll 1$.

Agradecimientos

Agradecemos al SNI CONACyT.

Bibliografía

Alber G., Beth T., Horodecki M., Horodecki P., Horodecki R., Rotteler M., Weinfurter H., Werner R., & Zeilinger A. (2001) *Introduction to Basic Theoretical Concepts and Experiments*, Berlin: Springer-Verlag, Chap 5.

Baily M. (1994) *A survey of Thermodynamics*, American Institute of Physics.

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

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. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.70.1895>

Ekert A. K. (1991) Quantum cryptography based on Bell's theorem, *Phys. Rev.*

Lett. 67, 661. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.67.661>

Horodecki R., Horodecki P., Horodecki M. & Horodecki K. (2009) Quantum Entanglement, *Rev. Mod. Phys.* 81, 865. <https://doi.org/10.1103/RevModPhys.81.865>

Maniscalco S., Francica F., Zaffino R. L., LoGullo N. L. & Plastina F. (2008) Protecting Entanglement via the Quantum Zeno Effect, *Phys. Rev. Lett.* 100, 090503. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.100.090503>

Maziero J., C'eleri L. C., Serra R. M., & Vedral V. (2009) Classical and quantum correlations under decoherence, *Phys Rev. A* 80, 044102. <https://doi.org/10.1103/PhysRevA.80.044102>

Ollivier H. & Zurek W. H. (2001) Quantum Discord: A Measure of the Quantumness of Correlations, *Phys. Rev. Lett.* 88, 017901. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.88.017901>

Sakurai J. J. & Napolitano J. (2017) *Modern Quantum Mechanics*, Cambridge University Press.

Vedral V. (2003) Classical Correlations and Entanglement in Quantum Measurements, *Phys. Rev. Lett.* 90, 050401. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.90.050401>

Yang X. & Xiao J.-H (2013) Dynamics of quantum discord for a two-qubit system, *Optoelectronics Letters* 9, 1. <https://doi.org/10.1007/s11801-013-2289-y>

Yang X. & Zou H.-M (2010) Preparation and transfer of entanglement in atomic ensembles interacting with cavity fields,

Optoelectronics Letters 6, 144. <https://doi.org/10.1007/s11801-010-9237-x>

Zukowski M., Zeilinger A., Horne M. A.,

Ekert A. K. (1993) “Event-ready-detectors” Bell experiment via entanglement swapping, *Phys. Rev. Lett.* 71, 4287. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.71.4287> 3.



**¿Sabes cómo recolectar
musgos y helechos?**

M.B. Alejandra Castrejón Varela

*Doctorado en Ciencias Biológicas y de la Salud,
Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa*

M. C. Aniceto C. Mendoza Ruiz

Dra. Blanca Pérez García

Área de Botánica Estructural y Sistemática Vegetal,

Depto. de Biología, Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa

Resumen

Las colecciones de plantas se pueden consultar en los herbarios que son los lugares destinados para su conservación. Pero para una buena recolección, debemos tomar en cuenta diversos puntos, en primer lugar, conocer el tipo de planta con la que se trabajará, el sitio de estudio y es fundamental tener a la mano los implementos necesarios para recolectar las plantas de manera eficaz, posteriormente serán prensados y secados. Para lograr su identificación se utilizan claves específicas para cada grupo vegetal y localidad. Finalmente, son llevados a los herbarios donde pueden ser consultados cada vez que un investigador o estudiante necesite revisarlos. En específico, el grupo de las briófitas son plantas pequeñas y frágiles, las cuales deben tener cuidado al recolectarse, mientras que las pteridofitas son plantas más rígidas y por ende su recolección es más sencilla.

Palabras clave: Briofitas, helechos, herbario, técnicas de recolección.

Summary

The collections of plants can be consulted in the herbariums, which are the places destined for their conservation. But for a good collection, we must consider several points, first, know the type of plant with which you will work, the study site and it is essential to have at hand the necessary implements to collect the plants effectively, later they will be pressed and dried. To achieve their identification, specific keys are used for each plant group and locality. Finally, they are taken to the herbaria where they can be consulted every time a researcher or student needs to review them. Specifically, the group of bryophytes are small and fragile plants, which must

be taken care of when collecting, while the pteridophytes are more rigid plants and therefore their collection is easier.

Keywords: Bryophytes, collection techniques, herbarium, ferns.

México cuenta con 70 herbarios registrados oficialmente (Gómez-Escamilla et al., 2021) los cuales son considerados patrimonio nacional, éstos son necesarios para generar conocimiento sobre los recursos naturales, por lo general están asociados a instituciones educativas e investigación, sin embargo, estos pueden ser consultados por cualquier persona interesada en la botánica (Gómez-Escamilla et al., 2021).

Los herbarios también son esenciales para diversas ramas de la biología, para la jardinería y la educación (Moreno, 2007), además proveen un panorama de la flora de diferentes localidades, regiones, estados o países. Incluso sirven como inspiración para que la gente conozca las plantas y pueda ilustrarlas (Acosta-Rosado et al., 2023).

Para establecer herbarios más completos y diversos es importante conocer los requerimientos de cada grupo de plantas, para así poder realizar una recolección de forma correcta. En este trabajo nos enfocamos en las briofitas y los helechos, plantas que cada vez llaman más la atención y despiertan interés para su estudio.

Primero se debe tomar en cuenta que todas las plantas que son recolectadas en campo deben ser prensadas, secadas, identificadas taxonómicamente y procesadas para llevarlas de forma adecuada a las colecciones de los herbarios (Krömer et al., 2017). Una vez listas, forman parte de estas bibliotecas de plantas secas, en donde

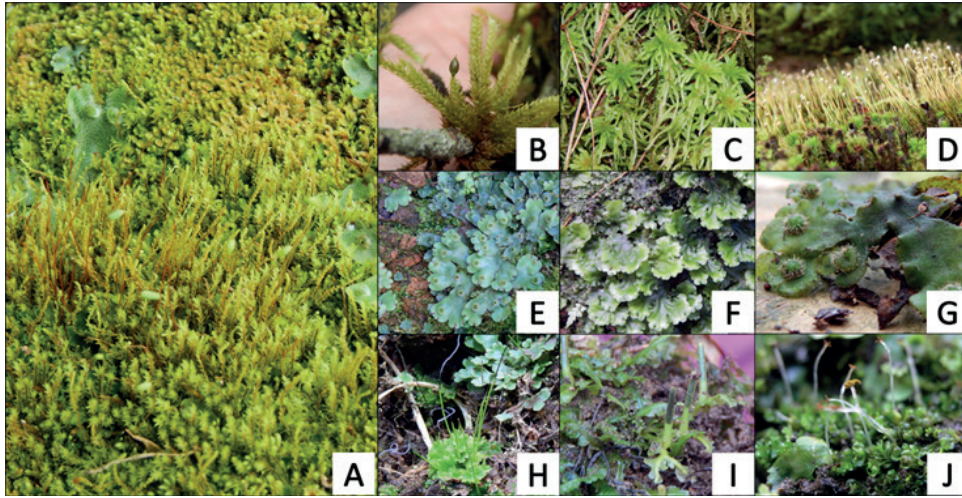


Figura 1. A. Diversidad de Briofitas. B. Acercamiento a la cápsula de un musgo. C. *Sphagnum* sp. D. Cápsulas de musgos. E. Hepática talosa. F. Hepática talosa. G. Acercamiento al gametofito con gametangióforos en desarrollo. H. Antoceros. I. Acercamiento de Antoceros. J. Hepática foliosa.

se pueden observar todas sus estructuras morfológicas, el sitio de recolección, hábito de crecimiento, tipo de vegetación de donde se recolectaron, rango altitudinal, etc. Es importante tomar en cuenta las características más importantes de cada planta, pues éstas nos permitirán identificar adecuadamente las especies que se traten (Acosta-Rosado et al., 2023), para ello es importante recolectar las plantas lo más completas que se pueda.

Briofitas

Las briofitas *sensu lato* son un grupo de plantas muy diverso, cuya cifra mundial se estima en 24,000 especies, de las cuales, aproximadamente 1,700 se encuentran en México (Delgadillo-Moya et al., 2022), estas incluyen a los musgos (Bryophyta), hepáticas talosas y foliosas (Marchantiophyta) y antoceros (Anthocerotophyta) (Figura 1). Son plantas no vasculares porque carecen de xilema y floema.

Su ciclo de vida consta de dos fases, la gametofítica (haploide) de vida larga que es

la dominante, la cual se encarga de la reproducción sexual y la esporofítica (diploide) de vida corta, encargada de producir esporas (reproducción asexual) (Delgadillo-Moya et al., 2022).

Su hábitat se caracteriza por porcentajes de humedad mayores al 50%, pueden crecer sobre rocas (epipétricas), árboles, troncos caídos (tocones), en el suelo y sobre hojas de plantas vasculares (como epífilas) (Delgadillo-Moya et al., 2022), pero siempre en lugares muy húmedos, aunque existen algunas especies que crecen en ambientes xerófitos en donde el porcentaje de humedad es inferior al 30%, por lo cual viven en condiciones de deshidratación extrema, sin embargo, dichas especies tienen la capacidad de rehidratarse en poco tiempo.

Helechos

Los helechos y lycopodios (pteridofitas) son plantas vasculares que no producen flores ni semillas, su reproducción es por medio de esporas, las cuales se encuentran (generalmente) en la parte inferior de las ho-



Figura 2. Diversidad de hojas, tamaños y posición de soros de los helechos

jas dentro de unas estructuras llamadas esporangios, que a su vez están agrupadas en soros (Mendoza-Ruiz y Pérez-García, 2009) (Figura 2). Al igual que las briofitas, su ciclo de vida se compone de dos fases, gametofítica (haploide) y esporofítica (diploide), siendo esta última la dominante. El helecho produce esporas que al germinar dan origen a un gametofito responsable de la reproducción sexual.

En los helechos, los soros (conjunto de esporangios) generalmente están dispuestos en los márgenes, debajo de la lámina de las hojas cuando son monómorficos. Sin embargo, podemos encontrar helechos dimórficos donde los esporangios cubren completamente la superficie de la lámina y generalmente son hojas diferentes a las vegetativas (Sánchez-González y González-Ledesma, 2007), en cuanto a su forma y tamaño. También existen helechos hemidimórficos en donde los esporangios están solo en una parte de la lámina, ya sea de manera apical, media o basal a la hoja.

Recolección

Para la recolección de helechos y musgos se sugiere considerar los siguientes materiales:

- Bolsas y/o charolas de plástico
- Cartón
- Periódico
- Prensa botánica
- Sobres de papel
- Libreta de campo
- Cinta métrica
- Cámara fotográfica
- GPS o brújula
- Lápiz y plumón indeleble
- Tijeras de poda
- Espátula pequeña o cuchillo
- Lupa de campo 10X o 20X

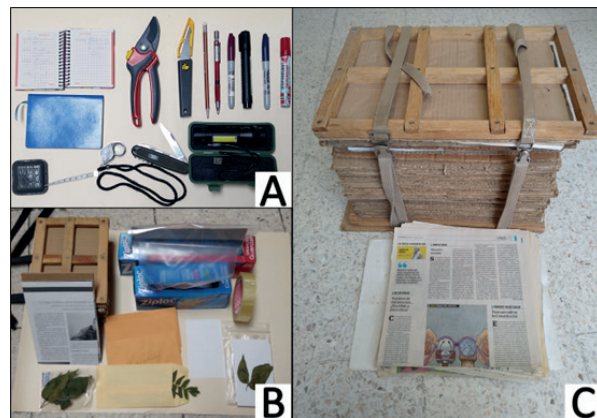


Figura 3. A. Material necesario para recolectar plantas en campo. B. Material para prensar las plantas. C. Prensa botánica.

Estos materiales (Figura 3) facilitarán la recolecta y de esta manera se tendrá un adecuado prensado de las plantas. Se recomienda fotografiar y registrar en la libreta de campo todos los datos de las características de los ejemplares tales como el color de las hojas (debido a que al secarse algunas pierden sus colores observados en campo), tamaño del ejemplar, mencionar si tienen algún indumento (pelos, escamas, etc.), hábito de crecimiento, etc., ya que mientras más detalle más fácil será su identificación taxonómica. Además, se deberá especificar el lugar de colecta, tipo de vegetación donde crecen, coordenadas geográficas, altitud, msnm, entre otros datos, que se complementaran con la base de datos de cada herbario.

La recolección de briofitas *sensu lato* es relativamente fácil, aunque se debe tener cuidado, ya que se pueden dañar sus estructuras, además es necesario que las muestras de gametofitos incluyan los esporofitos, ya que son indispensables para su identificación, para ello se recomienda usar una espátula pequeña o un cuchillo para extraerla del sustrato. Posteriormente se colocan en bolsas o en charolas de plástico (Sánchez-González y González-Ledesma, 2007) acompañadas de una etiqueta que sea lo más específica posible (Delgado-Moya et al., 2022), incluyendo el tipo de sustrato de donde se tomaron, ya que es un carácter diagnóstico (Sánchez-González y González-Ledesma, 2007). Aunque no es común, también se pueden prensar acomodando las plantas entre periódicos, cartones y pequeños sobres de papel, o incluso en bolsas de celofán.

En el caso de los helechos la técnica de recolecta es similar al de las gimnospermas

y angiospermas (plantas con semillas); pero más sencilla, pues las pteridofitas normalmente no son tan rígidas, las hojas son usualmente planas y de dos dimensiones (Croft, 1999). Debido a que los helechos son muy diversos morfológicamente (desde hojas delgadas a gruesas, de tamaño diminuto a varios metros), se deben recolectar dependiendo de su morfología. Para los helechos pequeños se prensa la planta completa, mientras que los de hojas grandes se seccionan en dos o tres partes representando todas las características diagnósticas para su identificación.

Cada ejemplar debe incluir el ápice de la hoja, la parte media y la región basal, incluyendo el pecíolo y los pelos y/o escamas asociadas (ya sea como parte del ejemplar o por separado), de igual manera se debe recolectar el rizoma; además es necesario tomar nota y fotografías de las partes que no podrán observarse posteriormente (Sánchez-González y González-Ledesma, 2007). Para la colecta de esporas, pelos, escamas o cualquier tricoma, se recomienda llevar pequeñas bolsas de celofán, de glicyne o sobres de papel manila (para el caso de esporas), almacenarlas bien y etiquetarlas (Lorea y Riba, 1990).

En los helechos es importante incluir hojas que estén fértiles, ya que la forma y posición de los soros son caracteres sobresalientes e importantes, mientras que en los dimórficos es necesario recolectar ambas hojas (vegetativa y fértil) (Figura 4). El rizoma si es muy largo o ancho, se recomienda recortar longitudinalmente a la mitad (Moran, 2019).

Para el prensado de los helechos recolectados se recomienda llevar papel periódico de aproximadamente 25x30 cm, en el cual

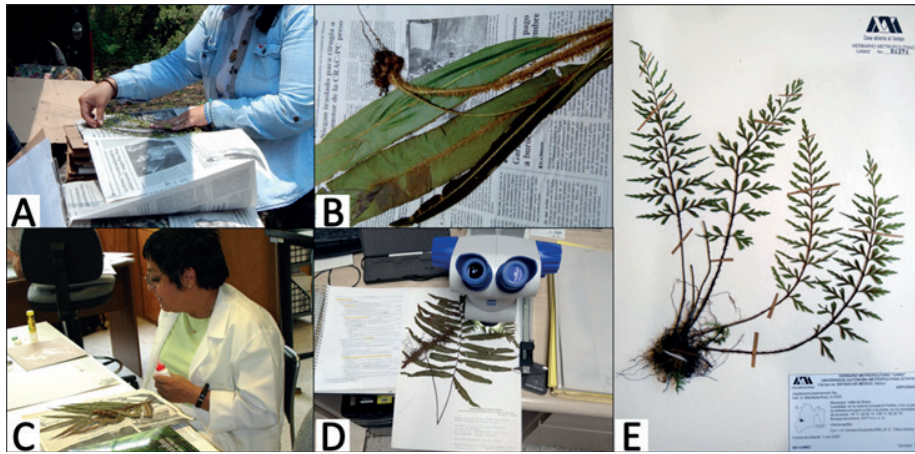


Figura 4. A. Prensado de las hojas en campo. B. Helecho dimórfico después del secado. C. Montaje de ejemplares de herbario. D. Identificación de los ejemplares de herbario. E. Ejemplar montado, identificado e intercalado en el herbario.

se colocarán los ejemplares (una ejemplar por hoja de periódico) procurando que las pinnas de estos queden bien extendidas (Figura 4). En caso de que la hoja del helecho sea más larga que el periódico, se recomienda doblarla o seccionarla por partes y separarlas. Después, se intercalan entre cartones (corrugado, ya que favorece la ventilación de las plantas) y se recomienda colocar máximo dos ejemplares dentro de sus papeles periódicos, por cada par de cartón. Poniendo como base inicial y final un cartón para que al amarrar la prensa no se dañen los ejemplares.

En caso de que las especies de briofitas o pteridofitas sean escasas en el sitio de recolecta o estén en la NOM-059, no se recomienda recolectar, bastará con tomar fotografías, dichas imágenes se pueden montar en cartulinas como cualquier otro ejemplar con su respectiva etiqueta con la información del ejemplar e incorporarlos a los herbarios.

El material biológico ya prensado es llevado a estufas o secadoras especiales en donde se deshidratan para eliminar la posible

aparición de hongos o bacterias que pudieran dañar los ejemplares e incluso evitar llevar plagas a los herbarios.

En el caso de las briofitas (debido a su diminuto tamaño), al secarse, pueden perder algunas características como los cuerpos de aceites que tienen algunas hepáticas foliosas, ya que se llegan a desintegrar con el secado, por ello es indispensable tomar fotografías y anotaciones para llegar a su adecuada identificación.

El tiempo de secado variará dependiendo de las especies, ya que existen algunas plantas muy delgadas (en cuanto a grosor de hojas) y otras coráceas (hojas gruesas), por ello es importante revisarlas con frecuencia para que no se quemem las hojas.

Ambos tipos de materiales son identificados mediante claves especializadas con la finalidad de ponerles un nombre científico de acuerdo con las reglas de la taxonomía apegadas al código de nomenclatura botánica donde se incluye el nombre del género y de la especie, agregando el nombre del descriptor de la especie (Ej. *Acrostichum*

aureum L.), así como el nombre de la familia a la que pertenecen (Figura 4).

En el caso de las briofitas, para lograr una adecuada identificación es necesario tener en cuenta el tipo de sustrato, ya que es un carácter para separar especies, por lo tanto, es importante recabar estos datos en la libreta de campo (Sánchez-González y González-Ledesma, 2007). Para ello es recomendable tener una base de datos propia, en donde se almacenen dichos datos de manera ordenada.

Una vez procesado el material (secado e identificado), cada ejemplar de helecho se monta en una cartulina blanca de medidas especiales (40 cm del alto y 28 cm de ancho) (Figura 4), por lo que la forma en la que quede el ejemplar en la prensa será la forma en la que quedará representada durante el proceso de montaje. Y para que ello pase, se recomienda que las hojas de los helechos no sobrepasen las hojas de periódico (Lorea y Riba, 1990). En el caso de las briofitas su montaje es diferente, ya que no quedan en cartulinas, sino en sobres de papel manila de 21.5 x 28 cm, el cual es especial debido a que es un papel grueso y absorbente, éstos también se almacenan en los herbarios.

Cada ejemplar deberá estar acompañado por una ficha técnica de identificación, en donde se mencionará la especie, el lugar de recolección, tipo de vegetación, coordenadas geográficas y las características de la especie, así como los nombres de los recolectores y la persona que está identificando la especie. Además de tener todas las características más importantes de cada especie. También deberá llevar un número de identificación o registro (que será asignado por el herbario al que se anexarán).

Pasado el proceso de identificación y montaje en el caso de helechos y lycopodios, se coloca una camisa de papel en forma envolvente y pasa a ser intercalado en los gabinetes de los herbarios, dentro de carpetas que están acomodadas por los curadores y personal administrativo de los herbarios.

Conclusión

Los herbarios representan la flora regional, estatal o nacional, y éstos se han enriquecido gracias a los recolectores, a los taxónomos y diversos científicos distinguidos que dedicaron o siguen dedicando su vida al conocimiento de la flora como el Dr. Jerzy Rzedowski, quien marcó un camino a la botánica mexicana; el Dr. Arturo Gómez-Pompa, que además ha impulsado el desarrollo de más herbarios en nuestro país; o el Dr. Claudio Delgadillo que es el iniciador del grupo de briofitas del MEXU. La mayoría de los herbarios se pueden consultar también en internet, ya que sus bases de datos se encuentran disponibles para que toda persona interesada en algún grupo de plantas pueda consultarlos.

Debemos mencionar que además de poder observar y conocer diferentes especies de la flora, los herbarios también sirven en el área de biología molecular, ya que para dichos estudios es necesario tomar una pequeña muestra de las plantas ahí depositadas con previa autorización de los encargados (curadores) de los herbarios.


Los helechos y briofitas son plantas que anteriormente no se les daba gran importancia y por ende sus estudios estaban limitados a un grupo pequeño de investigadores. Afortunadamente, en la actualidad esto está cambiando y cada vez hay más científicos interesados en su estudio, abarcando distintos puntos como el taxo-

nómico, florístico e incluso para conocer los compuestos químicos que pudieran tener algún efecto benéfico en el campo de la medicina, agricultura, etc.

Consideramos que es importante concientizar a los estudiantes a nivel licenciatura y de postgrado para que conozcan las técnicas de recolección de estas plantas a fin de incrementar su diversidad en los herbarios nacionales. Con el fin de evitar el deterioro del medio ambiente, es importante recordar que para la recolecta de cualquier planta se necesita contar con un permiso especial expedido por la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT).

Referencias

1. Acosta-Rosado, I. Crivelli, E. C. Pale-Palle, J. J. y Castillo-Campos, G., ¿Qué tanto sabes sobre...los herbarios?. *Eco-lógico*, 4[1], pp. 104-115, 2023.
2. Croft, J., A guide to collecting herbarium specimens of ferns and their allies. Australian National Herbarium, Centre for Plant Biodiversity Research, Canberra. Disponible en: <http://www.anbg.gov.au/fern/collecting.html> Fecha de consulta: 09-02-2023.
3. Delgadillo-Moya, C. Escolástico, D. Hernández-Rodríguez, E. Herrera-Paniagua, P. Peña-Retes, P. y Juárez-Martínez, C., *Manual de Briofitas*. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, México, 2022, pp.156.
4. Gómez-Escamilla, I. N. López-Ferrari, A. R. y Espejo-Serna, A., El herbario Metropolitano: 40 años de fecunda labor botánica. *Contactos*, 120, pp.47-59, 2021.
5. Krömer, T. Acebey, A. R. y Castro-Cortés, R., La importancia de los herbarios. *Conservación biológica*, 1[2], pp.22-26, 2017.
6. Lorea, F. y Riba, R., *Guía para la recolección y reparación de ejemplares para herbario de pteridofitas*. Consejo Nacional de la Flora de México, A.C, 1990.
7. Mendoza-Ruiz, A. y Pérez-García, B., *Helechos y licopodios de México*. D.F. México: CONABIO, UAM, 2009.
8. Moran, R., *American genera of ferns and lycophytes, a guide for students*. The New York Botanical Garden, 2019.
9. Moreno, E., El herbario como recurso para el aprendizaje de la botánica. *Acta Botánica Venezuela*, 30[2], pp.415-427, 2007.
10. Sánchez-González, A. y González-Ledesma, M., Técnicas de recolecta y herborización de plantas. En: Contreras, R. A. Goyenechea, I. Cuevas, C. C. e Iturbe, U., (eds.). *La Sistemática, base del conocimiento de la biodiversidad*. Ciencia al Día 5. Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, 2007, pp.177-193.



**Polímeros de alto rendimiento:
Polibencimidazoles
en celdas de combustible.
Generación de
electricidad limpia.**

Dra. Miriam García Vargas
Dr. Joaquín Palacios Alquisira
Laboratorio de Físicoquímica Macromolecular,
Facultad de Química, UNAM
Dra. Carla Aguilar Lugo
Facultad de Química,
Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM.
Dra. Larissa Alexandrova
Instituto de Investigaciones en Materiales, UNAM.

Resumen

La tecnología de celdas de combustible es un camino prometedor para la obtención de energía eléctrica. Las celdas de combustible generan electricidad y calor durante la reacción electroquímica que ocurre entre el oxígeno y el hidrógeno para formar agua. El tipo de electrolito que se utiliza en dichas celdas determina la efectividad para crear la conductividad necesaria para el transporte de iones. Las celdas de combustible con membrana de intercambio protónico (PEMFC) son las que ofrecen mejores perspectivas a futuro. La familia de los polibenzimidazoles constituye un grupo de materiales atractivos para ser aplicados como electrolitos poliméricos en PEMFC. En el presente trabajo se presenta una revisión enfocada en la síntesis, procesamiento y aplicaciones de los polibenzimidazoles como celdas de combustible.

Palabras clave: polímeros, polibenzimidazoles, celdas, electricidad

Abstract

Fuel cell technology is a promising path to obtaining electrical energy. Fuel cells generate electricity and heat during the electrochemical reaction that occurs between oxygen and hydrogen to form water. The type of electrolyte used in these cells determines their effectiveness in creating the conductivity necessary for ion transport. Proton exchange membrane fuel cells (PEMFC) are those that offer the best future prospects. The polybenzimidazole family constitutes a group of attractive materials to be applied as polymeric electrolytes in PEMFC. In the present work, a review focused on the synthesis, processing and applications of polybenzimidazoles as fuel cells is presented.

Keywords: polymers, polybenzimidazoles, cells, electricity

1.- Introducción

Uno de los temas críticos para la comunidad científica es el cambio climático. En 2019 el consumo de energía a nivel mundial incrementó en 2.9%; esto se puede equiparar a 13864.9 millones de toneladas equivalentes de petróleo; el cual se mantiene como la principal fuente de energía a nivel mundial (32%), seguido de carbón (26%), gas (23%), biomasa (10%), energía nuclear (4%), renovable (4%) (Kalathil et al., 2019). Lamentablemente los combustibles fósiles siguen siendo los principales contribuyentes a la demanda energética mundial, lo cual causa problemas tanto con la sostenibilidad y el costo, ya que la mayoría de las reservas fósiles se están agotando rápidamente y sus precios fluctúan constante e inestablemente. En el escenario actual, la energía eléctrica se considera la principal forma de energía y la necesidad de dicha energía va en aumento.

En búsqueda de tecnologías alternativas para la generación de energía eléctrica se han desarrollado distintas líneas al respecto. En este sentido, las celdas de combustible (fuel cells, FCs, por sus siglas en inglés) se presentan como una alternativa muy prometedora en la generación de energía renovable, con una alta eficiencia; además, ofrecen ciertas ventajas sobre otros dispositivos de conversión de energía. Por ejemplo, son pequeñas en tamaño, silenciosas, tienen un impacto ambiental nulo o bajo y pueden cubrir una amplia gama de aplicaciones de unos pocos vatios o cientos de megavatios (Abdelkareem et al., 2021).

El interés en las celdas de combustible como un generador de energía se originó a los años sesenta, cuando el programa espacial de los Estados Unidos seleccionó las FCs para proporcionar electricidad y agua a las naves espaciales Gemini y Apollo. Hoy en día, la aplicación espacial ya no es la más importante puesto que las FCs han alcanzado una etapa que les permite estar en posición de competir con las tecnologías convencionales de generación eléctrica.

Las FCs pueden definirse como un dispositivo electroquímico que convierte la energía química en energía eléctrica y calor a partir de la reacción química entre el hidrógeno y el oxígeno produciendo el agua. La primera FC fue construida en 1839 por William Grove, quien demostró que la combinación de hidrógeno y oxígeno generaba electricidad además de agua y calor.

Típicamente una FC se presenta en forma de un sándwich donde los electrodos (ánodo y cátodo) están separados por un material que funciona como electrolito (Figura 1). Estas celdas no se agotan como lo haría una batería, ni precisan recarga, ya que producirán energía en tanto se les provea de combustible (Fan et al., 2021).

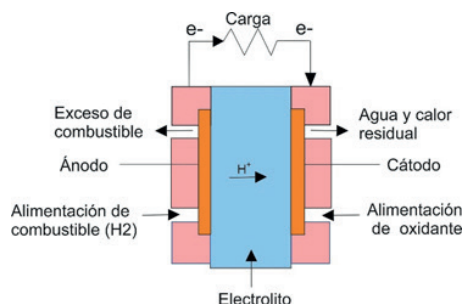


Figura 1. Esquema de una celda de combustible

Características y beneficios de las celdas de combustible

Los beneficios asociados con el uso de FCs para la generación de energía se pueden resumir a continuación (Stambouli, 2011):

- Seguridad energética: por lo general funcionan utilizando energía disponible localmente (combustibles abundantes), reduciendo el consumo de petróleo.
- Confiabilidad: las FC se caracterizan por una alta disponibilidad y operatividad, junto con una degradación mínima (<0.1 %/1000h).
- Costo operativo bajo: a pesar de la inversión inicial relativamente alta, esto se compensa con el costo operativo bajo.
- Fuente de alimentación constante: a diferencia de los motores de diesel, los generadores de respaldo o la fuente de alimentación ininterrumpida (UPS), las FCs se caracterizan por la generación constante de corriente.
- Amplia gama de combustibles: las FCs pueden ser operadas por muchos tipos de combustibles (orgánico/inorgánico, gas/liquido..., etc) dependiendo de su disponibilidad y costo local.
- Eco-amigable: son amigables con el medio ambiente, ya que reduce o elimina las emisiones de gases de efecto invernadero, especialmente en el caso de usar H₂ como combustible u otros combustibles líquidos como el metanol y etanol.
- Sin ruido: el funcionamiento de las FCs es silencioso, suficiente para instalarlo en interiores sin la necesidad de protección auditiva.
- Alta eficiencia: la eficiencia de conversión de energía puede alcanzar hasta el 90% (con una recuperación de calor del 30 al 40%), que es mucho mayor que la de los motores diésel y las turbinas de gas.

Las celdas de combustible se diferencian según el tipo de electrolito utilizado, las condiciones de su funcionamiento, la carga requerida, el combustible disponible, el tiempo de arranque y la aplicación para la que se utiliza. Existen muchos tipos de electrolitos tanto en estado sólido como líquido. Estos electrolitos (membrana) determinan las características operativas de la celda, principalmente su funcionamiento a temperaturas altas o bajas. Las FCs que funcionan en condiciones de baja temperatura requieren un catalizador para acelerar la reacción química, el ideal es el platino (Pt); sin embargo, esto contribuye significativamente al costo. Por otro lado, las celdas de combustible de alta temperatura no requieren Pt para acelerar la reacción. En relación al tipo de electrolito utilizado, las FC se clasifican en 5 grupos principales: (Kirubakaran et al., 2009).

- I. Celda de combustible de carbonatos fundidos (MCFC)
- II. Celda de combustible de óxido sólido (SOFC)
- III. Celda de combustible alcalina (AFC)
- IV. Celda de combustible de ácido fosfórico (PAFC)
- V. Celda de combustible de membrana de intercambio protónico (PEMFC)

Celdas de polímero sólido o membrana de intercambio protónico (PEMFC).

Las PEMFC son el tipo más familiar y ampliamente utilizado debido al hecho de que pueden mejorar drásticamente las propiedades energéticas. El componente más importante de este tipo de celdas es la membrana polimérica que se usa como electrolito conductor de protones. La membrana se encuentra entre dos electrodos:

uno cargado negativamente (cátodo), y el otro cargado positivamente (ánodo) separando físicamente los gases a ambos lados (Figura 2).

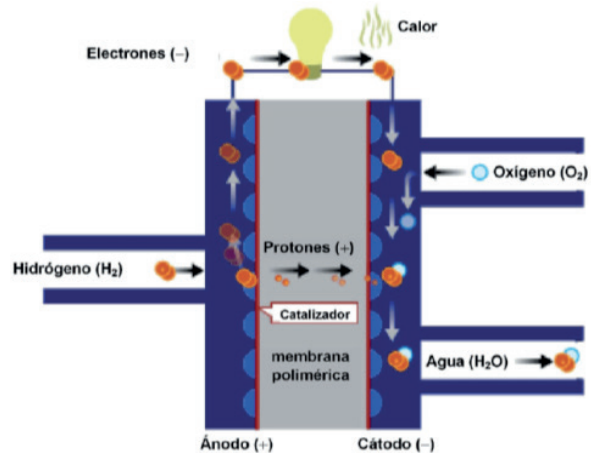


Figura 2. Esquema del funcionamiento de una celda de hidrógeno, de tipo PEM

La membrana polimérica debe tener una alta capacidad para conducir protones. Los protones generados atraviesan la membrana, pero los electrones no pueden cruzarla por lo que buscan la manera de salir a través de un circuito alternativo: el formado por las capas difusoras (que al ser de un material carbonoso conducen la electricidad), creando una corriente eléctrica disponible para la realización de un trabajo. Los principales problemas que presentan estos dispositivos son la gestión de agua y calor, ya que un exceso como un defecto de agua o calor perjudican las propiedades de la membrana, afectando directamente el correcto funcionamiento de la celda.

Dependiendo de la temperatura de funcionamiento, las PEMFCs se clasifican como PEMFCs de baja y alta temperatura, LT-PEMFC (low temperature) y HT-PEMFC (high temperature). LT-PEMFCs funcionan hasta 100°C y HT-PEMFCs trabajan a temperaturas superiores.

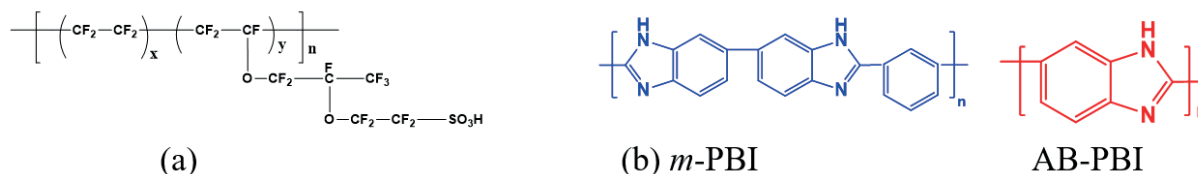


Figura 3. (a) Estructura Nafion, (b) estructura de *m*-PBI y AB-PBI

LT-PEMFC han sido de uso común y amplio, dentro de las cuales el material más usual es una membrana de polímero de nombre comercial Nafion® que es un polímero alifático fluorado modificado con ácido perfluorosulfónico. El Nafion® tienen un rango de operación hasta 80°C; y presenta fallas a temperaturas más altas (Figura 3 a).

Las membranas Nafion® funcionan en condiciones de alta humedad por lo que presentan una fuerte disminución de la conductividad a temperaturas superiores a 90°C cuando se alcanzan condiciones de baja hidratación. Además, altas temperaturas causan la destrucción irreversible de la estructura polimérica a estas temperaturas (Escorihuela et al., 2020). Estas limitaciones prácticas han promovido el desarrollo de membranas que se pueden aplicar en temperaturas de funcionamiento de 140-200°C (HT-PEMFCs) y, por lo tanto, en ausencia de humedad. Existe un número limitado de polímeros que pueden resistir estas condiciones, se llaman polímeros de alto rendimiento. Normalmente son polímeros aromáticos heterocíclicos con estructura de cadenas rígidas y son poco procesables. Entre estos polímeros se destacan los polibencimidazoles (PBIs) por su superior resistencia a condiciones extremas; se puede mantener su estructura, propiedades mecánicas y estabilidad dimensional hasta 400-450 °C durante largo tiempo y, además, son conductores

naturales de protones (Aili et al., 2020). PBIs comercialmente disponibles son el poli[2,2'-(1,3-fenileno)-5,5'-benzimidazol] (conocido como *m*-PBI) y otro como poli[(2,5-benzimidazol)] (AB-PBI) (Figura 3 b). Los PBIs contienen en su estructura sitios donadores de protones (-NH-) y aceptores de protones (-N=) que muestran gran afinidad por los ácidos de Bronsted, que se utilizan como dopantes y proporcionan la conducción de protones (Sannigrahi et al., 2007). Los PBIs solos, sin dopantes, no tienen conductividad suficientemente alta (10⁻⁹ mS/cm) y no pueden emplearse como electrolitos.

PBIs como HT-PEMFCs

Los anillos heterocíclicos y anfótericos de benzimidazol en las moléculas de PBIs pueden no solo ofrecer estabilidad térmica superior, sino también ser modificados por ácidos fuertes lo que permite aumentar drásticamente su conductividad de protones sin afectar sus superiores propiedades termo-mecánicas. Por lo que los PBIs se han empleado ampliamente como membranas en HT-PEMFCs, específicamente, después de ser dopados con ácido fosfórico. El complejo PBI-ácido exhibe una mayor conductividad de protones, menor permeabilidad a los gases y una operación duradera.

Membranas de polibencimidazol dopadas con ácido fosfórico PBI/H₃PO₄.

PBI dopado con ácido fosfórico funciona

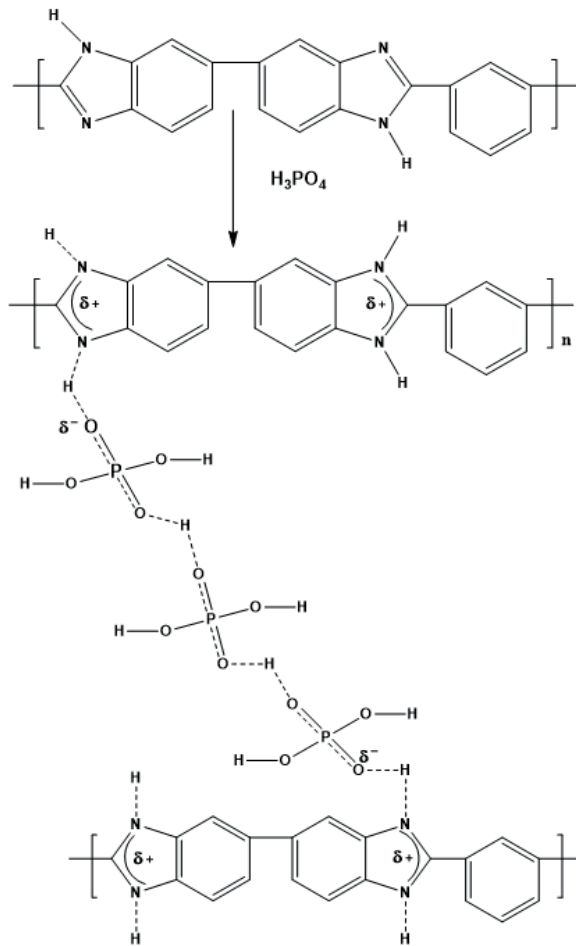


Figura 4. Estructura química de PBI dopado con H_3PO_4

como una membrana conductora de protones capaz de operar en el intervalo de 120-170°C; por su lado, el ácido fosfórico se usa como dopante ya que es térmicamente estable y muestra una conductividad de hasta 800 mS/cm a 200°C. La figura 4 muestra la estructura química de PBI dopado con ácido fosfórico.

Las características fisicoquímicas de las membranas basadas en PBIs deben ser cuidadosamente optimizados, ya que muchos de los parámetros importantes están relacionados de manera directa o indirecta con la cantidad y tipo de dopante.

Por ejemplo, un alto contenido de ácido fosfórico dará una alta conductividad, sin embargo, el ácido puede liberarse o separarse de la membrana, ya que no habrá suficientes sitios aceptores de protones ($-N=$), lo que conduce a la degradación de las propiedades mecánicas. En contraste, una membrana con un contenido más bajo de ácido fosfórico puede tener una conductividad baja que no es suficiente para aplicar en celdas de combustible (Seng et al., 2021).

Teniendo en cuenta las propiedades anteriores, las PEMFCs basadas en PBIs encuentran aplicaciones en sectores de ingeniería como automóviles, espacio, sistemas de respaldo de energía, etc. Otras aplicaciones a destacar son en dispositivos pequeños como scooters y bicicletas, coches para campos de golf, sistemas miniaturizados y para reemplazar a las baterías en diferentes dispositivos electrónicos y militares.

Tecnología de las FCs en el mercado automotriz.

Hoy en día, los sistemas y FCs están disponibles comercialmente. Las tecnologías basadas en FCs y las tecnologías eléctricas se están convirtiendo en una prometedora alternativa a los motores de combustión interna. Técnicamente un vehículo híbrido se denomina a aquellos que combinan un sistema de generación eléctrica por FCs y baterías asociadas a un único motor eléctrico, entonces se puede hablar de sistemas de generación eléctrica basados en el concepto de emisión cero, ya que los únicos productos de la reacción son el agua y el calor en prácticamente todos los tipos de celdas.

Los primeros autos de hidrogeno producidos en masa fueron presentados por pri-

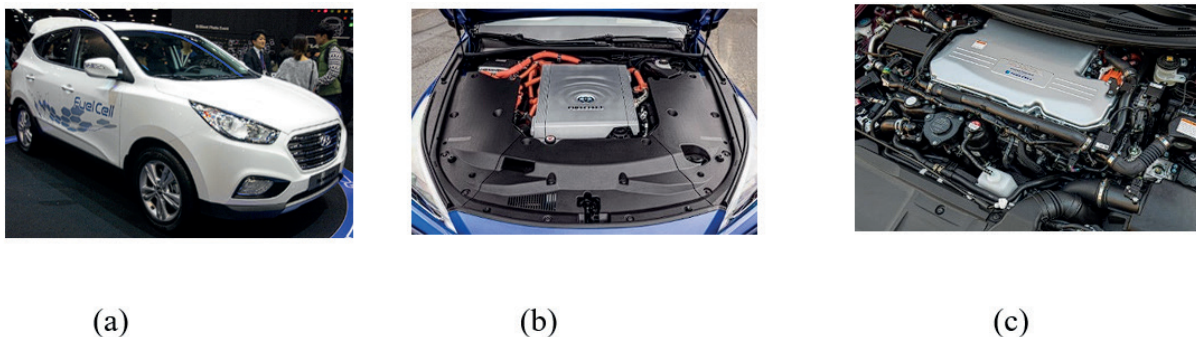


Figura 5. (a) Hyundai Tucson FCEV, (b) Toyota Mirai FCEV, (c) Honda Clarity FCEV

mera vez por Toyota Mirai FCEV, Honda Clarity FCEV y Hyundai Tucson/ix35 FCEV (figura 5) estos vehículos están actualmente a la venta en América del Norte, Europa y Asia. Las ventas de estos vehículos comenzaron en 2014. Además, ahora se están produciendo camiones y vehículos pesados para ayudar a descarbonizar el sector del transporte. Los vehículos eléctricos de batería están experimentando un crecimiento más rápido en el mercado y, por lo tanto, están ganando una mayor participación en el mercado de automóviles de pasajeros, especialmente para aplicaciones urbanas de corto alcance (Hardman & Tal, 2018).

Los principales factores que frenan el uso de PEMFC en vehículos eléctricos e híbridos son (1): el precio total de las pilas y auxiliares, (2) la vida útil de las PEMFC en condiciones de funcionamiento intermitente (afectado por paradas y arranques frecuentes) y (3) gestión térmica, ya que disipan el 50% de su energía en forma de calor y este calor debe eliminarse.

Conclusiones

Actualmente la sociedad disfruta de energía relativamente barata para los medios de transporte; sin embargo, por la situación mundial actual, todo puede cambiar muy rápido y nadie puede predecir el pre-

cio del petróleo. Además, esto causa contaminación ambiental y tenemos que pensar a futuro ya que el petróleo es un recurso no renovable. Alrededor del 50% de los autos que circulan en países de Europa, Estados Unidos y Canadá son eléctricos, se cree que para 2030 cerca del 70% de los autos funcionarían sin el uso de gasolina. De ahí la necesidad de desarrollar nuevas fuentes de energía para el transporte y los dispositivos móviles. Las celdas de combustible del tipo PEMFC se perfilan como una de las opciones más viables, aunque aún se requiere más investigación para disminuir sus costos de producción.

Referencias

- Abdelkareem, M. A., Elsaid, K., Wilberforce, T., Kamil, M., Sayed, E. T., & Olabi, A. (2021). Environmental aspects of fuel cells: A review. *Science of the Total Environment*, 752, 141803. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141803>.
- Aili, D., Henkensmeier, D., Martin, S., Singh, B., Hu, Y., Jensen, J. O., Cleemann, L. N., & Li, Q. (2020). Polybenzimidazole-Based High-Temperature Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cells: New Insights and Recent Progress. In *Electrochemical Energy Reviews* (Vol. 3, Issue 4). Springer Singapore. <https://doi.org/10.1007/s41918-020-00080-5>.

- Escorihuela, J., Olvera-Mancilla, J., Alexandrova, L., del Castillo, L. F., & Compañ, V. (2020). Recent progress in the development of composite membranes based on polybenzimidazole for high temperature proton exchange membrane (PEM) fuel cell applications. *Polymers*, *12*(9). <https://doi.org/10.3390/POLYM12091861>.
- Fan, L., Tu, Z., & Chan, S. H. (2021). Recent development of hydrogen and fuel cell technologies: A review. *Energy Reports*, *7*, 8421–8446. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2021.08.003>.
- Hardman, S., & Tal, G. (2018). Who are the early adopters of fuel cell vehicles? *International Journal of Hydrogen Energy*, *43*(37), 17857–17866. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2018.08.006>.
- Kalathil, A., Raghavan, A., & Kandasubramanian, B. (2019). Polymer Fuel Cell Based on Polybenzimidazole Membrane: A Review. *Polymer-Plastics Technology and Materials*, *58*(5), 465–497. <https://doi.org/10.1080/03602559.2018.1482919>.
- Kirubakaran, A., Jain, S., & Nema, R. K. (2009). A review on fuel cell technologies and power electronic interface. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *13*(9), 2430–2440. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.04.004>.
- Sannigrahi, A., Arunbabu, D., Murali Sankar, R., & Jana, T. (2007). Aggregation behavior of polybenzimidazole in aprotic polar. *Macromolecules*, *40*(8), 2844–2851. <https://doi.org/10.1021/ma070049q>.
- Seng, L. K., Masdar, M. S., & Shyuan, L. K. (2021). Ionic liquid in phosphoric acid-doped polybenzimidazole (Pa-pbi) as electrolyte membranes for pem fuel cells: A review. *Membranes*, *11*(10). <https://doi.org/10.3390/membranes11100728>.
- Stambouli, A. B. (2011). Fuel cells: The expectations for an environmental-friendly and sustainable source of energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *15*(9), 4507–4520. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.07.100>.

La química en nosotros y nosotros en la química



Dr. Jonathan Osiris Vicente Escobar

Universidad Autónoma Metropolitana - Iztapalapa

Dra. Obdulia Medina Juárez

Centro de Investigación en Nanotecnología de CU Valles

Universidad de Guadalajara

Resumen

La química como ciencia básica y experimental se expresa de manera recurrente y desapercibida en nuestra vida diaria. La serie de átomos que dan origen a la vida tienen un comportamiento químico intrínseco y especial, mismo que podemos extrapolar de forma divertida y reflexiva en nuestro entorno como personas individuales y en sociedad. Es decir, encontraremos entre analogías que los átomos como entes que nos conforman (nos dan vida) y nuestra naturaleza humana no es aleatoria.

Abstract

Chemistry as a basic and experimental science is expressed recurrently and unnoticed in our daily lives. The series of atoms that give origin to life have an intrinsic and special chemical behavior, which we can extrapolate in a fun and reflective way in our environment as individuals and in society. That is, we will find among analogies that atoms as entities that shape us (give us life) and our human nature is not random.

Palabras clave. Elementos químicos, comportamiento, química de la vida, sociedad

La química en nosotros y nosotros en la química

Somos una red molecular inconmensurable, que se modula constantemente para permitirnos hacer cosas maravillosas. Pensamos, sentimos, actuamos y estos son procesos globales que se desprenden de una vasta cantidad de interacciones moleculares (una especie de reconocimiento entre moléculas). No vivimos pensando en cómo funcionamos internamente, y no sería muy práctico hacerlo. Por ejemplo, el simple hablar es algo impresionante, toda

una serie de sucesos en sincronía; desde pensar lo que queremos decir, gesticular, generar el sonido preciso y finalmente el comunicarse.

Somos como pequeñas maquinitas químicas itinerantes, generando constantemente toda una serie de eventos bioquímicos de manera inconsciente (desde regular nuestra temperatura, hasta defendernos de todo un arsenal de microorganismos ajenos que pululan en nuestro entorno). Nos conocemos y nos reconocemos, porque la vista nos genera un umbral de sensaciones que nos propicia el mundo externo. Esta es responsable de toda una cascada de respuesta internas (procesos bioquímicos) que nos estimula, nos confunde, nos paraliza, nos hace querer, crear vínculos, nos hace actuar, entre tantos otros sentimientos, emociones y reacciones distintas.

Pero, ahora no es momento de describir o dar razón a la gran cantidad de emociones y sentimientos que solventan nuestra existencia. Hay una situación inevitable en todos nosotros; para vivir en términos bioquímicos hay que nutrarnos, entonces debemos ser capaces de sustraer del ambiente toda la materia disponible (alimento) para poder sustentarnos, de ahí que nosotros nos reconozcamos a través de las moléculas, y seamos capaces de nutrarnos de ello. Y aquí parte la pregunta, ¿todos en esencia estamos constituidos de lo mismo? ¿Por qué seríamos diferentes a los átomos que nos componen, es decir ¿por qué tendríamos un comportamiento alejado de los elementos que propician la vida?

La analogía entre los átomos como entes que nos conforman y nuestra naturaleza humana no es aleatoria. Sabemos que los elementos químicos se organizan en gru-

pos y periodos que poseen propiedades semejantes y bien características, además definen muchas de sus propiedades, y comportamiento “químico”. Nosotros también creamos vínculos de identidad, armamos pequeños muérganos sociales en base a: creencias religiosas, gustos musicales, ideas políticas, culturales, identidad sexual etc. Se sabe que los elementos, se asocian según su afinidad y está es maleable en presencia o ausencia de otro elemento de distinta naturaleza. Esto mismo sucede en nosotros, como entes sociales, y no es que las relaciones interpersonales estén sujetas a caprichos. En el fondo la afinidad es la que determina nuestros núcleos afectivos de manera espontánea. Porque aquellas relaciones dispuestas a voluntades ajenas solicitan un gasto energético innecesario para su buen desempeño y la naturaleza dicta que todo fenómeno espontáneo es aquel que solicita un gasto energético mínimo. En términos termodinámicos la vida es una transferencia de energía de unos a otros.

Desde la secundaria se nos ha dicho que los organismos vivos se componen casi en su totalidad por cuatro principales elementos; Carbono, Hidrógeno, Oxígeno y Nitrógeno (el indiscutible CHON) [1]. Este cuarteto de elementos prodigiosos están presentes en cada una de las biomoléculas que dan origen a la vida, es decir, están completamente a gusto formando estructuras de gran complejidad como son: las proteínas, carbohidratos, ADN, RNA, lípidos etc. Sin embargo, también estamos constituidos por otros elementos en menor proporción, como: el Hierro, Fosforo, Calcio, Magnesio y el Azufre y sin lugar a dudas, sin ellos el mundo no sería el mismo. Así pues, nos daremos cuenta entre analogías que todos estos

elementos tienen un comportamiento químico que se asemeja a nosotros en un entorno tanto individual como social. Por supuesto que el carbono se lleva el primer lugar de la serie.

El carbono, es el elemento desfachatamente más sociable y extrovertido, un millón de compuestos donde el carbono convive con una gran diversidad de elementos es pensar en pocos [2]. Nosotros somos entes sociables y al igual que como el buen carbono, de manera análoga convivimos o nos vinculamos fuertemente con muchos otros elementos de la tabla periódica. Por átomo de carbono, podemos integrar hasta 4 átomos del mismo elemento o de otros elementos afines, es decir, este puede interactuar hasta con cuatro átomos iguales o distintos y estos a su vez con muchos otros más. Pensemos en el carbono como un personaje central que vincula y crea lazos moleculares increíblemente diversos, que desembocan en la creación de: grupos, comunidades y poblaciones moleculares. A modo demostrativo en la Figura 1, el carbono se establece como un puente que enlaza diferentes elementos, así mismo puede unirse a otro carbono, este a otro y así consolidar estructuras sorprendentemente variadas y complejas.

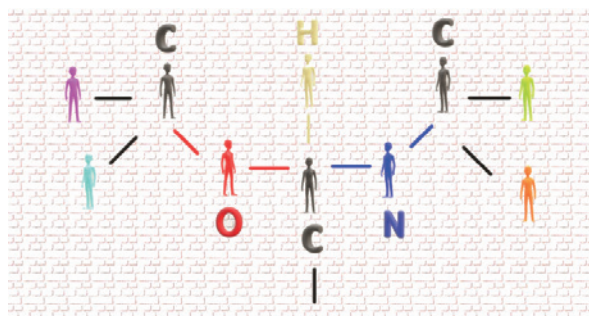


Figura 1. La red infinita del carbono hipersociable.

Sin preocupación alguna, el hidrógeno es el elemento más simple de todos los elementos conocidos, y este, junto al Carbono estructuran gran parte del grosor de todas las biomoléculas existentes. Parecido esto a una alianza de pareja, de compas, siempre uno junto al otro. El hidrógeno tiene un carácter bipolar, pues lo podemos encontrar con carga neta negativo (hidruros) o positiva (ácidos inorgánicos), es un ente de extremos. Lo cierto es que; como hidrogeno diatómico, este es estable, pero inminentemente peligroso, se inflama con facilidad. El hidrógeno es el elemento más abundante en el universo, nosotros somos la especie más abundante en la tierra. Todos partimos de lo simple para seguir aprendiendo. El hidrógeno conlleva toda una gran complejidad en la forma más simple de la materia.

El oxígeno es la gandallez jamás vista en persona, es el segundo elemento más electronegativo de la tabla periódica [3]. Es decir, posee la habilidad para atraer electrones, rara vez tiende a ceder un par de electrones, y por el contrario dista mucho de ser un ente muy compartido, es el siempre yo. Nosotros en mayor o menor medida, pero todos somos un poco como el oxígeno, ya que somos proclives a tener una postura centralizada en el yo. La cultura incide en muchos aspectos de nosotros mismos, el hecho de ser generosos es en gran medida una situación de carácter social. El oxígeno posee una peculiaridad; es un elemento paramagnético, esto quiere decir que siendo un gas es atraído por un campo magnético, si nosotros colocáramos dos imanes a una pequeña distancia uno al lado del otro, el gas se mantendría entre ellos. De manera ficticia podemos ver al mundo y todo lo que nos rodea como un imán que se compone de dos polos, noso-

tros seríamos seres paramagnéticos, que, dada la diversidad, la edad, la cultura etc. nos atraen o repelen impulsivamente unas cosas más que otras.

El nitrógeno tiene un comportamiento neutral, reacciona de diferente manera ante las circunstancias. Todos sabemos de los consejos de la mamá; se respetuoso, defiéndete si te agreden, se cordial con antelación, la situación amerita una reflexión al respecto. El nitrógeno en muchos casos tiende a compartir sus electrones libres. Una particularidad es justamente esa "nobleza" para mostrar todo un abanico de estados de oxidación (una forma de asignar cargas a un átomo dado, en un enlace: covalente o iónico). Como un acto de abnegación o acto de estabilidad, cede o recibe densidad electrónica. La presencia del otro es determinante, y las circunstancias también lo son.

Cuando la gente dice: soy fuerte como el hierro, esto en verdad tiene sentido, pues en nuestro organismo, aunque el hierro no forme parte de nuestra estructura ósea (tejido que da soporte al cuerpo), sí que nos da un profundo respiro de vida al estar presente en la hemoglobina y mioglobina (proteínas que transportan oxígeno a la sangre y músculos respectivamente). Pues el hierro fija o coordina el oxígeno molecular del ambiente para llevarlo a los lugares respectivos en nuestro cuerpo.

Si las condiciones son propicias el Fósforo hace de las suyas, estando solo es un personaje de cuidado, latente a las mínimas provocaciones, este reacciona sin miramientos. En cambio, si en su haber se encuentra con su ejemplar acompañante el mismísimo calcio, ambos seguros y precisos forman fortalezas biológicas sorpren-

dentes, es decir, forman estructuras porosas de gran dureza que le dan soporte al cuerpo. Algo así ocurre con nosotros y solemos actuar de manera distinta cuando encontramos a una persona compatible. En ese sentido somos personas reactivas que nos modulamos y repensamos ante el otro. Tan variados somos como las cosas que nos rodean, somos más complejos que cualquier tecnología actual, y en gran medida estamos hechos tan solo de unos cuantos elementos.

Nuestro mundo interno es increíble, hay diferentes elementos químicos nadando constante y concienzudamente en el agua corporal. Uno de ellos el Sodio, un buen electrolito (Na^+) que navega en nuestro cuerpo llevando la función precisa de asegurar la transmisión de los impulsos nerviosos, y junto a su aliado el Potasio K^+ distribuyen el agua en el organismo mediante un complejo mecanismo de permeabilidad en las membranas celulares [4]. Pero los excesos no son buenos, y esta no es la excepción dado que una abundancia de Sodio en nuestro organismo perjudica los riñones y la presión sanguínea. Lo que nos recuerda: debemos coexistir para generar situaciones favorables y relevantes, pero sin que nuestros hábitos estén orientados hacia lo radical, sino buscar el equilibrio, aunque este no se logre en la palabra estricta en sí....

El azufre por su parte, se acomodó gratamente en uno de los veinte aminoácidos (cisteína) que componen a todas las proteínas existentes, además forma parte de una proteína muy importante y de actualidad como es la insulina. Cuando hablamos del Azufre inmediatamente se nos viene a la mente algo relacionado con el diablo, colores rojos y fuego en el entorno.

Tal vez el Azufre sea uno de los elementos más estigmatizados, pero es una gran verdad que muchos compuestos de este elemento tienen un olor más que desagradable. Cada uno de nosotros poseemos un aroma innato, pero es conocido que la percepción de un cierto aroma depende de diferentes factores (variación genética de un receptor olfativo, ambientales e incluso sociales) [5]. Así pues, hay aromas conflictivos porque estos pueden ser polivalentes, es decir, que están el intervalo de lo repúgnate a lo agradable según quien lo perciba. Tomamos elecciones según el aroma de las cosas y las situaciones e inclusive somos proclives a elegir pareja según su aroma corporal, y esto está intrínsecamente relacionado con procesos bioquímicos sumamente complejos donde interviene el olfato, las hormonas y procesos cerebrales asociados.

No nos debe sorprender que aquello que llamamos “elementos vitales: agua, tierra, fuego y agua” irónicamente y estrictamente hablando no sean elementos, sino moléculas resultantes de enlaces entre elementos, y que están constituidas al menos de alguno de los elementos que hemos inspeccionado. Lo que nos recuerda, que además de fuentes externas se nutre nuestro existir. Esto sugiere una coexistencia entre los elementos que nos constituyen, y los elementos que nos sustentan o vulneran del entorno. No podemos definirnos aisladamente como cuerpo y mente porque las circunstancias externas perturban de algún modo positivo o negativo nuestra integridad cuerpo-mente.

Infinidad de maravillosas analogías sugieren que existe una estrecha relación entre los elementos prodigios (CHON, entidades vitales) y el proceder humano.

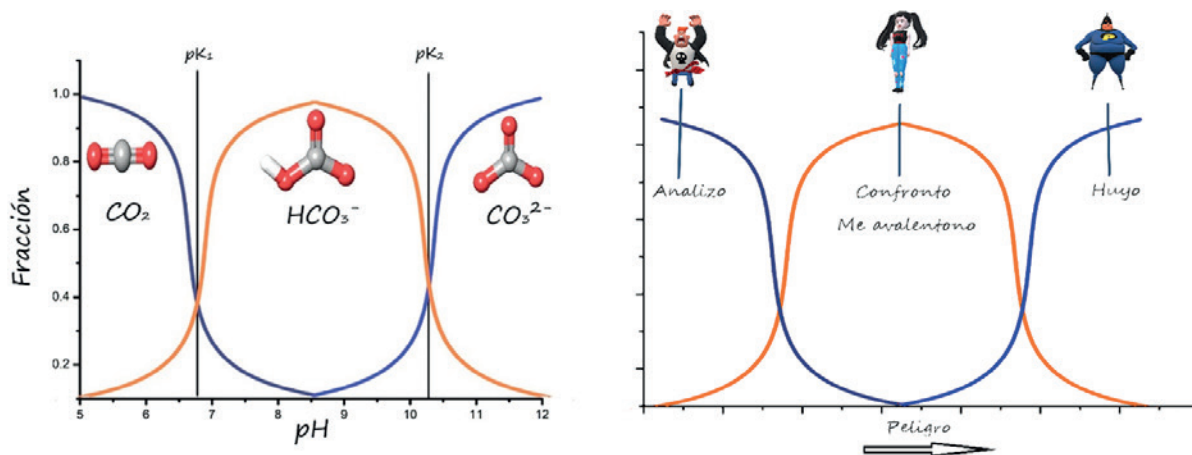


Figura 2. Analogías entre la predicción de un diagrama de distribución de especies carbonato en función del pH y la reacción de distintos individuos ante el peligro.

Todo nuestro complejo organismo cumple tareas específicas y sinérgicas que van encaminadas hacia el bienestar de nuestra integridad. Por nuestra parte creamos lazos de identidad para sentirnos protegidos y respaldados, situaciones que generan una especie de simbiosis en el mejor de los casos. Es primordial el intercambio y la unión de ciertos elementos, es el primer paso para lograr el fenómeno más increíble conocido; la vida misma.

Las reacciones químicas tienen su proceso evolutivo, pueden ser catalizadas. Esto implica que, pueden ser asistidas para llevarse a cabo con mayor velocidad o inhibidas para prolongar el tiempo de la reacción. Aquí un agente externo no altera el producto en sí, pero que si le da un impulso o una pauta. Pensemos en el diamante que necesariamente tuvo que ser sometido a condiciones elevadas de presión y temperatura para distinguirse del grafito. En esencia, cada uno de nosotros bajo nuestras circunstancias individuales, favorables o desfavorables e incluso catárticas encaminamos nuestras acciones hacia nuestras convicciones que tarde o tem-

prano se manifiestan en la dirección por la que nos hemos esmerado.

Es una realidad, nuestro actuar no está predestinado en un diagrama de fases que se pueda predecir bajo ciertos parámetros termodinámicos (presión, temperatura, volumen) [6], ni en un diagrama de predominio de especies químicas gobernado por el pH (ver Figura 2). Nuestro actuar es más complejo y bajo cierto impulso o serie de situaciones no siempre convergemos a un resultado predecible. A modo de ejemplo, imaginemos a un grupo de personas que puestas en una zona que esté sujeta a las mismas condiciones para todos, y en donde seamos libres de desenvolvernos, observaremos que no todos actuemos de la misma manera a una misma circunstancia. Esta diferencia en nuestro actuar forma parte integral de nuestro entorno cultural y biológico. Es un reflejo de nuestras ideas, miedos, motivaciones, y demás circunstancias. También, es verdad que somos seres sociales, capaces de adaptarnos a nuestro entorno natural y humano. En resumen, nuestro actuar no es determinante, y no por ello nuestra naturaleza

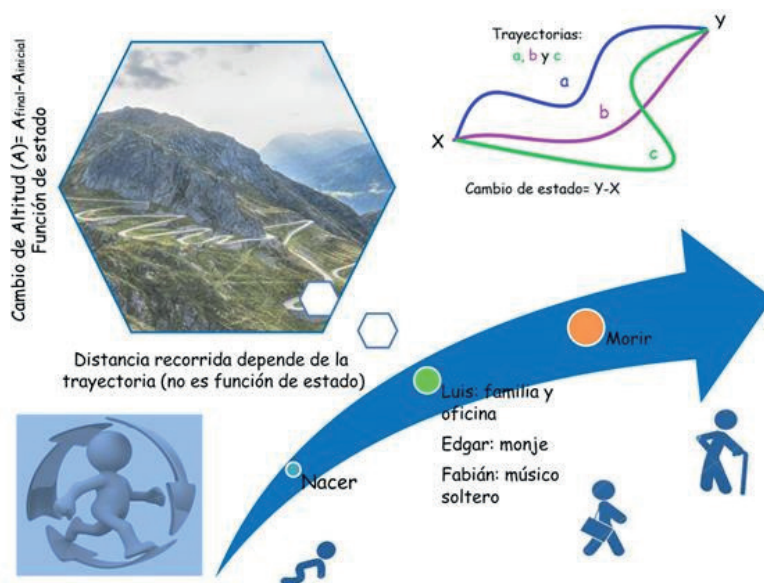


Figura 3. El ciclo biológico del ser humano visto como una función de estado que converge en un inicio (nacer) y un final (morir), sin considerar los estilos de vida. Así como distintos aventúrelos suben la cima de una colina, cada uno escoge su ruta predilecta, y sin importar el tiempo destinado para ello, al final coinciden en el punto de partida y su espectacular panorámica donde allí todos ellos son sometidos bajo los mismos cambios climáticos (temperatura y presión, por ejemplo).

biológica deja de ser consecutiva, es decir: nacer, crecer, reproducirnos y morir. Todo esto, en el mejor de los casos.

¿Pero a donde vamos con esto? Partimos de la premisa inicial, Somos como pequeñas maquinitas químicas itinerantes. Estamos gobernadas por fenómenos naturales y personales (externos e internos). Esto invita a reconocernos como entes termodinámicos, es decir, en donde nuestras acciones son consecuencia sucesiva de cada eventualidad, y entonces conceptualmente son definidas como propiedades de trayectoria, aquello que se construye paso a paso, el resultado es la suma de cada etapa y está en nuestras manos el poder hacerlo. Pero no todo es una posibilidad elegida, también las propiedades de estado nos gobiernan. Esto implica que comenzamos y terminamos en un mismo punto; nacemos

y morimos. No importando los caminos sinuosos en los que hayamos elegido aventurarnos a transitar a lo largo de la vida (ver la Figura 3). Fundamentalmente, sin importar la trayectoria, es vital nacer y trascender en el recuerdo de nuestras semillas de vida, así la cadena evolutiva sigue su ciclo perfecto: “la energía no se crea ni se destruye, solo se transforma”. Una prioridad natural es preservar la vida.

Los átomos actúan según su naturaleza, misma que se expresan en conjunto en el vasto conglomerado de moléculas biológicas que somos. De nuevo nos remitimos a la cuestión primordial de este escrito, ¿por qué tendríamos que ser distintos como individuos y sociedad de los átomos y moléculas que nos conforman? Y ¿Qué fenómenos naturales y químicos rigen nuestro existir?

Referencias

- 1 Horton, H. Robert, Moran, Laurence A., Scrimgeour, K. Gray, Perry, Marc D. y Rawn, J. David (2008). Principios de bioquímica, 4 ed. Editorial Prentice Hall
- 2 Periodic table of elements (2021). Los Alamos National Laboratory, U.S. Department of Energy: <https://periodic.lanl.gov/6.shtml>
- 3 Kenneth A. Goldsby y Raymond Chang (2016). Química, 12 ed. Editorial: McGraw-Hill
- 4 Shrimanker I, Bhattarai S. Electrolytes. (2023). In: StatPearls. Treasure Island (FL): StatPearls: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK541123/>
- 5 Yeston, J. (2005). Chemistry: fun with atoms and molecules. Science, 308, 795–795.
- 6 Irving M. Klotz y Robert M. Rosenberg (2008). Chemical thermodynamics: basic theory and methods, 8ed edición. Editorial Wylie



