

# UNIVERSITARIOS POTOSINOS

Revista de  
Divulgación  
Científica



**CRECIMIENTO  
CRISTALINO:**  
un proceso  
fascinante

Protagonista de  
la biotecnología  
ambiental  
**MANUEL  
ALEJANDRO  
LIZARDI  
JIMÉNEZ**

**METEORIZACIÓN  
DE LAS ROCAS**  
(parte 2):  
fragmentación

**CULTIVO DE  
TEJIDOS VEGETALES**  
aliado en  
la propagación  
comercial de  
**ORQUÍDEAS**



Recibido: 30.08.2022 • Aceptado: 04.10.2023

Palabras clave: Cristales, moléculas, crecimiento, nanotecnología, cuántica.

# Crecimiento cristalino: un proceso fascinante

VÍCTOR HUGO MÉNDEZ GARCÍA

*victor.mendez@uaslp.mx*

LETICIA ITHSMEL ESPINOSA

*leticia.espinosa@uaslp.mx*

IRVING EDUARDO CORTÉS

*irving.cortes@uaslp.mx*

COORDINACIÓN PARA LA INNOVACIÓN Y APLICACIÓN DE LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA/FACULTAD DE CIENCIAS, UASLP

El ser humano ha estado fascinado desde siempre por los cristales, que atraen por su singular brillo, intrincadas formas, presentaciones y colores. Frecuentemente materiales como los zafiros, rubíes, gemas y diamantes, entre otros, han sido utilizados con propósitos ornamentales y artísticos, para realzar la belleza de joyas y coronas. Probablemente derivada de esta fascinación, se les han conferido poderes metafísicos o paranormales; por ejemplo, suele decirse que los cristales poseen vida, que ciertos espíritus viven en sus facetas, que pueden transferir pensamientos curativos o que son capaces de activar los centros energéticos del cuerpo humano (chakras).

Algunos cristales y minerales han tenido utilidad menos atractiva pero bastante práctica; por ejemplo, se han creado herramientas con hematita y la malaquita, utilizadas para pigmentar en colores rojo/ocre y verde, respectivamente. Como materiales de construcción se ha utilizado el yeso, la mica mineral y al granito. En nuestro organismo están presentes cristales diminutos, por ejemplo, en los dientes se encuentran cristales de hidroxapatita, los cuales son fundamentales para la reparación de los huesos rotos y se integran con una matriz orgánica de proteína para darle resistencia a la compresión y rigidez. Para darle sabor a nuestras vidas, los cristales se encuentran en la sal, el azúcar y el chocolate.

Pero no menos fascinante, trascendente e importante ha sido la utilización de los cristales para la creación de nuevos dispositivos, los cuales han llevado al desarrollo de tecnologías de vanguardia. El impacto social de sus aplicaciones es enorme, aunque pudieran pasar desapercibidos, se encuentran en un sinnúmero de aparatos de uso diario. Imaginemos un mundo sin teléfonos inteligentes, sin televisión, internet o sin tabletas electrónicas. Pensemos además cuáles áreas se verían perjudicadas si de la noche a la mañana no tuviéramos sistemas de cómputo. Esta ausencia impactaría a las salas de hospital en donde se monitorea el estado de salud de mucha gente, al sistema educativo que por conocidas razones se ha llevado en línea, y hasta un viaje fuera del planeta, en cuya nave existen una gran cantidad de sensores y sistemas de navegación que a una sola persona le sería imposible

procesar la cantidad de información que esto involucra. Nos hemos vuelto dependientes de estas tecnologías.

Los cristales, particularmente los semiconductores, han sido elementos fundamentales para la construcción de nuestra visión actual del mundo. Su aplicación se basa en sus propiedades y pureza, esta última depende mucho del proceso de elaboración o síntesis, frecuentemente denominado crecimiento debido a la gran semejanza que presenta con el crecimiento de una planta u otros seres vivos; por ejemplo, una planta crece de tamaño cuando los nutrientes del subsuelo y su entorno son los adecuados. Asimismo, resulta impresionante cómo con los elementos, moléculas o átomos adecuados y un entorno propicio, los cristales crecen, aumentan su tamaño y adquieren no pocas veces las formas tan visualmente asombrosas como potencialmente útiles.

### **Crecimiento con estilo**

Hacer crecer cristales es simple. Pueden obtenerse “bosques de cristales” en casa al triturar una aspirina, los pequeños elementos que contiene actúan como semilla, enseguida los fragmentos se disuelven en agua y se deja reposar en un frasco. El resultado después de un par de meses es asombroso. Asimismo, un bosque muy atractivo se crece llevando sólo agua a una temperatura muy cercana a su punto de congelación. Si la botella que la contiene se saca de la heladera y se trata de verter, el agua se rompe súbitamente y se convierte en un increíble arreglo de cristales, como un bosque de nieve.

Los cristales se utilizan para la creación de nuevos dispositivos, los cuales han llevado al desarrollo de tecnologías de vanguardia

El crecimiento de cristales para uso científico o industrial, como en circuitos integrados o transistores, necesita combinar átomos diferentes con mucha más precisión. Los bosques anteriores si bien son muy vistosos, no dejan de ser un proceso de evolución al azar, es decir, no tenemos control sobre la dirección en que crecerán. Uno de los métodos más precisos para hacer cristales es una técnica llamada epitaxia por haces moleculares (MBE). El nombre aparentemente es complejo, pero es fácil de entender. ¡Miremos más de cerca!

### **Haz molecular**

Un cristal está hecho de átomos o moléculas; por ejemplo, en el cristal de agua las moléculas de  $H_2O$  se enlazan para formar estructuras de hexágonos, los cuales se replican en todas las direcciones, guardando celosamente la distancia entre ellos. Esto define a un cristal: arreglo periódico de átomos o moléculas. Como los tapices antiguos que adornaban las habitaciones de los abuelos, esos arreglos periódicos de patrones o motivos.

A escala mucho más pequeña para conformar al cristal, las moléculas son proporcionadas (refiriéndonos a los ejemplos anteriores) en la misma solución del vaso con la aspirina diluida o son parte misma del agua en estado líquido o desordenado, pero también podemos hacer crecer los cristales “aventándoles” moléculas o átomos. Es decir, creamos un haz de moléculas, tal y como si fuera un “spray”, sí, como ese bote de spray cosmético para fijar el pelo o como el de color para grafitear paredes. El reto sería entonces realizar un spray atómico o molecular. Por cierto, de aquí proviene el concepto de “haces moleculares”, es decir, ese spray sería como un haz o rayo de moléculas. Suena retador realizar un haz de precisión atómica.

En busca de sugerencias, observemos con detenimiento a la naturaleza e indaguemos en lo cotidiano. Ponemos agua a calentar, la temperatura como forma de energía rompe la tensión superficial, observamos la sutil transformación de líquido a vapor, vapor de agua en movimiento azaroso, caótico, un baile libre de moléculas que en promedio se elevan hasta cierta altura finita. ¿Por qué no suben más? Hay obstáculos. En las trayectorias de las moléculas de  $H_2O$ , la propia atmosfera es la que las obstaculiza o, mejor dicho, por uno de sus constituyentes: el aire. ¿Qué pasaría si me las ingenio para retirar el aire? Podrían viajar libremente y generar un haz molecular.

Pareciera lógico: si se desea que algo transite libremente, en línea recta, entonces deberá desplazarse a los elementos probables de colisión que tenga enfrente. Entonces, si requiero formar un haz molecular, debería retirar al aire. A este proceso se le conoce como evacuar o hacer vacío. Suena exótico, pero la ciencia y tecnología ha avanzado a la par de nuestra capacidad de hacer vacío. Evacuar es equivalente a despresurizar, cosa que hacemos con mucha frecuencia. Al sorber o succionar un popote a fin de elevar un líquido (agua, jugo o michelada), se establece una diferencia de presión entre dos zonas. Mientras más aire yo retire o más baje la presión, más vacío produciré.

Independiente del propósito, el vacío es fascinante. Entre átomo y átomo que conforman a una molécula no cabe ya

nada, entonces hay vacío. O bien, en el espacio interplanetario, interestelar o intergaláctico, no hay nada, o podemos decir que hay mucho vacío, contradicción lingüística. En resumen, crearé vacío para hacer haces moleculares.

### Epitaxia por haces moleculares

Algo que no deja de sorprender de la naturaleza es su capacidad de réplica. Por poner un ejemplo, la capacidad de autorreplicarse fue una de las primeras propiedades fundamentales que debieron surgir para asegurar la evolución de las formas de vida primitiva. Sin la capacidad de propagarse, cualquier molécula biológica primitiva estaba destinada a desaparecer. Los portadores tempranos de la información genética fueron quizás las moléculas de ácido ribonucleico (RNA), con capacidad de autorreplicarse. Al evolucionar las moléculas de RNA se reemplazaron por ácido desoxirribonucleico (DNA) como material genético, el proceso de la replicación adquirió complejidad y requirió de un gran número de componentes auxiliares. La capacidad de autoreplicarse en cada contagio del virus COVID-19 es lo que ha puesto en “jaque” a la humanidad entera durante los muy recientes años, asimismo los humanos lo combatimos por ejemplo al ingeniar maneras de inhibir esta misma propiedad.

Si se observa a nivel atómico, el crecimiento de los bosques de cristal no es otra cosa que un fenómeno de autorreplica: cristales propiciando la formación de cristales. Así, al arribar el haz molecular a una superficie cristalina es posible controlar que el nuevo material sea también cristalino. A este proceso se le conoce como epitaxia o cristales sobre cristales o un orden extraordinario, una majestuosa alineación con exigencia militar de átomos en las tres dimensiones espaciales.

Mediante la epitaxia se logra una gran perfección cristalina, con muy alta precisión atómica. Si se desea, podríamos diseñar estructuras muy caprichosas; por ejemplo, una capa de átomos de una especie, luego quizás tres filas atómicas más de algún otro material sólo intercambiando el “spray” y así sucesivamente.

### Aplicaciones

Claro, la ciencia y tecnología no han avanzado a través de caprichos, no muchos, sino que esta ventaja de controlar a nivel extremo la formación de los cristales ha conducido a avances extraordinarios. Además, esta



Imagen 1.  
Naica, Chihuahua. Los cristales, bajo condiciones adecuadas crecen tanto como el entorno se los permita.  
Cortesía de: topadventure.

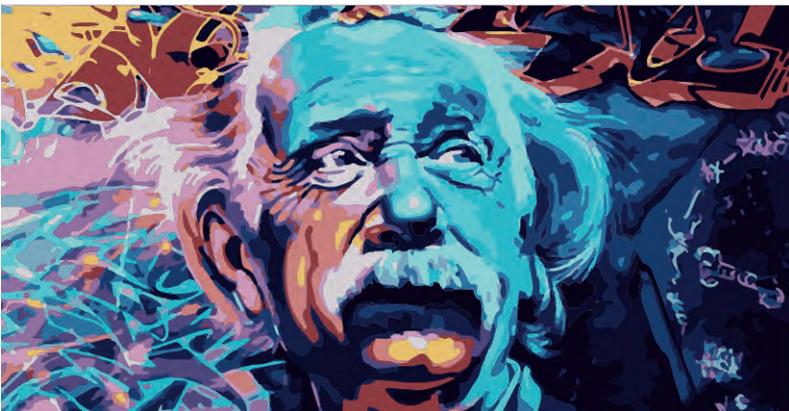


Imagen 2.  
Un grafiti es un método de deposición del haz proveniente de un spray. A nivel nanoscópico podemos cubrir una superficie mediante haces moleculares, propiciando el crecimiento de cristales de muy alta calidad.

# Crecimiento cristalino



Los cristales y minerales tienen usos prácticos como la creación de herramientas, pigmentos, o materiales de construcción, incluso pueden estar presentes en productos cotidianos como la sal, el azúcar y el chocolate.



El crecimiento de cristales se basa en combinar átomos diferentes con exactitud. Uno de los métodos más precisos para lograrlo es a través de una técnica llamada epitaxia para haces moleculares (MBE, por sus siglas en inglés).



La técnica MBE implica el crecimiento de "bosques de cristal", que no es más que un fenómeno de autorreplicación, en el cual es posible la formación controlada de nuevo material cristalino.



Gracias al dominio de esta técnica y la nanotecnología existen varias aplicaciones, como el surgimiento del diodo emisor de luz (LED), el desarrollo de computadoras con mayor velocidad o el avance de la comunicación telefónica, gracias a la creación del HEMT.



técnica es idónea para incursionar en la nanotecnología, nueva rama de la física que ha impulsado nuestra visión del mundo hacia nuevos horizontes y que, sin duda, amerita un ensayo aparte.

Vale la pena conectar la comunión MBE+Nanotecnología con el mundo. ¿Dónde específicamente puedo observar este enlace? Mencionemos tres ejemplos muy trascendentes: iluminación, cómputo, comunicaciones. Aplicaciones tan habituales que por la misma cotidianeidad de



Imagen 3.

Nuestra capacidad para controlar el crecimiento de cristales ha conducido a los avances tecnológicos en las áreas de la comunicación, cómputo y pantallas. La evidencia de esta conjunción muchas veces la tenemos en la palma de la mano, el celular.

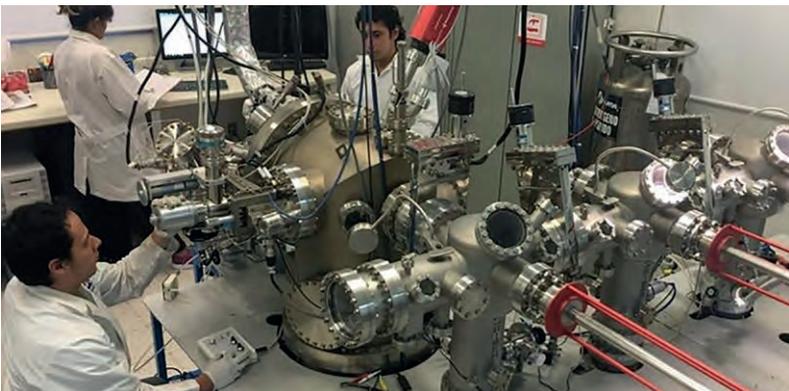


Foto 1.

Cámaras para el crecimiento de cristales mediante haces moleculares. El laboratorio de epitaxia o réplica cristalina más grande de México en el Laboratorio de Nanoestructuras de la UASLP. Cuenta con cámaras de ultra alto vacío para el crecimiento, introducción, desgasado, transferencia. Los haces moleculares son de Ga, Al, In, As, N, Be, Sn y Si, con lo que se desarrollan dispositivos para comunicaciones THz y celdas solares de 3ª generación.

su uso ya pasan desapercibidos, empero los cristales crecidos por MBE de tamaño diminuto están involucrados.

Iluminación. Gracias al dominio de la técnica de crecimiento de cristales y a la nanotecnología surgió el diodo emisor de luz (LED), este método actual de iluminación es cien veces más eficiente que el foco. En términos prácticos, se gasta cien veces menos dinero por iluminación que una década atrás, gracias a esta nueva tecnología. Pero aún más interesante, el área de entretenimiento se vio beneficiado con esta innovación. Es posible realizar LED en varios colores y tamaños muy diminutos por lo que son incorporados como pixeles en las pantallas de tv, monitores de computadoras, tabletas electrónicas, celulares y otros dispositivos. Mayor resolución, mayor área, pero además ¡menor gasto de energía! Justo en este momento puede que estés observando un arreglo de LEDs en alguna de estas aplicaciones. Así de trascendente es.

Cómputo. En China cerca de 100 años a. C. se inventó la primera calculadora, el ábaco, una herramienta para agilizar las cuentas y realizar rápidamente operaciones aritméticas simples como sumar, restar, multiplicar y dividir. La velocidad para realizar estos cálculos dependía de la habilidad y destreza manual de cada usuario. Siglos después, a finales de la década de 1980 aparecen las primeras computadoras personales. Contrastantemente veloces, ¡cinco mil millones de procesos por segundo! Este nivel de avance requirió de dominio en el crecimiento de cristales e incursionar en la manipulación de la materia a nivel nanométrico. Más fascinante es lo que ahora MBE plantea conjuntamente con la nanotecnología del futuro: la computación cuántica. Pronto sabremos de ella.

Comunicaciones. Nuestra capacidad para comunicarnos, sumada al desarrollo de un dedo gordo en la palma de la mano, han sido sin lugar a duda lo que ha hecho al ser humano la especie con el nivel de desarrollo que conocemos ahora. La comunicación acerca a la posibilidad de obtener información y conocimiento, ¡fundamental para el avance de toda civilización! Justo ahora, el desarrollo de la ciencia y la tecnología nos ha acercado a la palma de la mano un aparato de comunicación y con posibilidades de adquirir una gran cantidad de información de manera expedita: sí, el celular o teléfono móvil. El control de la materia a nivel nanométrico mediante el



crecimiento cristales por MBE, condujeron a la creación del un dispositivo llamado HEMT. Éste forma el alma del celular y, de no ser por su invención, estaríamos en la edad de piedra de la telefonía móvil.

### Implementación de la técnica

Para realizar el crecimiento de los haces moleculares creamos primero un micro cosmos de orden interplanetario. ¿Cómo es eso? El interior de una cámara de acero semejante en tamaño a una lavadora de ropa se lleva a una presión cercana a la del espacio interplanetario (10-12 Torr). En esta cámara se colocó previamente un substrato cristalino sobre el cual se harán incidir los haces moleculares y éstos procederán a replicar el orden. Crear un haz, como dijimos, es tan sencillo como calentar mucho un material. Así también, dentro de la cámara se encuentran crisoles con metal para evaporar en minihornos. Si calienta mucho el metal, el haz molecular resultante será más intenso o denso. Este control sobre el flujo del haz permite el dominio del crecimiento a nivel nanométrico y es ayudado gracias a un mecanismo muy simple de obturación. La llegada del haz que formará al cristal sobre el substrato se interrumpe simplemente al tapar la boca del crisol, como retirar el dedo del spray. Si se requiere a partir de ese momento crecer otro material, se destapará el haz correspondiente, así se lograrán realizar estructuras con cambios en composición a nivel atómico, subnanométrico.

Además, si el substrato está muy frío, todo se le pega rápidamente, sin dar tiempo a la réplica, por lo que se formará un cristal de mala calidad. Si está muy caliente ¡todo le rebota! Así que el control sobre la temperatura es crucial.

El ambiente de ultra alto vacío es aprovechado para visualizar el crecimiento del cristal mediante herramientas de investigación y monitoreo ¡y con ello controlar aún más la réplica! Para esto, una técnica de difracción de

electrones llamada RHEED proporciona en tiempo real información acerca de la cinética de crecimiento del cristal, así como información de la velocidad de replica del cristal (en nanómetros por segundo) e indica si el crecimiento es cristalino, amorfo o policristalino. Más aún, la rugosidad, facetas y defectos pueden ser monitoreados con RHEED. Para los cristales, RHEED se asemeja al padre amoroso que sigue su crecimiento, su evolución, aquel que orienta y corrige algunos defectos a tiempo.

### Final remarks

Los requerimientos del ser humano han evolucionado. En etapas tempranas de la historia, el objetivo del ser humano era únicamente satisfacer sus necesidades básicas, estableciendo una comunión en armonía y sustentable con la naturaleza. Posteriormente, llegó a comprender y con ello a aprovechar la materia, así que surgieron áreas relacionadas con la ciencia de materiales y, asimismo, nuevas necesidades denominadas secundarias. En pro de satisfacerlas lo ha llevado a desarrollar nuevas tecnologías; así como nuevos métodos para manipular el mundo a través del control de lo más pequeño, lo más básico y no claramente palpable, el mundo submicroscópico, el reino de la nanociencia y la nanotecnología. En su avance hace uso de cristales para muchos fines, con estos se crea nuestra visión actual del mundo; se han construido a través de ellos una infinidad de dispositivos y aparatos que, sin ellos, la sociedad detendría su crecimiento, puesto que ya no se concibe una sociedad moderna sin celulares, computadoras, internet, pantallas inteligentes, iluminación. Y sí, allí hay cristales, pero antes están las tecnologías, para crearlos y hacerlos crecer mediante la epitaxia de haces moleculares.

Este binomio MBE-Nanotecnología, sin duda, seguirá durante muchas décadas, e incluso siglos, hasta donde el ingenio del ser humano alcance. **UP**

Recibido: 06.09.2022 • Aceptado: 09.10.2023

**Palabras clave:** Fragmentación rocas, intemperismo físico, procesos geológicos.

# Meteorización de las rocas (parte 2): fragmentación

YAM ZUL ERNESTO OCAMPO DÍAZ

*yamzul.ocampo@uaslp.mx*

FACULTAD DE INGENIERÍA, UASLP

GIOVANNI HERNÁNDEZ FLORES

*ghernandez@conacyt.mx*

CONAHCYT-ESCUELA SUPERIOR DE CIENCIAS DE LA TIERRA, UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE GUERRERO

Quando caminamos por las partes altas de las montañas, ríos o por las orillas de la playa, observamos una gran cantidad de rocas de diferentes tamaños, y quizás nos hemos preguntado ¿cómo se han formado esos pequeños o grandes bloques de roca?, ¿cómo es que esos fragmentos han llegado hasta ese lugar? Nuestra mente curiosa genera diversas hipótesis sobre los posibles procesos que favorecieron para que esos fragmentos de roca estén frente a nosotros. Podríamos pensar que fueron transportados por los ríos, el oleaje e incluso por la acción de la gravedad, pero estas respuestas solamente responden a la segunda pregunta, mientras seguimos con la duda de cómo se generaron esos fragmentos. La respuesta a esta pregunta parece ser más complicada o no tener respuesta aún; sin embargo, como veremos en este trabajo, es más simple de lo que habíamos creído. El principal proceso que favorece la fragmentación de las rocas (intemperismo físico) está estrechamente relacionado con las condiciones climatológicas, la vegetación y actividades antrópicas que vivimos a diario. Las condiciones climáticas o cambios drásticos en el clima favorecen el congelamiento del agua, la precipitación de sales, la hidratación-deshidratación y la dilatación y contracción térmica, procesos que durante miles o millones de años fragmentan a las rocas en la geosfera terrestre. Asimismo, el crecimiento de árboles o actividad biológica también producen efectos sobre minerales al romperlos y exponerlos a condiciones donde no son estables químicamente.

Nuestro sistema terrestre, en particular la geosfera, es altamente dinámica y busca el equilibrio de manera constante (Ricci-Lucchi, 1996), por múltiples procesos que pueden ocurrir de manera repentina o en meses, como las erupciones volcánicas (Saucedo *et al.*, 2017), o por eventos que pueden tardar millones de años, como las orogenias, procesos geológicos que provocan el levantamiento de grandes cadenas montañosas u otros que favorezcan la fragmentación o descomposición de las rocas (Ocampo Díaz y Ocampo Martínez, 2020). Los factores que ayudan a que las rocas se descompongan o se fragmenten, están estrechamente relacionados con la temperatura a la que cristalizaron las minerales que le componen (Goldich, 1938).

Recordemos que una roca es un agregado de minerales que ocurren de manera natural y ocupan un lugar en el espacio. En este sentido, y de acuerdo con Goldich (1938), los minerales y rocas que se forman a más altas temperaturas se fragmentarán y descompondrán más rápido en las condiciones normales que suceden diariamente, en comparación con las rocas que cristalizan a temperaturas menores, las cuáles son menos propensas a la desintegración (figura 1). Por lo tanto, si un mineral se cristalizó a temperaturas muy elevadas, como el olivino que cristaliza a temperaturas promedio de 1200 °C, este se descompondrá más rápido que el cuarzo que cristaliza aproximadamente de 800 °C (figura 1).

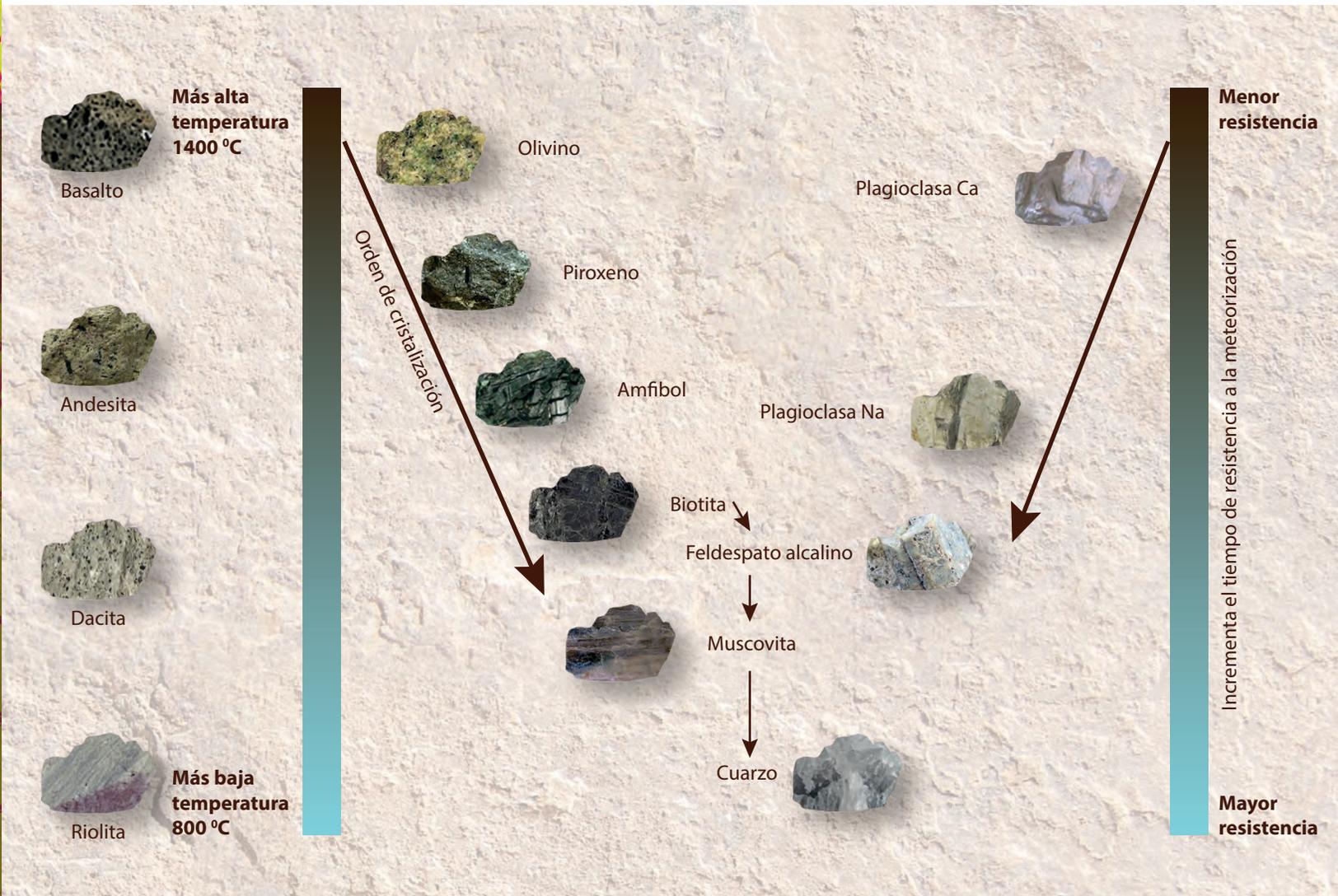


Figura 1. Serie de estabilidad mineral de acuerdo con Goldich (1938). Muestra el orden de descomposición y fragmentación de los minerales y rocas más comunes (modificada de Ocampo Díaz y Martínez Paco, 2023).

Otros procesos importantes que influyen en la fragmentación de las rocas (intemperismo físico), son el clima, la fauna silvestre y la vegetación. En el caso del clima, es uno de los factores importantes que controlan la fragmentación y descomposición de las rocas, ya que regula las condiciones de temperatura y precipitación en cada una de las regiones. No es lo mismo exponer una roca rica en olivinos (mineral de alta temperatura) en las regiones semidesérticas del estado de San Luis Potosí, donde solamente se fragmentará por los cambios en la temperatura (dilatación y contracción térmica), que exponerla en la región tropical de las costas de Guerrero, donde se descompondrá más por diversas reacciones químicas que pueden ocurrir por la abundancia de agua y se fragmentará por los cambios constantes de la temperatura. La importancia del intemperismo físico radica en la generación de partículas o fragmentos de rocas que pueden ser utilizados como materia prima; en grandes acumulaciones en las partes altas de las montañas, y con un agente detonante como el exceso de lluvia, pueden desarrollar flujos de escombros y afectar a los poblados situados al pie de estas montañas. El objetivo principal de este trabajo es dar a conocer los principales procesos del intemperismo físico por el cual se fragmentan las rocas, como una continuación de los trabajos de Ocampo Díaz y Ocampo Martínez (2020), y Ocampo Díaz y Martínez Paco (2023).

### Fragmentación por congelación y descongelación (cuña de hielo)

Las tensiones generadas en las estructuras de las rocas por efectos de congelación y descongelación del agua, tienen efectos altamente rompientes, sobre todo en regiones árticas donde la temperatura varía diariamente. Este proceso se desarrolla cuando el agua rellena grietas, poros o fracturas de las rocas. Cuando el agua se congela incrementa su volumen hasta un nueve por ciento, lo anterior propicia que las fracturas, grietas o poros incrementen su tamaño cada vez que esta se congela o descongela (figura 2). La repetición de este proceso tiende a generar múltiples grietas —cada vez de tamaño mayor— o fracturas que cortarían a toda la roca, de esta manera se generan detritos o escombros de diferentes tamaños que posteriormente serán removidos por los agentes de erosión como el agua o aire, depositados en la corteza terrestre, lagos u océanos. Un ejemplo de nuestra vida cotidiana es cuando guardamos en el congelador de nuestro refrigerador un refresco de cola para dejar que se enfríe y poderlo tomar. Si dejamos

que se congele, el líquido dentro del envase de vidrio incrementará su volumen. El envase se fracturará debido a que no tiene la flexibilidad necesaria para incrementar su volumen a medida que lo hace el líquido, en este caso la gaseosa. Este fenómeno de fracturación es el mismo que sucede cuando el agua se congela en las grietas de las rocas.

### Fragmentación por crecimiento cristalino

La cristalización de sales u otras sustancias también puede producir cambios volumétricos entre el uno y cinco por ciento. Este proceso ocurre con más eficiencia en regiones áridas y cálidas, así como en regiones frías. La precipitación de sales ocurre por migración capilar de soluciones ricas en componentes que favorecen la generación y crecimiento de nuevos minerales dentro de los poros de las rocas. Cuando los minerales precipitan y crecen en la superficie de las rocas se le conoce como eflorescencia; si este proceso se desarrolla dentro de la roca o a la largo de fracturas, se le denomina subflorescencia.

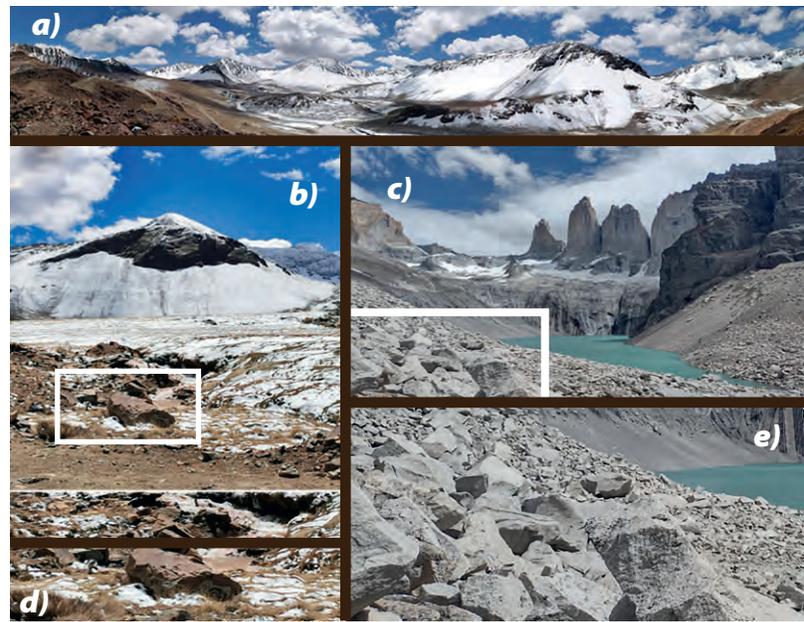


Figura 2. Ejemplos de procesos de congelación y descongelación (cuña de hielo). *a)* Vista panorámica del Glaciar Tomave, Potosí (estado), Bolivia. *b)* Vista frontal del Glaciar Tomave, Potosí (estado), Bolivia. *c)* Vista panorámica del Glaciar Torres del Paine, La Patagonia, Chile. *d)* El recuadro negro muestra el detalle de las rocas fragmentadas por cuña de hielo. *e)* El recuadro negro muestra los fragmentos de roca generados por procesos de congelación y descongelación del agua. Fotografías *a)*, *b)* y *d)*, cortesía de Mónica Saúz. Fotografías *c)* y *e)*, cortesía de Javier Castro Larragoitia.

Algo importante que debe mencionarse sobre el crecimiento cristalino dentro de los poros, es que cuando nuevos cristales crecen dentro de los poros de las rocas o sedimentos, la porosidad disminuye. Este proceso hace que las rocas que podrían ser muy útiles como almacén de agua o hidrocarburos, ya no almacenen grandes volúmenes de fluido o simplemente no almacenen. Como ejemplo de este proceso, se mencionan dos casos que ocurren comúnmente en las rocas carbonatadas o en los materiales que utilizamos para la construcción de nuestras viviendas. En el caso de las rocas calizas, cuando existe una porosidad primaria, es decir, aquella que se desarrolla por el contacto entre los granos o componentes de la roca, es rellenada por nuevos fluidos ricos en carbonato de calcio, se desarrollarán nuevos cristales de calcita en hábito drúscico —crecimiento de los cristales en un hábito lenticular con caras y aristas bien definidas, formando prismas poco desarrollados con terminaciones muy aplanadas— que disminuirán notablemente el volumen de la porosidad inicial de la roca (figuras 3a y b). En el caso de las materias primas que usamos para la construcción de nuestras viviendas, el cemento con que se pegan los tabiques o como revoque de las paredes, también favorece el crecimiento de cristales dentro de sus poros por la migración capilar de fluidos ricos en sales. Recordemos que la pasta utilizada para el revoque es una preparación que implica la mezcla de cemento (carbonato de calcio), arena y agua, por lo que la porosidad en este caso está condicionada por los espacios que quedan libres entre los granos de arena y el cemento (material de tamaño muy fino). Las soluciones salinas son transportadas por capilaridad y rellenan los poros, lo que con el tiempo favorece el crecimiento de cristales. A dichos cristales comúnmente les llamamos salitre (figura 3c y d), y hacen que el revoque o mortero que recubre las paredes se desprenda poco a poco. Por esta razón debe eliminarse de las paredes, para evitar que este se siga cayendo.

### Fragmentación por exfoliación por calor

Las rocas son malas conductoras del calor, por lo tanto, cuando se calientan por el sol, la superficie expuesta se expande más que su parte interna, lo que genera superficies de ruptura de manera repetida en toda la roca (figura 4). La repetición de este proceso desarrolla la típica textura de capas de cebolla (figura 4a y b), también llamada intemperismo esferoidal, o cuando se rompe en capas subparalelas, se le conoce como lajamiento

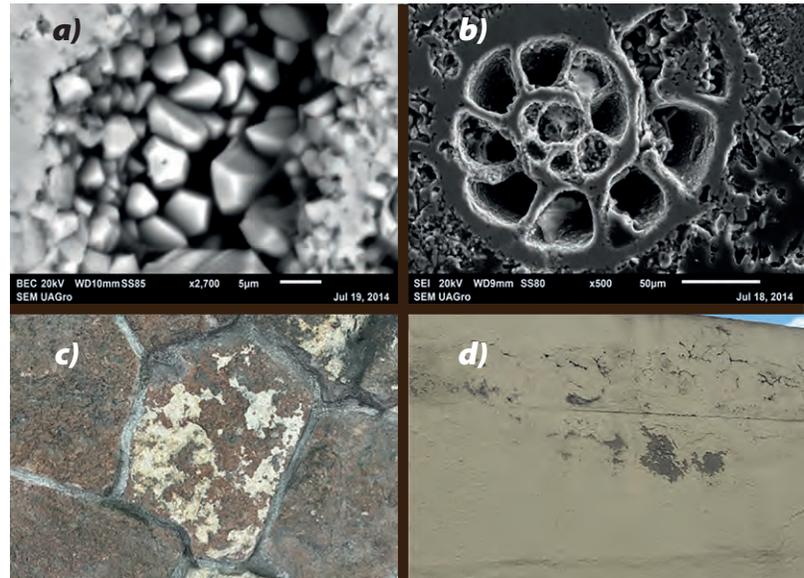


Figura 3. a) Crecimiento de cristales de calcita en hábito drúscico relleno de poros. b) relleno de las cavidades de un microfósil del tipo foraminífero. c) Formación Carrillo Puerto de Yucatán, México. Precipitación de sales sobre un muro de cantera rosa. d) Ejemplos comunes de la precipitación de sales y crecimiento cristalino en nuestras viviendas. Precipitación de sales y crecimiento de cristales en una pared recubierta con mortero. Nótese cómo se están fragmentando y desgajando las paredes en ambos casos.

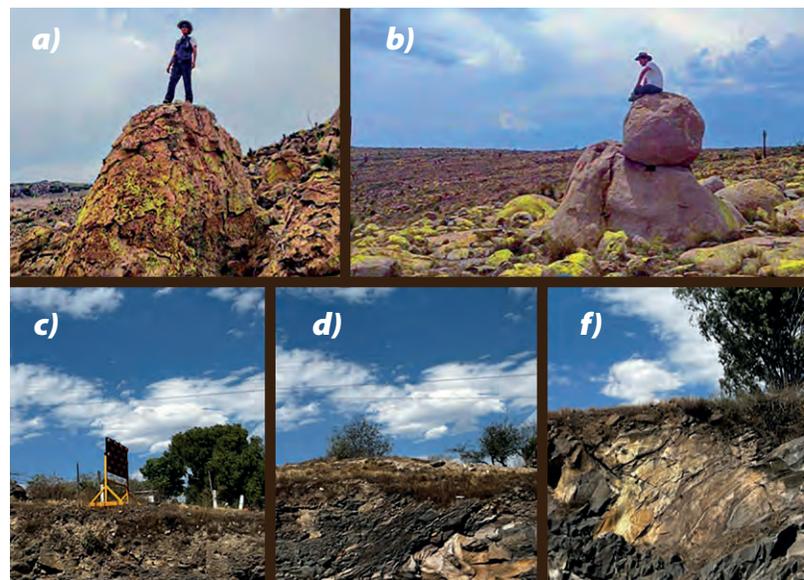


Figura 4. a) y b) Ejemplos de fragmentación por contracción y dilatación térmica en las rocas (intemperismo esferoidal), cerro del Tepetate, SLP, cortesía de Eduardo Monrreal. c), d) y e), ejemplos de fragmentación por dilatación y contracción térmica (lajamiento), carretera Querétaro-San Luis Potosí, cortesía de Margarita Martínez.

(figuras 4c y d). Aunado a esto, la repetición de este proceso también causa esfuerzos de tensión que conducen a la ruptura y mayor desintegración de los minerales.

### Fragmentación por hidratación-deshidratación

El proceso de hidratación está relacionado con la ganancia o absorción de moléculas de agua, lo cual favorece la generación de nuevos minerales; mientras que la deshidratación está relacionada con la pérdida o liberación de moléculas de agua. La hidratación va acompañada con cambios en el volumen de los minerales y rocas, por esta causa llegan a modificarlas físicamente. Un ejemplo de la hidratación es cuando al trióxido de dihierro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , mineral conocido como hematita), se le agrega una molécula de agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ), se formará un nuevo mineral llamado goethita ( $2\text{FeOOH}$ ) (figura 5). Por el contrario, un buen ejemplo de la deshidratación es cuando el yeso ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), por algún proceso pierde el agua que forma parte de él, este se convertirá en anhidrita ( $\text{CaSO}_4$ ) y agua en fase acuosa (figura 5).

Un caso común de hidratación-deshidratación puede ser observado en nuestras calles o parques después de un día de lluvia. Cuando llueve, el lodo absorbe el agua, de esta manera incrementa su volumen. Con el incremento de la temperatura durante el día y posterior a la lluvia, estos minerales arcillosos (lodos) liberarán el agua absorbida y así perderán volumen. Este proceso de dilatación y contracción genera grietas que al unirse unas con otras adquieren forma de polígonos (figuras 6a-c). Por este motivo, se conocen como grietas o polígonos de desecación (figuras 6a-c). Este proceso ocurre comúnmente en condiciones áreas, es decir, después de llover, el sedimento se expone a calor solar, pierde agua y se agrieta. Sin embargo, cuando el material lodoso se encuentra en condiciones acuosas, las arcillas se contraen en respuesta a cambios en la salinidad del líquido que rodea un depósito. Es muy común que este proceso se desarrolle en los salares, en donde la sobresaturación de cloruro de sodio ( $\text{NaCl}$ ; sal común) favorece la expulsión espontánea del líquido que genera la contracción de los sedimentos lodosos (figuras 6d-f).

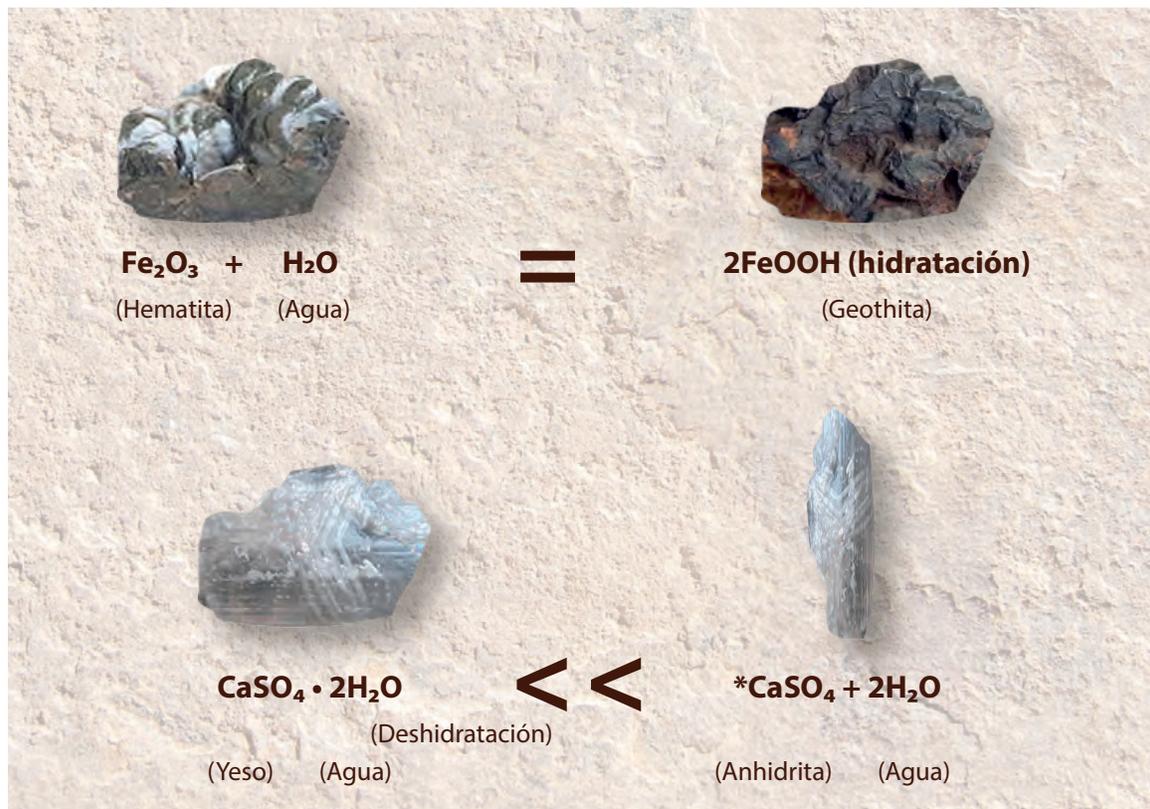


Figura 5. Ejemplos de los procesos de hidratación de la hematita que por este proceso genera goethita, y de la deshidratación de la anhidrita que favorece la generación de yeso. Fotografías cortesía de Daniel Galván Tristán.

Es doctor en geociencias por la Universidad Autónoma de Nuevo León. Es profesor investigador en la Facultad de Ingeniería de la UASLP y realiza el proyecto "Sedimentología y procedencia de las sucesiones Triásicas y Cretácicas en San Luis Potosí".



## Conclusiones

En la geosfera terrestre ocurren diariamente cientos o miles de procesos físicos que favorecen que las rocas, minerales y materiales que empleamos en la construcción de nuestros hogares, se fragmenten y generen partículas de diversos tamaños, desde gravas hasta lodos. La mayoría de estos procesos son benéficos en nuestra vida cotidiana, por ejemplo, la fragmentación por cuña de hielo genera bloques de materia prima que pueden ser utilizados en la industria de la construcción. Del mismo modo, el proceso de hidratación-deshidratación, la cual genera yeso,

ampliamente utilizado en la industria de la construcción y en fabricación de fertilizantes. Sin embargo, algunos de estos procesos pueden causar daños a la población; por ejemplo, la acumulación de partículas o escombros en las partes altas de las montañas pueden ser removidas y transportadas pendiente abajo como flujos de escombros, de esta manera pueden cubrir a las poblaciones situadas en estos lugares. Como ejemplo podemos mencionar el caso del poblado de Minatitlán en Colima, el cual después de las intensas lluvias generadas por un huracán el 27 de octubre de 1959, fue cubierto por flujos de escombros y dejó a los habitantes de esta localidad sin hogar. Por último, y como recomendación a las personas que piensan o están construyendo sus hogares con bloques de roca, les sugerimos utilizar aquellas rocas que sean más estables a las diversas condiciones climáticas. En este caso, pueden ser las que cristalizan o se forman a más baja temperatura, con la finalidad de que tengan el mayor tiempo de vida útil por las condiciones en las que se formaron y porque estarán sujetas a condiciones similares a las que se formaron. <sup>UP</sup>

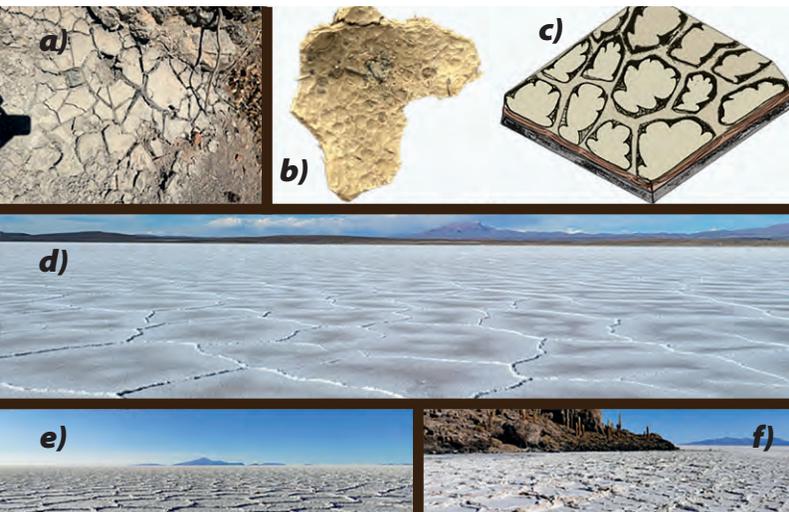


Figura 6.

Ejemplos de hidratación y deshidratación de sedimentos. a) y b) Grietas de desecación con marcas de impacto de lluvia generadas en el arroyo Los Chopes, San Rafael, Charcas, SLP. c) Boceto de grietas de desecación. d) Vista panorámica del salar de Uyuni en Bolivia, que muestra grietas de desecación rellenas por sal (*syneresis crack*). e) y f) Detalle de las *syneresis cracks* del salar de Uyuni, Bolivia, y de la isla de Incahuasi, parte central del salar de Uyuni, Bolivia. Fotografías d) y f) cortesía de Mónica Saúz.

## Agradecimientos

A Mónica Saúz, Javier Castro Larragoitia y Eduardo Monreal, por las fotografías obsequiadas para el presente trabajo. A Daniel Galván Tristán por las fotografías de los minerales mostrados como ejemplo. A los revisores anónimos que con sus comentarios han enriquecido la versión inicial de este manuscrito.

## Referencias bibliográficas:

- Goldich, S. S. (1938). A study in rock-weathering. *The Journal of Geology*, 46(1), 17–58. <https://doi.org/doi:10.1086/624619>
- Ocampo-Díaz, Y. Z. E. y Martínez-Paco, M. (2023). Meteorización de las rocas, *Universitarios Potosinos*, 274, pp. 1-7.
- Ocampo-Díaz, Y. Z. E. y Ocampo-Martínez, H. H. (2020). El mundo de las arenas: perspectivas sedimentológicas. *Universitarios Potosinos*, 247, pp. 10-15.
- Ricci-Lucchi, F. (1996). *La scienza di Gaia. Ambiente e sistemi naturali visti da un geologo*. Zanichelli.
- Saucedo, R., Macías, J. L., Ocampo-Díaz, Y. Z. E., Gómez-Villa, W., Rivera-Olguin, E., Castro-Govea, E., Sánchez-Núñez, J. M., Layer, P. W., Torres-Hernández, J. R. y Carrasco-Núñez, G. (2017). Mixed magmatic-pheratomagmatic explosions during the formation of the Joya Honda maar, San Luis Potosí, Mexico. In K. Németh, G. Carrasco-Núñez, J. J. Aranda-Gómez y I. E. M. Smith (Eds.), *Monegenetic Volcanisms*, 446, pp. 255-280). Geological Society of London.

Recibido: 19.05.2022 • Aceptado: 21.02.2023

Palabras clave: Propagación comercial, micropropagación, sistemas de inmersión temporal.

# Cultivo de tejidos vegetales aliado en la propagación comercial de orquídeas



MARCO ANTONIO RAMÍREZ MOSQUEDA

*amosqueda@cibnor.mx*

DAVID RAÚL LÓPEZ AGUILAR

*daguilan04@cibnor.mx*

ANDRÉS ORDUÑO CRUZ

*aorduno@cibnor.mx*

CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS DEL NOROESTE S.C., UNIDAD GUERRERO NEGRO

La biotecnología mediante el cultivo de tejidos vegetales representa un aliado muy importante en la micropropagación comercial de orquídeas. En este artículo se abordan aspectos relevantes sobre la micropropagación de orquídeas y las innovaciones como el uso de sistemas de inmersión temporal (SIT). Con la finalidad de obtener la mayor cantidad posible de plantas a través del cultivo de tejidos vegetales.

El cultivo de tejidos vegetales es una herramienta biotecnológica que permite el mantenimiento, crecimiento y desarrollo de dichos tejidos. En este sentido, es una alternativa para la propagación de especies vegetales que cuentan con problemas de reproducción tanto sexual como asexual (Dhiman *et al.*, 2020). Sin embargo, en los últimos años se ha convertido en una estrategia para la producción de plantas con interés agroalimentario, agroindustrial, medicinal y ornamental.

Las orquídeas son una familia de plantas que destaca por sus exuberantes flores y colores vistosos; no obstante, la propagación de éstas se ve afectada por la limitada germinación de semillas de manera natural; además de su tardío crecimiento para la obtención de hijuelos que sirvan como propágulos comerciales (parte de una planta

capaz de originar vegetativamente otro individuo). Por tal motivo, se han implementado prácticas de micropropagación comercial para diferentes especies de orquídeas con interés ornamental. En este artículo, se analiza cómo el cultivo de tejidos vegetales ha sido en las últimas décadas, una herramienta imprescindible en la obtención de propágulos comerciales de orquídeas. Así como un ejemplo práctico del uso de esta tecnología a favor de productores de ornamentales de la región.

### **Morfogénesis *in vitro***

A la respuesta que se obtiene en los tejidos vegetales cultivados *in vitro* se le conoce como morfogénesis. Textualmente, el término se refiere al “proceso biológico que lleva a que un organismo desarrolle su forma” (López-Puc *et al.*, 2021). Según Rocha *et al.* (2018). Existen dos procesos morfogenéticos que pueden ocurrir en tejidos vegetales cultivados en condiciones *in vitro*: 1) La organogénesis, la cual se refiere a la formación de órganos (brotes, raíces, hojas, etcétera) a partir de un ex-plante (fragmento de tejido vegetal, generalmente de 0.5-2 cm de longitud, útil en el establecimiento *in vitro*). 2) Embriogénesis, que es la formación de embriones a partir de células somáticas (cualquier célula de la planta que no sea sexual).





Especie	Medio de cultivo
<i>Cattleya and Laelia</i>	Knudson
<i>Dendrobium tosaense makino</i>	Murashige y Skoog
<i>Odontoglossum gloriosum</i>	Hydro-Coljapw® + ácido naftalenacético
<i>Vanda hybrids</i>	Medio PhytoTechnology Orchid Seed®
<i>Epidendrum ibaguense</i>	Mitra medio
<i>Cyrtopodium punctatum</i>	Medio PhytoTechnology Orchid Seed®
<i>Hoffmannseggella cinnabarina</i>	Knudson C + Benciladenina
<i>Cymbidium aloifolium</i>	Murashige & Skoog + Benciladenina + ácido naftalenacético
<i>Vanda dearei</i>	Knudson C
<i>Dendrobium</i>	Revisión (todo tipos de medios de cultivo)
<i>Dendrobium hookerianum</i>	Murashige & Skoog
<i>Hadrolaelia grandis</i>	Vacin & Went + Tidiazuron
<i>Paphiopedilum insigne</i>	½ Murashige & Skoog + Kinetina + ácido indolacético
<i>Laeliocattleya hybrid</i>	Murashige & Skoog + compuestos orgánicos
<i>Dendrobium officinale</i>	½ Murashige & Skoog
<i>Stanhopea tigrina</i>	Murashige & Skoog + compuestos orgánicos
<i>Paphiopedilum tigrinum</i>	½ Murashige & Skoog + Kinetina
<i>Anacamptis longicornu and Ophrys panormitana</i>	Medio Orchimax
<i>Cymbidium whiteae King &amp; Pantl.</i>	Murashige & Skoog + Benciladenina
<i>Guarianthe bowringiana</i>	Knudson C

Tabla 1. Algunas especies de orquídeas micropropagadas por germinación asimbiótica de semillas.

Las dos respuestas morfogénicas pueden transitar por un estado de desdiferenciación celular (estado en que las células no cuentan con las características que le permitan una función en específica, este estadio se conoce como callo diferenciado: las células de las hojas cuentan con altos contenidos de clorofila) y rápida división; este estadio se conoce como callo. La formación y regeneración de plantas *in vitro* a partir de dicho estadio ha funcionado para la obtención de nuevas formas y tipos de plantas (variación somaclonal). En orquídeas, las respuestas morfogénicas *in vitro* que se han obtenido han sido diversas.

### Propagación de orquídeas a través del cultivo de tejidos vegetales

Las semillas de orquídeas necesitan una asociación simbiótica con hongos micorrícicos (los hongos micorrícicos ayudan a facilitar nutrientes a las semillas de las orquídeas para poder germinar en la naturaleza). A partir de la década



Foto 1. Germinación asimbiótica de orquídeas a) semillas germinadas de *Stanhopea tigrina* después de seis semanas de cultivo en un medio MS (Murashige y Skoog) y b) semillas germinadas de un híbrido de *Cattleya* después de cuatro semanas de cultivo en un medio MS (Foto de Ramírez Mosqueda, 2022).



de 1920 se observó que las semillas de orquídeas podían ser germinadas de manera asimbiótica (este término se refiere a que las semillas de orquídeas germinan sin la presencia de hongos micorrícicos, condición que ocurre en bajos porcentajes en la naturaleza) en un medio artificial, compuesto por macro y micronutrientes, hormonas vegetales y compuestos orgánicos, necesarios para el crecimiento y desarrollo de las plantas (Knudson, 1922). Además de realizarse en condiciones asépticas (libre de gérmenes y suciedad). Después de este descubrimiento, se fueron

presentando cada vez más casos de la germinación asimbiótica de semillas de orquídeas con interés ornamental (tabla 1). En la foto 1 se muestran semillas germinando a través del cultivo de tejidos vegetales.

Por su parte, se han desarrollado estudios de micropropagación comercial de orquídeas a partir del uso de sistemas de inmersión temporal (SIT). En este sentido, se pretende escalar al máximo el número de propágulos comerciales que se puedan obtener a través de la micropropagación.

Especie	SIT utilizado
<i>Phalaenopsis</i>	Biorreactor tipo globo
<i>Oncidium</i>	Biorreactor tipo globo
<i>Cattleya walkeriana</i>	Biorreactores de inmersión temporal
<i>Cymbidium sinense</i>	Biorreactor tipo globo
<i>Paphiopedilum rothschildianum</i>	Recipientes de inmersión temporal automatizados
<i>Vanda tricolor</i>	Recipientes de inmersión temporal automatizados
<i>Bletilla striata</i>	Biorreactores de inmersión temporal
<i>Cattleya forbesii</i>	Recipientes de inmersión temporal automatizados
<i>Epipactis flava</i>	Biorreactores de inmersión temporal
<i>Guarianthe skinneri</i>	Biorreactores de inmersión temporal

Tabla 2. Especies de orquídeas con interés ornamental micropropagadas en SIT



Foto 2. Micropropagación de orquídeas en SIT. a) Recipiente de inmersión temporal automatizado (RITA®) con *Stanhopea tigrina* y b) Biorreactor de inmersión temporal (BIT) con un híbrido de *Cattleya* (Foto de Ramírez Mosqueda, 2022).



Foto 3. Micropropagación de orquídeas a escala comercial. a) micropropagación en laboratorio, b) aclimatación en invernadero y c) orquídea lista para la comercialización (Fotos de Ramírez Mosqueda, 2022).



Foto 4. Productores de ornamentales pertenecientes a Ornamentales Tropicales de Veracruz S.C. de R.L. (OTV) beneficiados a través del cultivo de tejidos vegetales de orquídeas (donación de plantas). (Foto de Ramírez Mosqueda, 2022).

### Propagación de orquídeas en SIT

Los SIT son sistemas de cultivo *in vitro* novedosos, combinan los beneficios de los medios líquidos (la reducción de costos por la falta del agente gelificante) y evita desordenes fisiológicos como la hiperhidricidad (es un desorden fisiológico que puede ocurrir en el cultivo de tejidos de las plantas, relacionado a la acumulación de agua en las células vegetales) (Hwang *et al.*, 2022). Los SIT están representados por recipientes, denominados bio-reactores, que separan el medio de cultivo de los explantes (material vegetal) y se puede programar cuando se requiere que estén en contacto (inmersión) (Valdiani *et al.*, 2019). Existen diferentes marcas y diseños de bio-reactores; sin embargo, no todos son eficientes en la propagación de cualquier especie de orquídea. En la tabla 2 se muestran los estudios de micropropagación comercial de orquídeas con interés ornamental en SIT. En la foto 2 se muestran orquídeas micropropagadas en SIT.

### Importancia del cultivo de tejidos vegetales en micropropagación de orquídeas

Las nuevas tecnologías han permitido el aumento en la propagación de orquídeas con interés ornamental. En este sentido, el cultivo de tejidos vegetales desde hace más de un siglo ha permitido establecer metodologías que ayuden a obtener un mayor número de especies de orquídeas, en menor tiempo y espacio. En la actualidad, se busca obtener el mayor rendimiento biológico (número de brotes por explantes), a través del uso de nuevos reguladores del crecimiento vegetal, nuevos sistemas de cultivo, nuevos medios de cultivo, nuevas fuentes de iluminación (LED); mediante la prueba de diferentes condiciones de incubación, diferentes tipos de explantes, entre otros. Este tipo de investigaciones resultan en un avance constante de información relevante sobre la micropropagación de orquídeas, con la finalidad de satisfacer la demanda ornamental de hoy en día. En la foto 3 se observa el proceso de micropropagación de orquídeas a escala comercial.

A la fecha, se siguen buscando sustancias con efectos bioestimulantes, efectos que generen beneficios morfológicos y fisiológicos en las orquídeas producidas. Uno de ellos es el silicio, el cual genera un aumento en las características morfológicas de orquídeas. Otro ejemplo es el quitosano, que promueve efectos benéficos en las características morfológicas y fisiológicas. Por último, también

## MARCO ANTONIO RAMÍREZ MOSQUEDA

Es doctor directo en Ciencias en Ecología y Biotecnología por la Universidad Veracruzana y obtuvo el Postdoctorado en el Colegio de Postgraduados. Actualmente es investigador en el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. y trabaja en el proyecto "Micropropagación de especies vegetales de zonas áridas".



están los brasinoesteroides, que ocasionan aumento en la multiplicación *in vitro* en diversas especies de la familia de orquídeas. En consecuencia, se considera que día a día se desarrollan investigaciones que permiten aumentar la propagación de orquídeas con fines comerciales.

Esta tecnología fue implementada para el beneficio de productores de ornamentales de la región Córdoba-Fortín del estado de Veracruz, pertenecientes a Ornamentales Tropicales de Veracruz S.C. de R.L. (OTV) (foto 4). Se aplicó el proceso descrito con anterioridad y se logró la donación de orquídeas obtenidas a través del cultivo de tejidos vegetales.

### Conclusiones

El cultivo de tejidos vegetales ha permitido el aumento en la propagación de orquídeas con fines comerciales. Existen nuevas técnicas que aumentan el número de plantas obtenidas por cultivo de tejidos vegetales, algunos ejemplos los sistemas de inmersión temporal. En este caso en particular esta tecnología, anteriormente descrita se aplicó en la producción y donación de plantas a productores de ornamentales. 

### Agradecimientos

Los autores agradecen al Consejo Veracruzano para la Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico (COVEICYDET) por el financiamiento del proyecto 15 0325 que permitió la realización de este trabajo.

### Referencias bibliográficas:

- Dhiman, M., L. Sharma, A. Singh, y M. M. Sharma (2020), "Ex situ conservation using in vitro methods of an endangered plant *Sterculia urens* Roxb.: a high volume trade plant for Gum Karaya", *Industrial Crops and Products*, 158: 113015.
- Hwang, H. D., S. H. Kwon, H. N. Murthy, S. W. Yun, S. S. Pyo y S. Y. Park (2022), "Temporary Immersion Bioreactor System as an Efficient Method for Mass Production of In Vitro Plants in Horticulture and Medicinal Plants", *Agronomy*, 12(2): 346.
- Knudson, L. (1922), "Nonsymbiotic germination of orchid seeds", *Botanical gazette*, 73(1): 1-25.
- López-Puc, G., J. Cano-Sosa, A. Ramos-Díaz, A. Uc-Vázquez. (2021). *Biotecnología Vegetal: Conceptos, técnicas y herramientas*. In: López-Puc, G., J. Cano-Sosa (Eds). *Alcances y perspectivas del área de Biotecnología Vegetal del CIATEJ en el Sureste de México*. Centro de investigación y asistencia en tecnología y diseño del estado de Jalisco A.C. pp 2-16.
- Rocha, D. I., L. M. Vieira, A. D. Koehler, & W. C. Otoni (2018), "Cellular and morpho-histological foundations of in vitro plant regeneration", in *Plant Cell Culture Protocols*, New York, *Humana Press*, pp. 47-68.
- Valdiani, A., O. K. Hansen, U. B. Nielsen, V. K. Johannsen, M. Shariat, M. I. Georgiev, V. Omidvar, M. Ebrahimi, E. T. Dinanai y R. Abiri (2019), "Bioreactor-based advances in plant tissue and cell culture: challenges and prospects", *Critical Reviews in Biotechnology*, 39(1), pp. 20-34.



Recibido: 21.10.2022 • Aceptado: 09.10.2023

Palabras clave: Contaminantes emergentes, impactos ambientales, impactos a la salud.

# Contaminantes emergentes: el nuevo desafío mundial

KARLA XIMENA VARGAS BERRONES

*karla.vargas@uaslp.mx*

INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE RIOVERDE

En los últimos dos siglos la formulación y el uso de sustancias químicas contribuyeron al desarrollo económico y social mundial. Como resultado, miles de mezclas químicas (de origen sintético y natural) forman parte de nuestro medio ambiente y de la vida diaria. En la actualidad, el mercado mundial ofrece una gran cantidad de productos químicos, los cuales están sujetos a sistemas reglamentarios de inventario y demanda. El aumento en la producción global de químicos sintéticos creció exponencialmente. Hoy en día existen más de 80 mil químicos que son utilizados para la manufactura de productos diseñados para cumplir con las necesidades humanas como agentes limpiadores, fármacos, cosméticos, fragancias, productos de cuidado personal, entre otros y que son desechados de forma indiscriminada como parte de un proceso de manufactura o como basura industrial. La mayoría de estos químicos pueden generar serios problemas en la salud humana, algunos de los principales efectos son: procesos anormales fisiológicos, problemas reproductivos, incremento en incidencias de cáncer, desarrollo de resistencia bacteriana y potencial incremento de toxicidad (Gogoi *et al*, 2018). Cada uno de estos contaminantes presenta mecanismos diferentes de acción y pueden tener un efecto específico, o bien, hacer sinergia para presentar efectos adversos a menores concentraciones. En menos de una década, se ha reconocido un nuevo tipo de contaminantes que afectan significativamente la calidad del agua y que ocasionan problemas potenciales de salud y de seguridad pública. Sin embargo, debido a su reciente detección y a que se encuentran presentes en concentraciones muy bajas (partes por millón y hasta partes por billón) existe una brecha en el conocimiento de su ocurrencia, destino, comportamiento, evaluación de riesgos y efectos ecológicos y humanos. Estas sustancias son definidas como contaminantes emergentes.

### **Contaminantes emergentes**

La Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos de América (EPA, por sus siglas en inglés) define a estos contaminantes como compuestos químicos sin regulación en donde su comportamiento, impacto ambiental y repercusiones a la salud es poco entendida (2017). En la actualización del 2016 de la lista NORMAN de la Comisión Europea, se establecieron 1 036 sustancias como contaminantes emergentes. La lista incluye sustancias de uso común como pesticidas, surfactantes, cosméticos, productos para limpieza y cuidado personal; fármacos, retardantes de flama, aditivos para gasolina; así como sus productos de degradación que se usan en todo el mundo y son indispensables para la sociedad moderna. El aumento en la presencia de contaminantes emergentes en el ambiente no puede atribuirse

únicamente a actividades químicas, industrias farmacéuticas y al cambio climático; otras actividades antropogénicas como la minería, agricultura; actividades domésticas y la urbanización pueden contribuir al índice creciente de contaminación, lo que impide la disponibilidad de fuentes de agua sustentable. La ocurrencia de contaminantes emergentes en los recursos de agua es un problema continuo de salud y seguridad del consumo público. Adicional a lo anterior, las plantas tratadoras de agua tradicionales no están diseñadas para eliminar dichos contaminantes, por lo tanto, un alto porcentaje de estos y sus metabolitos pueden escapar y entrar al ambiente por los efluentes de agua del drenaje. Por esta razón, estamos expuestos a contaminantes y es crucial el desarrollo de tecnologías más avanzadas para tratar y eliminar dichos compuestos.

## Disruptores endocrinos

Muchos de estos contaminantes emergentes se han categorizado como disruptores endocrinos. La EPA (2017) los define como agentes exógenos que interfieren con la síntesis, secreción, transporte, enlaces o eliminación de hormonas naturales en el cuerpo que son responsables por el mantenimiento de la homeostasis, reproducción, desarrollo y comportamiento. El sistema endocrino comprende glándulas endocrinas, hormonas y receptores que regulan actividades fisiológicas del cuerpo como la reproducción e influyen en el desarrollo del embrión, diferenciación sexual y desarrollo metabólico. Los disruptores endocrinos *grosso modo* se clasifican en estrogénicos (imitan o bloquean el estrógeno natural), androgénicos (imitan o bloquean la testosterona natural) y tiroideos (compuestos con impactos directos o indirectos a la tiroides). Los mecanismos de los disruptores endocrinos: 1) pueden ocurrir al juntarse con las células receptoras nucleares y hormonales, a veces bloquean o imitan los mensajeros químicos en el cuerpo y causan así efectos adversos, ecológicos y de salud considerables; 2) afectan las concentraciones de hormonas en el cuerpo al alterar el metabolismo; 3) causan interferencia con las señales que son controladas por las hormonas para la homeostasis y 4) pueden modificar o modular ciertos receptores mensajeros químicos de las células que son responsables de sistema inmunológico.

Algunos de los efectos de los disruptores endocrinos incluyen: la alteración del sistema reproductivo y de los niveles endógenos de esteroides, diabetes, problemas cardiovasculares, comportamiento neuronal anormal y relacionado con la obesidad. Estos xenobióticos se encuentran en la mayoría de los productos manufacturados de uso personal, desde botellas de plástico, juguetes para niños, cosméticos, pasta de dientes, hasta detergentes y fármacos (hormonas, antiinflamatorios, antiépilépticos, antidepresivos, antibióticos, medios de contraste, entre otros). El alto uso de estos químicos en el ámbito doméstico, veterinario y hospitalario principalmente, ha incrementado su presencia en aguas residuales, superficiales y potable en áreas urbanas; las principales fuentes de contaminación son las aguas residuales provenientes de laboratorios, hospitales y facilidades médicas. Existen otras fuentes de contaminación como la defecación de humanos

y animales (parcial o completamente metabolizada), a través del desecho de productos sin uso, desagüe doméstico, tanques sépticos, efluentes industriales, aguas residuales urbanas, prácticas agrícolas, limpieza en casa y actividades recreacionales. Los compuestos más comúnmente encontrados en cuerpos de agua son: antibióticos, antiácidos, esteroides, antidepresivos, analgésicos, antiinflamatorios, antipiréticos, tranquilizantes, estimulantes, drogas de prescripción y sin prescripción; medio de contraste, ftalatos, compuestos fenólicos (bisfenol A, nitrofenol, nonilfenol, alquilfenol y clorofenoles), triclosan y etinilestradiol, dietilstilbestrol y 17- $\beta$  estradiol). Aunque las cantidades introducidas al ambiente son muy bajas (ppm o ppb), estas concentraciones pueden tener efectos adversos en la calidad del agua y representar un riesgo estrogénico para los ecosistemas y la salud humana (Gogoi *et al.*, 2018).

## Marco regulatorio de contaminantes emergentes

Los intentos para mejorar la calidad del agua y el ambiente resultaron en un número de legislaciones en países de todo el mundo para reducir la producción y el uso de químicos peligrosos. Existen marcos de referencia regulatorios para monitorear y administrar las fuentes potenciales de contaminación de algunos contaminantes prioritarios en el ambiente acuático; empero, los contaminantes emergentes no están sometidos a las mismas regulaciones. Es común que no existan regulaciones específicas para nuevos compuestos, subproductos, farmacéuticos y productos para el cuidado personal, por lo que muy pocas precauciones o ninguna se han tomado para asegurar que no se derramen estos productos al drenaje. Debido a la poca información de los impactos, futuro y niveles de concentración de los contaminantes emergentes es problemático para los gobiernos controlar el uso y administrar los niveles que se encuentran actualmente en el ambiente; existen pocos acuerdos que concuerden sobre los contaminantes emergentes que deberían ser monitoreados. La presión hacia la regulación de compuestos tóxicos para establecer nuevas directivas en el futuro cercano es un problema que debe tratarse de manera urgente; ya que estamos expuestos a riesgos crecientes e indefinidos por la presencia de contaminantes emergentes reconocidos y sin clasificar (Stefanakis y Becker, 2016).

# Contaminantes emergentes

El aumento de la producción global de químicos, utilizados en casi todos los productos diseñados para el ser humano y que normalmente son desechados, ha provocado lo que conocemos como basura industrial.

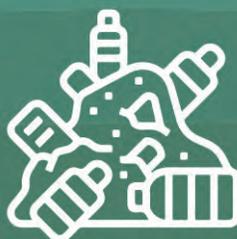


Los contaminantes emergentes son sustancias que afectan la calidad del agua y que son considerada amenazas potenciales contra la salud y los ecosistemas.



Algunas de estas sustancias incluyen:

- Pesticidas
- Cosméticos
- Productos de limpieza y cuidado personal
- Fármacos



Existen marcos regulatorios para monitorear y administrar las fuentes de algunos contaminantes; sin embargo, debido a la poca información del impacto de los contaminantes emergentes, existen pocos acuerdos que concuerden el monitoreo de estos.





## KARLA XIMENA VARGAS BERRONES

Doctora en Ciencias Ambientales de los Programas Multidisciplinarios en Ciencias Ambientales de la UASLP. En la actualidad es posdoctorante en el Instituto Tecnológico Superior de Rioverde y trabaja en la estancia posdoctoral titulada "Ocurrencia de sales cuaternarias de amonio y sus subproductos de purificación en muestras de agua. Un desarrollo tecnológico sostenible para su sustitución en desinfectantes".

### Perspectiva en América Latina

Los estudios de contaminantes emergentes en América Latina son recientes y han aumentado de forma importante en la última década. Uno de los primeros estudios fue el de Stumph *et al.* (1999), en el que se reporta la identificación de fármacos y sus metabolitos en aguas en Río de Janeiro y se hace énfasis en la falta de información de contaminantes emergentes en América Latina. Actualmente, los contaminantes emergentes más estudiados en dicha región son los fármacos (ibuprofeno, carbamazepina, trimetoprim, sulfamethoxazole, cafeína y naproxeno), seguidos por productos de cuidado personal y, por último, los disruptores endocrinos. Debido a la falta de regulación en esta área geográfica existe una descarga acelerada y creciente de estos compuestos, lo cual representa un riesgo importante en el impacto ambiental y en la salud pública (Vargas Berrones *et al.*, 2020). Se ha reportado que Ecuador seguido por México son los países que más realizan estudios al respecto (Peña Guzmán *et al.*, 2019).

En la actualidad, investigadores cuantifican y estudian los contaminantes emergentes en el ciclo del agua para proveer una oportunidad en la planeación del control y tratamiento de estos contaminantes con el fin de reducir los impactos en el medio ambiente y en la salud humana. Pese a esto, en América Latina el estudio de contaminantes emergentes no se ha realizado con este propósito; la corriente actual es que las investigaciones hechas en estos países son más científicas y académicas que para el manejo del ciclo del agua urbana o como una fuente de regulaciones y políticas públicas.

### Comentarios finales

Los contaminantes emergentes representan un nuevo desafío global para el mantenimiento de la calidad del agua, pues son amenazas potenciales contra la salud humana y los ecosistemas. Tan importante resulta este tema que la Organización de las Naciones Unidas (ONU) lo integró en

los Objetivos de Desarrollo Sostenible como Objetivo No. 6, que es el de garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos. Hay una falta de información sobre la presencia de contaminantes emergentes en varias regiones del mundo, principalmente en países en vías de desarrollo como la región de América Latina. En esta pequeña revisión se identificaron algunas de las principales causas, que son la falta de legislación, alto costo del análisis en matrices ambientales y desconocimiento de los efectos probables. La espaciada y temporal variabilidad de la mayoría de los contaminantes emergentes en el ambiente es un tema de interés desde una perspectiva regulatoria y de investigación, por lo que se espera un crecimiento en los compuestos regulados en un futuro cercano. El problema principal con los contaminantes emergentes es que la mayoría sigue sin regulación y existe poca información al respecto de la ocurrencia y destino de estos en el agua. Como respuesta existe un esfuerzo de muchos países para estudiar su ocurrencia y destino en el ambiente. Es necesario que se adopten buenas prácticas y políticas ambientales para mitigar el riesgo potencial a la salud humana y ecológica con base únicamente en un enfoque del principio precautorio. **UP**

### Referencias bibliográficas:

- EPA (2017). Contaminants of Emerging Concern.  
Gogoi, A., Mazumder, P., Tyagi, V. K., Tushara Chaminda G. G., An A. K. y Kumar, M. (2018) Occurrence and fate of emerging contaminants in water environment: A review. *Groundwater for Sustainable Development*; 6, pp. 169-180.  
Peña-Guzmán, C., Ulloa-Sánchez, S., Mora, K., Helena-Bustos, R., Lopez-Barrera, E., Alvarez, J., et al., (2019). Emerging pollutants in the urban water cycle in Latin America: a review of the current literature. *Journal of Environmental Management*. 237, pp. 408-423.  
Vargas-Berrones, K., Bernal-Jácome, L., Díaz de León-Martínez, L. y Flores-Ramírez, R. (2020) Emerging pollutants (EPs) in Latin América: A critical review of under-studied EPs, case of study -Nonylphenol-. *Science of The Total Environment*. 726. 138493.  
Stefanakis, A. y Becker, J. A. (2015) A review of emerging contaminants in water: Classification, sources and potential risks. En Elaine Mckeown y George Bugyi (Eds.) *Impact of Water Pollution on Human Health and Environmental Sustainability*, pp. 57-82. Estados Unidos de América: IGI Global.  
Stumpf, M., Ternes, T. A., Wilken, R. D., Rodrigues, S. V. y Baumann, W. (1999). Polar drug residues in sewage and natural waters in the state of Rio de Janeiro, Brazil. *Science of The Total Environment*. 225(1), pp. 135-141.

Recibido: 22.06.2022 • Aceptado: 10.10.2023

Palabras clave: Momentos L, distribución GVE, covariables, error estándar de ajuste, distribuciones estacionarias  $GVE_1$  y  $GVE_2$



# Análisis de frecuencias con datos hidrológicos extremos no estacionarios

---

DANIEL FRANCISCO CAMPOS ARANDA  
*campos\_aranda@hotmail.com*  
PROFESOR JUBILADO DE LA UASLP

Las estaciones hidrométricas de los ríos estiman el gasto ( $m^3/s$ ) máximo instantáneo diario y con el mayor de cada año se integra el registro de crecientes o avenidas máximas. Tal serie o muestra estadística se procesa de manera probabilística a través del llamado análisis de frecuencias, para obtener las crecientes de diseño (CD) o gastos máximos anuales asociados a bajas probabilidades de ser excedidos. Con las CD se dimensiona y se brinda seguridad hidrológica a los diques y muros de defensa de las planicies de inundación, a los puentes carreteros y del ferrocarril, así como a todas las obras del drenaje urbano. Cuando en la cuenca o área de terreno que drena a la estación hidrométrica, ocurren urbanizaciones o deforestaciones, los gastos observados tienden a ser mayores y el registro de crecientes mostrará una tendencia ascendente. Ahora tal serie o muestra es no estacionaria.

El análisis de frecuencias permite estimar eventos de diseño de variables aleatorias como crecientes, niveles de ríos, sequías, vientos y lluvias máximas. Con tales eventos se dimensionan hidrológicamente las obras de infraestructura hidráulica, consta de cinco etapas: 1) recopilación de datos y verificación de su calidad estadística; 2) selección de un modelo probabilístico o función de distribución de probabilidades acumuladas (FDP); 3) aplicación de uno o varios métodos de estimación de los parámetros de ajuste de la FDP; 4) adopción de la FDP que mejor representa al registro disponible y 5) con base en la FDP seleccionada, se estiman las predicciones buscadas o eventos de diseño (Khaliq *et al.*, 2006).

La validez y exactitud de los resultados del análisis de frecuencias depende, de manera preponderante, de las dos suposiciones clásicas del registro: que sus datos son independientes y que sus propiedades estadísticas no cambian en el tiempo o condición de estacionario. En la práctica, la independencia se pierde cuando el muestreo de los datos es próximo o cercano y entonces un valor puede estar ligado con el anterior. En registros anuales, tal problema prácticamente no ocurre. Lo no estacionario se origina por el cambio climático global o regional o por los efectos de las actividades humanas en la cuenca, principalmente los aprovechamientos hidráulicos, o bien, los cambios de uso del suelo, sobre todo la deforestación y la urbanización (Khaliq *et al.*, 2006).

Por lo general y de acuerdo con la zona geográfica, el cambio climático puede generar tendencias sutiles ascendentes o descendentes en los registros de datos hidrológicos extremos. Las tendencias fuertes ascendentes de los registros de crecientes anuales y de precipitación máxima diaria (PMD) anual, se originan por la urbanización ocurrida en la cuenca o en las inmediaciones de la estación pluviométrica y la tendencia severa descendente se asocia en los registros de crecientes con los aprovechamientos hidráulicos y en las series de PMD con las deforestaciones o la desecación de lagos, ambas cercanas.

### **Solución del problema**

El ajuste de una FDP no estacionaria implica dos supuestos básicos: 1) se acepta que la no estacionariedad de las series de datos hidrológicos anuales es causada por cambios graduales del entorno geográfico o por el cambio climático global, de esta forma se genera una alteración ligera de sus parámetros estadísticos y 2) se acepta que la FDP es independiente del tiempo, entonces una distribución con parámetros de ajuste variables con el tiempo o alguna otra covariable es aceptable para modelar datos extremos no estacionarios (Katz, 2013).

### **Planteamiento con la distribución GVE**

La extensión de la teoría estadística de valores extremos, al caso de registros hidrológicos no estacionarios, ha seguido varios enfoques descritos por Khaliq *et al.* (2006). Uno de esos enfoques, quizás el más simple, aplica la FDP clásica de esta teoría, la distribución general de valores extremos (GVE) con tres parámetros ( $u$ ,  $a$ ,  $k$ ), permitiendo un ajuste o traslado gradual al introducir el tiempo  $t$  como una

covariable en su parámetro de ubicación  $u$ , conservando constantes los otros dos.

Varios autores han establecido una nomenclatura para estas FDP no estacionarias, por ejemplo, Adlouni y Ouarda (2008) definen la función GVE estacionaria como  $GVE_0$ , la que tiene su parámetro de ubicación variable linealmente con el tiempo ( $u=\delta_1+\delta_2 \cdot t$ ) como  $GVE_1$  y cuando la variación es curva, es decir, cuadrática ( $u=\delta_1+\delta_2 \cdot t+\delta_3 \cdot t^2$ ) es la  $GVE_2$ . En el modelo  $GVE_{11}$  varían linealmente con el tiempo los parámetros de ubicación y de escala.

En los modelos citados, otra covariable que se ha utilizado es algún indicador de la variabilidad climática global o regional, como el índice de la oscilación del sur (SOI, por sus siglas en inglés), que cuantifica la diferencia de la presión del aire en superficie entre Darwin, Australia y Tahití en la Polinesia francesa.

#### Ajuste de la distribución $GVE_0$

El método de los momentos L ( $\lambda_i$ ), que son combinaciones lineales de los momentos de probabilidad ponderada ( $\beta_i$ ), se ha establecido como un procedimiento consistente y exacto de estimación de los parámetros de ajuste de las FDP utilizadas en hidrología. Su estimación comienza con el cálculo de los  $\beta_i$  de la muestra ( $b_i$ ) insesgados que son:

$$1) \quad b_0 = \sum_{i=1}^n \frac{X_i}{n} = \bar{x}$$

$$2) \quad b_1 = \sum_{i=1}^{n-1} \frac{(n-i) \cdot X_i}{n \cdot (n-1)}$$

$$3) \quad b_2 = \sum_{i=1}^{n-2} \frac{(n-i)(n-i-1) \cdot X_i}{n \cdot (n-1)(n-2)}$$

donde  $X_i$  es el dato hidrológico extremo anual ordenado de mayor a menor y  $n$  es su número. Los momentos  $\lambda_r$  de la muestra son:

$$4) \quad \lambda_1 = b_0$$

$$5) \quad \lambda_2 = 2 \cdot b_1 - b_0$$

$$6) \quad \lambda_3 = 6 \cdot b_2 - 6 \cdot b_1 + b_0$$

$$7) \quad t_3 = \frac{\lambda_3}{\lambda_2}$$

El cociente de momentos L de la muestra con similitud con el de asimetría es:

$$8) \quad x(p) = u + \frac{a}{k} [1 - (-\ln p)^k]; \quad k \neq 0$$

cuyos parámetros de forma ( $k$ ), escala ( $a$ ) y ubicación ( $u$ ) son estimados con las ecuaciones 9 a 13:

$$9) \quad c = \frac{2}{3 + t_3} - 0.63093$$

$$10) \quad k \cong 7.8590 \cdot c + 2.9554 \cdot c^2$$

$$11) \quad a = \frac{l_2 \cdot k}{(1 - 2^{-k}) \cdot \Gamma(1+k)}$$

$$12) \quad u = l_1 - \frac{a}{k} [1 - \Gamma(1+k)]$$

Fórmula de Stirling que se utilizó para estimar el valor de la función Gamma:

$$13) \quad \Gamma(\varepsilon) \cong e^{-\varepsilon} \cdot \varepsilon^{\varepsilon-1/2} \cdot \sqrt{2\pi} \cdot \left(1 + \frac{1}{12 \cdot \varepsilon} + \frac{1}{288 \cdot \varepsilon^2} - \frac{139}{51840 \cdot \varepsilon^3} - \frac{571}{2488320 \cdot \varepsilon^4} + \dots\right)$$

#### Ajuste de la distribución $GVE_1$

La generalización del método de momentos L propuesta por Adlouni y Ouarda (2008) para el ajuste de la FDP no estacionaria tipo  $GVE_1$ , considera variable en el tiempo  $t$  la media ( $\mu$ ), cuya ecuación es:

$$14) E[X] = \mu_t + u \frac{a}{k} [1 - r(1+k)]$$

La inspección, como serie cronológica, del registro de datos hidrológicos extremos anuales permite definir si se adopta una tendencia de la media ( $\mu$ ) lineal o curva. Cuando es lineal y se introduce en la ecuación 14, se puede despejar el parámetro de ubicación ( $u$ ) que ahora será variable con respecto al tiempo  $t$ , que fluctúa de 1 a  $n$ ; su expresión es:

$$15) u_t = \delta_1 + \delta_2 \cdot t - \frac{a}{k} [1 - r(1+k)]$$

De esta ecuación se intuye que un estimador  $\hat{\delta}_2$  de  $\delta_2$  se puede obtener mediante una regresión lineal simple entre la variable  $X$  y la covariable  $t$ . Para ello se define o forma una nueva variable  $S_1$  sin tendencia, con la expresión (Khaliq *et al.*, 2006):

$$16) S_1 = X - \hat{\delta}_2 \cdot t$$

Se deduce de la ecuación 16, que la nueva variable  $S_1$  se distribuye según una FDP tipo  $GVE_0$  con parámetros  $u$ ,  $a$  y  $k$  que se estiman con las ecuaciones 9 a 13 del método de momentos L, se destaca que  $u$  (ecuación 12) es igual a  $\delta_1$ , con lo cual quedan estimados los cuatro parámetros de ajuste del modelo  $GVE_1$ , definido por la ecuación 15, que se aplica en la 8 para estimar las predicciones buscadas.

#### Ajuste de la distribución $GVE_2$

El mismo enfoque se utiliza para introducir una dependencia curva o cuadrática en el parámetro de ubicación  $u$ , con la ecuación:

$$17) u_t = \delta_1 + \delta_2 \cdot t + \delta_3 \cdot t^2 - \frac{a}{k} [1 - r(1+k)]$$

Ahora, las estimaciones  $\hat{\delta}_2$  y  $\hat{\delta}_3$  de  $\delta_2$  y  $\delta_3$  se obtienen mediante una regresión lineal *múltiple* de la variable  $X$  contra  $t$  y  $t^2$ . La nueva variable  $S_2$  sin tendencia cuadrática será:

$$18) S_2 = X - \hat{\delta}_2 \cdot t - \hat{\delta}_3 \cdot t^2$$

Con las ecuaciones 9 a 13 aplicadas a la muestra de datos corregidos  $S^2$ , se definen los tres parámetros restantes  $k$ ,

$a$  y  $\delta_1 = u$  del modelo  $GVE_2$ , definido por la ecuación 17, que se aplica en la 8 para estimar las predicciones buscadas.

#### Otra distribución $GVE_2$

Varios autores consideran que usar una variación lineal en el parámetro de ubicación es demasiado simple para representar una muestra no estacionaria de gastos máximos anuales, ya que algunos registros exhiben mayor variabilidad en ciertos años, indicando con ello alguna influencia de factores climáticos. La distribución no estacionaria  $GVE_2$  también se puede aplicar con dos covariables ( $w$  y  $h$ ), quedando el parámetro de ubicación variable ( $u$ ), según la ecuación 15, igual a:

$$19) u_t = \delta_1 + \delta_2 \cdot w + \delta_3 \cdot h - \frac{a}{k} [1 - r(1+k)]$$

Las estimaciones  $\hat{\delta}_2$  y  $\hat{\delta}_3$  de  $\delta_2$  y  $\delta_3$  se obtienen mediante una regresión lineal múltiple de la variable  $X$  contra  $w$  y  $h$ . La nueva variable  $S_3$  sin tendencia o serie estacionaria es:

$$20) S_3 = X_i + \delta_2 \cdot w - \delta_3 \cdot h$$

Con las ecuaciones 9 a 13 aplicadas a la muestra de datos corregidos  $S_3$ , se definen los tres parámetros restantes  $k$ ,  $a$  y  $\delta_1 = u$  del modelo  $GVE_2$ , definido por la ecuación 19, que se aplica en la 8 para estimar las predicciones buscadas.

#### Error estándar de ajuste

Definido por la ecuación 21 evalúa la desviación estándar de las diferencias entre los valores observados y los estimados con la FDP que se prueba; en este caso los modelos:  $GVE_1$  y  $GVE_2$ .

$$21) EEA = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \hat{X}_i)^2}{(n \cdot np)} \right]^{1/2}$$

En tal ecuación,  $n$  y  $np$  son el número de datos de la muestra y de parámetros de ajuste, ahora cuatro y cinco.  $X_i$  son los datos ordenados de menor a mayor y  $\hat{X}_i$  son los valores estimados con la solución inversa  $x(p)$  o función de cuantiles (ecuación 8) que utiliza el parámetro de ubicación variable ( $u$ ), para una probabilidad de no excedencia estimada con la fórmula de Weibull o ecuación 22.

$$22) P = (X \leq x) = p = \frac{m}{n+1}$$

en la cual,  $m$  es el número de orden del dato, con 1 para el menor y  $n$  para el mayor.

**Planteamiento de los análisis probabilísticos**

En los análisis no estacionarios de una o dos covariables, con base en la solución inversa (ecuación 8) se calculan predicciones con periodos de retorno ( $Tr$ ) de 2, 25, 50 y 100 años, a través del periodo de registro, con el parámetro de ubicación  $u$  variable (ecuaciones 15, 17 o 19). La primera predicción corresponde a la mediana, ya que su probabilidad de no

excedencia ( $p$ ) es del 50 por ciento y las tres siguientes se calculan para probabilidades complementarias, para definir su valor superior e inferior, es decir, para los valores siguientes:  $p = 0.96$  y  $p = 0.04$  para el  $Tr$  de 25 años;  $p = 0.98$  y  $p = 0.02$  para el  $Tr$  de 50 años y  $p = 0.99$  y  $p = 0.01$  para el  $Tr$  de 100 años. Además, en estos análisis se pueden hacer predicciones a futuro, con  $t > n$ .

**Primer ejemplo numérico**

La figura 1 muestra los datos y predicciones durante el periodo de registro de la  $PMD$  anual en milímetros en la estación Andong de Corea del Sur, con tendencia lineal ascendente. El registro abarca de 1973 a 2007 con cuatro años faltantes ( $n = 31$ ). Su EEA de la GVE<sub>1</sub> fue de 9.8 mm. Otros resultados se pueden consultar en Campos (2018).

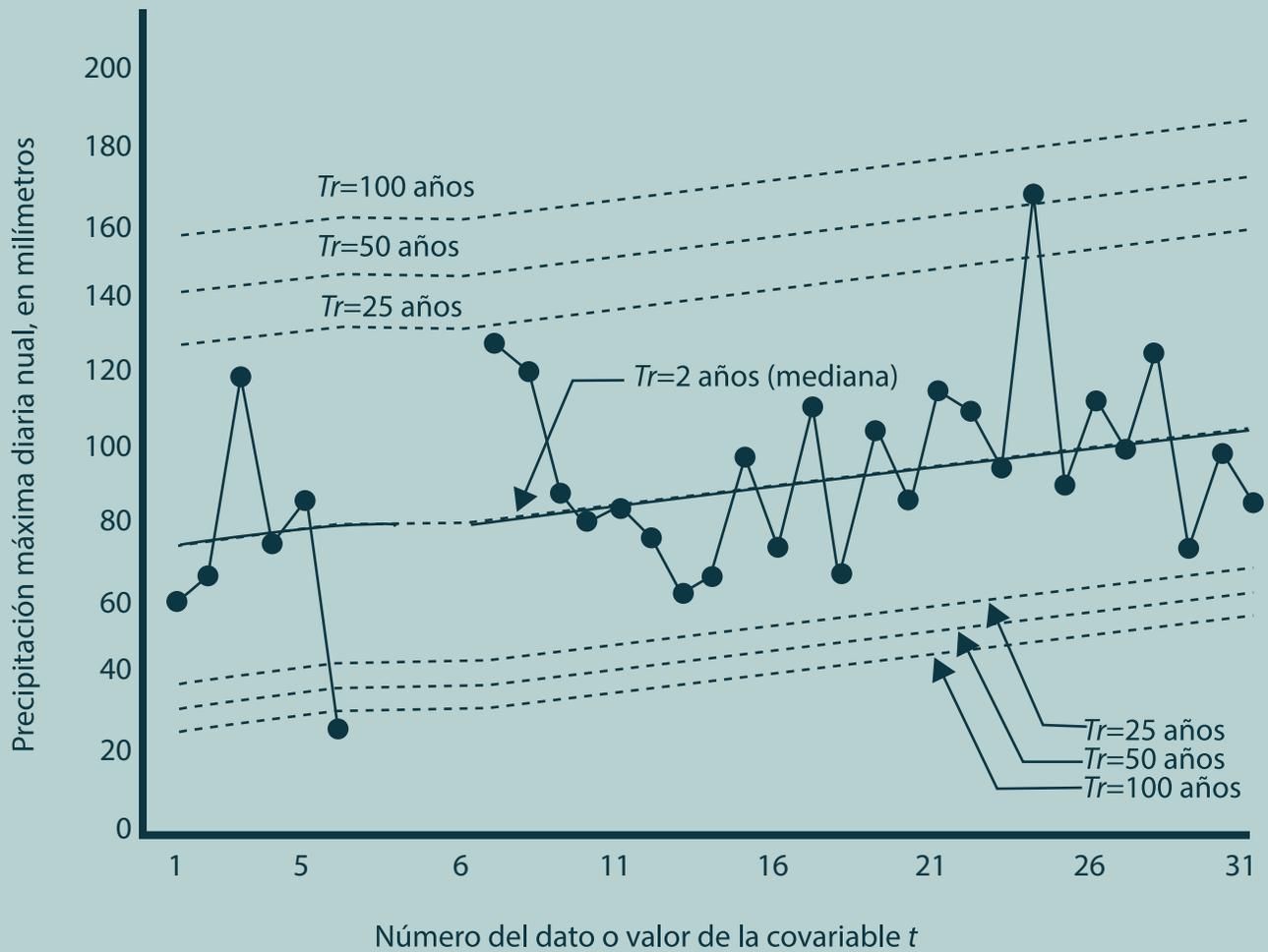


Figura 1. Diagrama de datos y de predicciones estimadas con la distribución GVE<sub>1</sub> en la estación pluviométrica Andong, Corea del Sur.

**Segundo ejemplo numérico**

En la figura 2 se muestra el registro de la estación pluviométrica Tehachapi del sur de California, EUA, de  $PMD$  anual las

ordenadas contra sus valores correspondientes del SOI en las abscisas, que fungió como covariable; se observa o deduce una tendencia descendente curva. Estos datos proceden de El Adlouni y Ouarda (2008) y otros resultados se pueden consultar en Campos (2018).

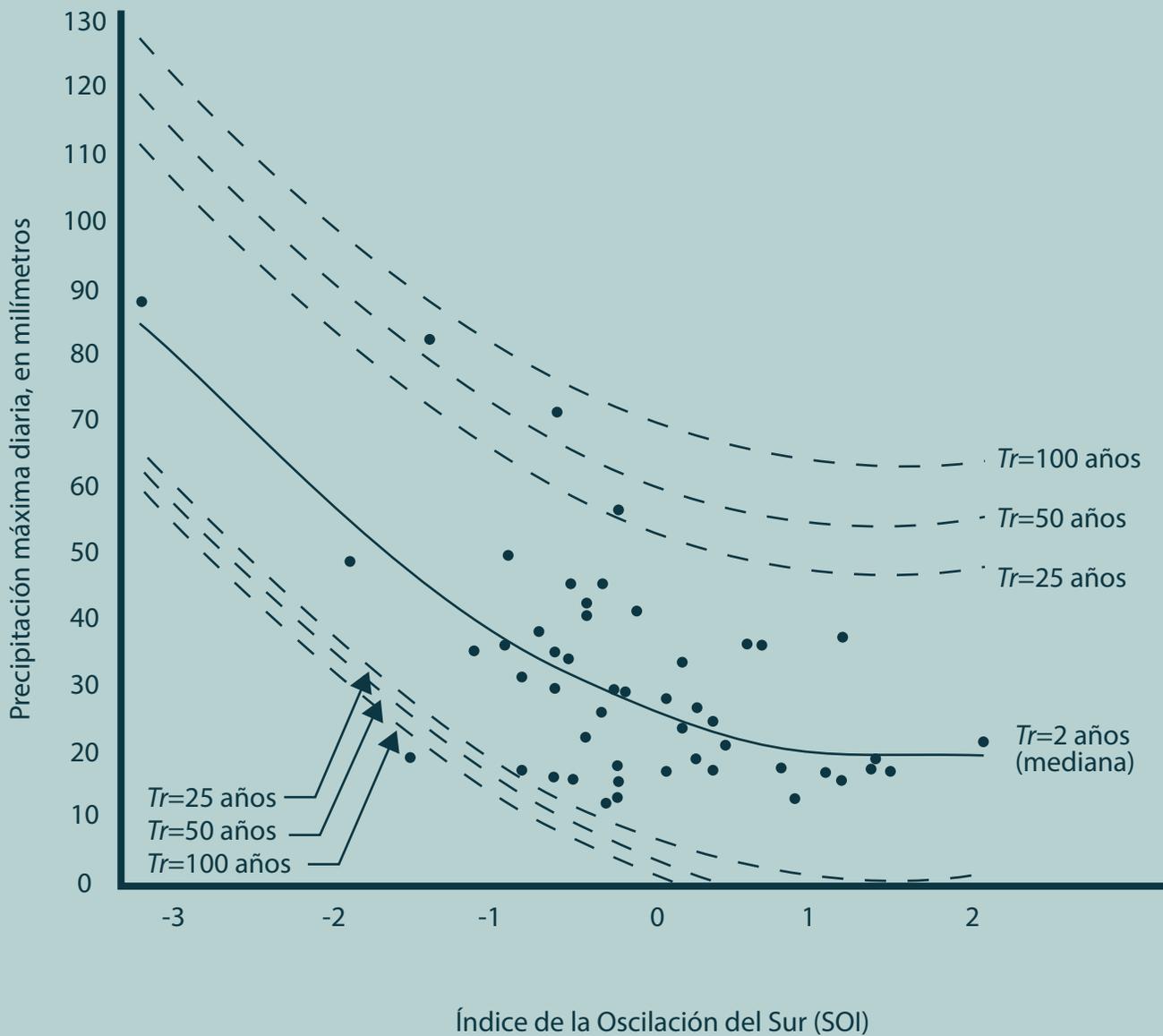


Figura 2. Nube de puntos y curvas de predicciones estimadas con la distribución  $GVE_2$  en la estación pluviométrica Tehachapi del sur de California, EUA.

### Tercer ejemplo numérico

Una cuenca urbanizada en el río Lostock de Inglaterra, tuvo un registro de 33 crecientes anuales durante los años 1974 a 2006; las cuales muestran tendencia ascendente y variabilidad mayor en su inicio. Se conoce que su extensión del área urbana (EAU) pasó de un 6.3 por ciento en 1970, a los siguientes porcentajes: 10.2 por ciento, 11.3 por ciento, 12.2 por ciento y 16.4 por ciento en los años 1980, 1990, 2000 y 2010. Además, se tienen los valores anuales de la PMD de  $Tr = 100$  años en su cuenca. Estos datos disponibles en Campos (2020) se procesaron con una GVE de una y dos covariables: tiempo,  $PMD_{100}$  y EAU. Los resultados se muestran en las tabulaciones siguientes.

En la columna cuatro se observa que el indicador estadístico de la pendiente ( $DS$ ) sólo es significativo con la covariable  $PMD_{100}$ . Para los ajustes con dos covariables, en la columna seis, se deduce que el último es el mejor. Al comparar las predicciones (columnas 13 a 15) de ambos métodos, se selecciona el primero por aportar magnitudes mayores.

Realizó el Doctorado en Ingeniería con especialidad en Aprovechamientos Hidráulicos en la Facultad de Ingeniería de la UNAM. Obtuvo la medalla Gabino Barreda que otorga la UNAM y el Premio Nacional Francisco Torres H. de la Asociación Mexicana de la Hidráulica. Es profesor jubilado de la UASLP.



1	2	3	4	5	6	7
FDP	Covariable:	$\delta_2$	$DS$	$\delta_3$	$r_{xy}$ o $R^2$	$\delta_1=u$
GVE <sub>1</sub>	$t$	0.1446	1.323 <	–	0.2312	18.722
GVE <sub>1</sub>	$PMD_{100}$	0.8404	3.059 >	–	0.4815	3.147
GVE <sub>1</sub>	$EAU$	1.0516	1.631 <	–	0.2811	9.420
GVE <sub>2</sub>	$t, PMD_{100}$	0.2129	–	0.9588	0.3432	–3.109
GVE <sub>2</sub>	$t, EAU$	–0.3694	–	3.1851	0.1028	–8.524
GVE <sub>2</sub>	$PMD_{100}, EAU$	0.9791	–	1.4744	0.3809	–16.158

8	9	10	11	12	13	14	15
$a$	$k$	$EEA$	Mediana		Predicciones máximas (m <sup>3</sup> /s)		
		(m <sup>3</sup> /s)	mín	máx	$Tr=25$	$Tr=50$	$Tr=100$
4.567	–0.015	1.16	20.5	25.2	38.5	41.8	45.2
4.525	0.063	3.45	18.1	31.5	43.0	45.5	47.9
4.506	–0.013	1.17	19.3	26.6	39.6	42.9	46.2
3.896	–0.008	3.55	17.8	30.9	41.8	44.5	47.1
4.619	0.019	1.33	17.8	27.9	40.5	43.6	46.5
3.991	0.063	3.49	17.6	31.9	42.1	44.3	46.4

**A manera de conclusión**

El primer ejemplo muestra cómo procesar un registro de *PMD* anual con pendiente lineal, usando como covariable explicativa el tiempo; en cambio, el segundo ejemplo expone un registro de *PMD* anual con tendencia curva respecto a una covariable climática. Por último, el tercer ejemplo presenta el uso de una covariable y de las combinaciones de dos covariables, para explicar la variabilidad de un registro de gastos máximos anuales.

Así que se han expuesto los fundamentos de los análisis de frecuencias no

estacionarios, que inician con la distribución GVE, con una y dos covariables. Tal método se ha extendido a otras distribuciones y ha evolucionado hacia la GVE<sub>11</sub>, con parámetros de ubicación y escala con variación lineal. [UR](#)

**Referencias bibliográficas:**

Campos Aranda, D. F. (2018). Ajuste con momentos L de las distribuciones GVE, LOG y PAG no estacionarias en su parámetro de ubicación, aplicado a datos hidrológicos extremos. *Agrociencia*, 52(2), pp. 169-189.

Campos Aranda, D. F. (2020). Análisis de Frecuencias de Crecientes No Estacionario con una y dos covariables. *Aqua-LAC*, 12(2), pp. 47-61.

El Adlouni, S. y Ouarda, T. B. M. J. (2008). Comparaison des méthodes d'estimation des paramètres du modèle GEV non stationnaire. *Revue des Sciences de l'Eau*, 21(1), pp. 35-50.

Katz, R. W. (2013). Statistical Methods for Nonstationary Extremes, pp. 15-37. En: AghaKouchak, A, Easterling D., Hsu, K, Schubert S., Sorooshian S. (Eds.). *Extremes in a Changing Climate*. Springer. Dordrecht, The Netherlands.

Khaliq, M. N., Ouarda, T. B. M. J., Ondo, J. C., Gachon, P. y Bobée, B. (2006). Frequency analysis of a sequence of dependent and/or non-stationary hydro-meteorological observations: A review. *Journal of Hydrology*, 329(3-4), pp. 534-552.

**MARTHA ALEJANDRA LOMELÍ PACHECO**  
*martha.lomeli@uaslp.mx*  
 INSTITUTO DE METALURGIA, UASLP



# El color de la muerte

Probablemente estás preguntándote acerca del, un poco escabroso título de este artículo, y es que, aunque parece que lo obtuve de alguna novela de terror, en realidad hace referencia a un acontecimiento histórico.

Durante la edad victoriana, la cual comprende de 1837 hasta 1901 (años que abarcan el reinado de la Reina Victoria de Reino Unido) existió un gran auge en la fabricación de nuevos pigmentos de origen inorgánico, esto es más sencillo de entender si recordamos que en las épocas anteriores los tintes utilizados eran de origen natural (plantas, restos de animales o minerales), que debido a su dificultad para obtenerlos o la escasez de los mismos, el uso de estos colores era limitado a la realeza, el clero o a aquellas personas con una riqueza considerable.

Además, no es de extrañar que estos pigmentos tuvieran muchas limitantes, era común que con el uso, los textiles perdieran su color o tuvieran una tonalidad opaca. Por este motivo, la síntesis de nuevos colorantes tomó una gran relevancia, la posibilidad de tener objetos con colores nítidos o brillantes y que, además mantuvieran su coloración por más tiempo, les dio una ventaja considerable en el mercado, y más si a eso le agregamos que a la larga lograron disminuir el costo de la fabricación de dichos objetos, lo anterior provocó que la industria química de los pigmentos tuviera un gran auge.

En 1775, Carl Wilhelm Scheele se encontraba experimentando con sales de arsénico, cuando descubrió que al mezclar arsenito de sodio con una disolución de sulfato de cobre se obtiene un precipitado de color verde (arsenito ácido de cobre), el cual fue utilizado como pigmento en papel, velas y textiles. Desafortunadamente, el color tendía a oscurecerse al contacto con sulfuros.

Algunos años después, en 1814, Wilhelm Sattler y Friedrich Russ en Schweinfurt, Alemania, trabajaban para la Wilhelm Dye and White Lead Company. Su objetivo era mejorar el trabajo de Scheele y obtener un pigmento que no se oscureciera, ¡tuvieron éxito! Lograron sintetizar un colorante de tonalidad verde esmeralda, el cual llamaron verde de París. La síntesis de este se lleva a cabo al mezclar las soluciones de acetato de cobre y óxido de arsénico (III), ambas hirviendo, lo que produce la formación de cristales de acetoarsenita de cobre (II).

A menudo, con la finalidad de ajustar el tono verde, estos cristales eran mezclados con otras sales como: yeso o sulfato de plomo (II), entre otras.

Supongo que en este punto ya puedes imaginar cuál fue el problema con estos pigmentos, y estás en lo cierto, ya que el arsénico es un elemento universalmente conocido por sus propiedades altamente tóxicas, no por nada ha ganado un puesto importante en las novelas clásicas como la “causa de la muerte” de muchos personajes secundarios.

El verde de París fue tan popular por su coloración que incluso Monet llegó a usarlo en algunos de sus cuadros. Desafortunadamente, el verde de Scheele y el verde de París, cuya tonalidad de verde era tan apreciada en la época, también fue el causante de un sinnúmero de muertes, ya que su uso en la ropa generaba lesiones en la piel, vómitos, diarrea y, en algunos casos, cáncer. Aún más preocupante es saber que no sólo se utilizó en la ropa, este pigmento también fue utilizado para dar color a tapices, dulces, juguetes, medicinas, entre otros muchos artículos de uso en la vida diaria.

Poco a poco, las personas fueron asociando las enfermedades o muertes al uso de estos colorantes, especialmente en casos de niños donde las paredes de sus cuartos estaban decorados con materiales que contenían estos tóxicos pigmentos; aunque hubo resistencia al principio, el pánico causó que las personas se reusaran a seguir comprando artículos con este pigmento, por lo que los comerciantes dejaron de utilizarlo. Actualmente, el verde de París y de Scheeler son usados únicamente como insecticida para el control de plagas, por lo que su uso como colorante ya es cosa del pasado.

## **Napoleón Bonaparte**

Oficialmente, la causa de muerte de Napoleón Bonaparte se debió a cáncer de estómago, incluso es una leyenda urbana (sin evidencia comprobable) que el hecho de que en sus cuadros aparezca con una mano sobre el estómago se debiera a los constantes dolores en el mismo, provocados por esta enfermedad. Sin embargo, otra de las hipótesis que se ha manejado para la causa de su muerte, es que fue envenenado deliberadamente por arsénico, lo anterior se deriva de los resultados obtenidos de pruebas realizadas en el 2008 a su cabello, en las cuales se detectaron cantidades altas de arsénico. No obstante, existe la posibilidad de no fuera un envenenamiento deliberado, sino debido a que toda su vida estuvo expuesto a objetos que contenían este tipo de colorantes. Por el momento tendremos que esperar a que en un futuro se realicen nuevas pruebas para conocer la verdad. 

PROTAGONISTA DE LA BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

# MANUEL ALEJANDRO LIZARDI JIMÉNEZ

RUTH SALAZAR OLIVA



En un recinto ocupado en su mayoría por profesionales del derecho, está la División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Derecho de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP), donde se encuentra el especialista en biotecnología, el doctor Manuel Alejandro Lizardi Jiménez, quien lleva más de cinco años dando clase a estudiantes de la Maestría en Derechos Humanos.

Cuando era estudiante de preparatoria, el doctor Manuel deseaba estudiar historia o filosofía. No obstante, siguiendo el consejo de su madre, optó por iniciar su formación académica con una carrera técnica en una vocacional del Instituto Politécnico Nacional (IPN) en la Ciudad de México. Con la esperanza de evitar las temidas matemáticas, eligió el área de ciencias biológicas, donde descubrió su fascinación por la biotecnología, una disciplina innovadora a finales de la década de 1980. Este descubrimiento lo llevó a abandonar sus aspiraciones iniciales para estudiar Ingeniería en Bioquímica Industrial, así como la maestría y el doctorado en Biotecnología Ambiental, todo en la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM).

A la par de sus estudios superiores, el doctor Lizardi se dedicó a la docencia a nivel bachillerato, con esa experiencia acumulada al concluir el posgrado se dedicó a dar clases a nivel universitario y maestría en los estados de Quintana Roo, Hidalgo y San Luis Potosí.

La oportunidad de ingresar a un posgrado en derecho no solo representaba un desafío sino también una situación que describió como "exótica". Su elección, a pesar de ser biotecnólogo, abría la puerta al desarrollo en el área de las ciencias sociales, un anhelo profesional que había dejado en pausa.

Desde su llegada a la UASLP, el doctor Lizardi asegura que ha logrado amalgamar todas las disciplinas que han apasionado su vida. Aunque sigue siendo

biotecnólogo, ahora trabaja en temas que involucran la incidencia social, buscando que sus conocimientos incurran en el andamiaje jurídico del ámbito donde se desarrolla.

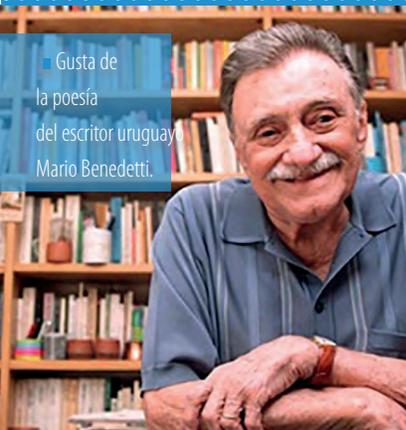
Justamente la integración de conocimientos de diversas disciplinas le ha proporcionado satisfacciones personales, como su participación en la Clínica de Litigio Estratégico, donde contribuye en la elaboración de peritajes ambientales para respaldar casos legales entre comuneros y grandes promotores inmobiliarios.

"Del lado de la gente que a lo mejor no tiene esa oportunidad. Creo que es uno de los principios rectores que la Universidad siempre busca", señaló.

A través de su trabajo en el terreno y el contacto con estudiantes de la Licenciatura en Derecho, ha logrado transmitirles cómo hacer efectivos los derechos humanos en la vida cotidiana, por lo que invita a los jóvenes a comprender la realidad social y participar activamente en ella.

Después de su paso por la UAM, Lizardi Jiménez siempre anheló volver a ser parte de una institución académica de gran envergadura, algo que encontró en la UASLP por su historia y la fortaleza de su plantilla académica, entre otros factores, "me doy cuenta que siempre hablar que vienes de la UASLP es un gran orgullo" **UP**

## APUNTES



■ Gusta de la poesía del escritor uruguayo Mario Benedetti.



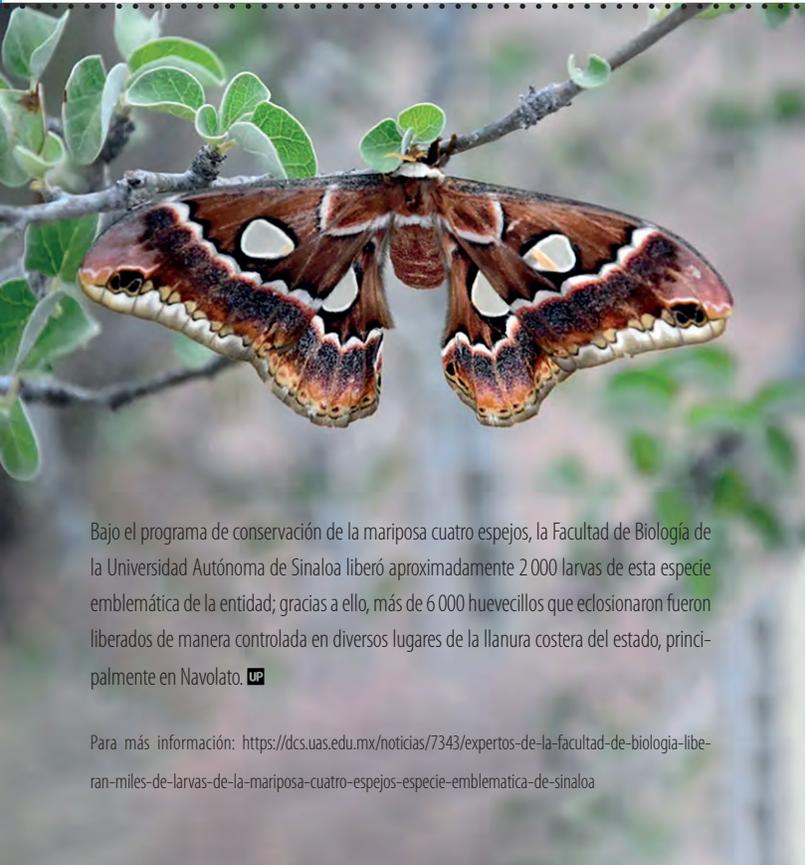
■ Anteriormente disfrutaba más la música de Joaquín Sabina, en la actualidad prefiere la de León Larregui.



■ Es fanático del equipo de fútbol los Tuzos del Pachuca.

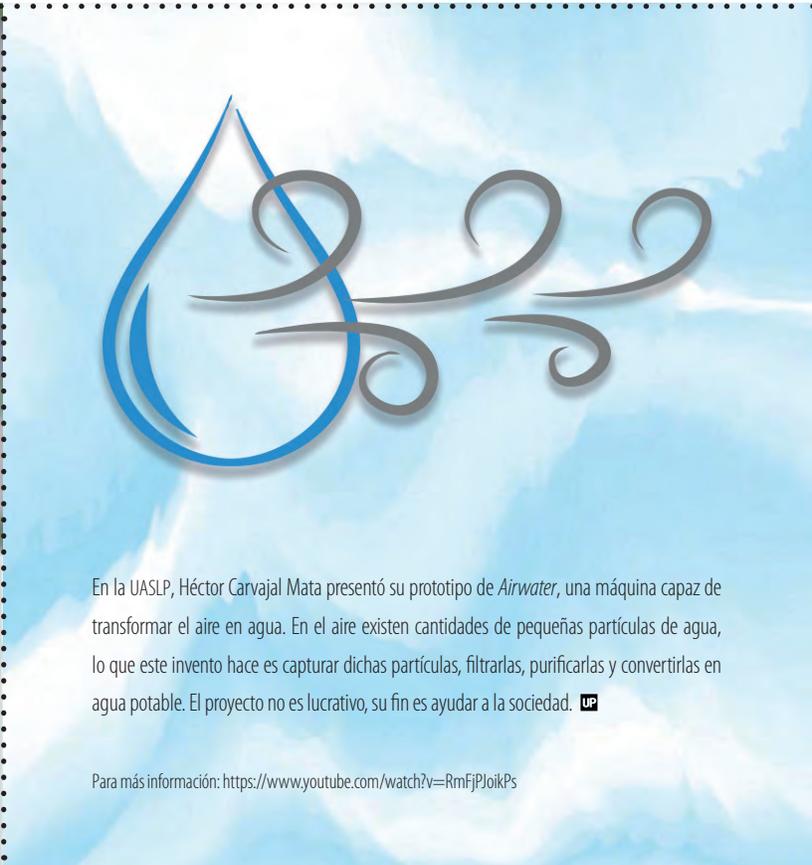


■ Su serie favorita más reciente es *Dark*.



Bajo el programa de conservación de la mariposa cuatro espejos, la Facultad de Biología de la Universidad Autónoma de Sinaloa liberó aproximadamente 2 000 larvas de esta especie emblemática de la entidad; gracias a ello, más de 6 000 huevecillos que eclosionaron fueron liberados de manera controlada en diversos lugares de la llanura costera del estado, principalmente en Navolato. **UP**

Para más información: <https://dcs.uas.edu.mx/noticias/7343/expertos-de-la-facultad-de-biologia-liberan-miles-de-larvas-de-la-mariposa-cuatro-espejos-especie-emblematica-de-sinaloa>



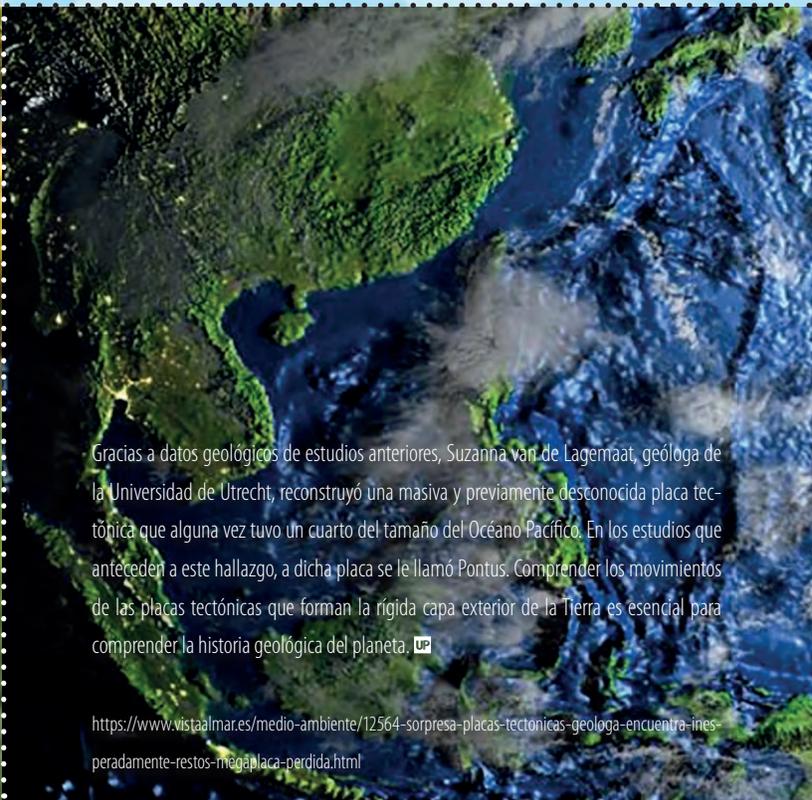
En la UASLP, Héctor Carvajal Mata presentó su prototipo de *Airwater*, una máquina capaz de transformar el aire en agua. En el aire existen cantidades de pequeñas partículas de agua, lo que este invento hace es capturar dichas partículas, filtrarlas, purificarlas y convertirlas en agua potable. El proyecto no es lucrativo, su fin es ayudar a la sociedad. **UP**

Para más información: <https://www.youtube.com/watch?v=RmFjPJoikPs>



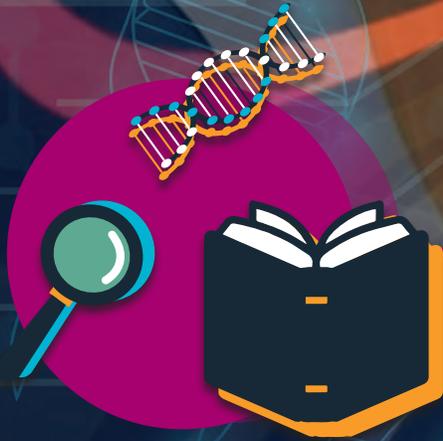
Estudiantes del Tecnológico de Monterrey Campus Puebla, ganaron la medalla de plata en el Concurso de Biotecnología Sintética de la iGEM gracias a su proyecto de diseñar de un sistema de control de plagas, el cual se centró en dar solución a la plaga Tizón de fuego, enfermedad que afecta a los cultivos del tejocote, una de las principales fuentes de ingresos del estado. El proyecto busca llegar al campo experimental, para ofrecerlo en el mercado como pesticida. **UP**

Para más información: <https://conecta.tec.mx/es/noticias/puebla/investigacion/por-el-tejocote-alumnos-poblanos-ganan-plata-en-concurso-de-latam>



Gracias a datos geológicos de estudios anteriores, Suzanna van de Lagemaat, geóloga de la Universidad de Utrecht, reconstruyó una masiva y previamente desconocida placa tectónica que alguna vez tuvo un cuarto del tamaño del Océano Pacífico. En los estudios que antecedían a este hallazgo, a dicha placa se le llamó Pontus. Comprender los movimientos de las placas tectónicas que forman la rígida capa exterior de la Tierra es esencial para comprender la historia geológica del planeta. **UP**

<https://www.vistaalmar.es/medio-ambiente/12564-sorpresa-placas-tectonicas-geologa-encuentra-inesperadamente-restos-megaplaca-perdida.html>



## 3 de diciembre de 1967

El médico cirujano sudafricano, Christiaan Barnard realizó el primer trasplante de corazón del mundo, cambiando el mundo de la medicina para siempre.

## 7 de diciembre de 1972

Se realizó el lanzamiento del Apolo 17, la última misión del programa Apolo en el que el astronauta Eugene Cernan llevó a cabo la última caminata en la Luna hecha por el hombre. El 19 de diciembre regresaron a la Tierra.

## 10 de diciembre de 1915

Nació Augusta Ada King, mejor conocida como Ada Lovelace, en Londres, Reino Unido. Fue una matemática y escritora británica, conocida por crear el primer algoritmo para programar una computadora.

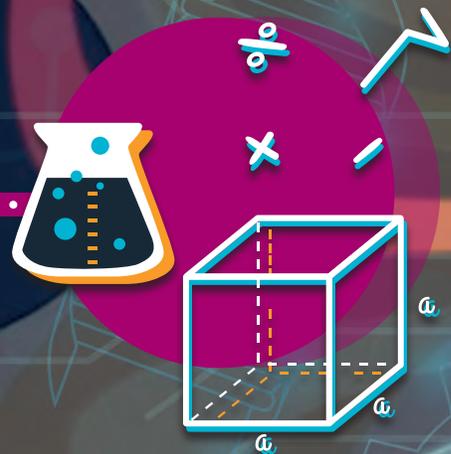


## 12 de diciembre de 1866

Nació el químico suizo Alfred Werner, ganador del Premio Nobel de Química en 1913, gracias a su investigación sobre el enlace de los átomos en las moléculas.

## 14 de diciembre de 1962

La sonda espacial Mariner 2 llegó exitosamente a Venus, con la misión de recoger datos sobre la atmósfera del planeta y demás; convirtiéndose en el primer artefacto humano en volar hasta Venus.



## 19 de diciembre de 1852

Nació en Polonia el físico Albert Abraham Michelson, conocido por sus investigaciones de la velocidad de la luz, donde intentó medir la velocidad de la Tierra respecto del éter.

## 30 de diciembre de 1923

El astrónomo estadounidense Edwin Powell Hubble, después de diversos estudios, descubrió la expansión del universo a través del telescopio Hooker, en donde observó que la nebulosa antes vista no formaba parte de nuestra galaxia, sino de otras distintas a la Vía Láctea, anunciando así la existencia de otras galaxias.

# El evento Carrington, la devastadora tormenta solar de 1859

ANGÉLICA CECILIA MORÁN LÓPEZ  
a328434@alumnos.uaslp.mx

Una tormenta solar es considerada un fenómeno geomagnético que ocurre en el Sol, y tiene efectos en su entorno espacial cercano, incluida la Tierra. Estas tormentas son provocadas por erupciones solares y eyecciones de masa corporal (CME, por sus siglas en inglés) que son liberaciones de energía y material altamente cargado desde la atmósfera del Sol hacia el espacio.

La tormenta solar de 1859, también conocida como el evento Carrington, fue el evento solar más grande registrado en la historia. Fue nombrada en honor al astrónomo británico Richard Christopher Carrington, quien observó y registró el evento.

Entre el 28 de agosto y el 2 de septiembre, Carrington observó un aumento en las manchas negras del Sol. Estas erupciones, conocidas también como llamaradas solares, despidieron una energía equivalente a más de diez mil millones de bombas atómicas. Cinco minutos más tarde, éstas habían desaparecido; sin embargo, se reflejaron sobre la Tierra en aproximadamente 17 horas.

Cuando la CME impactó con la magnetosfera de la Tierra, desencadenó una serie de efectos. Entre ellos, se observaron auroras boreales excepcionalmente brillantes que

llegaron a mostrarse en el hemisferio sur, cuando normalmente se producen cerca de los polos. Además, el evento Carrington tuvo también un impacto tecnológico: las líneas telefónicas cayeron a nivel mundial durante catorce horas en toda Europa y Estados Unidos de América; se produjeron fuertes corrientes eléctricas en los cables telegráficos que provocaron chispas, incendios y la irrupción de las comunicaciones.

Si un evento de magnitud similar ocurriera en la actualidad, los efectos podrían ser mucho más severos debido al avance tecnológico que tenemos hoy en día. Las tormentas solares pueden interferir con las comunicaciones por satélite, afectar las herramientas GPS, dañar redes de energía, una caída del internet mundial, entre otras cosas más.

El evento Carrington de 1859 es un recordatorio importante de la capacidad del Sol para influir en nuestra vida cotidiana y tecnología. Desde entonces, se ha aumentado la investigación y el monitoreo del Sol para comprender mejor estos fenómenos y estar preparados para los posibles impactos de futuras tormentas solares. **UP**

#### Fuentes:

Parra, S. (2023, abril 26). Qué son las tormentas solares, cómo afectan y cómo prepararse para las que puedan llegar. National Geographic. [https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/que-son-tormentas-solares-como-afectan-como-prepararse-para-que-puedan-llegar\\_19818](https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/que-son-tormentas-solares-como-afectan-como-prepararse-para-que-puedan-llegar_19818)

Ondacero.es. (2022, octubre 3). Qué pasó en la tormenta solar de 1959, la más potente de la historia. Onda Cero. [https://www.ondacero.es/noticias/sociedad/que-paso-tormenta-solar-1859-mas-potente-historia\\_20221003633b-095b502ad700016ee266.html](https://www.ondacero.es/noticias/sociedad/que-paso-tormenta-solar-1859-mas-potente-historia_20221003633b-095b502ad700016ee266.html)

Galea, I. (2022, septiembre 29). ¿Qué fue el Evento Carrington? Conoce la tormenta solar más fuerte registrada en la historia y sus terribles efectos. Cinconoticias. <https://www.cinconoticias.com/evento-carrington/>

# Svetlana Savítskaya

ANGÉLICA CECILIA MORÁN LÓPEZ  
a328434@alumnos.uaslp.mx



Svetlana Savítskaya fue una piloto y cosmonauta soviética. Reconocida como la primera mujer en caminar por el espacio durante tres horas y 35 minutos; también fue la primera en hacer dos viajes y la segunda en volar al espacio, 19 años después de que Valentina Tereshkova lo hiciera.

Savítskaya nació en Moscú, la capital de la Unión Soviética, el 8 de agosto de 1948. Cuando tenía ocho años, su padre, Yevgeniy Savitskiy, piloto de la fuerza aérea soviética, creó el primer grupo de acrobacia aérea del ejército soviético. Svetlana quedó tan asombrada que quiso ser piloto aviador como su padre.

A los 16 años, al no poder ingresar a la Escuela de Aviación, debido a su corta edad, practicó paracaidismo sin que sus padres se enteraran. Cuando su padre lo descubrió, decidió apoyarla, con su ayuda Svetlana hizo su primer salto en paracaídas desde la estratosfera a 14452 metros de la tierra a los 17 años.

Un año después comenzó su entrenamiento como piloto en el Instituto de Aviación de Moscú. Siguió practicando el paracaidismo y rompió varios records mundiales, formó parte del equipo soviético de acrobacias aéreas con el que ganó el campeonato mundial en 1970.

Al finalizar sus estudios, trabajó como monitora de aviación, aunque aún deseaba ser piloto, por lo que se especializó en el Instituto de Aviación Estatal de Moscú (MAI). En 1976 se graduó como piloto de pruebas y dos años después se incorporó al Ministerio de Industria Aérea de la Unión Soviética, donde aprendió a dominar el vuelo de más de 20 tipos de aviones.

En 1980 fue seleccionada para unirse al programa espacial soviético, el segundo cuerpo de mujeres cosmonautas, pues los soviéticos se propusieron enviar a la segunda mujer al espacio antes que Estados Unidos de América. Su primer vuelo espacial fue en 1982, en la nave Soyuz-6, duró 7 días, 21 horas, 52 minutos y 24 segundos. Dos años más tarde efectuó su segundo vuelo espacial junto con Igor Volk y Vladimir Dyanibekov en la nave Soyuz T-12. En esta ocasión, fue la primera cosmonauta en realizar una actividad extravehicular.

En 1986 se estaba preparando para ser jefe de una tripulación de mujeres cosmonautas, pero se tomó una licencia de maternidad. Además de dificultades técnicas y riesgos vitales que asumió, el reto fue ser mujer y pionera en este ámbito profesional que se consideraba para hombres, aunque eso nunca la detuvo. **UP**

# Entre páginas y segundas oportunidades

ANGÉLICA CECILIA MORÁN LÓPEZ

a328434@alumnos.uaslp.mx

*Nunca podré ser todas las personas que quiero ser ni vivir todas las vidas que quiero vivir. Jamás podré aprender a hacer todas las cosas que quiero aprender a hacer. Y ¿por qué quiero? Quiero vivir y sentir todas las tonalidades, matices y variaciones de la experiencia mental y física que sea posible*

Sylvia Plath

¿Alguna vez te preguntaste qué hubiera pasado si hubieras tomado una decisión diferente? ¿Y si en vez de haber tomado la carrera que estudiaste hubieras elegido otra diferente?, ¿y si te hubieras quedado con cierta persona o, al contrario, la hubieras dejado ir y alejado de ella?, ¿o qué tal si hubieras decidido seguir tus sueños?

Todo inicia cuando Nora Seed, nuestra protagonista, tras un cúmulo de decepciones y arrepentimientos, decide terminar con su vida; cuando cree haberlo logrado, en realidad aparece en un punto entre la vida y la muerte, con apariencia de una biblioteca común y corriente, denominada "La Biblioteca de la Medianoche". Estando ahí se le explica que tiene la oportunidad de vivir en alguna de las distintas líneas paralelas de su vida de acuerdo con las decisiones que tomó a lo largo de la misma.

En esa biblioteca se encuentran miles de libros que contienen las potenciales vidas que pudo haber vivido y tiene la posibilidad de elegir una por una; la única condición es que debe sentirse auténticamente feliz para poder quedarse en esa vida, de lo contrario, regresará a la biblioteca para elegir otro libro con otra vida.

La obra invita al lector a reflexionar de manera constante y a ser consciente de aspectos importantes de lo que se trata vivir. Aborda temas profundos como la depresión, la impotencia y la desilusión que todos en algún momento de nuestra vida nos ha tocado sentir. Es un libro sumamente interesante, que te lleva a conectar con la protagonista en varios aspectos; se transforma en un camino de pensamiento de quiénes somos y dónde estamos, así como las decisiones que tomamos.

*La biblioteca de la medianoche*, publicada en 2020, es una novela escrita por Matt Haig, autor de cinco novelas y escritor de literatura infantil y juvenil. Sus obras han vendido más de dos millones de ejemplares y ha sido traducido a más de 40 idiomas.

¿Y tú, habrías hecho algo de manera diferente si hubieras podido? 

