

Revista de Divulgación de la Coordinación de Divulgación
Facultad de Ciencias de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

Contenido

- El orden secreto de la materia
- Cosechando energía invisible: el sueño de Tesla hecho realidad
- Estructuras naturales, diseños inteligentes
- Sabías que ...
- Evolución del acero: de lingoteras a colada
- Libros
- Cuando la inteligencia artificial entra al tumor. Aprendiendo a entender el cáncer a partir de imágenes microscópicas
- Superman y la historia del acero
- El oro de las estrellas
- La simetría: el lenguaje oculto que ordena el mundo

Homo sum ..., revista de la Coordinación de Divulgación de la Facultad de Ciencias de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí (FC-UASLP). Número 3. Mayo de 2026.

Registro ISSN en trámite.

[Directrices para publicación.](#)

[Directorio Revista Homo sum ...](#)

Declaración de responsabilidad: Las opiniones y hechos expresados en los artículos son de exclusiva responsabilidad de los autores que los emiten y no reflejan necesariamente la postura editorial.

Derechos de reproducción: Se autoriza la reproducción total o parcial de los contenidos con fines no lucrativos, siempre que se cite la fuente completa y la dirección electrónica, salvo que se indique lo contrario. Cualquier uso más allá de esta licencia requiere autorización por escrito de la institución editora y del autor.

El orden secreto de la materia

Ivonne Kado Mercado Elías, Verónica Elvira Salazar Muñoz, Rubicelia García Garnica.

Hay objetos tan cotidianos que se vuelven invisibles: la pantalla del celular, la cuchara del desayuno, las llantas que sostienen media ciudad. Pero basta detenerse un momento para que aparezca una pregunta incómoda: ¿Cómo está hecho todo esto? ¿Por qué una ventana puede ser transparente, un cable conducir electricidad y una taza de cerámica sobrevivir a las mudanzas?

La tentación es pensar que el universo repartió estas habilidades al azar, como si hubiera lanzado una bolsa de “propiedades” y hubiera dicho: a ver quién atrapa la conductividad y quién se queda con la fragilidad. Pero la materia suele ser menos caprichosa. Bajo cada superficie hay un orden, a veces escondido, a veces evidente, que condiciona lo que un material puede (y lo que difícilmente) hacer.

Tomemos la ventana. El vidrio no es transparente porque sea “mágico” ni porque esté hecho de aire solidificado. Su transparencia tiene que ver con cómo interactúa la luz con los electrones del material: en el vidrio, los electrones están ligados a niveles de energía que la luz visible no puede excitar con facilidad, así que esa luz atraviesa el material en vez de ser absorbida. Dicho de otra forma: la luz toca la puerta, pero no encuentra con quién bailar, y sigue su camino.

Si pudiéramos encoger el tamaño de un átomo, descubriríamos que los materiales no son solo “sustancias”: son arquitecturas (Figura 1). En condiciones normales, la mayoría de los metales acomodan sus átomos en patrones repetitivos (cristales) que permiten que sus electrones se muevan con relativa libertad. Esa nube de electrones compartidos ayuda a explicar por qué los metales suelen conducir bien la electricidad y el calor.

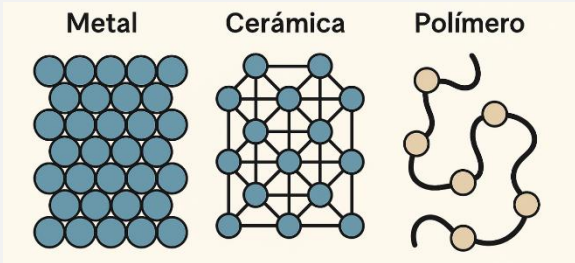


Figura 1. Estructura interna de los materiales.

En muchas cerámicas, en cambio, predominan enlaces iónicos o covalentes muy fuertes; eso les da dureza y resistencia a altas temperaturas, pero también tiende a volverlas frágiles ante impactos.

Y los polímeros, los plásticos y muchos materiales orgánicos, están formados por moléculas muy largas. Su flexibilidad,

resistencia o rigidez dependen en buena medida de la longitud de esas cadenas y de cómo están entrelazadas o unidas entre sí.

Ese pequeño vistazo basta para entender que la materia tiene personalidad... pero no por astrología atómica, sino por estructura. Un metal no es resistente solo porque sí: puede deformarse plásticamente porque su arreglo cristalino permite que capas de átomos se deslicen unas sobre otras sin que el material colapse de inmediato. Este comportamiento está relacionado con la presencia de defectos cristalinos, como las dislocaciones, que facilitan la deformación.

Las estructuras cristalinas influyen de manera importante en la ductilidad y en el comportamiento mecánico de los metales. La forma en que los átomos se acomodan, por ejemplo, en estructuras cúbicas centradas en las caras (FCC), cúbicas centradas en el cuerpo (BCC) o hexagonales compactas (HCP) (Figura 2), se relaciona con la cantidad de sistemas de deslizamiento disponibles para deformarse sin fracturarse.

Pero entender las estructuras internas es solo el primer paso. El verdadero reto aparece cuando necesitamos elegir un material para construir algo. Diseñar un objeto, una prótesis, un puente, un celular o un avión, implica anticipar qué tensiones enfrentará, qué temperatura soportará, cuánto desgaste sufrirá y en qué ambiente trabajará. Por eso, la selección de materiales es un proceso que equilibra propiedades, costo, disponibilidad y métodos de fabricación.

Durante la mayor parte de la historia humana, esta elección no se hacía con diagramas ni bases de datos, sino con experiencia acumulada. Las primeras herramientas de piedra fueron posibles porque ciertos minerales se fracturan de manera predecible, generando filos controlables, un fenómeno conocido como fractura concoidea.

Más tarde, el dominio del cobre y del bronce surgió al descubrir que algunos metales podían fundirse y moldearse, y que la aleación de cobre con estaño producía materiales con propiedades más adecuadas para herramientas y armas.

La edad del hierro marcó otro punto de inflexión: se aprendió a modificar sus propiedades controlando el contenido de carbono y aplicando tratamientos térmicos, dando origen al acero.

En el siglo XX, el desarrollo de polímeros sintéticos transformó la vida cotidiana, desde el embalaje hasta aplicaciones médicas.

En paralelo, la física del estado sólido permitió comprender y manipular los semiconductores: al introducir pequeñas cantidades de impurezas en el material, un proceso llamado dopaje, es posible controlar su conductividad eléctrica con gran precisión, base de la electrónica moderna.

Los materiales compuestos también adquirieron protagonismo al combinar ligereza con alta resistencia, cualidades fundamentales en aplicaciones aeroespaciales.

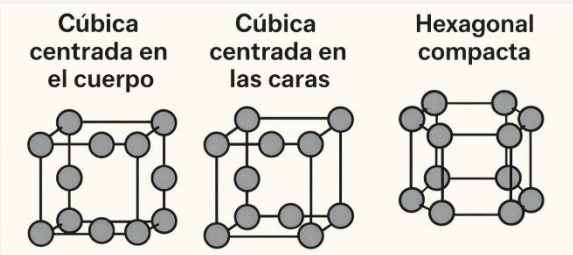


Figura 2. Estructuras cristalinas de los metales.

Elegir bien implica reconocer que ningún material es perfecto. El titanio, por ejemplo, no es simplemente “el más fuerte”, pero destaca por su combinación de baja densidad, buena resistencia mecánica y elevada resistencia a la corrosión, lo que explica su uso en aplicaciones aeroespaciales y biomédicas.

Las cerámicas dominan escenarios donde el calor destruiría a otros materiales, como en refractarios y recubrimientos térmicos. Los polímeros, por su parte, ofrecen ligereza y versatilidad, aunque suelen presentar límites térmicos y mecánicos que deben considerarse en el diseño.

La selección de materiales deja entonces de ser una decisión estética. Se convierte en un ejercicio de equilibrio entre estructura, propiedades y contexto de uso.

La materia no pregunta qué queremos de ella; responde según su estructura y su historia de procesamiento. Comprender ese orden secreto no exige memorizar fórmulas, sino cambiar la forma de mirar: cada objeto que usamos es, en el fondo, una respuesta material, siempre perfectible, a un problema específico.



Cosechando energía invisible: el sueño de Tesla hecho realidad

Armando Arce Casas, Enrique Stevens Navarro, Marco A. Cárdenas Juárez Mientras lees esto, estás inmerso en un océano invisible de ondas electromagnéticas. Señales de <u>Wi-Fi</u>, de telefonía celular, de radio, de televisión, de <u>Bluetooth</u>. Casi toda esa energía viaja, rebota contra las paredes y se pierde. ¿Y si pudiéramos atraparla y convertirla en electricidad útil? ¿Y si un sensor, un marcapasos o un detector de humo pudiera alimentarse de lo que hoy se desperdicia en el aire? Tesla tenía razón (casi) Hace más de un siglo, <u>Nikola Tesla</u> (1856–1943) soñaba con enviar electricidad a través del aire, sin cables. <u>Heinrich Hertz</u> (1857–1894), por su parte, había demostrado, en 1887, que las <u>ondas electromagnéticas</u> podían viajar libremente a través del aire. Lo que los dos compartían fue una idea aparentemente sencilla: la energía no necesita un alambre para llegar de un lugar a otro. El sueño original de Tesla —grandes torres transmitiendo electricidad al mundo entero— nunca se cumplió del todo. Pero una versión más modesta, y tal vez más elegante, sí funciona: en lugar de emitir energía a propósito, hoy podemos aprovechar la que ya está ahí. Cada <u>router</u> de Wi-Fi, cada antena de telefonía celular, cada estación de radio o de televisión vierte al ambiente una pequeña fracción de su potencia que nunca llega a su destinatario. A esa idea de atrapar la energía que nos rodea se le llama <u>cosecha de energía</u> (del inglés <i>energy harvesting</i>) y, en particular, en la banda de las radiofrecuencias, se ha convertido en una de las líneas más prometedoras para alimentar los pequeños dispositivos electrónicos actuales. ¿Cuánta energía flota en nuestra ciudad? Una cosa es afirmar que hay ondas electromagnéticas flotando por el aire. Otra muy distinta es saber cuánta energía útil se puede extraer de ellas. Suponer no alcanza: hay que medir. En 2018 instalamos en San Luis Potosí una <u>plataforma</u> para hacer precisamente eso. En dos puntos de la ciudad, la Zona Universitaria Poniente y el Edificio Central de la UASLP en el Centro Histórico, colocamos una antena omnidireccional conectada a un analizador de espectro. Durante 72 horas ininterrumpidas, el equipo tomó muestras de la potencia presente en un rango de frecuencias que va de los 1800 <u>Mhz</u> a 2600 Mhz, un intervalo que incluye las bandas donde operan la telefonía celular <u>3G/4G</u> y las redes Wi-Fi. Los resultados confirmaron la intuición y añadieron una sorpresa. Por un lado, la mayor parte de la energía del espectro se concentra,	como era de esperarse, en las bandas de telefonía celular y en la banda ISM de los <u>2.4 GHz</u>, donde conviven el Wi-Fi y el Bluetooth. Por otro lado, los niveles detectados son pequeños, del orden de fracciones de microvatio, pero constantes en el tiempo. Esa constancia es lo que hace viable la cosecha de energía: no se trata de atrapar un relámpago, sino de recolectar pacientemente una lluvia fina que nunca cesa. Una antena no es solo para recibir señales Atrapar esa lluvia invisible requiere un dispositivo llamado <u>rectena</u>, una palabra que combina las palabras "rectificador" y "antena". Imagínalo como un pequeño equipo de tres piezas trabajando en cadena. La primera pieza es la antena propiamente dicha, que funciona como una red para pescar ondas. Las ondas electromagnéticas que la golpean provocan en ella una corriente eléctrica diminuta que cambia de sentido muchos millones de veces por segundo. Esta corriente es inservible tal cual, porque un circuito electrónico requiere que la electricidad fluya en una sola dirección. Aquí entra la segunda pieza, el rectificador, que actúa como una válvula de un solo sentido. Convierte ese vaivén en un flujo ordenado de electrones, lo que los ingenieros llaman corriente directa, la misma que entregan las pilas. La tercera pieza es un capacitor, una especie de cubeta microscópica que acumula esa electricidad, gota a gota, hasta tener suficiente para encender algo. Con ese esquema tan sencillo, hemos alimentado sensores inalámbricos usando tarjetas comerciales y antenas diseñadas en <u>nuestro laboratorio</u> para las frecuencias de 915 Mhz y 2.4 Ghz, Figura 1. Figura 1. Al medir el desempeño de estas antenas, descubrimos un detalle curioso: una antena diseñada para una frecuencia no solo captura la energía de esa frecuencia, sino que también atrapa la de las frecuencias vecinas; a veces, incluso, más. Es como una red de pesca que, además de los peces que buscabas, saca camarones o cangrejos cada vez que la lanzas. Esa "cosecha extra", fuera de banda, es uno de los trucos que más nos entusiasman.	Una planta, un sensor, ninguna pila Toda esta tecnología tendría poco sentido si no la conectáramos con algo útil. Así que vale la pena contar dónde termina la historia: en un cuarto de cultivo, vigilando una planta. La planta se llama <u>Nicotiana benthamiana</u>. Es un pariente silvestre del tabaco, originaria de Australia, y parece insignificante a primera vista. Pero los biólogos la adoran porque sus hojas funcionan como pequeños biorreactores: es posible insertarle instrucciones genéticas y lograr que produzca, en cuestión de días, proteínas humanas de alto valor. Gracias a esta propiedad, esta planta se ha usado para fabricar <u>anticuerpos contra el ébola</u> y fue una de las plataformas empleadas durante la pandemia para desarrollar <u>candidatos a vacuna contra el SARS-CoV-2</u>. Cuidar bien a esta planta requiere un microclima preciso, con temperatura y humedad controladas. En el <u>Laboratorio de Interacción Planta-Microorganismo</u> de la Facultad de Ciencias de la UASLP instalamos una red de <u>sensores inalámbricos</u> que miden ambos parámetros de forma continua. Los sensores no usan pilas. Se alimentan de la energía que les llega a través del aire, proveniente de un pequeño transmisor de radiofrecuencia colocado en el mismo cuarto. Hay algo poéticamente circular en esta escena. Una planta que podría contribuir a salvar vidas humanas es vigilada por sensores que viven del mismo aire invisible que la rodea. Lo que viene La cosecha de energía, en radiofrecuencia, apenas está saliendo del laboratorio. Sus niveles de potencia son modestos y por eso no sirven, al menos por ahora, para cargar un celular ni para encender un foco. Pero sí sirve para la creciente multitud de dispositivos pequeños que exige el <u>Internet de las Cosas</u>: sensores agrícolas distribuidos en un campo de cultivo, etiquetas inteligentes en una cadena de suministro, monitores de salud portátiles pegados a la piel, detectores ambientales en <u>ciudades inteligentes</u>. Todos ellos comparten la misma dificultad: son demasiados, demasiado pequeños y demasiado distribuidos para estar cambiándoles la pila cada cierto tiempo. Alimentarlos con la energía, que ya está en el aire, resuelve ese problema y, de paso, evita millones de baterías que terminarían contaminando el medio ambiente. Más de un siglo después, el sueño de Tesla sigue vivo, solo que ahora lo construimos pieza por pieza, en antenas que caben en la palma de la mano y en capacitores del tamaño de un grano de arroz. Una lluvia fina de energía que apenas ahora aprendemos a recoger.
--	--	--

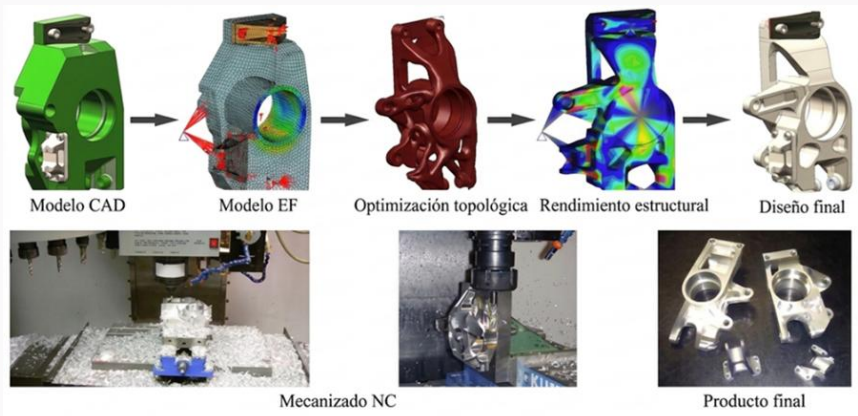
Estructuras naturales, diseños inteligentes

Carlos Alberto Domínguez Hernández, Juan R. Moreno G., Víctor Iván Rodríguez Llamas

Algunas piezas modernas de ingeniería parecen más cercanas a la naturaleza que a una fábrica. Sus formas recuerdan huesos, ramas o panales de abeja: estructuras llenas de huecos, curvas y geometrías que hace apenas unos años parecían imposibles de fabricar. Sin embargo, detrás de esas formas existe una idea poderosa: utilizar la menor cantidad de material posible sin sacrificar la resistencia.

Esta manera de diseñar pertenece a una disciplina conocida como optimización topológica, una técnica de ingeniería que busca encontrar la distribución ideal del material dentro de una pieza. En lugar de comenzar con una geometría rígida y sobredimensionada, los algoritmos analizan dónde el material realmente soporta esfuerzos y dónde simplemente sobra. El resultado son estructuras ligeras, eficientes y, muchas veces, inspiradas en patrones similares a los que se encuentran en la naturaleza. Para entenderlo de forma sencilla, imaginemos un bloque de plastilina que debe soportar una gran carga. Si el objetivo fuera hacerlo más ligero sin romperlo, la pregunta inmediata sería: ¿qué partes podrían retirarse sin afectar su resistencia? La optimización topológica funciona de forma muy parecida. La computadora analiza miles de posibilidades hasta encontrar regiones donde el material es indispensable y otras donde puede eliminarse.

Con el tiempo surgieron métodos para resolver este problema. Uno de los más utilizados es el método SIMP, que trabaja como si cada región de la pieza tuviera diferentes tonalidades de gris: negro representa material sólido y blanco representa vacío. Durante el proceso de optimización, la computadora modifica gradualmente esas densidades hasta encontrar una forma eficiente. Otros métodos, como ESO y BESO, eliminan o agregan material poco a poco, casi como si una escultura fuera tallada digitalmente. También existen técnicas como Level Set, capaces de generar contornos extremadamente precisos y suaves, ideales para aplicaciones avanzadas de ingeniería.



Del diseño digital a la pieza final. Se muestra el proceso de optimización topológica aplicado a un componente mecánico. A partir de un modelo CAD inicial, se realizan simulaciones mediante el método de elementos finitos para identificar las regiones sometidas a mayores esfuerzos. (Zhu, J. et al.)

A pesar de sus diferencias, todos estos métodos comparten el mismo objetivo: diseñar piezas más ligeras y resistentes utilizando únicamente el material necesario. Posteriormente, los algoritmos eliminan material innecesario hasta obtener una geometría más ligera y eficiente. Finalmente, el diseño optimizado se fabrica y mecaniza para obtener la pieza final.

Sin embargo, al alcanzar esas geometrías, el costo computacional es enorme. Cada vez que la computadora prueba una nueva forma, debe resolver miles de ecuaciones relacionadas con esfuerzos, deformaciones y distribuciones de cargas. Es un proceso similar al de recalcular constantemente todas las fuerzas del cuerpo humano cada vez que movemos un dedo. En piezas tridimensionales muy detalladas, estos cálculos pueden tardar horas o incluso días

completos. Gran parte de este análisis se realiza mediante el método de elementos finitos, una técnica numérica ampliamente utilizada en ingeniería. En este procedimiento, las piezas se dividen en pequeñas regiones geométricas llamadas elementos, permitiendo estudiar cómo se comporta cada zona ante diferentes cargas y restricciones mecánicas.



Mallado computacional de una pieza mecánica. Se muestra el mallado utilizado para analizar una pieza mecánica mediante simulación numérica. Cada triángulo representa una pequeña región en la que la computadora calcula esfuerzos, deformaciones y distribución de cargas. Este procedimiento permite predecir el comportamiento estructural de la pieza antes de fabricarla físicamente. (SolidWorks)

Durante muchos años, estas geometrías optimizadas representaron un problema para los métodos tradicionales de fabricación. Máquinas como tornos o fresadoras no podían producir cavidades internas complejas, curvas orgánicas o estructuras demasiado ligeras. La llegada de la impresión 3D cambió completamente ese panorama.

La fabricación aditiva, también conocida como impresión 3D, construye objetos capa por capa, permitiendo fabricar piezas con geometrías extremadamente complejas. Gracias a esta tecnología, muchos diseños generados mediante optimización topológica finalmente pudieron materializarse en objetos reales. Lo que antes existía únicamente como simulación digital comenzó a convertirse en componentes funcionales utilizados en automoción, aeronáutica, biomecánica y dispositivos médicos.

Uno de los ejemplos más interesantes es el diseño de un pedal de embrague para vehículos de competición. Los ingenieros partieron de modelos tradicionales fabricados en acero y aluminio con fibra de carbono. A partir de ellos, definieron regiones que debían mantenerse intactas -como puntos de unión o zonas de movimiento- y permitieron que el algoritmo modificara únicamente las áreas restantes. El objetivo era ambicioso: conservar el 15% del volumen especial inicial sin perder rigidez estructural. En otras palabras, eliminar el 85% del material innecesario. El resultado fue una pieza completamente nueva, más ligera y eficiente, capaz de soportar las mismas condiciones mecánicas utilizando menos material.

Antes de fabricar el prototipo, la pieza fue sometida a simulaciones computacionales para analizar desplazamientos, tensiones y posibles puntos de falla. Esta es una de las grandes ventajas de la ingeniería moderna: es posible equivocarse cientos de veces en la computadora antes de construir físicamente la versión final.

Actualmente, la optimización topológica ya no se limita únicamente a la forma externa de una pieza. También se utiliza para diseñar arquitecturas internas inspiradas en estructuras biológicas. Algunas investigaciones desarrollan materiales con patrones similares a hueso, alas de insectos o estructuras celulares, logrando

combinaciones sorprendentes entre ligereza y resistencia. Además, la inteligencia artificial comienza a transformar este campo. Nuevos modelos de aprendizaje automático permiten acelerar el proceso de optimización al aprender patrones geométricos y predecir soluciones eficientes sin necesidad de repetir millones de cálculos tradicionales. Las redes neuronales y los modelos generativos ya son capaces de proponer diseños complejos en tiempos considerablemente menores.

Aunque todavía existen desafíos relacionados con precisión, tiempo computacional y fabricación industrial, la combinación entre optimización topológica, inteligencia artificial e impresión 3D está

cambiando profundamente la manera en que se diseña la ingeniería moderna. La idea central detrás de esta revolución es sorprendentemente simple: el futuro del diseño no consiste en agregar más material para hacer una pieza más fuerte, sino en describir exactamente qué material puede eliminarse sin debilitarla. Gracias a ellos, hoy comienzan a aparecer estructuras que parecen obras de arte orgánico, pero que en realidad son el resultado de simulaciones, algoritmos y nuevas tecnologías de fabricación. La próxima vez que observes una pieza llena de huecos y formas poco convencionales, probablemente estarás viendo el resultado de una nueva generación de ingeniería inspirada por la naturaleza y optimizada por inteligencia artificial.



Sabías que ...

El Ventilador. Antes de que el ingeniero Schuyler Skaats Wheeler (1860–1923) conectara, en 1882, una hélice de dos aspas al eje de un motor eléctrico, la gente se refrescaba impulsando el aire por medios manuales. Una de las formas más conocidas es el uso de los abanicos, que ya era empleado antiguamente en China, India y Grecia. Los mayas utilizaban el abanico (*Wahl*) que, además, era usado en ciertos rituales para propiciar la lluvia y renovar el ciclo agrícola.



Actualmente existen diferentes versiones del ventilador eléctrico: con pedestal, portátil, vertical, oscilante, sin aspas, de techo, etc. Pero todos se basan en un impulsor de aire, formado básicamente por aspas giratorias, con un diseño aerodinámico adecuado para este fin, y un motor eléctrico, que generan un gradiente de presión en ciertas direcciones, lo que produce un flujo continuo de aire.

Una idea muy común, es pensar que el ventilador enfría el ambiente pero, en realidad, favorece la convección forzada del aire y la evaporación del sudor del cuerpo. Para evaporarse, el sudor, que es básicamente agua en estado líquido, necesita absorber energía en forma de calor y puede tomarla del entorno, pero también de nuestro cuerpo, bajando así su temperatura. El concepto importante que explica por qué un ventilador refresca es el de presión de vapor.

El ventilador acelera la evaporación del sudor al reemplazar, a través de la convección, la capa de aire húmedo y de alta presión de vapor que se forma sobre la piel, manteniendo así un gradiente de presión de vapor que favorece la pérdida de calor corporal. El sudor se evapora más rápidamente cuanto mayor es ese gradiente. Esto también explica por qué un ventilador no refresca cuando existe mucha humedad en el ambiente, puesto que, aunque mueve el aire, éste tiene una presión de vapor tan alta que la diferencia con la del sudor de la piel es pequeña.

En realidad, si se deja un ventilador funcionando en una habitación, ésta se calienta levemente como consecuencia de la transformación de energía eléctrica en mecánica, debido al rozamiento entre las partes del mecanismo del ventilador y la resistencia eléctrica de los cables conductores.

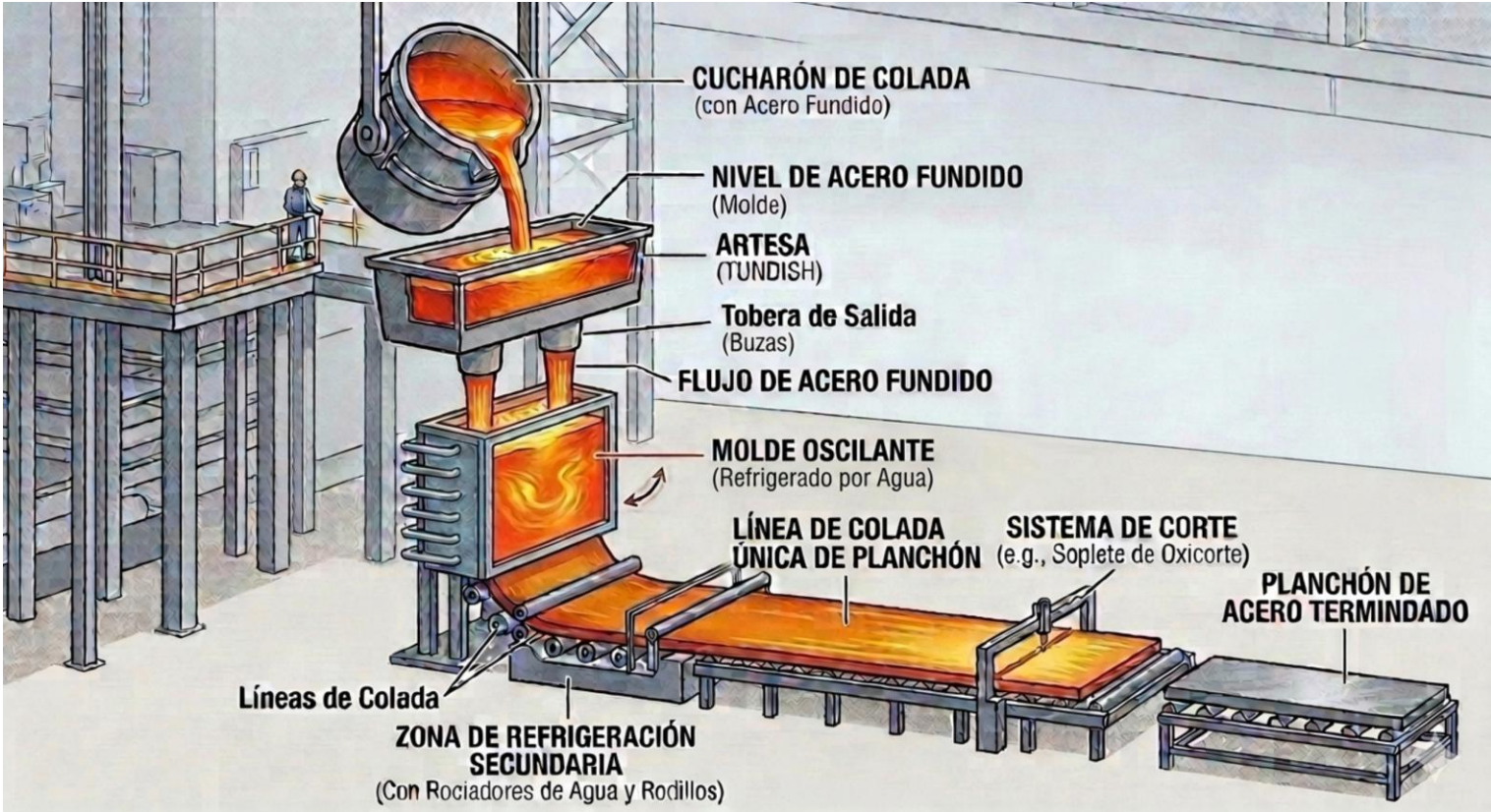
Así que, cuando vaya a comprar un ventilador, no pida uno que enfríe la habitación.



Evolución del acero: de lingoteras a colada

Adrián Contreras Briseño, Emmanuel José Gutiérrez Castañeda. La historia de la civilización humana está ligada a la evolución de los materiales, siendo el <u>acero</u> el pilar fundamental sobre el cual se construyó la modernidad. Desde los primeros intentos por dominar el <u>hierro</u>, hasta la sofisticación de los complejos siderúrgicos contemporáneos, la búsqueda de la eficiencia y la calidad ha sido una constante. En este panorama de innovación, la transición de los métodos de moldeo tradicionales hacia la <u>colada continua</u> representa uno de los hitos tecnológicos más revolucionario del siglo XX. Este proceso transformó una industria intermitente y costosa en un sistema automatizado de producción ininterrumpida, redefiniendo la economía global y permitiendo el desarrollo de la infraestructura moderna. Cronología de la Siderurgia Para comprender la magnitud del impacto de la colada continua, es necesario revisar el largo proceso cronológico que la precedió. El dominio del hierro comenzó alrededor del <u>año 1400 a.C.</u>, con los <u>hititas</u>, quienes descubrieron cómo extraer el metal de las rocas mediante hornos rudimentarios. Sin embargo, en algunas ocasiones, observaban que el hierro era blando y maleable, mientras que, en otras, era resistente y quebradizo; cambios que posteriormente asociaron a las variaciones en el contenido de carbono. El verdadero acero, una aleación óptima de hierro con porcentajes controlados de carbono (no mayores que el 2 %), era extremadamente difícil de producir. El primer gran salto, hacia la producción masiva, ocurrió en la primera mitad del siglo XVIII, cuando el relojero inglés <u>Benjamin Huntsman</u> (1704-1776) desarrolló el proceso del crisol. Huntsman logró fundir hierro forjado y carbono en un crisol cerrado, alcanzando por primera vez temperaturas lo suficientemente altas como para homogeneizar el acero líquido; este método mejoró drásticamente la calidad, sin embargo, la producción seguía limitándose a lotes muy pequeños. La verdadera era del acero industrial nació en 1855 con la patente del <u>convertidor Bessemer</u>, inventado por <u>Henry Bessemer</u> (1813–1898). Este dispositivo permitía descarburar el <u>arrabio</u> líquido inyectando aire a presión, transformándolo en acero en cuestión de minutos y en grandes cantidades. Poco después, en 1864, <u>Pierre-Émile Martin</u> (1824–1915), en colaboración con el ingeniero alemán <u>Carl Wilhelm Siemens</u> (1823–1883), desarrollaron un nuevo horno regenerativo capaz de fundir arrabio y chatarra de acero conjuntamente. Este proceso es conocido como <u>método Martin-Siemens</u> que, aunque era más lento	que el Bessemer, permitía un control de calidad superior y el reciclaje de chatarra a gran escala. Ya en el siglo XX, en 1889, Paul Héroult (1863-1914) inventó el <u>horno de arco eléctrico</u>, revolucionando la producción de aceros de alta aleación y herramientas. A pesar de estos avances en la etapa de fusión, la metalurgia del siglo XIX y principios del XX enfrentaba un grave cuello de botella en la etapa de solidificación. El método estándar era la <u>colada en lingoteras</u>, donde el acero líquido se vertía en grandes moldes de hierro fundido, se dejaba enfriar, se desmoldaba y luego los lingotes se recalentaban en hornos de foso para ser laminados en caliente. Este proceso intermitente generaba enormes pérdidas de energía, requería mano de obra intensiva y producía un alto porcentaje de desperdicio debido a los defectos de contracción en el centro del lingote también conocido como rechupe. Invencción y Evolución de la Colada Continua La idea de eliminar el paso intermedio del vertido en lingotes y verter el metal líquido directamente en un molde que produjera una barra infinita no era nueva, en 1857, el propio Henry Bessemer <u>patentó un proceso</u> para colar bronce entre dos rodillos enfriados por agua, sin embargo, las limitaciones de los materiales de la época y la incapacidad de controlar las altas temperaturas del acero líquido (superiores a los 1500 °C) hicieron que la idea fuera poco práctica para el hierro durante casi un siglo. En el año de 1933, el inventor alemán <u>Siegfried Junghans</u> (1887–1954) logró perfeccionar el método de colada continua para metales no ferrosos, como el latón y el aluminio, introduciendo una innovación crítica, la <u>oscilación del molde</u> que, al mover el molde verticalmente hacia arriba y hacia abajo durante el vertido, se evitaba que el metal solidificado se adhiriera a las paredes de cobre, reduciendo drásticamente las roturas de la piel del material. Adaptar el sistema de Junghans al acero fue un desafío enorme debido a su baja <u>conductividad térmica</u>, y su alto punto de fusión. En 1952, bajo la dirección de <u>Irving Rossi</u> (1890–1991) y Junghans, en colaboración con empresas metalúrgicas, proyectaron una unidad de colada continua para palanquillas y se probaron a <u>escala industrial</u>, donde adquiere notoriedad e importancia práctica. A partir de ese momento, la máquina de colada continua evolucionó, desde los primeros diseños puramente verticales, que requerían torres altísimas para permitir la solidificación antes del corte, hacia los modelos de <u>tipo curvo</u>.	Estas máquinas curvadas reducían la altura necesaria del edificio y facilitaban el manejo mecánico de las barras de acero. Principios Técnicos del Proceso Contemporáneo El funcionamiento de una máquina de colada continua moderna es un prodigio de la ingeniería térmica y mecánica, el proceso comienza cuando una olla de colada vierte el acero líquido en un recipiente intermediario llamado artesa o <i>tundish</i>. La artesa actúa como un regulador de flujo y un depósito de distribución, que alimenta uno o varios moldes de cobre enfriados internamente por agua a alta velocidad. Al entrar en contacto con las paredes frías del molde, el acero líquido experimenta una solidificación periférica instantánea, formando una <u>finá costra</u> sólida que retiene el núcleo aún líquido; el molde oscila continuamente y utiliza lubricantes como aceites sintéticos o polvos metalúrgicos para minimizar la fricción. A medida que el filamento de acero es extraído continuamente hacia abajo por un sistema de rodillos, entra en la zona de <u>enfriamiento secundario</u>. Aquí, una serie de pulverizadores de agua o mezclas de aire y agua enfrían directamente el material, acelerando la solidificación hacia el centro del perfil. Una vez que el acero está completamente sólido, un conjunto de <u>rodillos enderezadores</u> nivela la barra (en sistemas curvos) y la dirige hacia la zona de corte, donde sopletes de oxicorte o cizallas mecánicas dividen el acero al largo requerido, transformándolo en palanquillas, tochos o planchones listos para la laminación a alta temperatura. Al entrar en contacto con las paredes frías del molde, el acero líquido experimenta una solidificación periférica instantánea, formando una <u>finá costra</u> sólida que retiene el núcleo aún líquido; el molde oscila continuamente y utiliza lubricantes como aceites sintéticos o polvos metalúrgicos para minimizar la fricción. A medida que el filamento de acero es extraído continuamente hacia abajo por un sistema de rodillos, entra en la zona de <u>enfriamiento secundario</u>. Aquí, una serie de pulverizadores de agua o mezclas de aire y agua enfrían directamente el material, acelerando la solidificación hacia el centro del perfil. Una vez que el acero está completamente sólido, un conjunto de <u>rodillos enderezadores</u> nivela la barra (en sistemas curvos) y la dirige hacia la zona de corte, donde sopletes de oxicorte o cizallas mecánicas dividen el acero al largo requerido, transformándolo en palanquillas, tochos o planchones listos para la laminación a alta temperatura.
---	---	--

Impacto Económico, Energético y de Calidad La adopción masiva de la colada continua, a partir de los años 1970 y 1980, transformó por completo los rendimientos de la industria siderúrgica. En el método tradicional de lingoteras, el rendimiento metálico (la cantidad de acero final utilizable en comparación con el líquido inicial) rondaba del 50 % al 85 % debido a la necesidad de cortar los <u>extremos defectuosos</u> de cada lingote. Con la colada continua, el	rendimiento supera con creces el 95 %–97 %,reduciendo drásticamente la generación de chatarra interna. Desde la perspectiva energética, el impacto fue revolucionario al eliminar la necesidad de enfriar los lingotes y volverlos a calentar en hornos de foso durante horas; se logró un ahorro de energía considerablemente alto en la etapa de conformación. Esto no solo abarató los costos de producción, sino que redujo de forma significativa las emisiones de dióxido de carbono de las plantas siderúrgicas.	Asimismo, la calidad metalúrgica del acero experimentó una mejora sin precedentes, pues la velocidad de enfriamiento controlada y la continuidad del proceso reducen al mínimo la segregación de elementos de aleación. El resultado es un material <u>estructuralmente más homogéneo</u>, con propiedades mecánicas predecibles y óptimas para aplicaciones exigentes como la industria automotriz, la construcción de edificios y el sector aeroespacial, entre muchos otros.
--	--	--

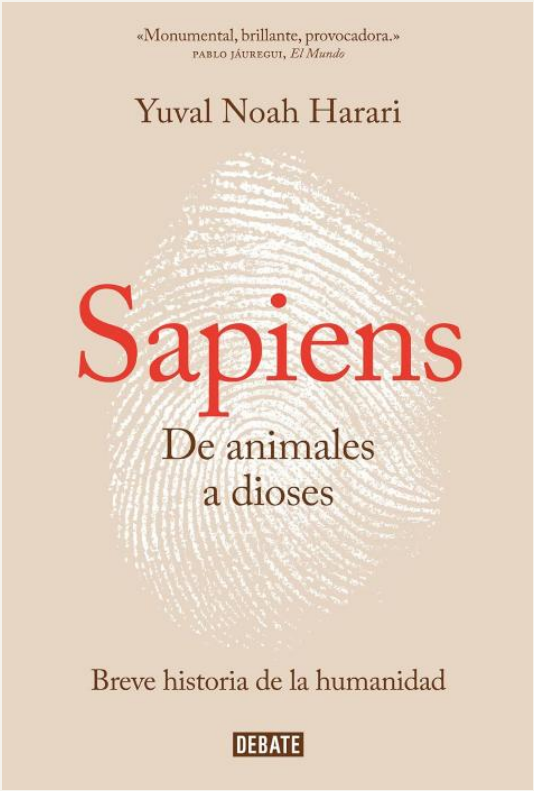


Colada continua. Imagen generada con IA.



Libros

Sapiens: De animales a dioses. Yuval Noah Harari



¿Cómo es posible que una especie más, el *Homo sapiens*, que hace 100.000 años sobrevivía sin pena ni gloria en un rincón de África, hoy sea dueña del planeta y al mismo tiempo su mayor amenaza? Esta es la gran pregunta que Yuval Noah Harari responde en su monumental obra *Sapiens: De animales a dioses*, un ensayo histórico que se ha convertido en un fenómeno editorial sin precedentes.

Harari no se limita a relatar los acontecimientos de la humanidad. En cambio, nos propone un recorrido audaz que va desde nuestros ancestros simios hasta los cíborgs del futuro, desmontando mitos y sacudiendo nuestras certezas más arraigadas. Lo que lo hace tan impactante es su capacidad para transformar nuestra responsabilidad como especie hacia nuestros semejantes y hacia el planeta.

Lo más valioso de *Sapiens* no es solo lo que cuenta, sino lo que nos obliga a preguntarnos: si la historia no es un relato de progreso lineal hacia la felicidad . Si la agricultura nos esclavizó, si los imperios nacieron de alianzas absurdas entre dioses y burócratas, si la guerra, el hambre, las enfermedades y la desigualdad se volvieron parte esencial de nuestra condición, entonces ¿hacia dónde queremos ir como especie?

La fuerza del libro está en su claridad narrativa y su capacidad para conectar biología, historia, economía y filosofía sin abrumar. Es una obra que incomoda porque nos hace responsables: solo nosotros tenemos la culpa de los males que padecemos.



Cuando la inteligencia artificial entra al tumor. Aprendiendo a entender el cáncer a partir de imágenes microscópicas

Paul Hernández Herrera, Saraí G. de León Rodríguez

El cáncer es una enfermedad muy compleja y lamentablemente es una de las principales causas de muerte a nivel mundial. Esta enfermedad ocurre cuando células sanas de nuestro cuerpo mutan y comienzan a crecer descontroladamente. Dentro de los diferentes tipos de cáncer hoy hablaremos del melanoma, un tipo de cáncer de piel que se origina de melanocitos, células que le dan color a nuestra ojos, cabello y piel, especialmente a nuestros lunares.

Este tipo de tumor es sumamente agresivo y mortal. Aunque no es el más frecuente, sí es uno de los más letales debido a su capacidad para invadir otros órganos y generar metástasis. La metástasis ocurre cuando algunas células malignas logran desprenderse del tumor original y viajar hacia otras partes del cuerpo, generalmente a través de la sangre o del sistema linfático. Una vez que llegan a otro órgano, como el pulmón, el hígado, el cerebro o los huesos, estas células pueden comenzar a crecer nuevamente y formar nuevos tumores. Paradójicamente, también es uno de los tumores más interesantes para la investigación científica, porque suele contener una enorme cantidad de mutaciones genéticas.

Esto convierte al melanoma en una especie de laboratorio biológico donde el cáncer y el sistema inmunológico, que es el conjunto de células, tejidos y órganos encargados de defender al cuerpo contra infecciones y enfermedades, mantienen una batalla constante. Cuando hay cáncer en nuestro cuerpo, el sistema inmunitario puede despertarse y defendernos contra las células malignas.

Cuando una persona desarrolla melanoma, las células del sistema inmunitario intentan reconocer y destruir las células tumorales. Entre las células más importantes en esta defensa se encuentran las llamadas células dendríticas. Estas células funcionan como “detectives” del sistema inmunológico: identifican moléculas extrañas, las procesan y posteriormente activan a otras células encargadas de atacar al tumor llamadas linfocitos T. Figura 1 muestra cómo una célula dendrítica (célula morada) reconoce y activa a un linfocito CD8 (célula azul), el cual posteriormente se dirige hacia el tumor para identificar y eliminar las células cancerosas (células rojas).

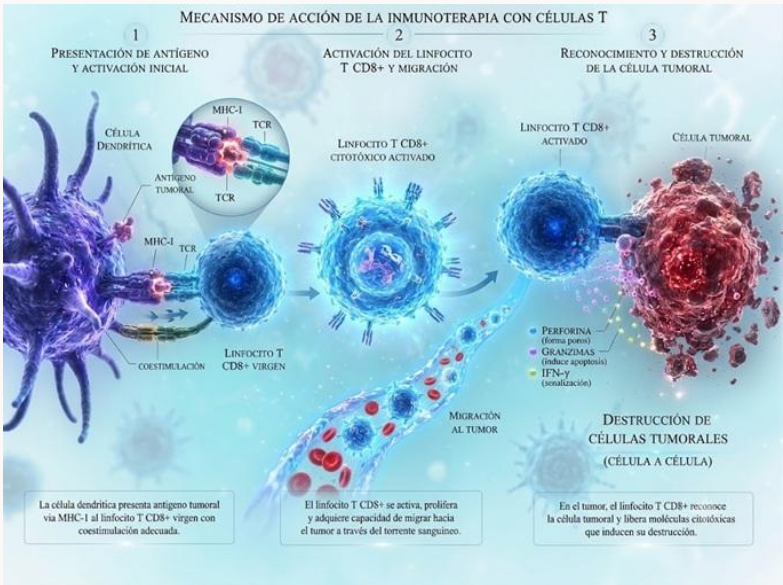


Figura 1. El sistema inmunológico en acción.

Sin embargo, dependiendo del microambiente algunas promueven una respuesta inmunológica agresiva contra el cáncer, mientras que otras pueden favorecer que el tumor continúe creciendo al reducir la capacidad del sistema inmunológico para atacarlo de manera eficiente. Identificar las características y funciones de cada tipo de

célula dendrítica, así como comprender cómo influyen en la evolución del cáncer, representa uno de los grandes retos de la inmunología moderna.



Figura 2. El cambio del análisis manual al uso de IA.

El problema de analizar el tumor

Para estudiar el comportamiento de las células inmunes dentro del tumor, se utiliza una técnica llamada inmunofluorescencia multiplex. Esta técnica permite “etiquetar” diferentes proteínas celulares utilizando moléculas fluorescentes de distintos colores. Por ejemplo, el marcador CD11c se utiliza para identificar células dendríticas; HLA-DR está relacionado con la capacidad de las células para presentar antígenos y activar la respuesta inmune; BDCA-3 permite distinguir un subtipo específico de células dendríticas asociado con respuestas antitumorales; CD40 participa en la activación de las células inmunes; mientras que PD-L1 es una proteína que puede ayudar al tumor a evadir el ataque del sistema inmunológico.

Cuando una célula posee alguna de estas características, el marcador correspondiente emite fluorescencia y aparece brillante en la imagen microscópica. En cambio, si la célula no expresa esa proteína, la región permanece oscura. Gracias a esta combinación de señales luminosas, los investigadores pueden identificar qué tipos de células están presentes dentro del tumor y analizar si se encuentran en un estado más activo o más tolerante frente al cáncer

El problema es que cada imagen puede contener miles de células. Analizar manualmente todas esas imágenes representa una tarea extremadamente lenta, agotadora y susceptible a errores humanos. Además, dos especialistas diferentes podrían interpretar la misma imagen de maneras distintas. Aquí es donde entra la inteligencia artificial.

Enseñando a una computadora a reconocer células

La inteligencia artificial ha revolucionado múltiples áreas de nuestra vida cotidiana, desde la manera en que interactuamos con asistentes virtuales hasta el desarrollo de vehículos autónomos. En medicina, también ha transformado la forma en que se analizan las imágenes médicas y se estudian enfermedades complejas, como el cáncer. En la identificación de los diferentes perfiles de células dendríticas, la inteligencia artificial desempeña un papel

fundamental para patólogos e investigadores que buscan desarrollar nuevas terapias contra el cáncer. El primer paso consiste en identificar automáticamente cada uno de los núcleos celulares presentes en la imagen microscópica; es decir, el sistema dibuja una región alrededor de cada célula para separarla y reconocerla individualmente. Esta tarea resulta extremadamente laboriosa cuando se realiza manualmente, ya que una sola imagen puede contener aproximadamente 1500 núcleos celulares. Para un patólogo, segmentar todas estas células podría requerir varias horas de trabajo. Sin embargo, utilizando inteligencia artificial, este mismo proceso puede completarse en cuestión de segundos, obteniendo resultados muy similares a los de un especialista experto. Una vez identificadas las células, las imágenes de inmunofluorescencia multiplexada permiten caracterizar automáticamente las propiedades de cada una de ellas. El sistema analiza célula por célula para determinar si ciertos marcadores biológicos, como CD11c, HLA-DR, BDCA-3 o PD-L1, se encuentran presentes o no. Gracias a ello, es posible construir un perfil detallado de las características inmunológicas presentes en cada paciente.

Este procedimiento, que manualmente sería lento, complejo y propenso a errores humanos, pudo realizarse de manera automatizada mediante técnicas de aprendizaje automático, una de las principales ramas de la inteligencia artificial. La Figura 2 presenta este cambio tecnológico, impulsado por el uso de equipos computacionales y herramientas de inteligencia artificial para el análisis de imágenes.

¿Qué información sobre el entorno tumoral se puede obtener?
Se realizó un análisis de muestras de piel provenientes de 17 pacientes con melanoma: 6 pacientes presentaban metástasis al momento del diagnóstico y 11 permanecieron libres de enfermedad (en remisión) después del seguimiento clínico. Además, se analizaron muestras de piel de 5 personas sin antecedentes de melanoma, utilizadas como grupo de control.

Los resultados mostraron diferencias importantes entre ambos grupos de pacientes. Las muestras de personas que permanecieron libres de enfermedad presentaron una mayor abundancia de células dendríticas con características asociadas a una respuesta inmunológica activadora. Estas células mostraban perfiles moleculares compatibles con una mayor capacidad para activar linfocitos encargados de atacar y destruir células tumorales.

Por el contrario, los pacientes con melanoma metastásico presentaban una mayor proporción de células dendríticas con características tolerogénicas; es decir, asociadas con un ambiente inmunológico menos eficiente para combatir el cáncer. En estos pacientes, el sistema inmunológico parecía encontrarse en un estado más “tolerante” frente al tumor, permitiendo potencialmente su crecimiento y propagación. En otras palabras, el microambiente tumoral parecía contener “pistas inmunológicas” relacionadas con la evolución clínica de los pacientes. Analizar qué tipos de células inmunes están presentes y cuál es su estado funcional podría ayudar a comprender mejor por qué algunos pacientes logran controlar la enfermedad mientras que otros desarrollan metástasis. En la Figura 3, a la izquierda, los linfocitos T permanecen activos y controlan eficazmente el tumor. A la derecha, en los pacientes con metástasis, predominaron células que favorecen la tolerancia al tumor, facilitando su crecimiento y propagación.

Aunque el estudio tiene un carácter exploratorio y todavía requiere sugieren que el análisis automatizado de imágenes mediante inteligencia artificial podría convertirse en una herramienta valiosa

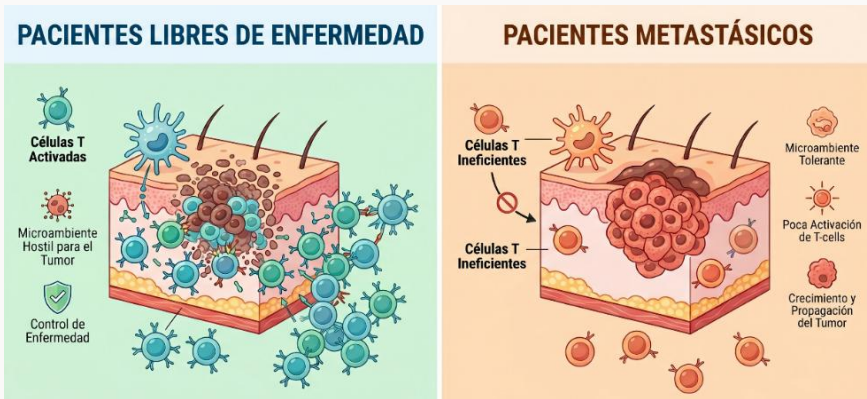


Figura 3. El entorno tumoral, un reflejo de la batalla contra el cáncer.

para estudiar el comportamiento inmunológico de distintos tipos de cáncer y apoyar el desarrollo de nuevas estrategias terapéuticas.

La nueva era de la patología digital
Tradicionalmente, el análisis histopatológico dependía principalmente de la observación humana mediante microscopía. Sin embargo, en los últimos años ha surgido un nuevo campo conocido como patología digital, donde la inteligencia artificial comienza a desempeñar un papel cada vez más importante. Actualmente existen algoritmos capaces de detectar tumores, segmentar tejidos, identificar células específicas e incluso predecir ciertos comportamientos clínicos a partir de imágenes microscópicas. Además, se han desarrollado herramientas computacionales diseñadas para facilitar el trabajo de patólogos e investigadores. Un ejemplo es el software QuPath, que permite analizar el microambiente tumoral mediante una interfaz gráfica con múltiples opciones de procesamiento y cuantificación. De manera similar, Annotater facilita la clasificación y etiquetado de células individuales durante el entrenamiento de modelos de inteligencia artificial.

Más recientemente, la inteligencia artificial generativa ha comenzado a transformar el campo de la inmunofluorescencia multiplexada. Nuevos modelos son capaces de generar imágenes virtuales de multiplex a partir de imágenes convencionales, reduciendo potencialmente la necesidad de equipos altamente especializados y costosos. Un ejemplo de esta nueva generación de herramientas es GigaTIME, desarrollado para generar representaciones multiplexadas virtuales mediante inteligencia artificial.

Esto no significa que las máquinas reemplazarán a médicos, patólogos o investigadores. Más bien, la inteligencia artificial funciona como una herramienta complementaria que permite analizar grandes volúmenes de información con mayor rapidez, precisión y reproducibilidad. En medicina, una pequeña diferencia en la interpretación de una imagen puede tener consecuencias importantes para la vida de un paciente. Por ello, automatizar ciertos procesos también ayuda a disminuir sesgos subjetivos, reducir errores humanos y mejorar la consistencia de los análisis clínicos y de investigación.

Quizá en algunos años, los sistemas de inteligencia artificial podrán ayudar a identificar pacientes con mayor riesgo de metástasis, sugerir estrategias terapéuticas o apoyar diagnósticos más rápidos y precisos. Por ahora, estudios como este muestran algo fundamental: detrás de cada imagen microscópica existe una enorme cantidad de información biológica esperando ser interpretada. Y gracias a la inteligencia artificial, comenzamos a desarrollar herramientas capaces de leerla.



Superman y la historia del acero

Luis Alberto Espinosa Zúñiga, Emmanuel José Gutiérrez Castañeda Cuando pensamos en Superman, uno de los nombres que inevitablemente viene a la mente es el <u>Hombre de Acero</u> (<i>Man of Steel</i>). El apodo no es casualidad. Desde hace décadas, el <u>acero</u> representa fuerza, resistencia y confiabilidad. Está en los puentes que cruzamos, en los automóviles que conducimos, en los edificios donde vivimos y trabajamos e, incluso, en instrumentos médicos capaces de salvar vidas. Aunque muchas veces pasa desapercibido, el acero es uno de los materiales más importantes para la civilización moderna. Sin embargo, la historia del acero es mucho más sorprendente de lo que parece. En cierto sentido, comenzó literalmente en el espacio. Un metal caído del cielo Hace más de 4,000 años, antiguas civilizaciones de Egipto y Mesopotamia encontraron fragmentos de hierro provenientes de meteoritos. La daga de hierro del faraón <u>Tutankamón</u> (siglo XIV a.C.) está forjada con hierro de origen meteorítico. Para aquellas culturas, el material era extraordinario: duro, brillante y muy diferente a las piedras o metales conocidos. No es extraño que lo consideraran un “regalo de los dioses”. Hoy sabemos que esos meteoritos contenían hierro metálico formado en el interior de estrellas y dispersado por explosiones cósmicas hace millones de años. Es decir, antes de convertirse en herramientas, espadas o edificios, los átomos de hierro del acero nacieron en el corazón de estrellas gigantes. Con el tiempo, las civilizaciones aprendieron a extraer hierro de minerales terrestres. Los hititas, alrededor del año <u>1500 a. C.</u>, desarrollaron técnicas tempranas de fundición y comenzaron a expandir el uso del hierro por Europa y Asia. Así se inició la llamada <u>Edad del Hierro</u>.  Figura 1. El acero ha sido clave en la historia de la humanidad. Imagen creada con IA. Pero el hierro puro tenía limitaciones, pues era relativamente blando y podía deformarse con facilidad. El gran descubrimiento ocurrió cuando algunos artesanos notaron que, al calentar hierro junto con carbón vegetal, durante largos periodos de tiempo, el material se volvía más duro y resistente. Sin saberlo, habían creado acero.	¿Qué es realmente el acero? El acero es una aleación formada principalmente por hierro y pequeñas cantidades de carbono. Aunque el carbono representa menos del 2 % en peso de la composición total de la aleación, su efecto es enorme. Los átomos de carbono modifican la estructura interna del hierro y le permiten adquirir propiedades mecánicas muy superiores. Con el paso del tiempo, los metalúrgicos descubrieron que podían añadir otros elementos químicos, como manganeso, silicio, cromo o níquel, para modificar aún más sus <u>propiedades</u>. Gracias a ello, hoy existen miles de tipos de acero diferentes. La <u>versatilidad del acero</u> no depende únicamente de su composición química, sino también de su microestructura. Observado a través de un microscopio, el acero revela un sistema complejo compuesto por distintas fases y microconstituyentes. La fracción volumétrica de estas fases, el tamaño, la morfología y otras características microestructurales determinan sus propiedades, lo que lo hace adecuado para diversas aplicaciones, como la construcción, la industria automotriz y aeronáutica, así como para la fabricación de herramientas, entre otras. En este contexto, la física y la ciencia de materiales desempeñan un papel fundamental en el desarrollo de materiales capaces de responder a las necesidades de un mundo en constante cambio. El acero y las grandes civilizaciones Durante siglos, el acero fue un material valioso y costoso, cuya producción se limitaba principalmente a herramientas y armas. Las legendarias espadas de Damasco y las <u>katanas</u> japonesas son ejemplos históricos del alto nivel de dominio técnico alcanzado por los antiguos herreros. Sin embargo, su fabricación seguía siendo lenta y compleja. Todo cambió en el siglo XIX, con la Revolución Industrial, cuando el ingeniero británico <u>Henry Bessemer</u> (1813–1898) desarrolló un método para producir acero en grandes cantidades y a bajo costo el <u>proceso Bessemer</u> para para producir acero. Su proceso consistía en insuflar aire a través del hierro fundido para eliminar impurezas y controlar mejor la composición del material. El impacto fue revolucionario, el acero comenzó a sustituir rápidamente al hierro en ferrocarriles, puentes, barcos y edificios. Sin este avance, probablemente no existirían los rascacielos modernos ni gran parte de la infraestructura actual. A inicios del siglo XX, el acero ya se había consolidado como el material de ingeniería más importante del mundo.	Un material presente en toda nuestra vida Actualmente, el acero está prácticamente en todas partes. Un automóvil moderno puede contener cientos de kilogramos de este material, y su presencia es fundamental en electrodomésticos, hospitales, sistemas de transporte, maquinaria industrial y plantas de generación eléctrica. Además de su resistencia, el acero posee una característica clave; y es que puede <u>reciclarse repetidamente</u> sin perder sus propiedades, lo que lo convierte en el material más reciclado del mundo. Esta cualidad lo posiciona como un elemento esencial para el desarrollo sostenible y la reducción del impacto ambiental. Paradójicamente, aunque su producción requiere grandes cantidades de energía, los avances tecnológicos han permitido diseñar estructuras más ligeras y eficientes. Por ejemplo, un automóvil de menor peso consume menos combustible y genera menos emisiones contaminantes. La ciencia detrás del acero moderno Durante mucho tiempo, los herreros mejoraban el acero a través de prueba y error. Sin embargo, en el siglo XX, la física, la química y la ciencia de materiales comenzaron a explicar de forma científica lo que ocurría en el interior del metal. Uno de los grandes avances fue comprender que las propiedades mecánicas dependen de transformaciones de fase a escala microscópica. En otras palabras, la disposición interna de los átomos puede variar en función de la composición química del material, así como de los parámetros del procesamiento termomecánico y de los tratamientos térmicos aplicados. Con la comprensión de la correlación entre la composición química, las variables de procesamiento y la microestructura, surge una nueva generación de materiales: los aceros avanzados de alta resistencia (<u>AHSS</u>, <i>Advanced High-Strength Steels</i>). Estos aceros fueron desarrollados principalmente para la industria automotriz con un objetivo claro, aunque desafiante, fabricar vehículos más seguros y resistentes sin incrementar su peso, e incluso reduciéndolo para mejorar la eficiencia del combustible y reducir emisiones de gases de efecto invernadero. En la actualidad, una de las familias más prometedoras dentro de estos materiales corresponde a los <u>AHSS de tercera generación</u>. Estos aceros combinan una elevada resistencia mecánica con una notable capacidad de deformación, una combinación que, en condiciones habituales, resulta difícil de lograr simultáneamente. En términos sencillos, se trata de materiales muy resistentes que, además pueden absorber energía sin fracturarse con facilidad.
---	---	--

Gran parte de este comportamiento se debe al denominado efecto de plasticidad inducida por transformación (<i>TRIP</i>, <i>Transformation Induced Plasticity</i>). Este fenómeno ocurre cuando una fase conocida como <u>austenita</u> se transforma en <u>martensita</u> durante la deformación del material. Esta transformación progresiva permite que el acero se endurezca a medida que se deforma, lo que mejora su capacidad para soportar esfuerzos elevados sin fallar de manera repentina. El acero como motor del progreso La historia del acero es, en muchos sentidos, la historia del desarrollo tecnológico de la humanidad. Desde fragmentos de meteoritos utilizados como objetos sagrados, hasta los aceros avanzados de alta resistencia diseñados mediante herramientas computacionales y microscopía electrónica de barrido, su evolución ha sido extraordinaria. Hoy, el acero continúa en constante transformación. Lejos de ser un material	antiguo, sigue siendo protagonista en áreas como la movilidad sustentable, las energías renovables, la infraestructura inteligente y la exploración espacial. Quizá por eso el nombre <i>Man of Steel</i> sigue teniendo sentido. El acero representa mucho más que fuerza física; simboliza adaptación, evolución e innovación constante.  Figura 2. El acero impulsando el futuro. Imagen creada con IA. La investigación en la UASLP Actualmente, en la Universidad Autónoma de San Luis Potosí (<u>UASLP</u>), particularmente en la <u>Facultad de Ciencias</u> y el <u>Instituto de Metalurgia</u>, se desarrolla el estudio de <u>aceros avanzados</u> de alta resistencia de tercera	generación, orientados principalmente a aplicaciones en la industria automotriz, así como a la obtención de otros grados de acero destinados a diversas aplicaciones industriales. Para ello, el equipo de trabajo integra conocimientos de metalurgia, física, química, termodinámica y matemáticas, entre otras disciplinas. Mediante el uso de herramientas de simulación, modelos matemáticos y técnicas avanzadas de caracterización, como la microscopía óptica, microscopía electrónica de barrido, difracción de rayos X y dilatometría, es posible analizar la evolución de las fases internas del acero en función de distintas composiciones químicas y tratamientos térmicos. En términos sencillos, los investigadores buscan ajustar y controlar la microestructura del acero para obtener las mejores propiedades posibles en función de su aplicación final.
---	--	---



El oro de las estrellas

Roberto Bartali Marchetti Desde hace más de 6000 años hay un metal que ha sido y, es símbolo de poder, estatus, elegancia, riqueza y culto: el <u>oro</u>. Después de tantos siglos de explotación ya no es tan fácil encontrarlo, pero en la antigüedad algunos afloramientos estaban a la vista de todos, y en muchos casos se encontraban grandes pepitas entre las piedras de los ríos. Poco a poco descubrieron la manera de reconocer las rocas y minerales que podrían indicar la presencia del oro. De hecho, se acaba de redescubrir las minas de oro que los antiguos romanos explotaban en los Pirineos hace casi dos milenios. A diferencia de otros elementos de importancia industrial, económica u ornamental, que se encuentran asociados a otros elementos para formar minerales, el oro se encuentra casi siempre nativo, casi casi <i>plug and play</i>. Esto se debe a que no reacciona casi con nada y ninguna sustancia natural es capaz de degradarlo o alterarlo. Le gusta estar solo, mantener su estatus único. Por el contrario, la gran mayoría de los metales reacciona fácilmente con el oxígeno, formando óxidos, o con el azufre, formando sulfatos. Un típico ejemplo es el hierro que junto al oxígeno genera la hematita (Fe₂O₃) o la magnetita (Fe₂O₄) y, cuando reacciona con el azufre genera la pirita (FeS₂) que, por cierto, se parece al oro por su color amarillo brillante y es, a menudo, llamada “el oro de los tontos”. A diferencia de otros metales, el oro es blando y se moldea fácilmente, por eso se pueden encontrar joyas muy elaboradas creadas por los orfebres de todos los pueblos antiguos. Tal vez su brillo, su color y su facilidad de uso fueron los detonantes para su búsqueda y uso, seguramente no tenían idea de su rareza a tal grado que tenían, en algunos casos, enormes reservas. Sin embargo, a diferencia de lo que ocurría en Europa, sobre todo después de la Edad Media, el oro se convirtió en un símbolo de poder que solo era merecido por unos cuantos grupos de la aristocracia. Esto desató una descarada búsqueda alrededor del mundo en la que a nadie le importó nada destruir y matar para obtenerlo llevando como resultado a la declinación de pueblos y la desaparición de culturas y civilizaciones milenarias. Literalmente el “fin justificaba los medios”, lamentablemente, después de más de cinco siglos, nada ha cambiado, por lo menos en ese sentido de necesidad enfermiza de poder. Lo que sí ha cambiado es que ya no es tan sencillo encontrar vetas de oro; en la actualidad, hay que destruir una montaña entera para sacar algunos cientos de kilogramos, o escarbar cráteres de 5,000 metros de profundidad. Pero todo eso no importa, porque seguimos queriendo el oro para sostener economías, acumular riquezas y, por qué no, tener bonitas joyas. Pero este artículo no es un tratado social o histórico, la introducción	anterior es solo para poner al lector en un contexto diferente. El oro es raro, aunque en la antigüedad se encontraban decenas de kilogramos con relativa facilidad y, hoy en día, es mucho más difícil su localización; su escasez tiene una razón física y, como siempre, hay que recurrir a las estrellas y ¡no cualquier estrella! Se preguntará el lector: ¿y que tienen que ver esos puntos brillantes en el cielo con el oro en la tierra? Muy simple: todo lo que tenemos en la tierra se formó en las estrellas que brillaron mucho tiempo antes de que nacieran el Sol y la Tierra. Nuestro pequeño planeta, el “punto azul pálido”, como lo definió Carl Sagan, no es capaz de fabricar nada, solo sabe revolver los elementos, juntarlos o separarlos para formar los más de 6000 minerales conocidos. Para complicar el asunto, el oro es muy denso; un cubo de 10 cm de lado pesa 19.32 kg, casi el doble del plomo. Cuando la tierra se acababa de formar, hace 4600 millones de años, era un conjunto de rocas calientes, no había una corteza sólida y esto provocó que la mayor parte de los elementos pesados y vaya que el oro es muy pesado, se hundieran y se acumularan en las profundidades. Casi todo el oro debe estar cerca del núcleo y allí permanecerá hasta que el Sol destruya a nuestro planeta, en unos 2,000 o 3,000 millones de años, cuando se expanda y se convierta en una estrella gigante roja. Por suerte una pequeñísima cantidad de oro, se quedó relativamente cerca de la superficie, a menos de 100 km de profundidad y, gracias a la actividad tectónica y volcánica, puede ser pescado por el magma ascendente y llevado a la superficie o cerca de ella. Las vetas de oro se generan por <u>actividad hidrotermal</u>, asociada a erupciones volcánicas, actividad tectónica, telúrica, geiser y por supuesto impactos de asteroides que, a su vez, provocan los fenómenos que acabo de enunciar. Debajo de la superficie, a profundidades entre 5 km y 30 km, el oro se encuentra en forma líquida, o vapor, debido a las altas temperaturas y presiones, pero no está solo, también hay otros minerales en las mismas condiciones, entre ellos, varios silicatos como el cuarzo. Cuando ocurre un fuerte temblor cerca de una zona de fractura geológica, las rocas sufren una súbita despresurización y los fluidos y los gases se pueden expandir y aumentar su volumen hasta 130 mil veces del original. Este proceso se denomina <u>vaporización flash</u> y puede, de manera casi instantánea, crear vetas de cuarzo enriquecido con oro. Se calcula que se pueden depositar 100 microgramos de oro por cada metro cuadrado de superficie de una falla geológica. Si este proceso se repite constantemente se pueden obtener hasta 100 toneladas de oro en un periodo de 100 mil años, Figura 1.
---	---



Figura 1. Venas de oro nativo en un cristal de cuarzo durante un proceso hidrotermal.

La otra forma en la que el oro y otros metales preciosos pueden estar en la superficie terrestre es gracias al impacto de asteroides que, además de provocar complejos fenómenos telúricos, volcánicos y tectónicos, depositan directamente microscópicos granos de oro en la superficie.

Pero decía hace unas líneas que el oro es raro, de hecho, tiene un gran valor precisamente por la dificultad de encontrarlo y extraerlo; sin embargo, estoy convencido de que, si la gente supiera porqué es tan raro, le otorgarían un valor mucho mayor del que tiene. Actualmente, un kilogramo de oro vale aproximadamente \$ 2 530 000, esto es equivalente a cinco casas de interés social.

Hasta ahora, se ha hablado del oro en la Tierra, pero su origen se remonta a eventos que ocurrieron mucho tiempo atrás, más de 6,000 millones de años; en algunos casos, hasta 12 mil millones de años. Imaginemos una nube de gas y polvo que, colapsando forma dos estrellas de masa similar, pero entre unas 10 y 25 veces la masa del Sol.

Estas estrellas evolucionan rápidamente, por lo que su vida se limita a menos de 10 millones de años. Deben convivir en una región limitada del espacio; es decir, estar cerca una de la otra. Después de que el hidrógeno en el núcleo se acaba, el núcleo de helio se contrae e inicia la formación de varios núcleos concéntricos, cada vez más pesados, conteniendo carbono, nitrógeno, oxígeno, hasta silicio y hierro, en las últimas etapas de vida.

Después de eso, una estrella de esa masa deja de tener procesos de fusión nuclear y se contrae, terminado su existencia con una explosión

que convierte la mayor parte de su materia en un plasma en rápida expansión. El núcleo, que podía medir cientos de miles de kilómetros de diámetro, se convierte en una pequeña esfera de solo 20 km que contiene hasta un par de masas solares; a este objeto se le conoce como una estrella de neutrones. La compañera evoluciona de manera similar, en un tiempo similar. Ahora tenemos un par de estrellas de neutrones que rotan rápidamente sobre su eje y debido a la corta distancia entre ellas, orbitan, en pocas horas, alrededor de su centro de masa común. Al cabo de millones de años, la energía cinética que pierden por la producción de ondas gravitacionales, que son deformaciones de la estructura del espacio a su alrededor, provoca que se vayan acercando cada vez más una a la otra, Figura 2. Eventualmente se fusionan entre sí en un evento que se llama kilonova, creando un agujero negro, y varios elementos de la tabla periódica, como el estroncio (Sr), platino (Pt), yodo (I), Uranio (U), varios lantánidos, entre ellos el neodimio (Nd) y, por supuesto, el oro (Au).

Las estrellas de primera generación; es decir, las que se formaron hace 13,400 millones de años, eran muy masivas. Se calcula que su masa estaba entre 40 y 250 veces la masa del Sol (1 masa solar es igual a 2×10^{30} kg). No eran muy longevas, debieron nacer, evolucionar y morir en un máximo de un par de millones de años y, a pesar de su enorme masa, no tenían un diámetro exagerado.

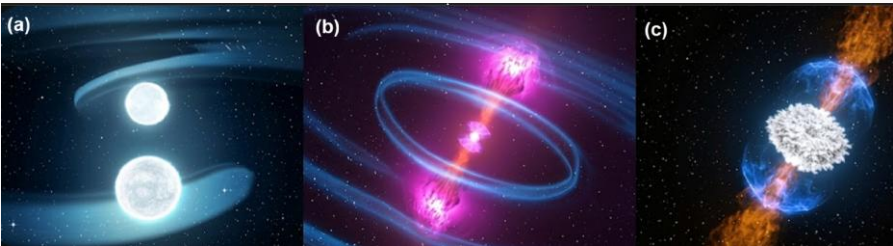


Figura 2. Secuencia de eventos de una kilonova. (a) Dos estrellas de neutrones orbitando su centro de masa común; (b) colisión y fusión de los dos cuerpos; detonación, expulsión de neutrones, (c) generación de rayos gamma y formación del agujero negro.

Otras características peculiares eran su fuerte campo magnético y la rápida rotación sobre su eje. En los últimos minutos de su vida, colapsó sobre sí misma destruyéndose por completo. Ambos tipos de estrellas se caracterizan por generar billones de neutrones por centímetro cúbico, los cuales son atrapados rápidamente por los núcleos atómicos preexistentes generando los elementos pesados, entre los cuales está el oro.

Moraleja: para entregar un anillo de compromiso de oro, tuvieron que morir dos estrellas.



La simetría: el lenguaje oculto que ordena el mundo

Juan Guillermo Munguía Fernández.

Cuando observamos un mosaico bien construido, un copo de nieve o la fachada de un edificio histórico, solemos hablar de simetría como si fuera simplemente una cualidad estética: algo bonito, equilibrado o agradable a la vista. Sin embargo, esta impresión superficial oculta algo más profundo. La simetría no es solo una elección artística ni un adorno visual, sino un concepto que permite describir cómo se organizan muchos fenómenos, desde la materia a escala atómica hasta las formas culturales creadas por el ser humano.

En términos generales, la simetría describe la manera en que un objeto o un sistema puede transformarse, ya sea al girarse, reflejarse o desplazarse, sin perder su identidad esencial. Esta idea, aparentemente simple, resulta ser muy poderosa. Al estudiar las simetrías de un sistema, se vuelve evidente que la diversidad de formas presentes en la naturaleza, en el arte y en la ciencia no es infinita ni completamente arbitraria, sino que está condicionada por estructuras matemáticas bien definidas, Figura 1.

Lejos de ser una curiosidad abstracta, este conocimiento tiene consecuencias prácticas claras. En física de materiales, la simetría está estrechamente relacionada con propiedades mecánicas, ópticas y eléctricas. En cristalografía, se describe las formas en que los átomos pueden organizarse dentro de un sólido. En arquitectura y en ingeniería, influye en la estabilidad, la repetibilidad y la eficiencia de las estructuras. Comprender la simetría no solo ayuda a describir el mundo, sino también a anticipar qué configuraciones son viables dentro de ciertos marcos físicos y geométricos.

Menos posibilidades de las que imaginamos

Aquí aparece una consecuencia poco intuitiva del estudio de la simetría. La experiencia cotidiana sugiere que los patrones posibles son prácticamente ilimitados: basta recorrer una ciudad, visitar un museo u observar un textil artesanal para tener la impresión de una variedad inagotable. Sin embargo, cuando estos diseños se analizan con herramientas matemáticas, el panorama se vuelve mucho más acotado.

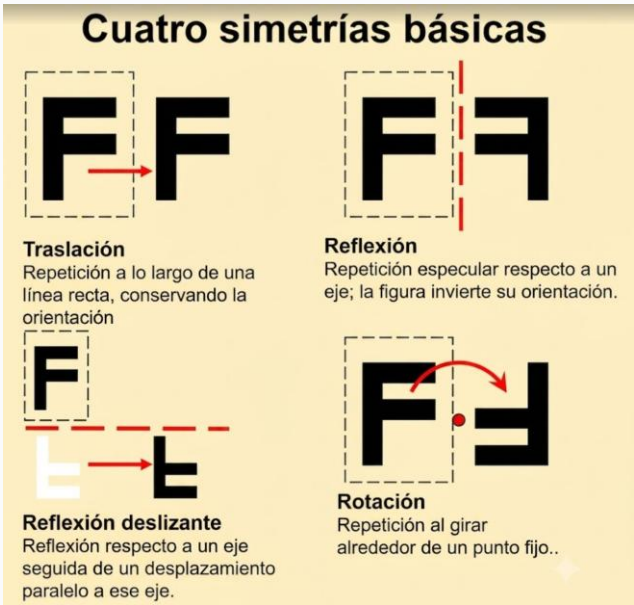


Figura 1. Las cuatro simetrías básicas.

Por complejos que parezcan los mosaicos de la Alhambra, las litografías de Maurits Cornelis Escher (1898–1972) o las estructuras internas de los cristales, todos ellos pueden clasificarse dentro de un número finito de tipos fundamentales. Este resultado no es evidente a primera vista, precisamente porque nuestra experiencia visual no revela las restricciones geométricas que operan en segundo plano.

Un ejemplo claro son los frisos, patrones decorativos que se repiten indefinidamente en una sola dirección, generalmente a lo largo de una franja. Al limitarse a una única dirección de repetición, las simetrías posibles se reducen de manera drástica. Solo ciertas combinaciones de traslaciones, reflexiones y rotaciones de media vuelta pueden mantenerse coherentes a lo largo de toda la banda sin romper el patrón. Cuando estas posibilidades se analizan de forma sistemática y se descartan aquellas que no pueden extenderse indefinidamente, el resultado es sorprendentemente reducido: existen únicamente siete tipos básicos de frisos, Figura 2

Algo similar ocurre con los patrones planos que se repiten periódicamente en dos direcciones. En este caso, el número de posibilidades aumenta, pero sigue siendo finito: existen solo diecisiete clases distintas. Este hecho no responde a una convención académica ni a una elección histórica, sino a las restricciones geométricas propias del plano. Para que un patrón pueda repetirse sin dejar huecos ni superposiciones, las rotaciones, reflexiones y traslaciones deben encajar entre sí de manera muy específica. Al considerar todas las combinaciones que cumplen estas condiciones, el conjunto de casos posibles vuelve a ser limitado.

La misma lógica se extiende a otros contextos. Cuando se consideran objetos finitos con simetría esférica, que son formas que pueden girarse alrededor de un punto y coincidir consigo mismas, las posibilidades también resultan restringidas. En este caso, todas las configuraciones pueden agruparse en catorce clases fundamentales, que recogen las distintas maneras en que un objeto puede ser simétrico respecto de rotaciones en el espacio sin recurrir a repeticiones infinitas.

En un nivel aún más general, al estudiar estructuras periódicas en tres dimensiones, como las que aparecen en los cristales, las restricciones geométricas se vuelven más complejas, pero el resultado sigue siendo finito. Para que una disposición de átomos pueda repetirse regularmente en el espacio sin dejar vacíos ni generar superposiciones, las traslaciones, rotaciones y reflexiones deben combinarse de formas muy específicas.

Al analizar todas estas combinaciones posibles, se demuestra que existen únicamente 230 grupos espaciales, que abarcan todas las simetrías cristalinas compatibles con la geometría tridimensional. Esta limitación no depende de preferencias culturales, estilos artísticos ni del nivel tecnológico disponible. Surge directamente de las propiedades geométricas del espacio y de los marcos matemáticos utilizados para describir la simetría, y es válida dentro de los supuestos en los que dichos modelos se aplican.

El problema de lo infinito... y cómo hacerlo manejable

Uno de los principales obstáculos conceptuales al estudiar la simetría es que muchos de los patrones relevantes no son finitos, sino que se extienden indefinidamente. Esto ocurre, por ejemplo, en la ciencia de materiales: a escala microscópica, la disposición de los átomos en un sólido cristalino se repite de manera regular y, en primera aproximación, puede considerarse infinita. Dado que analizar directamente una estructura sin límites no es práctico, se adopta una estrategia fundamental. En lugar de estudiar el material completo, se identifica una unidad mínima de repetición, conocida como celda unitaria, que contiene toda la información geométrica y física necesaria. Al comprender el comportamiento

de esta celda, sus simetrías, sus interacciones y sus propiedades, es posible extender los resultados al resto del material mediante la repetición sistemática de dicha unidad.

Este enfoque plantea una pregunta natural: ¿cómo puede una región finita capturar las propiedades de una estructura infinita? La clave está en reconocer que la repetición no es arbitraria, sino que está gobernada por simetrías bien definidas. En lugar de describir cada repetición por separado, se estudia cómo un conjunto reducido de transformaciones genera la estructura completa. La respuesta matemática a este problema se apoya en una idea tan ingeniosa como poderosa: el concepto de *orbifold*. De manera informal, un *orbifold* permite representar un objeto infinito mediante una región finita en la que se incorporan explícitamente las simetrías que identifican puntos equivalentes. Así, la complejidad de una estructura ilimitada se condensa en un dominio compacto que conserva toda la información esencial sobre su organización.

Las piezas elementales de la simetría

Para construir un sistema de clasificación de la simetría es necesario identificar primero las operaciones básicas que pueden dejar invariante un patrón. En el nivel más elemental aparecen cuatro tipos principales: las rotaciones, las reflexiones, las traslaciones y las reflexiones deslizantes. Estas operaciones no se combinan de manera arbitraria, sino que deben obedecer reglas precisas que garanticen la coherencia global del patrón.

Con este fin se ha desarrollado un sistema de notación asociado al trabajo de matemáticos como [John Horton Conway](#) (1937–2020) y [William Thurston](#) (1946-2012), que emplea símbolos sencillos para codificar combinaciones complejas de transformaciones. Estas formas no describen la apariencia visual de un diseño, sino las operaciones que lo dejan inalterado. Su función es análoga a la de una fórmula química: condensar información estructural en una expresión compacta que permita comparar y clasificar patrones muy distintos entre sí.

El Teorema Mágico: una ley de equilibrio geométrico

Una de las ideas centrales de esta teoría es un resultado conocido informalmente como el [Teorema Mágico](#). Lejos de cualquier misticismo, se trata de una regla de equilibrio geométrico muy concreta. Cada tipo de simetría impone restricciones sobre cómo un patrón puede organizarse, y estas restricciones no pueden acumularse sin límite. En el plano euclidiano, la suma total de estas restricciones debe ajustarse exactamente a un valor fijo. Esto explica por qué ciertas disposiciones geométricas son posibles y otras no. En superficies curvas, como la esfera o el espacio hiperbólico, este balance se

modifica, dando lugar a patrones que no pueden existir en el plano, pero que siguen obedeciendo leyes igualmente precisas.

Este equilibrio no es una convención arbitraria, surge de la característica de Euler del *orbifold* asociado al patrón, un invariante topológico que permanece estable bajo deformaciones continuas. De este modo, la simetría aparece vinculada de manera profunda con la geometría y la [topología](#), revelando que el orden observable no es accidental, sino consecuencia directa de restricciones estructurales.

Clasificar, predecir y descartar

El alcance del sistema no se limita a clasificar patrones conocidos. También permite descartar configuraciones imposibles. Si el balance de restricciones no coincide con el valor permitido, la conclusión es clara: el patrón no puede existir tal como se ha planteado. En este sentido, la teoría de la simetría no es solo descriptiva, sino también normativa. No se limita a ordenar lo que observamos, sino que establece criterios precisos sobre qué configuraciones están excluidas desde el inicio y por qué.

Las aplicaciones de estas ideas son amplias y bien establecidas. En cristalografía, los grupos espaciales describen exhaustivamente todas las organizaciones periódicas compatibles con [sólidos cristalinos](#). En química, la simetría molecular determina propiedades espectroscópicas y reglas de reacción. En biología, estructuras simétricas reducen el costo genético y facilitan el autoensamblaje. En arquitectura y diseño, estos principios no funcionan como recetas estéticas, sino como un marco estructural que delimita qué patrones pueden repetirse de manera coherente. Incluso en cosmología, conceptos relacionados con *orbifolds* aparecen en modelos de universos finitos sin bordes, mostrando cómo las mismas ideas resurgen en contextos físicos muy distintos.

Una pregunta final

Al final, la cuestión central no es cuántos patrones existen, sino qué implica que su número sea finito. La teoría de la simetría muestra que el orden que observamos no surge de decisiones arbitrarias ni únicamente del gusto humano, sino de las restricciones impuestas por la geometría del espacio. Desde esta perspectiva, cada patrón puede entenderse como una realización particular dentro de un conjunto limitado de posibilidades estructurales. Comprender este marco no amplía indefinidamente el catálogo de formas, pero sí enseña a moverse con precisión dentro de él. Y en esa precisión reside, quizá, una forma más profunda de libertad intelectual.

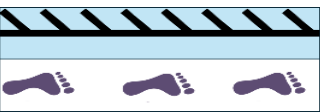
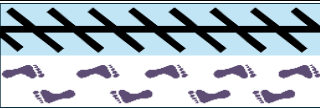
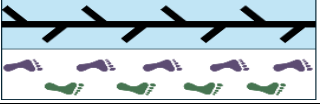
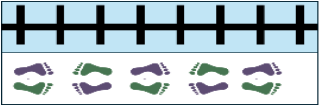
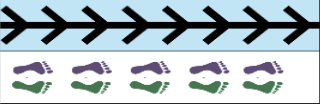
	Imagen del patrón	Descripción de la simetría
1. Traslación		Patrón que posee únicamente simetría de traslación a lo largo de la banda; ninguna reflexión ni rotación adicional lo dejan invariante.
2. Traslación + rotación de 180°		Además de traslación, el patrón admite rotaciones de 180° alrededor de puntos sobre la banda.
3. Reflexión deslizante + traslación		Este patrón combina traslación simple con reflexiones deslizantes a lo largo de la banda.
4. Traslación + reflexión vertical		El patrón permite traslación y reflexión respecto a un eje vertical perpendicular al movimiento de repetición.
5. Reflexión horizontal + reflexión vertical + traslación + rotación		Es el grupo más completo: combina traslación, reflexiones horizontales y verticales, y rotación de 180°.
6. Traslación + reflexiones + deslizamientos + rotación		Patrón con traslación, líneas de reflexión verticales, reflexiones deslizantes y rotaciones de 180°.
7. Traslación + reflexión horizontal + deslizamientos		Combina la traslación con reflexiones horizontales y reflexiones deslizantes, sin rotación de 180°.

Figura 2. Los siete tipos de frisos.

