

**Deslumbrados por los avances en computación y comunicaciones que han cambiado el mundo en el último medio siglo, prestamos poca atención a las ciencias de la vida. En las próximas décadas, el cambio vendrá de la mano de la biología. El potencial de la biotecnología está por descubrir.**

Según Roy Amara, “Nuestra tendencia es sobrestimar los efectos de una tecnología en el corto plazo y subestimar el efecto en el largo plazo”. Nada es más cierto que su frase en el ámbito de la [biotecnología](#) y la biomedicina. Constantemente escuchamos noticias sobre la inminente curación de cualquier cáncer, la cura del envejecimiento o la transformación de ser humano en un cibernético superhumano. En el corto plazo los avances son importantes, pero en el medio plazo el mundo va a cambiar merced a la biotecnología.

La computación y las comunicaciones han cambiado el mundo desde que en los años cincuenta del pasado siglo se comenzaron a usar los primeros ordenadores comerciales. La constante investigación, la miniaturización y el rendimiento económico impulsaron exponencialmente el desarrollo de los ordenadores. Esos cambios tecnológicos han supuesto cambios sociales como la explosión de internet y las redes sociales y la transformación digital en las empresas.

Los avances en computación son fascinantes y meritorios porque comenzamos de la nada. No existían en la naturaleza ordenadores ni materiales que sirvieran de base y modelo más allá del modelo de la mente humana y los protomateriales que son la base de los componentes informáticos. La enorme ventaja es que cada avance es medible y replicable.

La biología, por el contrario a la computación, se basa en la chapuza, el ensayo y error poco reproducible y estandarizable. Pero tiene una enorme ventaja: la vida ha creado una gigantesca caja de herramientas que apenas estamos empezando a descubrir, manipular y utilizar.

Aunque hayas hecho tu plato favorito decenas de veces, nunca puedes estar seguro de que la próxima vez quedará igual y siempre tienes algo de temor. Un poco más de tiempo en un paso, un poco menos de ingrediente en otro, un poco más o menos de agua, temperatura o tiempo y todo cambia: tu receta estrella decepciona a tus amigos. Quien hace cerveza en casa bien sabe que los resultados son inciertos. Y lo mismo sucede con los vinos, a menos que el proceso está sumamente protocolizado. La biología es así: demasiadas variables. Miles de investigadores de todo el mundo avanzan penosamente realizando experimentos que, como las recetas, la cerveza o el vino, son difícilmente replicables. El mundo de los ordenadores es un mundo seco y predecible. El mundo de la vida es húmedo y variable. Es varios órdenes de magnitud más sencillo crear un virus informático que uno biológico.

**La vida ha creado una gigantesca caja de herramientas que apenas estamos empezando a descubrir, manipular y utilizar**

Tradicionalmente la actividad humana se basaba en la manipulación de la materia, de los átomos. Con la llegada de la era de la información, la gestión de los bits ha pasado a ser primordial. En el siglo XXI está llegando el tercer componente de la tríada: el gen. Pronto el mundo se basará en la manipulación de átomos, bits y genes. El gen aúna características de los otros dos componentes básicos. Está compuesto de átomos como el resto de la materia, pero contiene y maneja información como no lo hace una piedra. El gen es el bit biológico (técnicamente un gen son cantidades ingentes de bits), el gen es el bit en el mundo de los átomos.

Apenas se había formado la Tierra hace 4.500 millones de años cuando ya comenzó el experimento biológico. En mil millones de años aparecieron las moléculas complejas y los ácidos nucleicos. Las bacterias tienen 3.500 millones de años. Desde entonces no han parado de crear herramientas para la vida. Cientos de miles de moléculas que realizan las más modestas funciones y que en conjunto producen la fantástica actividad biológica. Las células más avanzadas, los eucariontes, que forman organismos como nosotros, tienen 2.000 millones de años. Este gigantesco conjunto de herramientas permite el metabolismo, la captación de la energía solar, la respiración, la construcción de individuos, el almacenamiento y transporte de energía y la reproducción, por simplificar. Hoy estamos en condiciones de comenzar a manipular y cambiar estas herramientas. Por contraposición a la computación, no partimos de cero. Todo está ahí.

### **INFOGRAFÍA: LA BIOTECNOLOGÍA**





CAPÍTULO II:  
**BIOTECNOLOGÍA**

(\* Modificación genética = Ingeniería genética)

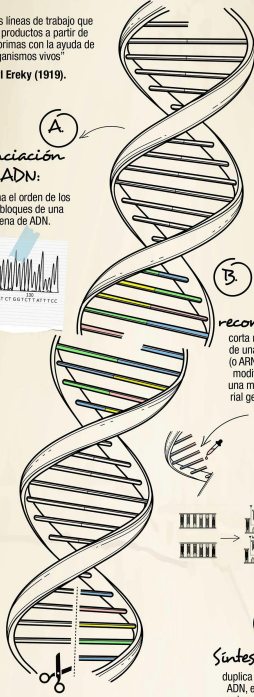
**¿Qué es?**

"Todas las líneas de trabajo que generan productos a partir de materias primas con la ayuda de organismos vivos"

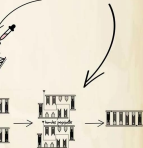
Kari Ereky (1919).

**Secuenciación de ADN:**

determina el orden de los cuatro bloques de una cadena de ADN.

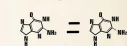


**ADN recombinante:**  
corta material genético de una cadena de ADN (o ARN) para replicarlo, modificarlo o unirlo a una molécula de material genético diferente.



**Síntesis del ADN**

duplica una secuencia de ADN, es decir, crea una copia exacta de un material genético.

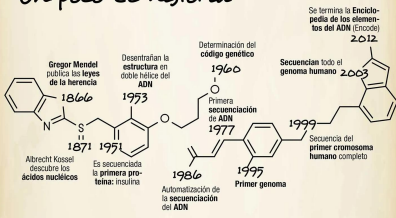


**Edición del genoma (CRISPR/Cas9):**

abre huecos en una secuencia de genoma\* en los que se pueden introducir nuevas secuencias.

\*Genoma: los genes de los cromosomas, el material genético completo de un ser vivo.

**Un poco de historia**



**¿Por qué es importante?**  
(Beneficios y riesgos)

- +** **Provee de alimentos a la creciente población mundial** aumentando la resistencia a producción de los cultivos y creando alimentos más nutritivos.
- +** **Combate enfermedades** mediante la creación de vacunas y medicinas y la manipulación genética.
- +** **Reduce la contaminación** a través de técnicas de reciclaje y degradación de residuos.
- +** **Aprovecha recursos naturales escasos** con nuevas técnicas de extracción de minerales y filtración de aguas.
- **Privacidad de nuestra información genética:** gobiernos y corporaciones podrían hacer uso de registros de información genética para controlar y discriminar a los ciudadanos.
- **Accidentes durante la manipulación genética:** bacterias o virus super resistentes podrían escapar del laboratorio e infectar a la población.
- **Bioterrorismo:** el abaratamiento en las técnicas de síntesis de ADN ha democratizado la creación de armas biológicas.
- **Mutaciones peligrosas para futuras generaciones:** errores en la edición del genoma en células reproductivas podrían generar cambios genéticos hereditables.
- **Usos dudosamente éticos:** creación de "bebés de diseño" o síntesis del genoma de una persona muerta en nuevas células.

Fuente: E. (2019). Biotecnología en la producción celular y bién de una gran replicación reproductiva. Fuente de la imagen: "Biotecnología en la producción celular y bién de una gran replicación reproductiva". Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/339999999>. Consultado el 15/04/2020. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0231111>. Fuente de la imagen: "Biotecnología en la producción celular y bién de una gran replicación reproductiva". Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/339999999>. Consultado el 15/04/2020.

Los avances en genética son fulgurantes. El descubrimiento de la herencia, de los genes y del ADN supuso el establecimiento de sólidas bases de trabajo. El [Proyecto Genoma Humano](#) consiguió la secuenciación de nuestro genoma en 2000, fruto del trabajo de entidades públicas y la conocida Celera Genomics de [Craig Venter](#). El [Proyecto Earth BioGenome](#) tiene como objetivo la secuenciación de todos los genomas de las especies de la Tierra. Se han secuenciado los genomas de bacterias, virus, levaduras, hongos, parásitos, plantas como el arroz y el trigo o animales como los ratones, las ratas, los chimpancés, el gato, el conejillo de Indias y el conejo.

En cuanto a los seres humanos, el [Proyecto 100.000 genomas](#) pretende llegar a esa cifra. Ya hemos conseguido que la secuenciación de un genoma (el tuyo, por ejemplo) esté por debajo de los 1.000€. Un número creciente de empresas ofrecen sus servicios de secuenciación. Nos estamos acercando al DCT, el Test genético de acceso directo al consumidor.

Aunque lo hayamos secuenciado, no entendemos el genoma. El [proyecto ENCODE](#) pretende comprender el significado y función de cada parte del genoma, qué codifica qué, que regula, qué promueve y qué no sirve para nada. Aún queda mucho.

La técnica más renombrada en biotecnología actualmente es [CRISPR](#). Se basa en una herramienta que tienen algunas bacterias para reconocer el ADN de los virus que las atacan y que han incorporado a su propio genoma. Cuando viene de nuevo el virus, la bacteria reconoce la secuencia y lo combate. Esta herramienta bacteriana tan aparentemente sin interés está revolucionando la biotecnología. Ha permitido cortar y pegar fragmentos de ADN y modificar su estructura y comportamiento. Ya es posible editar el genoma de forma precisa y barata. Ha posibilitado, además, la democratización de la ingeniería genética. De pronto, miles de laboratorios del mundo pueden hacer experimentos antes reservados a los muy pudientes.

## Herramientas de desarrollo baratas, acceso a librerías de productos modulares ya desarrollados, comunidad de usuarios... Todo esto recuerda al mundo del software libre

El colosal repertorio de herramientas moleculares presentes en los distintos seres vivos está siendo catalogado en librerías génicas para crear genotecas. Además de poder modificar el genoma de un individuo concreto, estamos alcanzando la reacción genética en cadena por la que se transmiten los genes modificados a grandes partes de una población. Esto es de esencial importancia en la erradicación de enfermedades como la malaria.

Herramientas de desarrollo baratas, acceso a librerías de productos modulares ya desarrollados, comunidad de usuarios... Todo esto recuerda al mundo del *software* libre. Cuando las empresas realizaban sus desarrollos propietarios todo iba lento y era caro. La comunidad de *software* libre ha supuesto un gigantesco avance en la computación. Mucho del *software* que usas en tu móvil es *software* libre, empezando por el Linux de tu

sistema operativo. Del mismo modo, laboratorios del mundo entero empiezan a disponer del conocimiento, las herramientas y las librerías modulares de genes para ensamblarlos. La revolución genética no ha hecho sino empezar.

La clonación de la oveja Dolly ocurrió en 1996. Desde entonces, las noticias no paran de sucederse. En 2016 nació el primer bebé con ADN de tres padres. El código genético universal está hecho de secuencias de 4 bases en el ADN; la NASA ha anunciado que financia la creación de un ADN con 8 letras llamado “hachimoji”. Los avances se suceden y es difícil ver el límite.

Las aplicaciones en biomedicina son evidentes. La lucha contra el cáncer es hace mucho tiempo una lucha bioquímica y genética. Las enfermedades raras son en gran parte causadas por simples mutaciones en una sola letra de nuestro genoma y su investigación ve con esperanza los avances genéticos. El envejecimiento, que nos afecta o afectará a casi todos, se beneficiará de la investigación genómica.

La criminología ha hecho suyas las herramientas genéticas y son una de sus armas favoritas. Hoy hay multitud de empresas que proporcionan pruebas de paternidad a partir de pocos restos como un vaso manchado o una colilla.

La antropología aún usa las clásicas herramientas basadas en el estudio de yacimientos con el estudio genómico. El genoma del Neanderthal se secuenció en 2013 y asombró al mundo al descubrir que nuestras especies se mezclaron en numerosas ocasiones y que tenemos restos de ellos.

La agricultura y la ganadería se han visto beneficiadas por la ingeniería genética y los transgénicos están a la orden del día. La producción de insulina para diabéticos se realizaba extrayéndola de animales como los cerdos generando una gran cantidad de problemas para los pacientes. Hoy se obtiene de bacterias modificadas genéticamente para que produzcan la sustancia, vital para los pacientes.

## La primera modificación genética de humanos ya se ha realizado. Algunas barreras como la existente entre la clonación terapéutica y la eugenésica se difuminan

Tantos avances han alertado sobre su mal uso y los comités éticos están poniéndose al día. El anuncio de que el científico chino He Jiankui modificó genéticamente a dos gemelas ha advertido al mundo de que la regulación es insoslayable. Pero lo cierto es que la primera modificación genética de humanos ya se ha realizado. Algunas barreras como la existente entre la clonación terapéutica y la eugenésica se difuminan. El límite de la línea germinal que posibilita la extensión de los cambios a la descendencia es también endeble.

Cuando el húmedo mundo de la tecnología se vaya “secando” y los datos sean más estandarizables, veremos la irrupción de las herramientas de *big data* y la inteligencia artificial. El conocimiento crecerá exponencialmente.

El avance de la biotecnología no solo se referirá a la biomedicina. Áreas enteras cambiarán con el uso barato del gigantesco potencial biológico. Los plásticos son derivados del petróleo, compuestos orgánicos. Razonablemente veremos nuevas generaciones de plásticos con mejores propiedades y sin los inconvenientes de los actuales. Veremos también nuevos materiales como ropa o productos químicos como son los detergentes que ya usan enzimas.

La capacidad de almacenamiento y procesado de la información que tiene el ADN puede suponer la llegada de ordenadores biológicos que, superen o no, complementen los de silicio.

La mayoría de la energía que usamos viene de componentes fósiles. Es una biotecnología rudimentaria que quema la energía acumulada por las plantas durante millones de años. Pero las plantas siguen realizando la fotosíntesis hoy como ayer. Transforman la energía solar en una suerte de moneda energética universal llamada ATP. Nuestras neuronas generan impulsos eléctricos usando ese mismo ATP. Disponemos de todas las herramientas para generar electricidad: la captación de la energía solar, el almacenamiento en ATP y la producción neuronal de electricidad. Ensamblar estos módulos en una única célula o en un conjunto de moléculas es cuestión de tiempo.

Veremos cambios que ni sospechamos. La biotecnología cambiará el mundo como antes lo hicieron los ordenadores.