

Autoensamblaje de cristales de ADN

Mik Andersen

Las imágenes al microscopio tomadas por el doctor (Campra, P. 2021) siguen aportando una información muy valiosa para el esclarecimiento de los contenidos y materiales de los viales de las vacunas. En esta ocasión, se ha encontrado una evidencia fundamental, que confirmaría que la vacuna Comirnaty™ Pfizer presenta tecnología de autoensamblaje de cristales de ADN, en consonancia con lo expuesto en la entrada anterior relativa a [indicios de autoensamblaje ADN-Origami](#). Este descubrimiento ha sido posible, al comparar las imágenes del doctor Campra y Ricardo Delgado (Delgado, R. 2022), con la literatura científica, en concreto con el trabajo de (Zhao, J.; Zhao, Y.; Li, Z.; Wang, Y.; Sha, R.; Seeman, N.C.; Mao, C. 2018) titulado “*Modulación del autoensamblaje de cristales de ADN con agentes diseñados racionalmente*”. Este descubrimiento ayuda a comprender mejor la naturaleza de los objetos observados, así como su conformación, lo que permite descartar el azar o una mera coincidencia, ya que lo observado, responde más bien, a la planificación y el diseño premeditado en laboratorio.

Análisis de las imágenes

En la figura 1 se presenta la secuencia de imágenes procedentes del estudio de (Zhao, J.; Zhao, Y.; Li, Z.; Wang, Y.; Sha, R.; Seeman, N.C.; Mao, C. 2018) en la que se observa el proceso de autoensamblaje de cristales de ADN a una escala de 200 μm , que resulta compatible con la escala de observación del doctor Campra. Se puede apreciar como las “moléculas de ADN” se van conformando en cristales bidimensionales y tridimensionales, de estructura cuadrangular, rectangular, cúbica, conforme a un orden de construcción predeterminado. Cuando se compara la morfología de estos cristales de ADN con la de los objetos observados en las muestras de la vacuna Pfizer, se llega a la conclusión de que la coincidencia es exacta, tanto en los formatos que se denotan, perspectivas, dimensiones y geometrías.

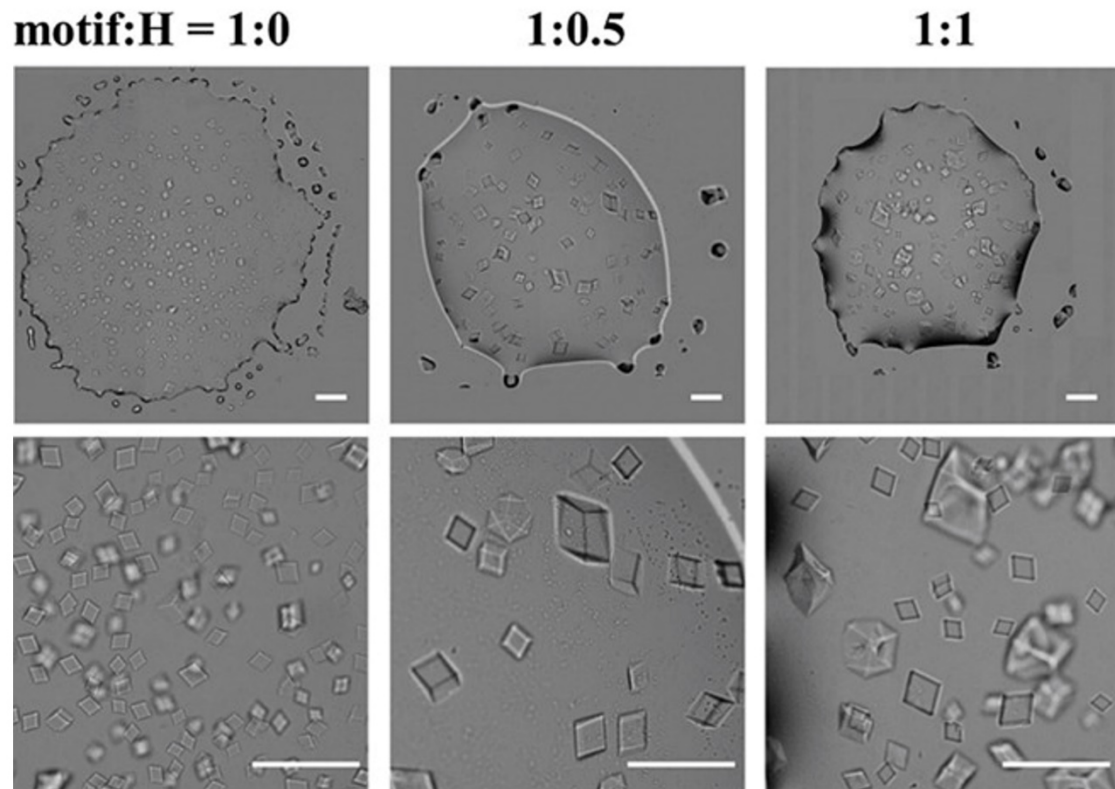


Fig.1. Imágenes de cristales de ADN en distintas gotas. Su morfología coincide exactamente con la observada en las muestras de la vacuna Pfizer. (Zhao, J.; Zhao, Y.; Li, Z.; Wang, Y.; Sha, R.; Seeman, N.C.; Mao, C. 2018)

En la figura 2 se confrontan las imágenes del estudio de Zhao y las obtenidas por el doctor Campra en su observación de la vacuna Pfizer, en donde resulta evidente que los objetos observados son cristales de ADN. También se aportan otras referencias de la literatura científica que ratifican esta identificación (Zhao, J.; Zhao, Y.; Li, Z.; Wang, Y.; Sha, R.; Seeman, N.C.; Mao, C. 2018 | Chandrasekaran, A.R. 2019 | Hernandez, C.; Birktoft, J.J.; Ohayon, Y.P.; Chandrasekaran, A.R.; Abdallah, H.; Sha, R.; Seeman, N.C. 2017).

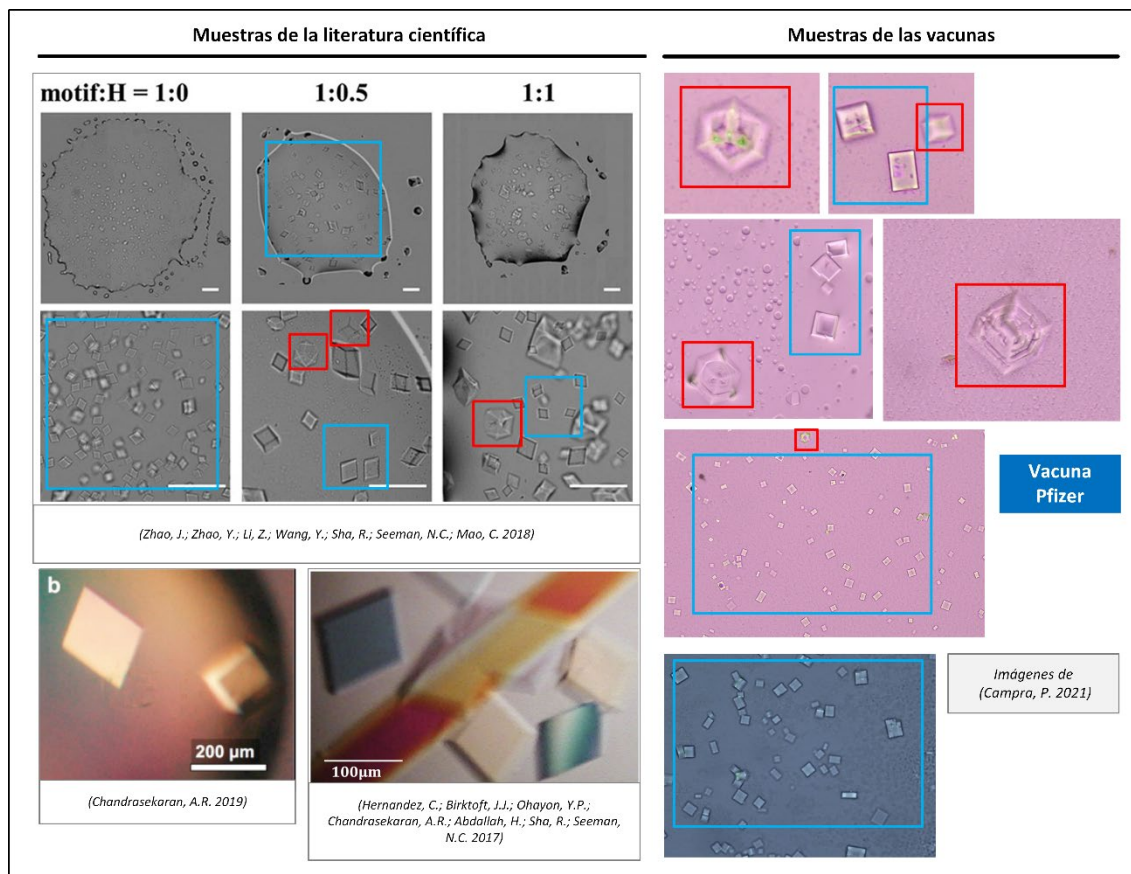


Fig.2. Proceso de formación de los cristales de ADN en la literatura científica y su comparativa con los observados en las muestras de la vacuna Pfizer, en imágenes del doctor Pablo Campra.

Además, la grabación de las observaciones al microscopio, de las muestras de la vacuna, realizadas por el doctor Campra y Ricardo Delgado, han permitido corroborar la presencia de los cristales de ADN, así como su proceso de ensamblaje, que coincide con el descrito por Zhao. Véase vídeo 1.

[Vídeo 1 disponible en <https://t.me/c0r0na2inspect/344>]

Vídeo 1. Cristales de ADN en formación, en las observaciones de Pablo Campra y Ricardo Delgado.
(Campra, P. 2021 | Delgado, R. 2022)

Además de estas pruebas, el doctor Campra ha elaborado un documento en el que se aportan otras imágenes compatibles con la presencia de cristales de ADN en las vacunas COVID-19, que pueden ser consultadas [en su página de ResearchGate](#) o en el siguiente enlace permanente.

Otras pruebas adicionales son las que se muestran a continuación en las figuras 3, 4 y 5. Por ejemplo en la figura 3, se comprueba la presencia de cristales de ADN y lo que parece ser una fibra o nanotubo de carbono, que en realidad podría correspondería con la estructura de un

micro/nanotubo de ADN. La importancia del hallazgo es enorme, puesto que implicaría reconsiderar la composición de los objetos identificados hasta el momento, en concreto la referida a las estructuras rectangulares, romboidales y cuadrangulares y de lo que [parecían ser nanotubos de carbono CNT](#). Debido a la complejidad y consideraciones que esto tiene en la investigación, se abordará en un apartado específico, para actualizar el conocimiento sobre estos objetos, explicando el estado de la cuestión actual, momento en el cual se escribió esta entrada.

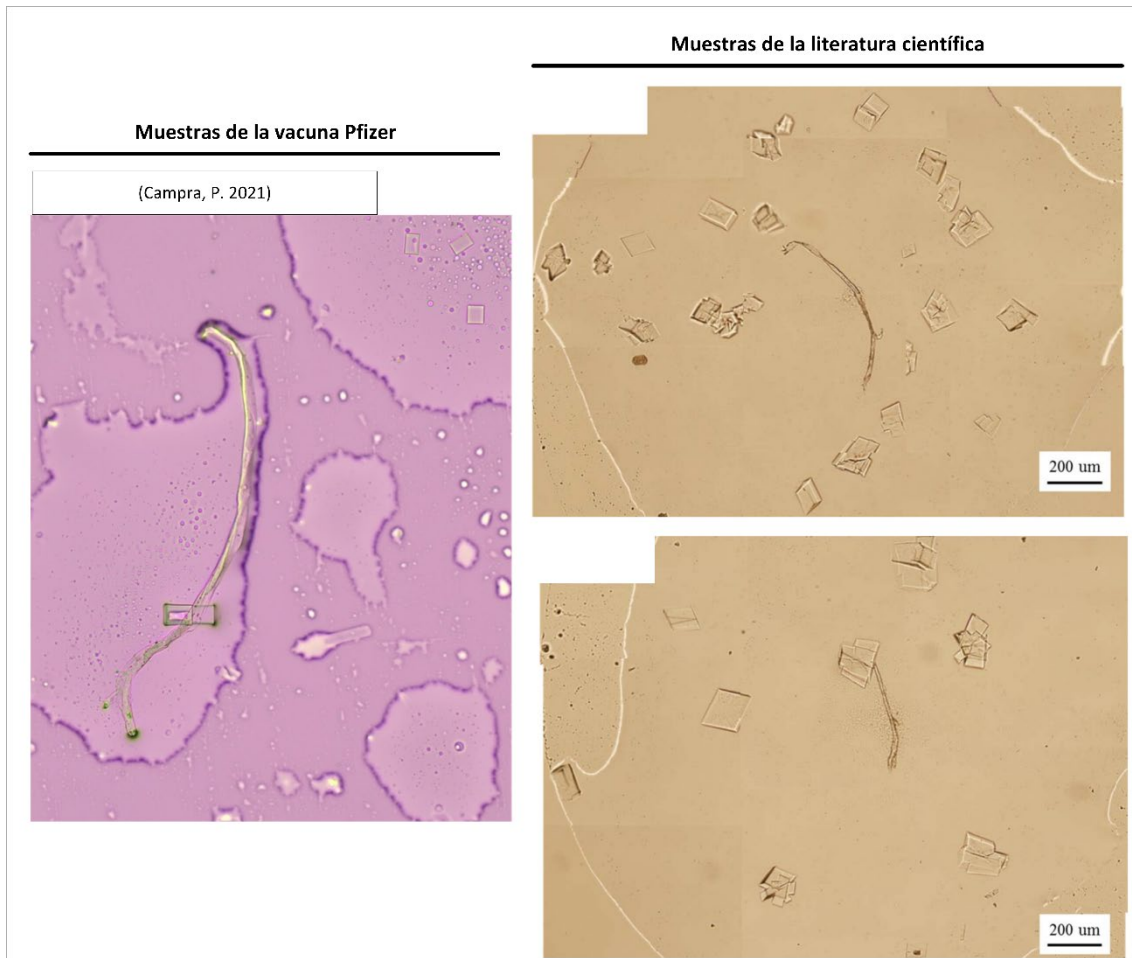


Fig.3. Obsérvese cómo tanto en la imagen de la muestra de la vacuna Pfizer, así como en la literatura científica, aparecen los cristales de ADN y una fibra que antes atribuíamos a los nanotubos de carbono CNT. Según la literatura científica, esto también podría corresponder a formaciones o estructuras de ADN en concreto, nanotubos de ADN. El hecho de encontrar imágenes que presenten los mismos elementos, en el mismo encuadre, con la misma morfología y la misma escala, está lejos de la mera coincidencia y casi se podría afirmar que se trata de estructuras de ADN. Sin embargo, para mayor seguridad, se está trabajando para realizar las pruebas de laboratorio pertinentes para confirmarlo. Imágenes de la literatura científica de (Zhao, J.; Zhao, Y.; Li, Z.; Wang, Y.; Sha, R.; Seeman, N.C.; Mao, C. 2018)

En la figura 4 se observan estructuras cúbicas que recuerdan a piritas cúbicas en clúster, que en realidad serían las estructuras de cristales de ADN 3D en proceso de formación. Curiosamente

también se aprecian que las “grietas” o “marcas” que se observan sobre la superficie de estos cristales son muy similares a las que se aprecian en los cristales de ADN de la literatura científica. Aún se está trabajando en averiguar a qué corresponden estas grietas, si se trata de defectos de construcción o bien responde al diseño de canalizaciones predeterminadas por las moléculas de ADN o bien sigue algún patrón de circuitería, tal como se explicaba en el [artículo sobre nanorouters](#). Las hipótesis están abiertas y todavía se requiere de más investigación y estudio, para poder asegurar con mayor precisión.

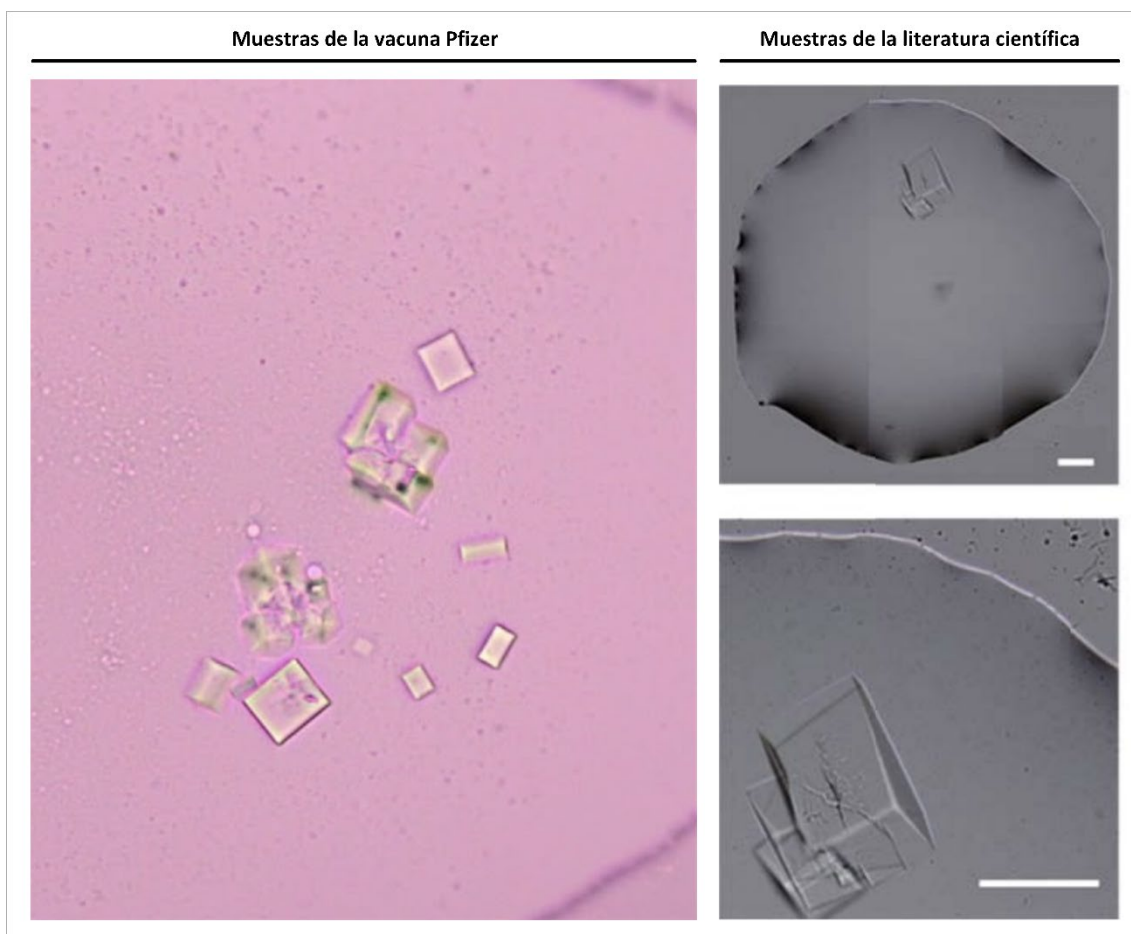


Fig.4. En esta comparativa, también se puede comprobar cómo durante el proceso de formación de los cristales de ADN, pueden presentar formas cúbicas, de piritas combinadas en 3D, con lo que aparenta ser grietas, que aún se encuentran sin identificar y que podrían responder a múltiples fenómenos de construcción, como lo observado en la entrada sobre nanorouter. No parece haber duda de que lo observado en las vacunas tiene una aproximación morfológica muy clara con respecto a las estructuras de ADN cristalizado. Imágenes de la literatura científica de (Zhao, J.; Zhao, Y.; Li, Z.; Wang, Y.; Sha, R.; Seeman, N.C.; Mao, C. 2018)

En la figura 5 se observa una fibra o micro/nanotubo muy similar, casi idéntico, a los observados en las muestras de las vacunas, y en este caso particular, de Pfizer. Es justo y honesto reconocer, que

existe la posibilidad de que muchas de las fibras observadas en las vacunas no correspondan a nanotubos de carbono de pared simple o compuesta, y que en realidad sean nanotubos de ADN de pared simple o compuesta, aunque muy probablemente funcionalizados o hibridados con grafeno, según se explicará más adelante, en el apartado de implicaciones para la investigación que se viene desarrollando desde Corona2Inspect.

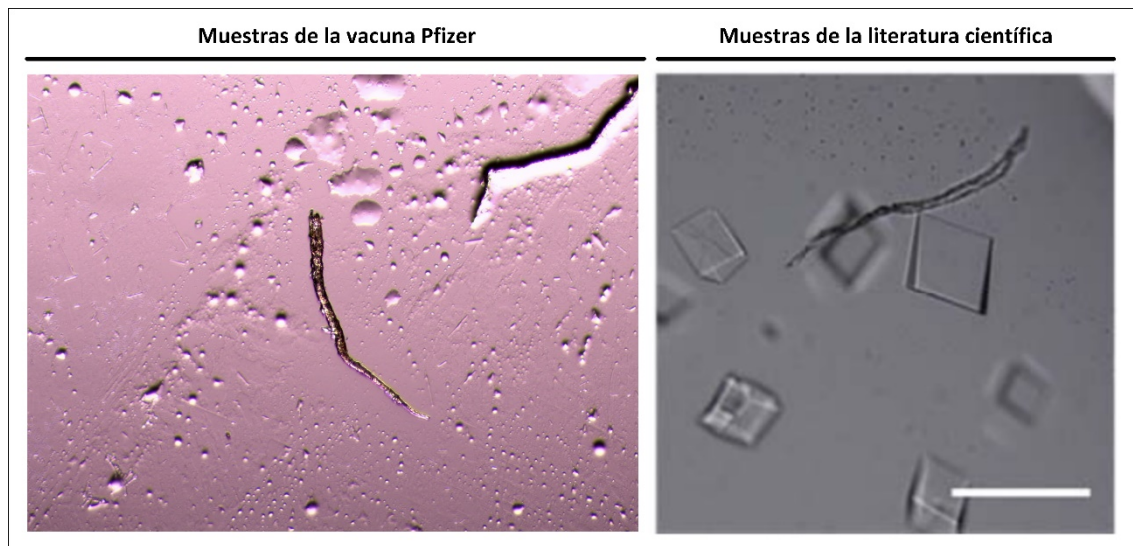


Fig.5. Se observa cómo estas fibras aparecen comúnmente junto a los cristales de ADN, ya observados en la figura 3. Morfológicamente es una coincidencia exacta, lo cual nos induce a pensar en que en realidad muchas de las fibras o nanotubos observados en las vacunas, podrían ser en realidad nanotubos o fibras de ADN. Imágenes de la literatura científica de (Zhao, J.; Zhao, Y.; Li, Z.; Wang, Y.; Sha, R.; Seeman, N.C.; Mao, C. 2018)

La importancia del hallazgo es capital, puesto que cambia muchos aspectos a nivel conceptual, del paradigma y ecosistema de objetos descubiertos hasta el momento en las imágenes de las vacunas. Ya no sólo hay grafeno e hidrogel, también habría ADN, que se emplearía para construir las estructuras que se observan, conforme a unos parámetros, diseños, plantillas predeterminadas, lo cual no deja lugar a dudas de la existencia de nanotecnología y bioingeniería, tal como se explica en el trabajo de (Zhao, J.; Zhao, Y.; Li, Z.; Wang, Y.; Sha, R.; Seeman, N.C.; Mao, C. 2018) y en el resto de referencias de la literatura científica, muy extensa en este campo y que llevará tiempo analizar y revisar. Otras imágenes destacadas, procedentes del trabajo de Zhao son las figuras 6-X.

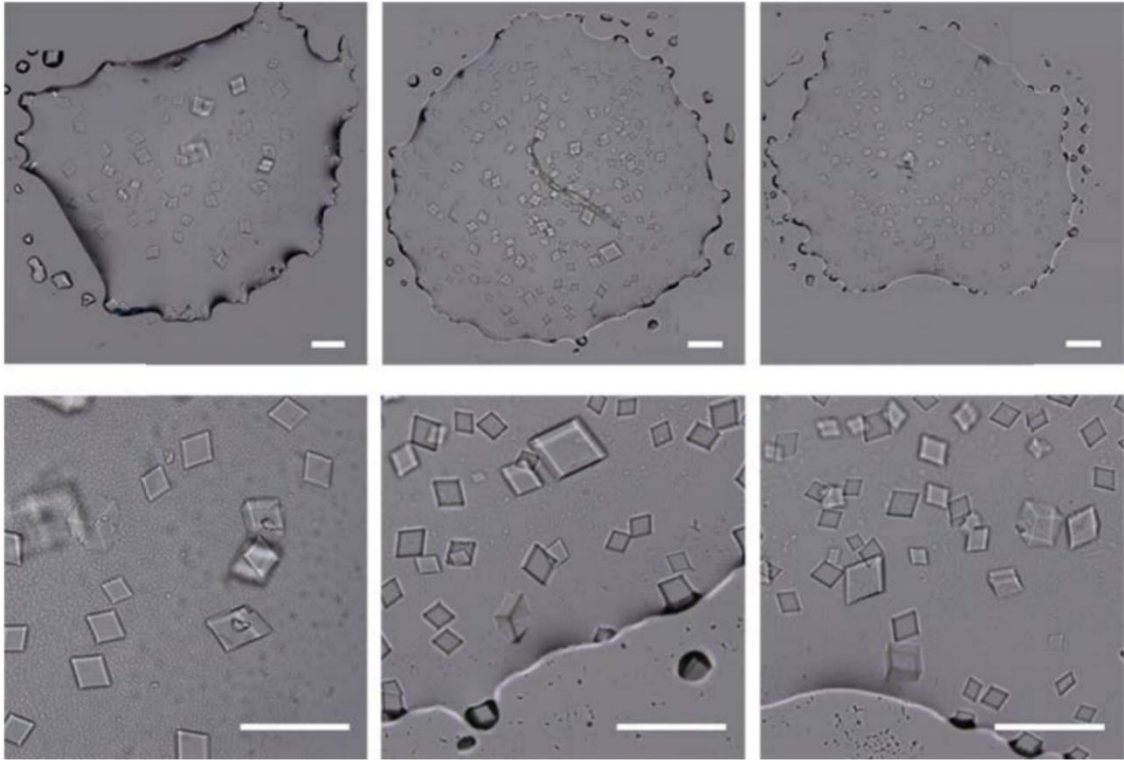


Fig.6. Muestra de autoensamblaje de cristales de ADN mediante moléculas de ADN de triángulo simétrico $H=1:3$ (Zhao, J.; Zhao, Y.; Li, Z.; Wang, Y.; Sha, R.; Seeman, N.C.; Mao, C. 2018)

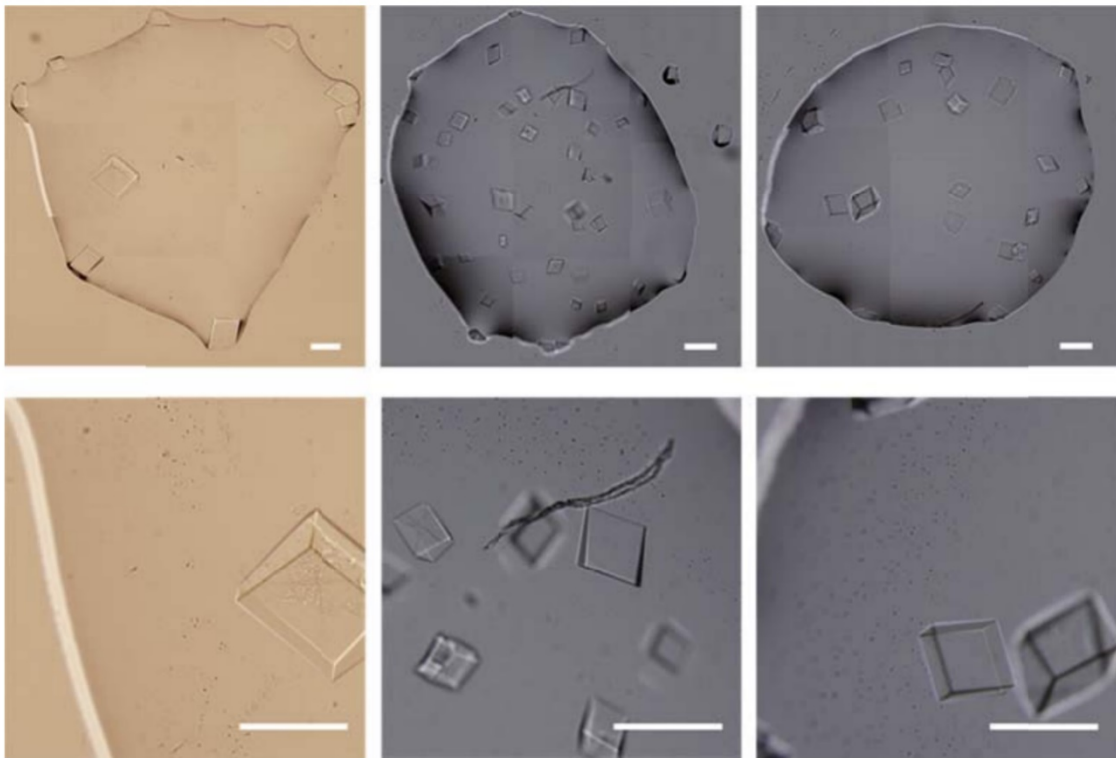


Fig.7. Autoensamblaje de cristales con moléculas de ADN en formación $H=1:0$. Obsérvese como aparecen cristales 3D y 2D. También se aprecia una de estas fibras que coincide con los ya conocidos nanotubos de carbono, que ahora podrían corresponder a nanotubos de ADN. (Zhao, J.; Zhao, Y.; Li, Z.; Wang, Y.; Sha, R.; Seeman, N.C.; Mao, C. 2018)

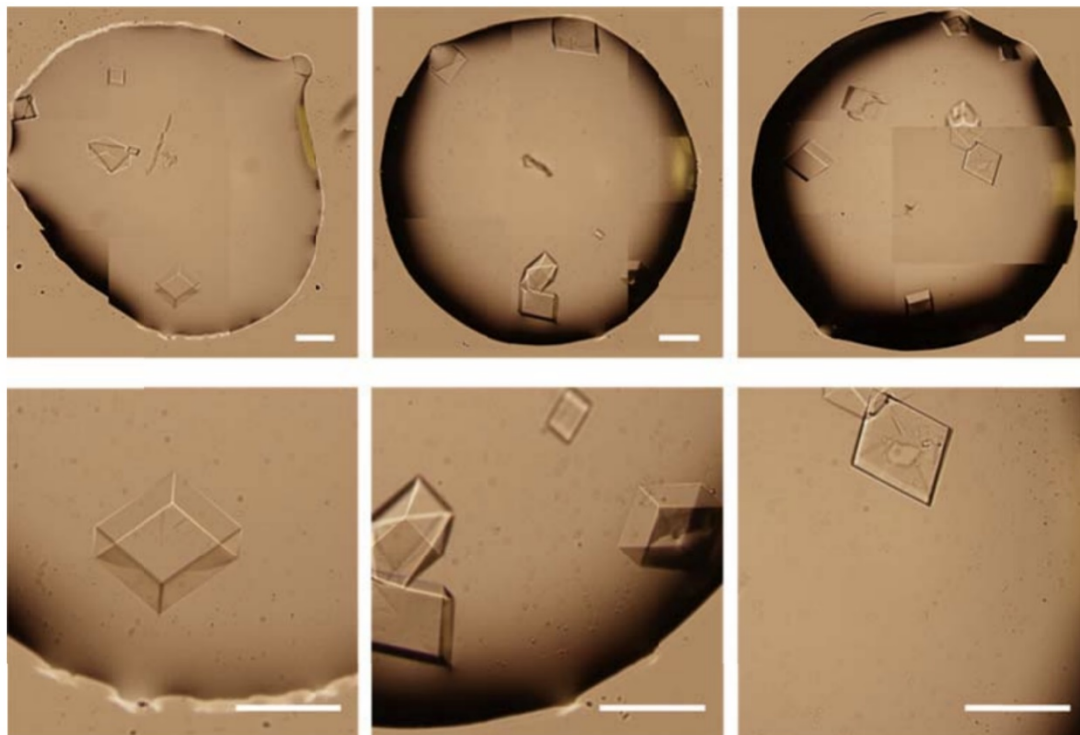


Fig.8. Otra imagen que presenta el mismo tipo de moléculas de ADN en proporción $H=1:0$, donde se observan algunas composiciones perfectas en forma de caja y rombo 2D. (Zhao, J.; Zhao, Y.; Li, Z.; Wang, Y.; Sha, R.; Seeman, N.C.; Mao, C. 2018)

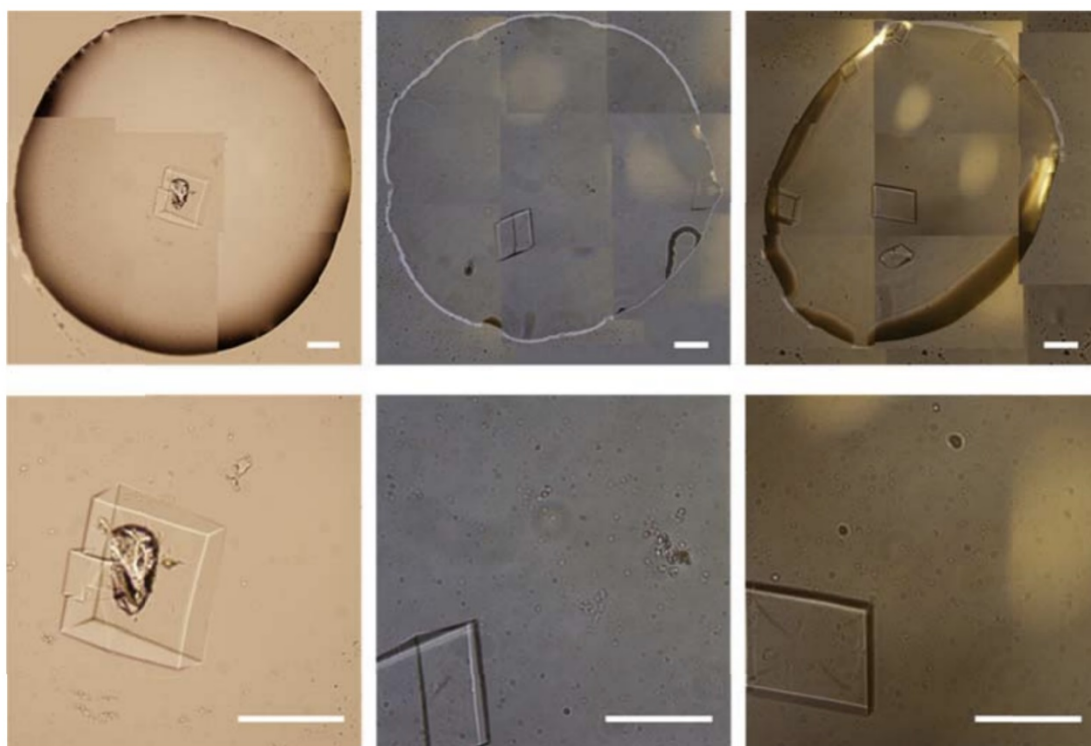


Fig.9. Cristales formados con moléculas triangulares simétricas de ADN del tipo $H=1:6$. Puede comprobarse, cómo estas proporciones hacen variar la morfología del cristal. (Zhao, J.; Zhao, Y.; Li, Z.; Wang, Y.; Sha, R.; Seeman, N.C.; Mao, C. 2018)

No additive

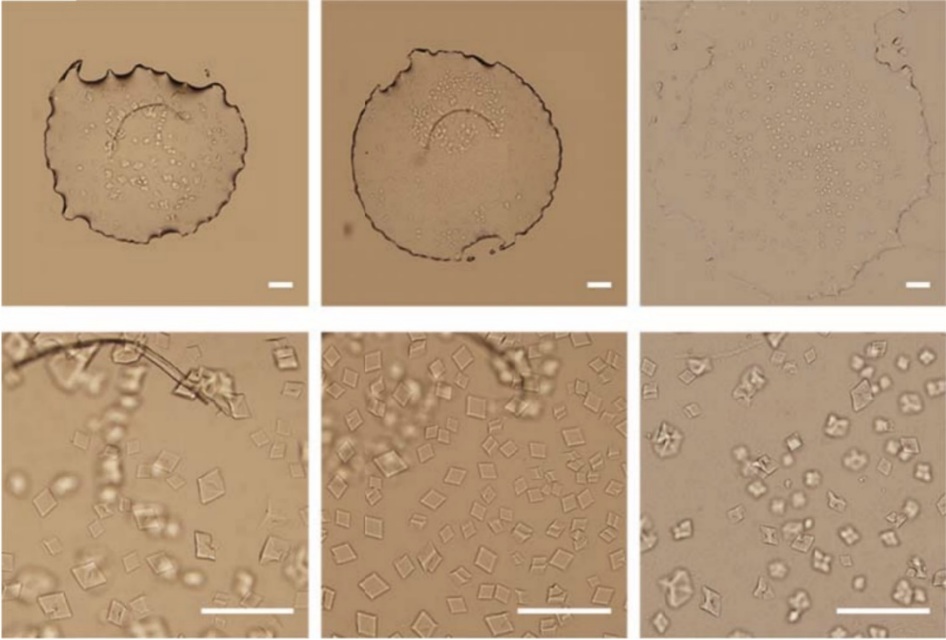


Fig.10. Se observan cristales de ADN análogos a los encontrados por el doctor Campra en el análisis de los viales de la vacuna Pfizer. En esta muestra no se añaden aditivos al ADN, lo que permite una evolución en una proporción 1:1, según indican los autores. También se aprecia la formación de una fibra de ADN, que anteriormente habría sido identificada como un nanotubo de carbono de pared simple SWCNT. Ahora sabemos que podría corresponder con estructuras de ADN. (Zhao, J.; Zhao, Y.; Li, Z.; Wang, Y.; Sha, R.; Seeman, N.C.; Mao, C. 2018)

+ H (matched sticky-end)

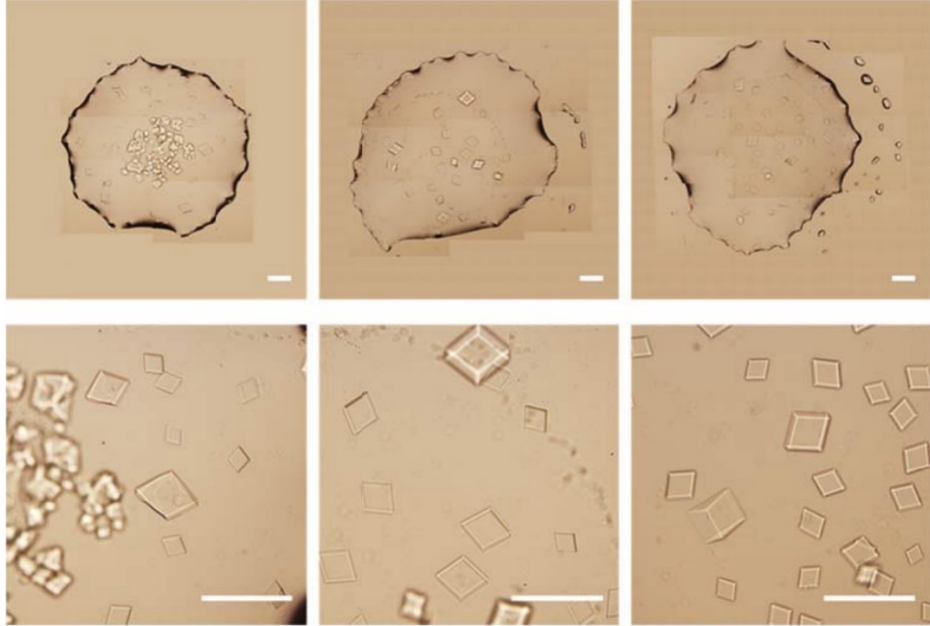


Fig.11. En el cuadro inferior izquierdo se aprecia una superestructura de la que parecen desprenderse los cristales en formación. Este tipo de superestructuras son producidas cuando se emplea ADN con hebras H de “extremo pegajoso emparejado”. Esto es muy similar a lo observado por el doctor Campra en la siguiente figura 12. (Zhao, J.; Zhao, Y.; Li, Z.; Wang, Y.; Sha, R.; Seeman, N.C.; Mao, C. 2018)

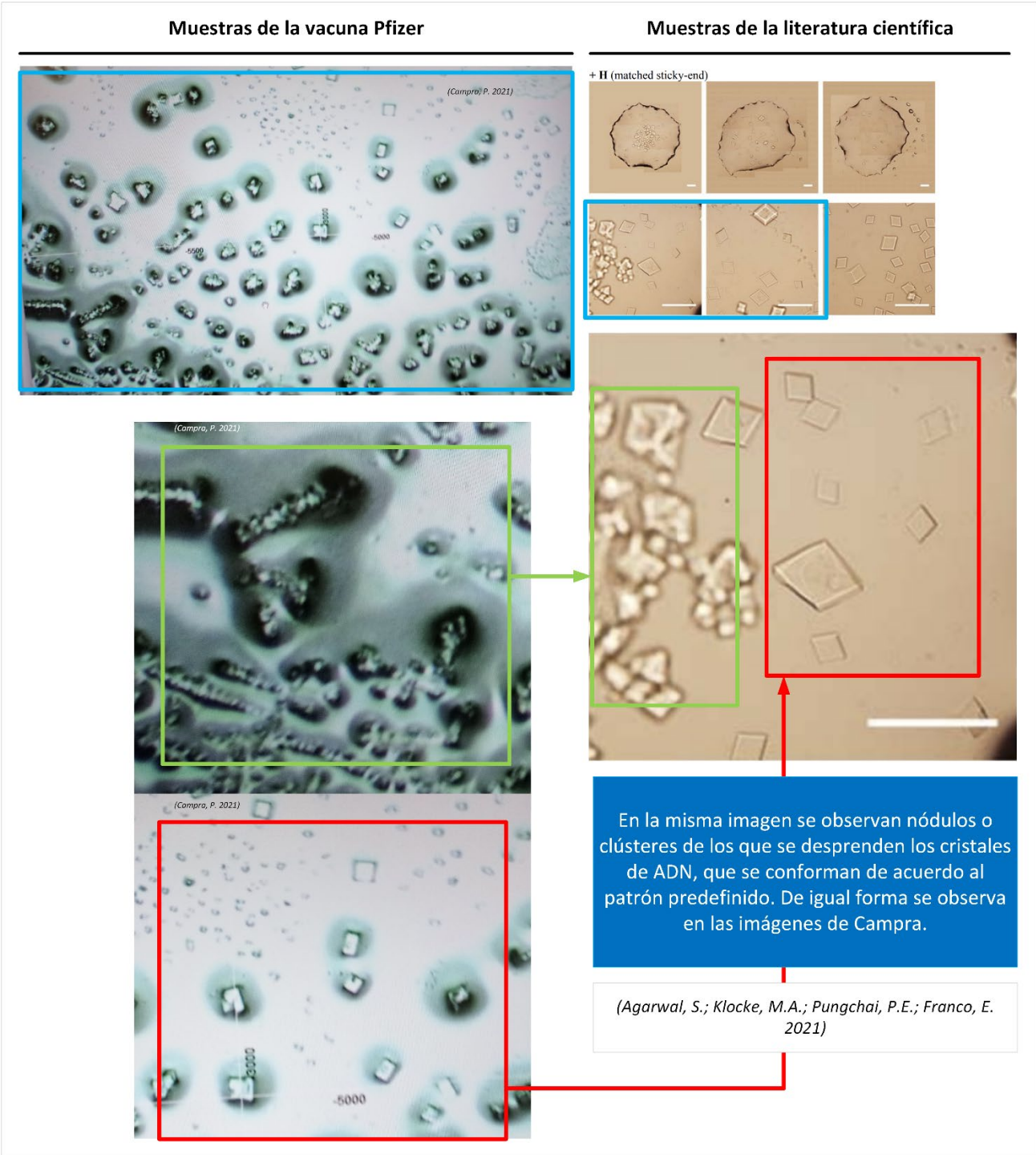


Fig.12. Comparativa de los cristales de ADN de la literatura científica y su correspondencia con las observaciones de la vacuna Pfizer, obtenidas por el doctor Campra. Los nódulos de ADN se disgregan para convertirse en cristales. (Zhao, J.; Zhao, Y.; Li, Z.; Wang, Y.; Sha, R.; Seeman, N.C.; Mao, C. 2018)

+ H' (mismatch sticky-end)

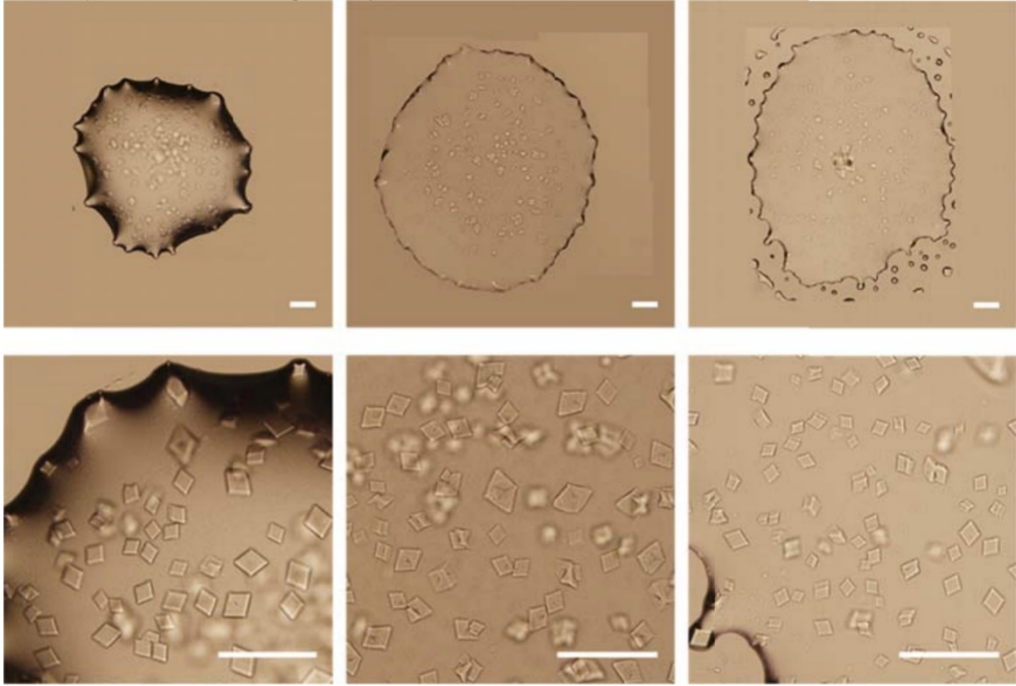


Fig.13. En esta ocasión se observan formaciones de cristales de ADN cuyas hebras H' prima, presentan "extremos pegajosos no coincidentes". En estos casos, la morfología es ligeramente más irregular. (Zhao, J.; Zhao, Y.; Li, Z.; Wang, Y.; Sha, R.; Seeman, N.C.; Mao, C. 2018)

+ H'' (mismatch sticky-end)

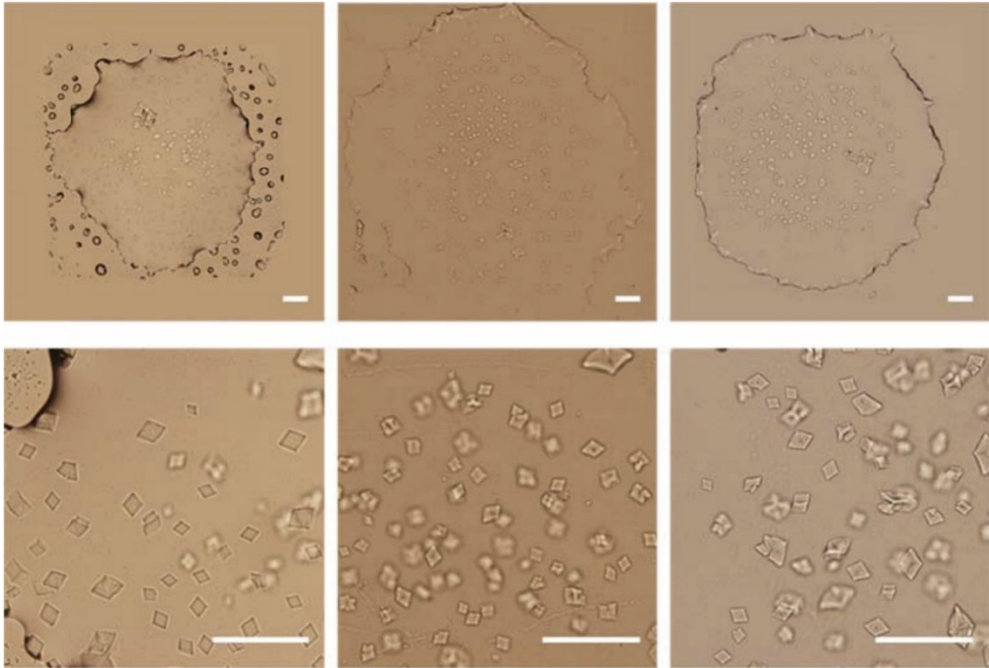


Fig.14. Otra configuración de cristales de ADN de extremo pegajoso no coincidente, conforme al patrón H'' doble prima. (Zhao, J.; Zhao, Y.; Li, Z.; Wang, Y.; Sha, R.; Seeman, N.C.; Mao, C. 2018)

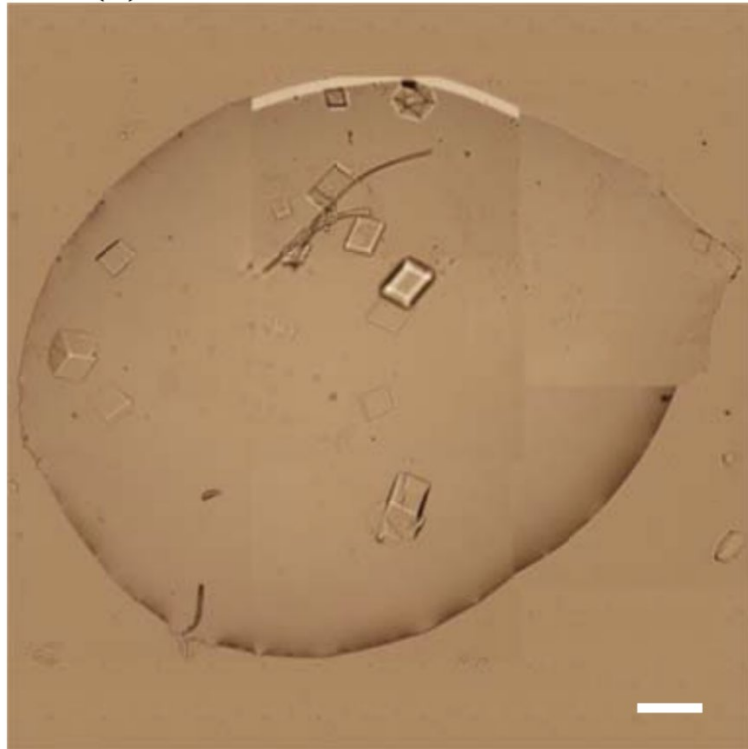


Fig.15. Otra observación de cristales de ADN en cuya solución se encuentra una fibra de ADN en formación, adherida a los cristales, debido al extremo pegajoso de las hebras de ADN. (Zhao, J.; Zhao, Y.; Li, Z.; Wang, Y.; Sha, R.; Seeman, N.C.; Mao, C. 2018)

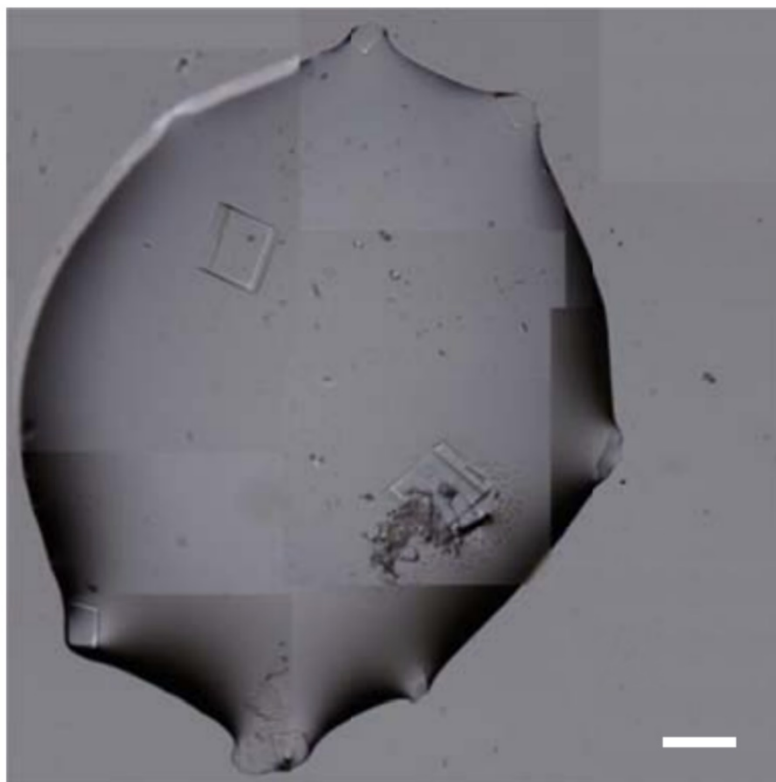


Fig.16. En la formación de cristales, se detectan algunas aberraciones estructurales, debido a la redundancia de moléculas de ADN. (Zhao, J.; Zhao, Y.; Li, Z.; Wang, Y.; Sha, R.; Seeman, N.C.; Mao, C. 2018)

aTriangle:H:H''
1:20:20

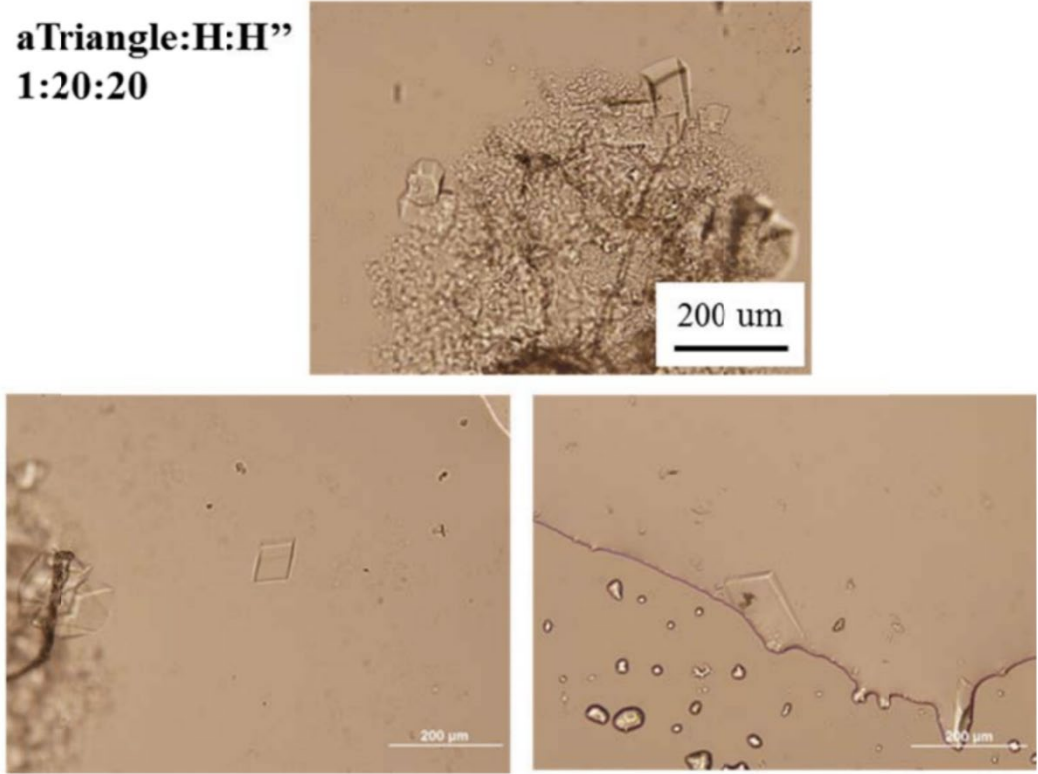


Fig.17. En la imagen se observa un nódulo del que se desprenden y forman los cristales de ADN, similar al observado en las figuras 11 y 12. El tipo de de molécula de ADN es H:H'' doble prima en proporción 1:20:20. (Zhao, J.; Zhao, Y.; Li, Z.; Wang, Y.; Sha, R.; Seeman, N.C.; Mao, C. 2018)

aTriangle:H''
1:5

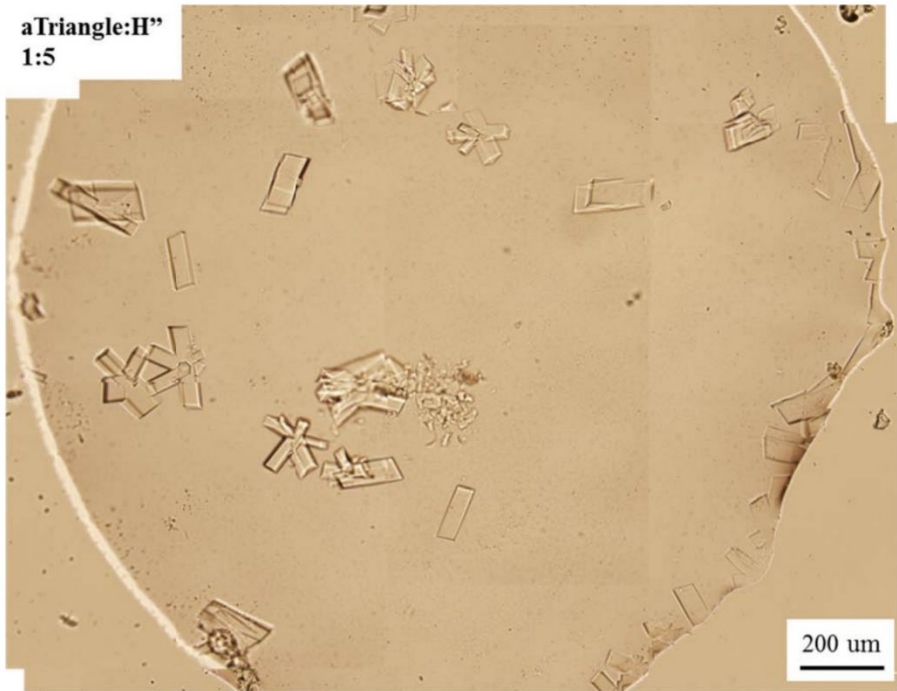


Fig.18. Cuando la molécula de ADN es de tipo triángulo H'' doble prima en proporción 1:5 se obtienen este tipo de objetos que también fueron observados en las muestras de la vacuna, véase vídeo 1. (Zhao, J.; Zhao, Y.; Li, Z.; Wang, Y.; Sha, R.; Seeman, N.C.; Mao, C. 2018)

El resto de imágenes de la investigación de Zhao y su equipo pueden consultarse en el [documento de información de apoyo](#) de su artículo científico “[Modulating Self-Assembly of DNA Crystals with Rationally Designed Agents](#)” o bien en el siguiente enlace http://corona2inspect.net/wp-content/uploads/2022/02/Zhao-J.-2018-suplemento-10.1002_anie.201809757.pdf.

El trabajo de Zhao. La tensegridad del ADN

La formación de cristales de ADN es importante para el desarrollo de nanotecnologías compatibles con el cuerpo humano, pero también para permitir procesos de autoensamblaje precisos con los que configurar dispositivos más complejos. De hecho **“el ADN es una molécula poderosa para el autoensamblaje programado... En la última década, se han desarrollado cristales de ADN 3D diseñados racionalmente, que pueden servir como andamios para la carga de enzimas y la determinación de la estructura, como dispositivos de filtración y como sistemas de dispositivos controlables (Hao, Y.; Kristiansen, M.; Sha, R.; Birktoft, J.J.; Hernandez, C.; Mao, C.; Seeman, N.C. 2017)... En estos cristales, las interacciones entre motivos (hibridaciones de extremo pegajoso) están diseñadas racionalmente y se pueden programar/modificar fácilmente en función del emparejamiento de bases Watson-Crick... Debido a la capacidad de programación del ADN, estos cristales de ADN diseñados proporcionan un excelente sistema modelo para estudiar cuestiones fundamentales en la cristalización biomacromolecular”** (Zhao, J.; Zhao, Y.; Li, Z.; Wang, Y.; Sha, R.; Seeman, N.C.; Mao, C. 2018). Esto convierte al ADN en el material idóneo para ser administrado en una solución acuosa, como la de la vacuna.

Según Zhao y su equipo, la creación de cristales de ADN depende de la cantidad de núcleos de cristalización, estas son las moléculas de ADN con una estructura denominada **“triángulo de tensegridad de ADN”** y el factor tiempo. Según refieren en su estudio **“el crecimiento de los cristales depende críticamente de la cinética de cristalización. En general, pocos núcleos conducen a pocos (y grandes) cristales; una tasa de crecimiento lenta conduce a una alta calidad del cristal. Con el cristal de triángulo de tensegridad de ADN diseñado como sistema modelo, hemos planteado la hipótesis de que podríamos hacer crecer cristales grandes agregando un agente que interfiere con la nucleación y el crecimiento del cristal”**. El triángulo de tensegridad de ADN, parece ser un elemento importante para la conformación de estructuras cristalinas, configurando una compleja red de ADN, de acuerdo a patrones geométricos predeterminados, véase figura 19. El concepto de **“Tensegridad”**

se refiere al principio estructural que permite la unión de objetos en una red tensionada, lo que es aplicable a las cadenas del ADN, que dan origen a estos cristales. Dicho de otra forma, el equilibrio del cristal, depende de la tensión que se ejerce entre las partes de la cadena de ADN que están en contacto, lo cual es especialmente cierto en los extremos de las hebras del genoma en su unión con el resto de moléculas de ADN.

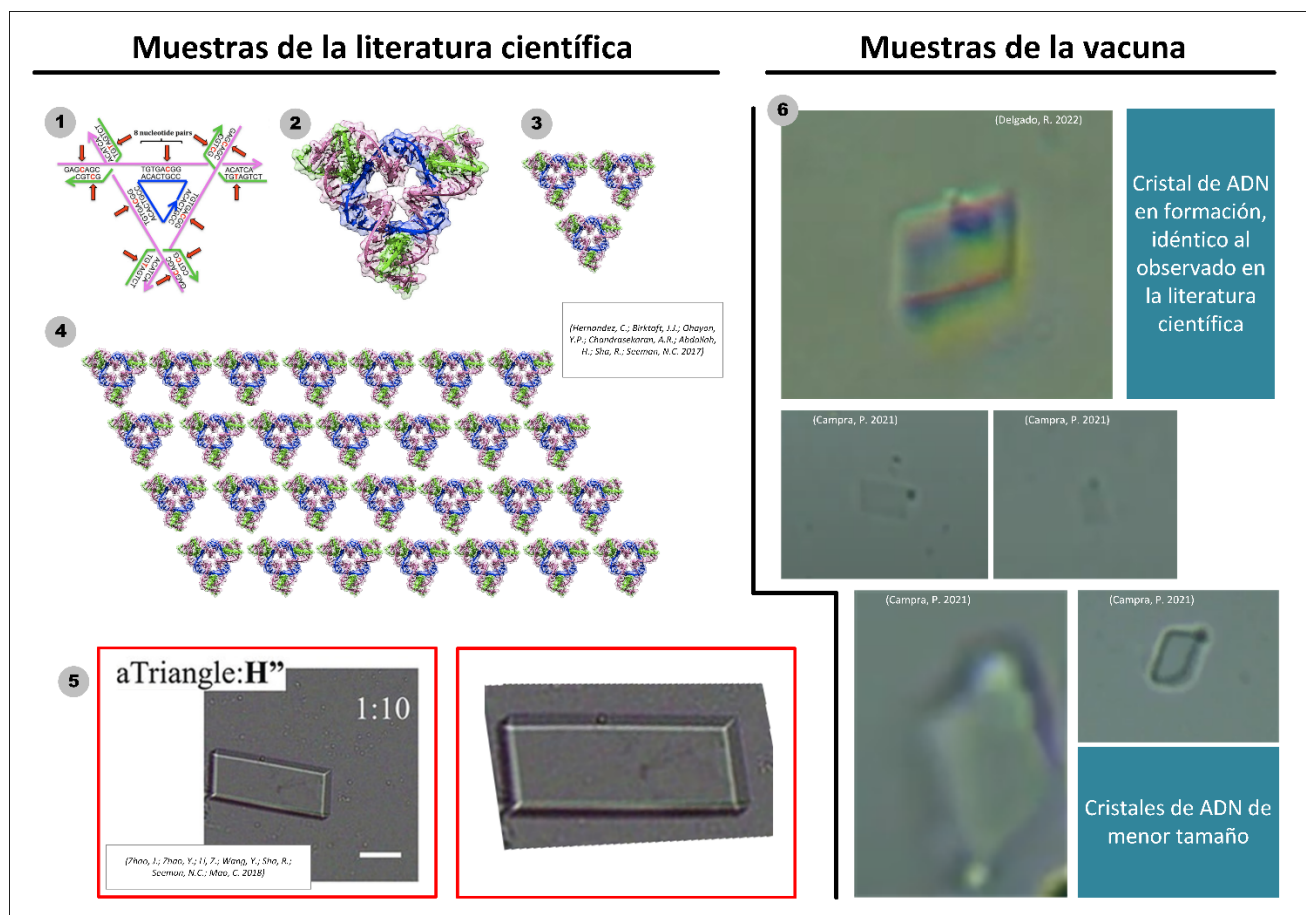


Fig.19. Estructura y codificación genética de los triángulos de ADN o tensegridad ADN (ácido desoxirribonucleico) donde se observan las hebras que conforman la estructura triangular. Obsérvese cómo varios de estos triángulos pueden unirse en los enlaces de sus extremos, conformando estructuras más complejas, de acuerdo a un patrón que puede ser predeterminado. Finalmente se configuran los cristales observados en la literatura, que resultan idénticos a los analizados en las muestras de la vacuna.

Adicionalmente, se explica que el mecanismo de unión entre triángulos de tensegridad de ADN, o bien, otras estructuras de ADN, son los extremos de las hebras del genoma y sus nucleótidos, lo que permite el crecimiento del cristal, su orientación, dimensionalidad y limitación de ensamblaje. Esto es explicado de la siguiente forma **“El motivo de ADN básico es un triángulo de tensegridad con simetría rotacional triple. Hay un par de extremos adhesivos complementarios a lo largo de cada**

borde del triángulo, por lo que los motivos triangulares pueden asociarse entre sí en tres direcciones independientes mediante una asociación idéntica de extremos adhesivos para formar cristales 3D. Para este sistema, hemos diseñado una hebra de horquilla (H) de 12 nucleótidos (nt) de largo. Contiene un extremo cohesivo de 2 nt de largo, que es idéntico a los tres extremos cohesivos y complementario a los otros tres del triángulo del ADN. La cadena H puede unirse transitoriamente a la superficie de los cristales triangulares en crecimiento y los motivos triangulares, y evitar que los cristales crezcan más y evitar que los motivos triangulares se asocien entre sí". Esto demostraría el control en la producción de los cristales, así como el uso de hebras H (de horquilla) en la vacuna Pfizer, al obtener resultados idénticos, tal como se presenta en las imágenes de la figura 2, 20 y vídeo 1. En la figura 20 se pueden observar otras formas de cristales de ADN, de acuerdo a las hebras H, que actúan como agentes moduladores. En comparación con las imágenes de microscopía óptica de las muestras de la vacuna Pfizer, se demuestra nuevamente una gran similitud. Véanse también la figura 18.

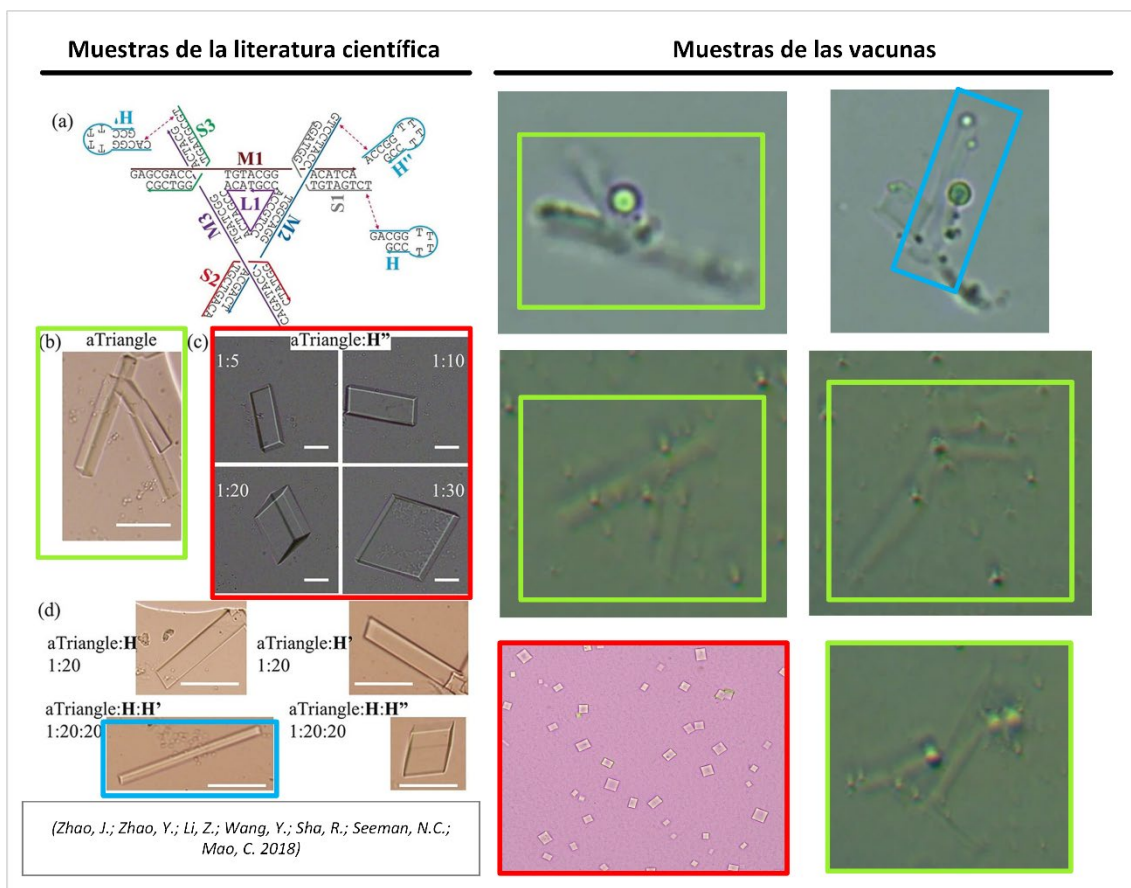


Fig.20. A la izquierda se observa el Triángulo de tensegidad de ADN con distintas terminaciones o hebras H que permiten el desarrollo de distintos tipos de cristales, con un crecimiento controlado 2D o bien 3D. A la derecha se observan las imágenes de la vacuna Pfizer obtenidas por el doctor Campra, en las que se corrobora el crecimiento de cristales análogos conforme al patrón de ADN sintético con terminaciones en H, H' prima y H'' doble prima.

Nanotecnología basada en ADN y grafeno

Si se considera que existe una tecnología de autoensamblaje basada en ADN, que forma cristales idénticos a los observados en las muestras de la vacuna Pfizer, se podría considerar, de igual modo, que existan tecnologías de ADN para el autoensamblaje de circuitos. Esto es lo que se desvela al estudiar el trabajo de (Scalise, D.; Schulman, R. 2019). Esto es posible gracias a que las hebras del ADN sintético, que emplean unas secuencias muy concretas, que *“pueden detectar información en su entorno y controlar el ensamblaje, desensamblaje y la reconfiguración del material. Estas secuencias podrían servir como entradas y salidas para circuitos informáticos de ADN, lo que permitiría que los circuitos de ADN actúen como procesadores de información química, para programar comportamientos complejos en sistemas químicos y materiales”*. De hecho, no sólo podrían procesar información química, ya que también se añade que *“Específicamente, existen interfaces que pueden liberar hebras de ADN en respuesta a señales químicas, longitudes de onda de luz, pH o señales eléctricas, así como hebras de ADN que pueden dirigir el autoensamblaje y la reconfiguración dinámica de nanoestructuras de ADN, regular ensamblajes de partículas, controlar la encapsulación y manipular materiales, incluidos cristales de ADN, hidrogeles y vesículas. Estas interfaces tienen el potencial de permitir que los circuitos químicos ejerzan un control algorítmico sobre los materiales sensibles, lo que en última instancia puede conducir al desarrollo de materiales que crecen, sanan e interactúan dinámicamente con sus entornos”*. Estas afirmaciones de Scalise y Schulman son muy esclarecedoras, puesto que confirma que con las estructuras de ADN sintético se pueden crear circuitos, tomar como señales la longitud de onda de luz, desarrollar dispositivos optoelectrónicos y operar con señales eléctricas. Adicionalmente hace una clara alusión a los cristales de ADN, los hidrogeles y vesículas que pueden ser manipuladas para desarrollar un autoensamblaje controlado, e inclusive su autoreparación. Sin embargo, los circuitos de ADN no sólo serían capaces de trabajar con señales eléctricas. Es en este punto, donde el grafeno entra en escena, puesto que está demostrado que se sintetiza en los aptámeros de las hebras del ADN, otorgándolas capacidades superconductoras y de recepción de señales electromagnéticas, dada la capacidad para absorber la radiación y por tanto, las microondas. Esto es afirmado por (Wang, L.; Zhu, J.; Han, L.; Jin, L.; Zhu, C.; Wang, E.; Dong, S. 2012) que desarrolló un método para sintetizar óxido de grafeno GO en los aptámeros del ADN para crear puertas lógicas y multiplexación en el contexto del desarrollo de circuitería de ADN. Esto queda reflejado en el siguiente párrafo textual *“se construyó un sistema GO/aptámero para crear operaciones lógicas multiplexadas y permitir la detección de objetivos multiplexados. El aptámero de unión de trifosfato de adenosina (ABA)*

marcado con 6-carboxifluoresceína (FAM) y el aptámero de unión de trombina (TBA) marcado con FAM se adsorbieron primero en óxido de grafeno (GO) para formar un complejo GO/aptámero, lo que llevó a la extinción de la fluorescencia de FAM. **Demostramos que la interacción única GO/aptámero y el reconocimiento específico del objetivo del aptámero en el sistema objetivo/GO/aptámero eran programables** y podían utilizarse para regular la fluorescencia de FAM a través de Puertas lógicas OR e INHIBIT”. Al configurar los aptámeros con óxido de grafeno, aumenta la conductividad eléctrica de la trama de ADN objetivo, y permite que actúen como transistores de campo, reduciendo el consumo de energía, necesaria para hacer funcionar la red de nanocomunicaciones intracorporal.

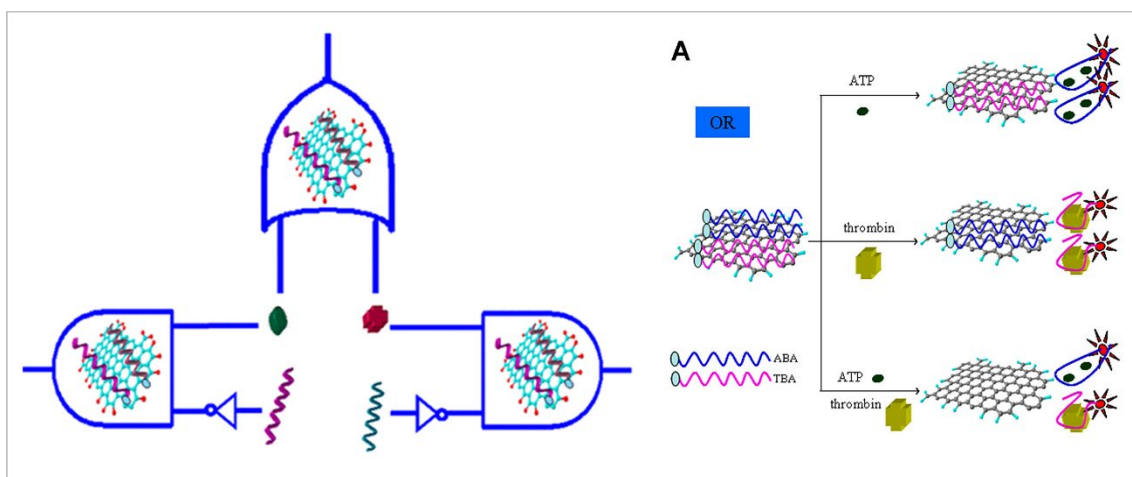


Fig.21. Óxido de grafeno en los aptámeros del ADN para crear puertas lógicas con propiedades superconductoras y electromagnéticas mejoradas. En el experimento se confirma que puede ser sintetizado de forma sencilla y mejorar las capacidades de reconocimiento de señales, permitiendo su aplicación como receptores biomiméticos y su aplicación en el desarrollo de circuitos de computación nanotecnológica. (Wang, L.; Zhu, J.; Han, L.; Jin, L.; Zhu, C.; Wang, E.; Dong, S. 2012)

Retomando el trabajo de (Scalise, D.; Schulman, R. 2019), se confirma en repetidas ocasiones que el desarrollo de circuitos de ADN permite realizar las mismas operaciones que los circuitos de transistores electrónicos, refiriéndose explícitamente a esta cuestión de la siguiente forma “Los circuitos de ADN son un medio **particularmente prometedor para la computación** dentro de los sistemas químicos. Se componen principalmente de oligonucleótidos de ADN (es decir, cadenas cortas de ADN), pero también pueden contener enzimas como la ADN polimerasa o exonucleasas (Zhang, D.; Seelig, D. 2011 | Baccouche, A.; Montagne, K.; Padirac, A.; Fujii, T.; Rondelez, Y. 2014 | Willner, I.; Shlyahovsky, B.; Zayats, M.; Willner, B. 2008). **Los circuitos de ADN pueden realizar las mismas operaciones fundamentales que los circuitos de transistores electrónicos, incluidas la**

lógica booleana y la aritmética (6–9), la generación de oscilaciones y la regulación del tiempo (10–13) y la ejecución de algoritmos interactivos". A tenor de estas afirmaciones, ampliamente documentadas en la literatura científica, no parece haber dudas de que la electrónica tradicional, basada en la tecnología CMOS y el silicio, son perfectamente reproducibles a escala genética. Por tanto, no hay ninguna razón para dudar de la presencia de dispositivos micro/nano electrónicos basados en ADN sintético, al contrario, todos los indicios que se vienen explicando en el transcurso de la investigación de este blog, apuntan a que las vacunas y en concreto Pfizer, posee nanotecnología no declarada.

De forma muy clara, Scalise y Schulman explican cómo funciona el Input y el Output de este tipo de circuitos ***“Las entradas a los circuitos de ADN son hebras de ADN con secuencias específicas que pueden transmitir información sobre un material o entorno al circuito. Del mismo modo, las salidas de un circuito de ADN son hilos que pueden controlar los estados de los materiales o moléculas. Las hebras de entrada/salida de los circuitos de ADN son, por lo tanto, análogas a los puertos USB de las computadoras electrónicas, es decir, una interfaz estándar que permite que el circuito se comunique con dispositivos periféricos, en este caso, moléculas o materiales. El uso de interfaces modulares de entrada/salida es un principio de diseño clave que permite que los mismos tipos de circuitos interactúen con un conjunto diverso de materiales. En principio, un sensor de entrada podría cambiarse por un tipo diferente de sensor para permitir que el mismo circuito reciba y procese información sobre un tipo diferente de estímulo ambiental. De manera similar, los actuadores de salida podrían intercambiarse para permitir que el mismo circuito dirija diferentes respuestas”***. Esto permite comprender la interoperabilidad de los circuitos de ADN, con puertos de datos bien definidos.

El desarrollo de circuitos moleculares de ADN autoensamblados tendría lugar en un medio adecuado, en concreto, mediante el uso de hidrogeles. Este detalle es importante, puesto que se venía barajando la presencia de hidrogeles en las vacunas, tal como se explica en la [entrada sobre el espectro Raman 1450](#), detectado en los viales de la vacuna, [conforme al resultado obtenido por el doctor Campra](#). De hecho, Scalise y Schulman afirman que ***“Los hidrogeles son materiales compuestos por cadenas poliméricas reticuladas en agua. Al incorporar ADN en el hidrogel como enlaces cruzados (Nagahara, S.; Matsuda, T. 1996), se pueden manipular dinámicamente las propiedades materiales del hidrogel agregando cadenas de ADN para alterar, romper o crear enlaces cruzados. Según (Lin, D.C.; Yurke, B.; Langrana, N.A. 2004) desarrollaron entrecruzamientos***

de ADN que podían disociarse de forma reversible añadiendo una hebra complementaria a una de las hebras de entrecruzamiento. Los hidrogeles con enlaces cruzados de ADN también **se pueden endurecer o ablandar agregando ADN que cambia la conformación de los enlaces cruzados** entre un estado de doble cadena o una conformación parcialmente monocatenaria (Lin, D.C.; Yurke, B.; Langrana, N.A. 2005) a través de reacciones de desplazamiento de cadena de ADN". Esta descripción es compatible con los cristales de ADN, que inicialmente se observan flexibles durante el proceso de autoensamblaje (véase vídeo 1), pero que endurecen conforme se terminan de construir, mostrando una morfología consistente o rígida. Otro detalle que confirmaría que lo observado en las imágenes de microscopía son trazas de coloraciones fluorescentes, que se desarrollarían en estructuras tridimensionales, como resultado de la modificación o alteración de sus cadenas de ADN o la introducción de oligonucleótidos tintados. En palabras de (Scalise, D.; Schulman, R. 2019 | Hao, Y.; Kristiansen, M.; Sha, R.; Birktoft, J.J.; Hernandez, C.; Mao, C.; Seeman, N.C. 2017) se indica que "las reacciones de desplazamiento de cadenas de ADN operan dentro de cristales de ADN tridimensionales, por ejemplo, mediante el uso de cadenas de ADN con diferentes modificaciones fluorescentes para cambiar el color de un cristal". Esta práctica de coloración está recogida en varios trabajos, de los que merece la pena destacar el de (Rusling, D.A.; Chandrasekaran, A.R.; Ohayon, Y.P.; Brown, T.; Fox, K.R.; Sha, R.; Seeman, N.C. 2014) en donde se logra una coloración verde turquesa fluorescente, similar a algunas de las trazas observadas en los cristales de las muestras fotografiadas de la vacuna Pfizer, véase figura 22.

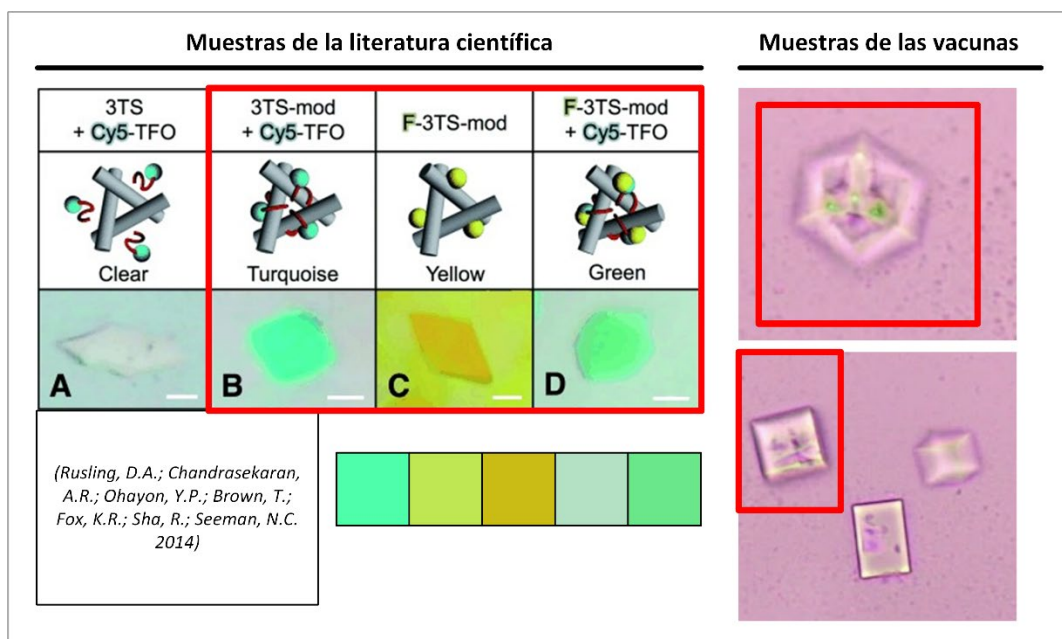


Fig.22. Trazas de fluorescencia en algunos de los cristales de ADN observados en las muestras de la vacuna Pfizer.

(Campra, P. 2021)

Además, Rusling y su equipo plantean su investigación completamente en línea con lo ya descrito en esta entrada, afirmando que **“El ADN es una molécula muy útil para el autoensamblaje programado de objetos a nanoescala 2D y 3D. El diseño de estas estructuras aprovecha la hibridación Watson-Crick y el intercambio de hebras para unir dúplex lineales en ensamblajes finitos. Las dimensiones de estos complejos se pueden aumentar en más de cinco órdenes de magnitud mediante el autoensamblaje de segmentos cohesivos monocatenarios (extremos cohesivos). Los métodos que explotan la direccionabilidad de secuencias de las nanoestructuras de ADN permitirán el posicionamiento programable de componentes en el espacio 2D y 3D, ofreciendo aplicaciones como la organización de la nanoelectrónica, la dirección de cascadas biológicas, y la determinación de la estructura de moléculas posicionadas periódicamente por difracción de rayos X. Con este fin, presentamos un cristal 3D macroscópico basado en el triángulo de tensegidad rotacionalmente simétrico de 3 pliegues, que puede ser funcionalizado por un oligonucleótido formador de triplex en cada uno de sus bordes helicoidales (TFO)... En presencia de TFO los cristales eran verdes, demostrando nuevamente la incorporación exitosa de TFO dentro del cristal”**.

En lo que respecta a la posibilidad de desarrollar circuitos y dispositivos electrónicos, existe abundante literatura científica que demuestra la implicación directa del ADN autoensamblado para crear sistemas de computación y nanotecnología, también mediante cristales de ADN. Un ejemplo se puede encontrar en el artículo de (Jackson, T.; Fitzgerald, R.; Miller, D.K.; Khisamutdinov, E.F. 2021) que explica literalmente lo siguiente **“La integración de los avances en la nanotecnología de ácidos nucleicos y en las tecnologías de aptámeros de ácidos nucleicos hace posible construir nanopartículas novedosas que desempeñan funciones intermedias entre las computadoras electrónicas y los sistemas biológicos. La programación con moléculas biológicas, especialmente con ácidos nucleicos (NA), se está volviendo muy atractiva debido a su potencial de funciones que van desde la simple emisión de fluorescencia hasta la sofisticada regulación génica in vivo. El comportamiento estructural que abarcan sus secuencias se puede predecir y manipular mediante algoritmos de plegado 2D. Los biopolímeros de ácido nucleico resultantes se pueden usar como nano-agentes controlados por lógica para aplicaciones biomédicas específicas. Los aptámeros de ARN fluorogénico se pueden diseñar para funcionar como un circuito simple dentro de puertas lógicas binarias individuales. Esto demuestra el gran potencial de la nanotecnología de ácidos nucleicos y promete desarrollar tecnologías de vanguardia, especialmente si se combina sinérgicamente con otros sistemas informáticos y nanorobóticos”**. Y aún más importante, las

investigaciones científicas confirman que se podrían diseñar dispositivos para la “*transducción de señales y su procesamiento*”, lo que coincide con las tareas realizadas por los enrutadores, routers, transductores, controladores, explícitamente mencionados en el contexto de la red inalámbrica de nanocomunicaciones intracorporal. De hecho, se afirma Jackson y su equipo afirman que “*La nanotecnología de ADN podría proporcionar un enfoque sencillo para **diseñar modularmente interfaces fáciles de usar para E/S de señales en las que todas las tareas de transducción de señales, procesamiento de información y generación de señales se lleven a cabo mediante elementos de circuitos de ADN/ARN.** En primer lugar, dado que muchas nanoestructuras de ADN son fácilmente internalizadas por las células vivas y presentan numerosos sitios de unión, **pueden emplearse como vehículos de suministro multifuncionales para llevar proteínas reguladoras y circuitos informáticos de ADN/ARN a los organismos vivos.** Además, estos complejos pueden guiarse hacia orgánulos u órganos específicos con pequeños ligandos, aptámeros o señales peptídicas precargadas en nanoestructuras de ADN. Dichos sistemas permitirían diseñar un sistema universal **para llevar instrucciones genéticas a la célula utilizando módulos basados en nanoestructuras de ADN.** En segundo lugar, las nanoestructuras dinámicas de ADN que incorporan FNA (Ácidos Nucleicos Funcionales) ofrecen una gran flexibilidad en el diseño de transductores de señales debido a la disponibilidad de una amplia gama de FNA identificadas por SELEX (Evolución Sistemática de Ligandos por Enriquecimiento Exponencial) o extraídas de genomas naturales. **Estos transductores pueden transformar específicamente una señal de entrada en estados binarios digitales (Encendido 1/Apagado 0) a través de la conmutación estructural.** Las biomoléculas reguladoras liberadas durante el cambio estructural pueden retransmitirse y reconfigurarse a vías o circuitos de señales intracelulares. En tercer lugar, los circuitos de ADN/ARN **pueden actuar directamente sobre los ácidos nucleicos producidos durante la transducción de señales de entrada para procesar información y tomar decisiones lógicas.** En cuarto lugar, una vez que se han procesado las señales, el ADN/ARN **se puede utilizar para generar las señales de salida que se pasan a un observador externo en otras células.**”*

Operaciones booleanas y puertas lógicas con ADN

La abundancia de literatura científica en torno al diseño de aritmética booleana, computación, puertas lógicas con ADN, entre otros, se podría calificar de excepcional. Es muy prolija, véanse algunas referencias (George, A.K.; Kunnummal, I.O.; Alazzawi, L.; Singh, H. 2020 | Fan, D.; Wang, J.; Wang, E.; Dong, S. 2020 | Xiong, X.; Xiao, M.; Lai, W.; Li, L.; Fan, C.; Pei, H. 2021 | Zhao, S.; Yu, L.; Yang, S.; Tang, X.; Chang, K.; Chen, M. 2021 | Yao, C.Y.; Lin, H.Y.; Crory, H.S.; de-Silva, A.P. 2020 | Zhou, Z.; Wang, J.; Levine, R.D.; Remacle, F.; Willner, I. 2021 | Katz, E. 2020 | Lv, H.; Li, Q.; Shi, J.; Fan, C.; Wang, F. 2021 | Jiang, C.; Zhang, Y.; Wang, F.; Liu, H. 2021 | Liu, Q.; Yang, K.; Xie, J.; Sun, Y. 2021 | Chen, Z.; Yin, Z.; Cui, J.; Yang, J.; Tang, Z. 2021 | Zhang, J.; Liu, C. 2021 | Wang, Y.; Qian, M.; Hu, W.; Wang, L.; Dong, Y. 2020). En la mayoría de las investigaciones se está de acuerdo en que el desplazamiento de cadenas de ADN es la propiedad que permite desarrollar modelos de computación molecular. De esta forma, los circuitos de conmutación digital, las puertas lógicas, los interruptores de flujo, permiten adaptar la electrónica convencional al modelo de computación digital molecular. Esto es confirmado, por ejemplo, por (Chatterjee, G.; Dalchau, N.; Muscat, R.A.; Phillips, A.; Seelig, G. 2017) en su trabajo *“Una arquitectura espacialmente localizada para computación rápida de ADN modular”*, que fue portada del blog de investigación de Microsoft en el que se anunció el diseño y producción de placas de circuitos computacionales a nanoescala con ADN. Para ello se crean circuitos de conmutación de ADN, también conocidos por sus siglas en inglés DSC, que permiten programar el comportamiento de cadenas de ADN para realizar operaciones de cálculo, raíces cuadradas, adiciones, productos... Esto se afirma en el trabajo de (Wang, F.; Lv, H.; Li, Q.; Li, J.; Zhang, X.; Shi, J.; Fan, C. 2020) en donde se puede comprobar cómo la activación y desactivación de las secuencias genéticas, se emplean para realizar los cálculos aritméticos, véase figura 23 y 24. Esto es literalmente extrapolable a la operativa con código binario y por consiguiente, con el funcionamiento de transistores y circuitos integrados, véanse algunos ejemplos (Polonsky, S.; Stolovitzky, G.; Rosnagel, S. 2007 | Ogata, N. 2012 | Gupta, R.K.; Saraf, V. 2009 | Sawlekar, R.; Nikolakopoulos, G. 2021 | Yan, S.; Wong, K.C. 2021 | Bhalla, V.; Bajpai, R.P.; Bharadwaj, L. M. 2003 | Zahid, M.; Kim, B.; Hussain, R.; Amin, R.; Park, S.H. 2013 | Matsuo, N.; Takagi, S.; Yamana, K.; Heya, A.; Takada, T.; Yokoyama, S. 2012 | Lyshevski, MA 2005 | Wang, K. 2018).

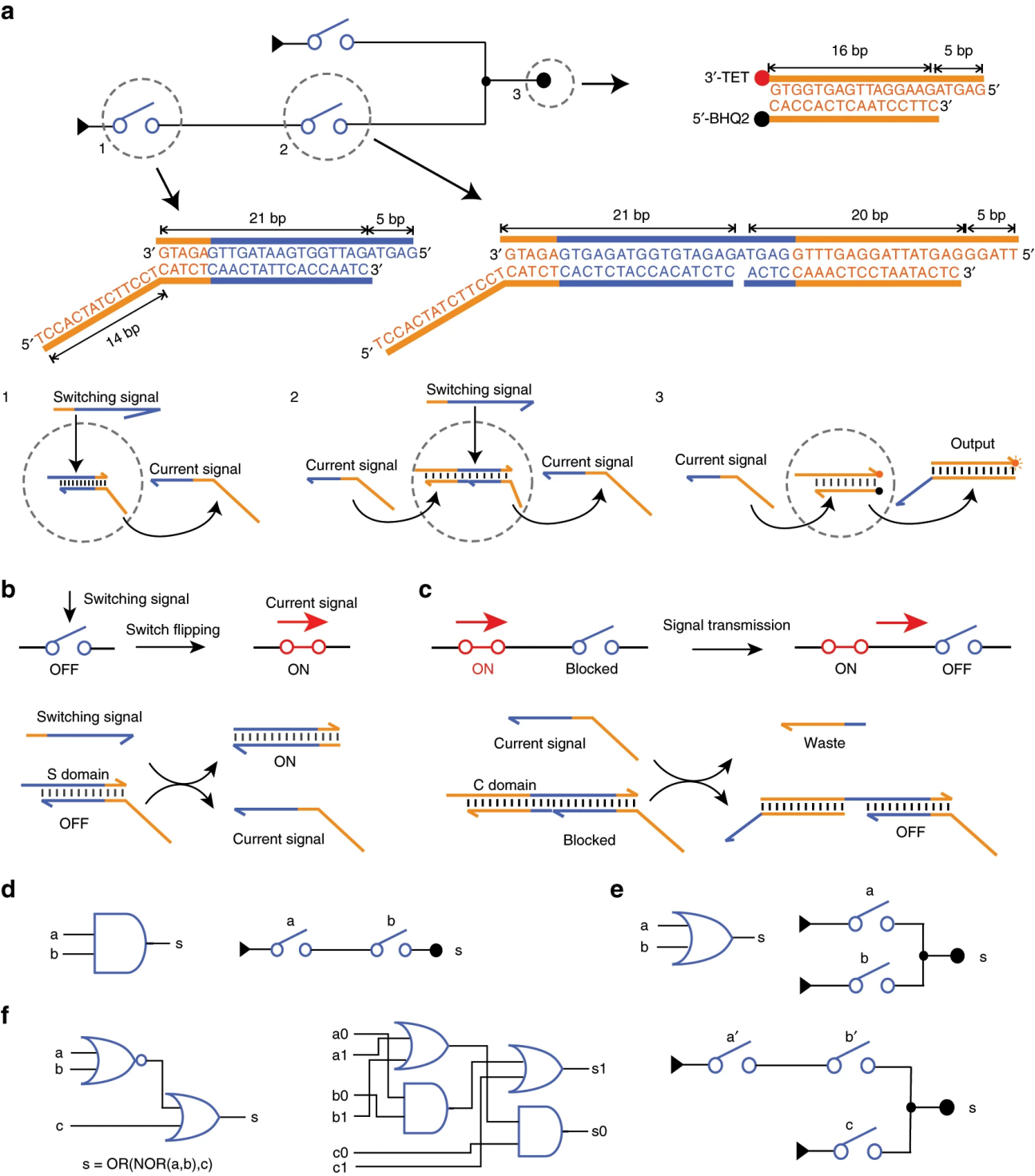


Fig.23. Implementación de la computación digital booleana, con circuitos de ADN. Obsérvese cómo el proceso de encendido y apagado de la cadena, provoca una lógica booleana que se puede aprovechar para realizar cálculos aritméticos. (Wang, F.; Lv, H.; Li, Q.; Li, J.; Zhang, X.; Shi, J.; Fan, C. 2020)

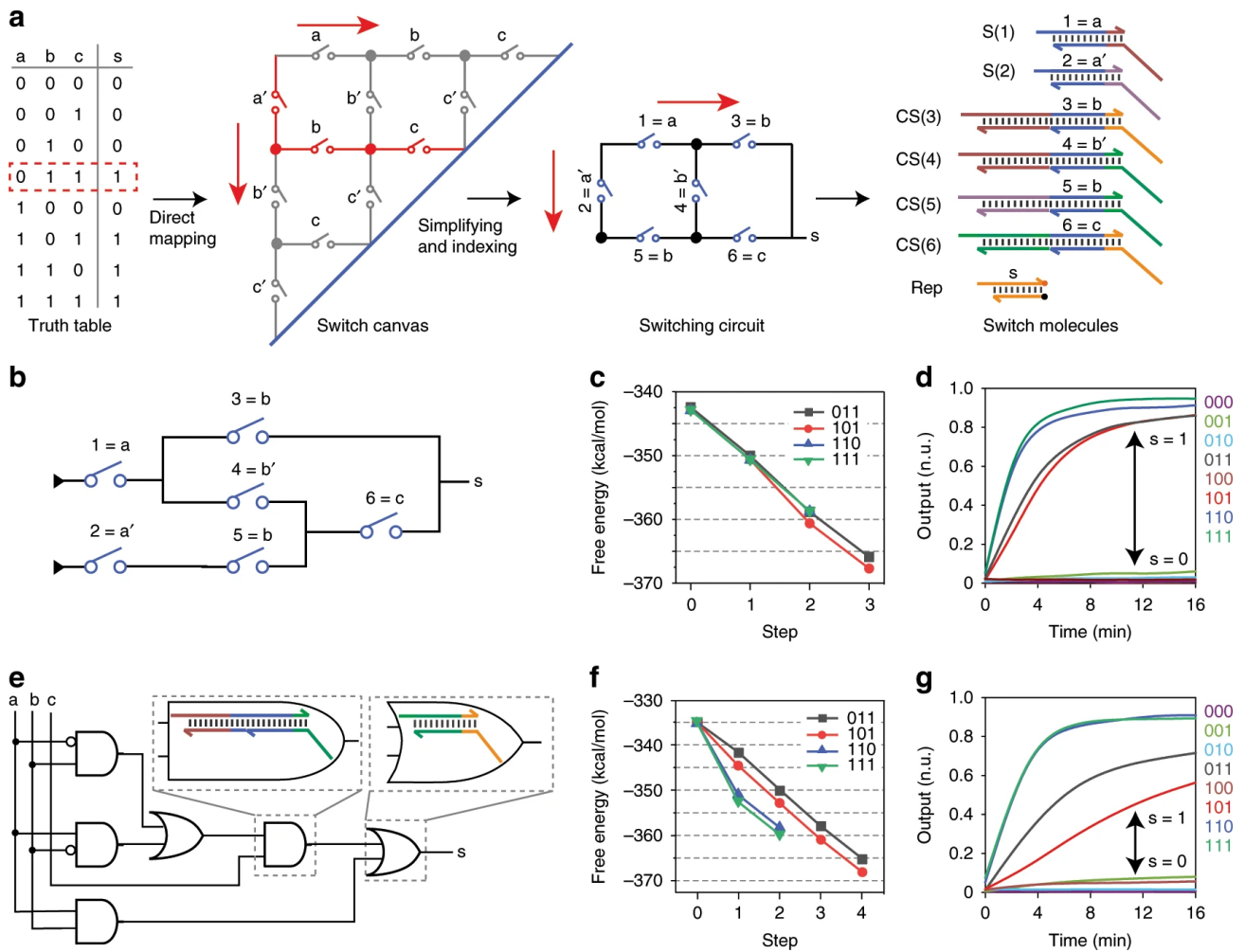


Fig.24. Implementación de funciones booleanas con circuitos de ADN sintético. Puede observarse cómo los datos binarios de la tabla pueden ser representados en los circuitos de las moléculas de ADN. También se realizaron cálculos de consumo energético, muy reducidos. (Wang, F.; Lv, H.; Li, Q.; Li, J.; Zhang, X.; Shi, J.; Fan, C. 2020)

El proyecto CORDIS de la DISCORDia

A pesar de la ironía y licencias que he decidido tomar en el título de este apartado, considero que es justo indicar “DISCORDia” en un juego de palabras, que permite atestiguar el siguiente proyecto CORDIS con identificador 321772, titulado “Re-enrutamiento lógico de redes de comunicación celular por nanorobot de origami de ADN – NANO-ENRUTADORES DE ADN (Reenrutamiento lógico de redes de comunicación celular por nanorobot de origami de ADN) = Logical re-routing of cellular communication networks by DNA origami nanorobot – Final Report Summary – DNA NANO-ROUTERS (Logical re-routing of cellular communication networks by DNA origami nanorobot)”, véase (CORDIS. Comisión Europea. 2019). El título es suficientemente explícito como para confirmar

que se pueden desarrollar nanorouter basados en [ADN origami autoensamblados](#), que desarrollen computación lógica. Esto confirma los [indicios de la presencia de nanorouters](#) en una [red intracorporal para las nanocomunicaciones y nanodispositivos en el cuerpo humano](#), como se venía explicando en Corona2Inspect. De hecho, en el resumen del proyecto CORDIS se indica de forma literal lo siguiente:

*“El objetivo del proyecto nanorouters ha sido **diseñar robots a nanoescala, fabricados a partir de moléculas de ADN sintético, capaces de redirigir la comunicación celular entre células; y demostrarlos en un modelo clínicamente relevante...** El trabajo realizado en el proyecto se centró en el diseño de robots de ADN sintetizables a gran escala, hechos íntegramente de ADN (y sin incluir fármacos químicos ni proteínas, para mantener la homogeneidad del material y la sencillez de fabricación); su demostración en sistemas de tipo celular múltiple in vitro y, finalmente, su demostración in-vivo, se completó a finales de 2017”*

De esta afirmación en el informe final del proyecto, se infiere que los nanorouters existen para hacer posible el enrutamiento de señales y datos, en el contexto de las redes de comunicación celular, molecular y por ende en las redes intracorporales de nanocomunicación, respondiendo a la necesidad de desarrollar y probar la nanotecnología que posteriormente sería introducida en las vacunas.

Implicaciones del hallazgo

La presencia de cristales de ADN autoensamblados en las muestras de la vacuna tiene implicaciones muy notables en la investigación que se viene desarrollando. En primer lugar, su mera presencia en las vacunas, supone el uso de nanotecnología muy avanzada, autoensamblaje de objetos conforme a patrones y plantillas predeterminadas en laboratorio y por tanto, confirma una intencionalidad y finalidad premeditada, siendo claro y evidente el hecho de que existe ADN sintético-artificial, que junto al grafeno constituye un nuevo elemento no declarado en la vacuna. En segundo lugar, este descubrimiento tiene importantes implicaciones en las líneas de investigación que abordan el estudio y análisis de las vacunas, puesto que ya no sólo se cuenta con grafeno o un hidrogel. Ahora se tiene que considerar la presencia de todo tipo de objetos autoensamblados con ADN, lo que amplía las posibilidades de bioingeniería en el cuerpo humano, el desarrollo de biosensores y

dispositivos en el contexto de la red intracorporal de nanocomunicaciones inalámbricas. En tercer lugar, al quedar demostrada la presencia de cristales de ADN, por consiguiente, implica con una alta probabilidad, la presencia de circuitos y sistemas de computación basados en ADN. Como se ha expuesto, existen numerosas pruebas científicas que demuestran que es posible desarrollar circuitos, transistores y dispositivos electrónicos con cadenas de ADN, permitiendo la operativa de todo tipo de señales y datos, particularmente de tipo binario.

- **Nanotubos de carbono y nanotubos de ADN.** Conforme a las figuras 3, 5, 7, 10, entre otras observadas en el trabajo de (Zhao, J.; Zhao, Y.; Li, Z.; Wang, Y.; Sha, R.; Seeman, N.C.; Mao, C. 2018), se llega a la conclusión de que algunos de los objetos con forma de fibra, en realidad podrían no corresponder a micro/nanotubos de carbono CNT, siendo en realidad micro/nanotubos de ADN. Sin embargo, aún no se puede descartar que no existan nanotubos de carbono en las vacunas, como resultado del plegamiento de láminas o nanohojas de grafeno. De hecho, la presencia de óxido de grafeno en las vacunas implica, con alta probabilidad, la presencia de nanotubos de carbono de pared simple o múltiple. Por tanto, resulta plausible que existan estructuras micro/nanotubulares tanto de carbono como de ADN entremezcladas en la solución de la vacuna. También es importante recalcar que la literatura científica, constata de forma clara y contundente, que el ADN puede hibridarse, funcionalizarse o decorarse con el grafeno en soluciones acuosas (Sun, J.; Li, Y.; Lin, J. 2017 | Premkumar, T.; Geckeler, K.E. 2012 | Peña-Bahamonde, J.; Nguyen, H.N.; Fanourakis, S.K.; Rodrigues, D.F. 2018 | Zhang, H.; Gruener, G.; Zhao, Y. 2013), siendo bastante probable la presencia micro/nanotubos de ADN y grafeno, un material híbrido que obtendría las propiedades superconductoras, electromagnéticas, piezoeléctricas de los nanotubos de carbono CNT, que sería fácil de asimilar en los órganos diana en el cuerpo humano al estar conformado de ADN. Dicho de otra forma, se minimizaría el rechazo a los micro/nanotubos (Gangrade, A.; Stephanopoulos, N.; Bhatia, D. 2021 | Fu, X.; Peng, F.; Lee, J.; Yang, Q.; Zhang, F.; Xiong, M.; Zhang, X.B. 2020) para su ingreso en el tejido del sistema nervioso central y cardiaco, preferentemente (Sidharthan, D.S.; Abhinandan, R.; Balagangadharan, K.; Selvamurugan, N. 2021 | Bhattacharya, S. 2021). De hecho hay referencias claras en torno al desarrollo de nano-biosensores de ADN, nanotubos de carbono y puntos cuánticos de grafeno (Qian, Z.S.; Shan, X.Y.; Chai, L.J.; Ma, J.J.; Chen, J.R.; Feng, H. 2014 | Chi, Q.; Yang, Z.; Xu, K.; Wang, C.; Liang, H. 2020 | Tam, D.Y.; Ho, J.W.T.; Chan, M.S.; Lau, C.H.; Chang, T.J.H.;

Leung, H.M.; Lo, P.K. 2020 | Stephanopoulos, N.; Freeman, R.; North, H.A.; Sur, S.; Jeong, S.J.; Tantakitti, F.; Stupp, S.I. 2015 | Silva, G.A.; Khraiche, M.L. 2013), pero también de la hibridación de los aptámeros del ADN (Wang, L.; Wu, A.; Wei, G. 2018 | Wang, L.; Zhu, J.; Han, L.; Jin, L.; Zhu, C.; Wang, E.; Dong, S. 2012).

- **Transistores y circuitos de ADN, canalizaciones microfluídicas, circuitos QCA.** Conforme a todas las evidencias ya observadas en las imágenes de microscopía de las vacunas, de acuerdo a la literatura científica y asumiendo la presencia de estructuras de ADN sintético, se puede deducir que las estructuras rectangulares, cuadrangulares, de diversa complejidad en sus diseños, que se asemejan a circuitería, son en realidad, lo que en apariencia se observa, circuitos integrados. De hecho, de acuerdo a (Mohanty, N.; Berry, V. 2008 | Green, N.S.; Norton, M.L. 2015 | Premkumar, T.; Geckeler, K.E. 2012), entre otros, resulta factible el desarrollo de transistores, biodispositivos, biosensores y circuitos integrados basados en ADN y grafeno. En cuanto a la detección o presencia de canalizaciones microfluídicas, denotativas de los chips microfluídicos (Materón, E.M.; Lima, R.S.; Joshi, N.; Shimizu, F.M.; Oliveira, O.N. 2019 | Ang, P.K.; Li, A.; Jaiswal, M.; Wang, Y.; Hou, H.W.; Thong, J.T.; Loh, K.P. 2011), en algunos objetos observados en las vacunas, resulta una posibilidad que aún no puede descartarse. De hecho, los cristales y estructuras de ADN no serían incompatibles con el diseño de este tipo de chips y circuitos canalizados. Sin embargo, existen algunos problemas a considerar en este enfoque. Los circuitos microfluídicos en la mayoría de los casos aparecen en la literatura científica con una escala muy superior a la observada en las muestras de la vacuna. Aunque no es imposible encontrar artículos que refieran diseños microfluídicos a escala micrométrica, sí es cierto que en general requieren de técnicas de procesamiento y análisis mediante microscopio, cámara y equipos informáticos relativamente convencionales para su análisis directo. Por otra parte, en buena lógica, si es posible crear circuitos y transistores con ADN y grafeno, no tendría mucho sentido construir chips microfluídicos de tamaño muy superior a la escala molecular. Esto es el principio de la economía de medios y recursos limitados que hay que considerar en cada inoculación. Por tanto, no parece claro que lo que se pueda estar observando, sean circuitos microfluídicos, aunque pudieran parecerlo. A pesar de esto, resulta indispensable seguir observando estos objetos y aumentar el nivel de detalle para desentrañar aún mejor estas hipótesis. Por otra parte, en lo relativo a los circuitos de QCA (Quantum Cellular Automata) [descritos en la](#)

[entrada sobre nanorouters](#), si bien lo observado sugería un circuito de puntos cuánticos formado por cables y puertas lógicas, entre otros componentes, aún resulta una posibilidad real y factible. De hecho, existen artículos científicos que demuestran la posibilidad real de crear circuitos de escala molecular QCA a partir de nanopatrones de ADN (Hu, W.; Sarveswaran, K.; Lieberman, M.; Bernstein, G.H. 2005 | Walus, K.; Karim, F.; Ivanov, A. 2009 | Dysart, T.J. 2009 | Ma, X.; Lombardi, F. 2008 | Ma, X.; Lombardi, F. 2009 | Hänninen, I.; Takala, J. 2010 | Jang, B.; Kim, Y.B.; Lombardi, F. 2008), véase también el trabajo de (Chaudhary, A.; Chen, D.Z.; Hu, X.S.; Niemier, M.T.; Ravichandran, R.; Whitton, K. 2007) titulado *“Interconexión fabricable y circuitos QCA moleculares”*. De hecho **y es muy importante remarcarlo**, Chaudhary y su equipo explican lo siguiente:

*“Los requisitos para el posicionamiento de células QCA moleculares son estrictos. Más que en cualquier otra implementación, las moléculas individuales deben colocarse en ubicaciones específicas con precisión nanométrica. Aquí, comenzaremos a explicar exactamente qué precisión es necesaria para hacer circuitos QCA y por qué la construcción de cruce será físicamente difícil de construir. Los resultados recientes en mosaicos de ADN sugieren que el ADN podría usarse como una **placa de circuito** para colocar células QCA. Un objetivo viable asume mosaicos de ADN como el andamiaje. Las moléculas de QCA se unirían covalentemente a los nucleótidos de ADN modificados. Suponiendo que los mosaicos retengan el dúplex de B-DNA, los sitios en el surco principal podrían servir como puntos de unión con una periodicidad de 3,6Å (Angstroms Unidad de medida) a lo largo del eje de la hélice y 2 o 4Å perpendiculares al eje de la hélice (creando el potencial para densidades de 1013/cm²). Este documento tiene una masa crítica significativa, ya que muchos grupos de investigación actualmente buscan crear y unir nanopartículas a andamios basados en ADN”*

Esta explicación es muy denotativa del tipo de circuitos que podrían encontrarse en las muestras de las vacunas. Los autores explicitan el uso del ADN que actuaría como una placa o andamiaje para la deposición de las QCA con los que se configuraría un circuito. Estas QCA podrían ser de distintos materiales, entre ellos el grafeno, mediante GQD (Graphene Quantum Dots) o puntos cuánticos de grafeno. Además, Chaudhary también lo vincula directamente con el autoensamblaje, según se comprueba en el siguiente párrafo:

*“Las balsas de ADN con moléculas se pueden **guiar** a ciertos lugares para formar sistemas más complejos. Anteriormente, discutimos el uso de la síntesis química y el autoensamblaje de abajo hacia arriba para formar placas de circuitos moleculares. Esta sección analiza cómo se utilizarán esas placas de circuito para formar sistemas. El **ensamblaje dirigido** prevé el uso de litografía de arriba hacia abajo de 10 a 100 nm para guiar la unión de las placas de circuito a los sustratos CMOS. Las interacciones entre las placas de circuito les permitirán acoplarse con socios específicos, mientras mantienen el registro sub-nanométrico de una placa de circuito a la siguiente”*

Por todos estos motivos, la hipótesis de [circuitos QCA como el del nanorouter](#), aún no puede ser descartada, al contrario, tiene mayor probabilidad de hallarse en los contenidos de la vacuna. Sin embargo, la investigación aún está abierta y pueden encontrarse nuevos indicios, evidencias y pruebas que permitan afianzar mejor las identificaciones que se vienen haciendo. Es preciso recordar a los lectores, que la naturaleza de la investigación que se viene realizando, además de ser compleja, responde al modelo metodológico de la ingeniería inversa. Son investigaciones difíciles en las que el conocimiento se asienta poco a poco, conforme se incorporan nuevos indicios y pruebas que pueden replantear, en algunos casos, aspectos que podían ser dados por hecho. En virtud de lo dicho, tampoco se puede descartar que el tipo de circuitería empleada sean simplemente, cadenas de ADN sintético, encapsuladas en cristales de ADN, por mencionar otro caso que presenta alta probabilidad de ser hallado.

- **Circuitos de ADN en la red intracorporal de nanocomunicaciones inalámbricas.** De acuerdo al trabajo de (Zhang, Y.; Feng, Y.; Liang, Y.; Yang, J.; Zhang, C. 2021) se pueden crear *“circuitos y redes de ADN sintético para el procesamiento de información molecular”* que corresponde al tipo de comunicación, *“la molecular”*, resultante del funcionamiento de las neuronas en el sistema nervioso central, de acuerdo a la documentación científica consultada (Balasubramaniam, S.; Boyle, N.T.; Della-Chiesa, A.; Walsh, F.; Mardinoglu, A.; Botvich, D.; Prina-Mello, A. 2011 | Suzuki, J.; Budiman, H.; Carr, T.A.; DeBlois, J.H. 2013 | Abd-El-atty, S.M.; Lizos, K.A.; Gharsseldien, Z.M.; Tolba, A.; Makhadmeh, Z.A. 2018 | Yang, K.; Bi, D.; Deng, Y.; Zhang, R.; Rahman, M.M.U.; Ali, N.A.; Alomainy, A. 2020) y conforme a lo expuesto en la

entrada sobre [redes intracorporales de nanocomunicación](#) y [nanotubos de carbono](#). De hecho, Zhang y su equipo afirman que *“A través de una reacción de desplazamiento de cadena de ADN, se puede usar un circuito de ADN sintético para regular con precisión redes genéticas complejas y biosistemas moleculares, por ejemplo, sistemas de redes neuronales de ADN... Se ha demostrado que los circuitos de ADN sintético poseen superioridad en la simulación y regulación de la señalización del ADN, debido a las propiedades de programabilidad y fácil operación... Una variedad de funciones de bioingeniería y biocomputación se han regulado variando las arquitecturas y las integraciones de los circuitos de ADN, como su simulación de señales, el interruptor molecular, el ciclo catalítico, la amplificación en cascada y puertas lógicas”*. Con esta explicación queda patente la relación entre el desarrollo de circuitos de ADN, nanotubos de ADN y carbono (grafeno) y el objetivo de servir a la computación y recepción de señales y datos como resultado de la comunicación molecular, que se produce principalmente en el sistema nervioso central y en concreto en el tejido neuronal del cerebro. Por tanto, se puede concluir que el ADN proporciona la capacidad computacional de la red neuronal artificial que se puede configurar en el sistema nervioso central, procesando las señales generadas a nivel molecular por las neuronas, transmitiendo y propagando la información codificada al resto de la red por medio de [micro/nano-antenas](#), [micro/nano-rectenas](#) con propiedades plasmónicas.

- **Producción en serie de estructuras de ADN.** Una de las cuestiones que se pueden plantear en torno al descubrimiento de cristales de ADN y secuencias artificiales orientadas a la construcción de estructuras y circuitos es la consideración de la producción masiva, en serie de las secuencias genéticas y su introducción en las vacunas. Puede parecer un reto imposible, pero la Ciencia ha logrado solucionar este problema, véase el trabajo de (Praetorius, F.; Kick, B.; Behler, K.L.; Honemann, M.N.; Weuster-Botz, D.; Dietz, H. 2017) titulado *“Biotechnological mass production of DNA origami”*. De hecho se explica que el ADN sintético origami empleado en el autoensamblaje, se concibe a partir de una *“nanoestructura a partir de una molécula de andamio monocatenario muy larga sostenida en su lugar por muchos oligonucleótidos básicos monocatenarios cortos”* y a continuación precisa lo siguiente *“Solo las moléculas de andamiaje derivadas de bacteriófagos **son susceptibles de producción en masa escalable y eficiente; las hebras cortas más cortas se obtienen mediante una costosa síntesis en fase sólida o procesos enzimáticos...** mostramos*

que las hebras simples de ADN de longitud virtualmente arbitraria y con secuencias virtualmente arbitrarias **se pueden producir de una manera escalable y rentable mediante el uso de bacteriófagos para generar ADN precursor de una sola hebra**". No queda duda, de que la producción masiva de ADN sintético es factible tanto en cantidad como en eficiencia, lo cual resulta compatible con la producción masiva de millones de vacunas.

- **Hibridación del ADN sintético y el grafeno en el cuerpo humano.** Aunque aún no se ha iniciado la investigación en torno a la hibridación del ADN sintético y el grafeno en el cuerpo humano, ya empiezan a aparecer indicios que apuntan a esta hipótesis. El hecho de que el grafeno se puede combinar e hibridar con el ADN sintético de la vacuna y especialmente en los aptámeros de las hebras, permite inferir e incluso deducir, que también lo podría hacer con el ADN natural del cuerpo humano. A falta de realizar las investigaciones pertinentes y la revisión de la literatura científica, merece la pena recalcar en esta posibilidad, que resultaría tremendamente preocupante, por las consecuencias, finalidades y secuelas que podría estar ocasionando. **Especulando con este enfoque**, no sería desdeñable que los circuitos de ADN se reprodujeran como el resto de cadenas de ADN del cuerpo, para lo cual se requeriría de la [técnica de edición genética CRISPR-Cas-9 o bien CRISPR-Cas-13](#), lo que supondría la edición genética del ser humano, para convertirlo en un dispositivo inteligente, conectado a la red, constituyendo una fuente de información y datos bio/neurológicos, interactiva y estimulada con cualquier tipo de señal compatible, recibida desde el exterior, si se tiene en cuenta los principios de la red intra-corporal de nanocomunicaciones. Por otra parte, no hay que olvidar el detalle de la hibridación del grafeno en los aptámeros del ADN que, al dividirse y degradarse en puntos cuánticos, podría contaminar el ADN natural y convertirlo en superconductor, siendo especialmente aplicable en el sistema nervioso del cuerpo humano, convirtiéndolo en una autopista de fibra óptica a través de la que se transmiten y propagan las señales y datos de forma eficiente a todos los rincones del cuerpo. Otra consecuencia muy importante es la transmisibilidad de las modificaciones genéticas que se hubieran producido, esto sería una "*contaminación genética*", cuya depuración y reversibilidad aún resulta desconocida.

Próximas comprobaciones

La importancia de este descubrimiento requiere pruebas extraordinarias, que permitan asegurarlo de forma concluyente. Siendo conscientes de esto, se está trabajando en dos pruebas científicas que servirán para asegurar la presencia de ADN en los viales de las vacunas. Por otra parte, se ha elaborado un catálogo de secuencias de ADN procedentes de los artículos científicos consultados en relación a cristales de ADN, autoensamblaje de ADN, hibridación de aptámeros y ADN sintético, circuitos de ADN, etc. El objetivo en tal caso será contrastar las cadenas de ADN recopiladas en la literatura científica especializada y las vacunas. Con estas pruebas, se intentarán encontrar las evidencias definitivas, que permitan afirmar, sin margen de error, que las vacunas contienen ADN sintético, nanotecnología, autoensamblaje de componentes y dispositivos nano-electrónicos, circuitería de ADN, etc.

Bibliografía

1. Abd-El-atty, S.M.; Lizos, K.A.; Gharseldien, Z.M.; Tolba, A.; Makhadmeh, Z.A. (2018). Ingeniería de comunicaciones moleculares integradas con nanotubos de carbono en nano-redes de sensores neuronales = Engineering molecular communications integrated with carbon nanotubes in neural sensor nanonetworks. IET Nanobiotechnology, 12(2), pp. 201-210. <https://doi.org/10.1049/iet-nbt.2016.0150>
2. Ang, P.K.; Li, A.; Jaiswal, M.; Wang, Y.; Hou, H.W.; Thong, J.T.; Loh, K.P. (2011). Detección de flujo de celda única por transistor de grafeno en un canal de microfluidos = Flow sensing of single cell by graphene transistor in a microfluidic channel. Nano letters, 11(12), pp. 5240-5246. <https://doi.org/10.1021/nl202579k>
3. Baccouche, A.; Montagne, K.; Padirac, A.; Fujii, T.; Rondelez, Y. (2014). Circuitos de reacción dinámicos de la caja de herramientas de ADN: un recorrido = Dynamic DNA-toolbox reaction circuits: A walkthrough. Methods, 67(2), pp. 234-249. <https://doi.org/10.1016/j.ymeth.2014.01.015>
4. Balasubramaniam, S.; Boyle, N.T.; Della-Chiesa, A.; Walsh, F.; Mardinoglu, A.; Botvich, D.; Prina-Mello, A. (2011). Desarrollo de redes neuronales artificiales para la comunicación molecular = Development of artificial neuronal networks for molecular communication. Nano Communication Networks, 2(2-3), pp. 150-160. <https://doi.org/10.1016/j.nancom.2011.05.004> | https://corona2inspect.net/wp-content/uploads/2022/01/Balasubramaniam-S.-2011-10.1016_j.nancom.2011.05.004.pdf
5. Bhalla, V.; Bajpai, R.P.; Bharadwaj, L. M. (2003). Electrónica del ADN: el ADN y la electrónica parecen ser dos cosas diferentes, pero una serie de eventos ha puesto de relieve la capacidad inusual del ADN para formar componentes electrónicos. = DNA electronics: DNA and electronics seem to be two different things, but a series of events has highlighted the unusual

- ability of DNA to form electronic components. *EMBO reports*, 4(5), pp. 442-445. <https://doi.org/10.1038/sj.embor.embor834>
6. Bhattacharya, S. (2021). Nanoestructuras en la entrega de genes = Nanostructures in gene delivery. En: *Advances in Polymeric Nanomaterials for Biomedical Applications* (pp. 101-135). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814657-6.00007-0>
 7. Chandrasekaran, A.R. (2019). [Capítulo de libro]. Nanotecnología de ácidos nucleicos = Nucleic acid nanotechnology. En: Andrews, D.; Nann, T.; Lipson, R.H. (2019). *Nanociencia integral y nanotecnología = Comprehensive nanoscience and nanotechnology*. Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803581-8.10435-7> | http://corona2inspect.net/wp-content/uploads/2022/01/Chandrasekaran-A.R.-2019-10.1016_B978-0-12-803581-8.10435-7.pdf
 8. Chatterjee, G.; Dalchau, N.; Muscat, R.A.; Phillips, A.; Seelig, G. (2017). Una arquitectura espacialmente localizada para computación de ADN modular y rápida = A spatially localized architecture for fast and modular DNA computing. *Nature nanotechnology*, 12(9), pp. 920-927. <https://doi.org/10.1038/nnano.2017.127>
 9. Chaudhary, A.; Chen, D.Z.; Hu, X.S.; Niemier, M.T.; Ravichandran, R.; Whitton, K. (2007). Circuitos QCA moleculares y de interconexión fabricables = Fabricatable interconnect and molecular QCA circuits. *IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems*, 26(11), pp. 1978-1991. <https://doi.org/10.1109/TCAD.2007.906467>
 10. Chen, Z.; Yin, Z.; Cui, J.; Yang, J.; Tang, Z. (2021). Circuitos de conmutación de ADN basados en árbol binario = DNA Switching Circuits Based on Binary Tree. *IEEE Access*, 9, pp. 94033-94039. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3091010>
 11. Chi, Q.; Yang, Z.; Xu, K.; Wang, C.; Liang, H. (2020). Nanoestructura de ADN como plataforma eficiente de administración de fármacos para inmunoterapia = DNA nanostructure as an efficient drug delivery platform for immunotherapy. *Frontiers in Pharmacology*, 1585. <https://doi.org/10.3389/fphar.2019.01585>
 12. CORDIS. Comisión Europea. (2019). Final Report Summary – DNA NANO-ROUTERS (Logical re-routing of cellular communication networks by DNA origami nanorobot) En: *Logical re-routing of cellular communication networks by DNA origami nanorobot*. 7 Seventh Framework Programme. <https://cordis.europa.eu/project/id/321772/reporting/es>
 13. Dysart, T.J. (2009). [Tesis doctoral]. El enrutamiento de la señal: comprender la confiabilidad de los circuitos y sistemas QCA = It's all about the signal routing: Understanding the reliability of QCA circuits and systems. Universidad de Notre Dame. <https://www.proquest.com/openview/595022ce9c95ec5da4eba707fe8a2ea7/1>
 14. Fan, D.; Wang, J.; Wang, E.; Dong, S. (2020). Propulsando la computación de ADN con el poder de los materiales: avances recientes en sistemas innovadores de computación lógica de ADN y bioaplicaciones inteligentes = Propelling DNA Computing with Materials' Power: Recent Advancements in Innovative DNA Logic Computing Systems and Smart Bio-Applications. *Advanced Science*, 7(24), 2001766. <https://doi.org/10.1002/advs.202001766>

15. Fu, D.; Li, L.J. (2010). Detección eléctrica sin etiquetas de hibridación de ADN utilizando nanotubos de carbono y grafeno = Label-free electrical detection of DNA hybridization using carbon nanotubes and graphene. *Nano reviews*, 1(1), 5354. <https://doi.org/10.3402/nano.v1i0.5354>
16. Fu, X.; Peng, F.; Lee, J.; Yang, Q.; Zhang, F.; Xiong, M.; Zhang, X.B. (2020). Nanoestructuras de ADN funcionalizadas con aptámeros para aplicaciones biológicas = Aptamer-functionalized DNA nanostructures for biological applications. *DNA Nanotechnology*, pp. 301-343. https://doi.org/10.1007/978-3-030-54806-3_10
17. Gangrade, A.; Stephanopoulos, N.; Bhatia, D. (2021). Nanodispositivos de ADN programables y autoensamblados para programación celular e ingeniería de tejidos = Programmable, self-assembled DNA nanodevices for cellular programming and tissue engineering. *Nanoscale*, 13(40), pp. 16834-16846. <https://doi.org/10.1109/MPOT.2018.2859443>
18. George, A.K.; Kunnummal, I.O.; Alazzawi, L.; Singh, H. (2020). Diseño de Circuitos Digitales de ADN = Design of DNA digital circuits. *IEEE Potentials*, 39(2), pp. 35-40. <https://doi.org/10.1109/MPOT.2018.2859443>
19. Green, N.S.; Norton, M.L. (2015). Interacciones del ADN con el grafeno y aplicaciones de detección de dispositivos de transistores de efecto de campo de grafeno: una revisión = Interactions of DNA with graphene and sensing applications of graphene field-effect transistor devices: A review. *Analytica chimica acta*, 853, pp. 127-142. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2014.10.023>
20. Gupta, R.K.; Saraf, V. (2009). Nanoelectrónica: corriente de efecto túnel en el transistor de un solo electrón de ADN = Nanoelectronics: tunneling current in DNA–single electron transistor. *Current Applied Physics*, 9(1), pp. S149-S152. <https://doi.org/10.1016/j.cap.2008.03.026>
21. Hao, Y.; Kristiansen, M.; Sha, R.; Birktoft, J.J.; Hernandez, C.; Mao, C.; Seeman, N.C. (2017). A device that operates within a self-assembled 3D DNA crystal. *Nature chemistry*, 9(8), pp. 824-827. <https://doi.org/10.1038/nchem.2745> | http://corona2inspect.net/wp-content/uploads/2022/02/Hao-Y.-2017-10.1038_nchem.2745.pdf
22. Hänninen, I.; Takala, J. (2010). Sumadores binarios en autómatas celulares de puntos cuánticos = Binary adders on quantum-dot cellular automata. *Journal of Signal Processing Systems*, 58(1), pp. 87-103. <https://doi.org/10.1007/s11265-008-0284-5>
23. Hernandez, C.; Birktoft, J.J.; Ohayon, Y.P.; Chandrasekaran, A.R.; Abdallah, H.; Sha, R.; Seeman, N.C. (2017). Autoensamblaje de cristales de ADN 3D que contienen un componente estresado por torsión = Self-assembly of 3D DNA crystals containing a torsionally stressed component. *Cell chemical biology*, 24(11), pp. 1401-1406. <https://doi.org/10.1016/j.chembiol.2017.08.018> | http://corona2inspect.net/wp-content/uploads/2022/01/Hernandez-C.-2017-10.1016_j.chembiol.2017.08.018.pdf
24. Hu, W.; Sarveswaran, K.; Lieberman, M.; Bernstein, G.H. (2005). Litografía por haz de electrones de alta resolución y nanopatrones de ADN para QCA molecular = High-resolution electron beam lithography and DNA nano-patterning for molecular QCA. *IEEE Transactions on Nanotechnology*, 4(3), pp. 312-316. <https://doi.org/10.1109/TNANO.2005.847034>

25. Jackson, T.; Fitzgerald, R.; Miller, D.K.; Khisamutdinov, E.F. (2021). Desarrollo de nanodispositivos de puerta lógica a partir de aptámeros de ARN fluorogénico = Development of Logic Gate Nanodevices from Fluorogenic RNA Aptamers. DNA-and RNA-Based Computing Systems, pp. 57-76. <https://doi.org/10.1002/9783527825424.ch5>
26. Jang, B.; Kim, Y.B.; Lombardi, F. (2008). Control de monómeros para la tolerancia a errores en el autoensamblaje de ADN = Monomer control for error tolerance in DNA self-assembly. Journal of Electronic Testing, 24(1), pp. 271-284. <https://doi.org/10.1007/s10836-007-5016-4>
27. Jiang, C.; Zhang, Y.; Wang, F.; Liu, H. (2021). Hacia el Procesamiento Inteligente de la Información con Moléculas de ADN Sintético = Toward Smart Information Processing with Synthetic DNA Molecules. Macromolecular Rapid Communications, 42(11), 2100084. <https://doi.org/10.1002/marc.202100084>
28. Katz, E. (2020). Sistemas informáticos basados en ADN y ARN = DNA-and RNA-based Computing Systems. John Wiley & Sons. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9783527825424>
29. Lin, D.C.; Yurke, B.; Langrana, N.A. (2004). Propiedades mecánicas de un hidrogel de poliacrilamida reticulado con ADN reversible = Mechanical properties of a reversible, DNA-crosslinked polyacrylamide hydrogel. J. Biomech. Eng., 126(1), pp. 104-110. <https://doi.org/10.1115/1.1645529>
30. Lin, D.C.; Yurke, B.; Langrana, N.A. (2005). Inducción de cambios de rigidez reversibles en geles reticulados de ADN = Inducing reversible stiffness changes in DNA-crosslinked gels. Journal of materials research, 20(6), pp. 1456-1464. <https://doi.org/10.1557/JMR.2005.0186>
31. Liu, Q.; Yang, K.; Xie, J.; Sun, Y. (2021). Computación, almacenamiento y comunicaciones moleculares basados en ADN = DNA-Based Molecular Computing, Storage, and Communications. IEEE Internet of Things Journal, 9(2), pp. 897-915. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2021.3083663>
32. Lv, H.; Li, Q.; Shi, J.; Fan, C.; Wang, F. (2021). Biocomputación basada en reacciones de desplazamiento de cadenas de ADN = Biocomputing based on DNA strand displacement reactions. ChemPhysChem, 22(12), pp. 1151-1166. <https://doi.org/10.1002/cphc.202100140>
33. Lyshevski, MA (2005). Nanodispositivos electrónicos basados en ADN multivalor = Multi-valued DNA-based electronic nanodevices. En: 35th International Symposium on Multiple-Valued Logic (ISMVL'05) (pp. 39-42). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ISMVL.2005.26>
34. Ma, X.; Lombardi, F. (2008). Síntesis de conjuntos de mosaicos para el autoensamblaje de ADN = Synthesis of tile sets for DNA self-assembly. IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems, 27(5), pp. 963-967. <https://doi.org/10.1109/TCAD.2008.917973>
35. Ma, X.; Lombardi, F. (2009). Sobre la complejidad computacional de la síntesis de conjuntos de mosaicos para el autoensamblaje de ADN = On the computational complexity of tile set synthesis for DNA self-assembly. IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs, 56(1), pp. 31-35. <https://doi.org/10.1109/TCSII.2008.2010161>

36. Materón, E.M.; Lima, R.S.; Joshi, N.; Shimizu, F.M.; Oliveira, O.N. (2019). Dispositivos de sensores microfluídicos y basados en chips que contienen grafeno para biomoléculas = Graphene-containing microfluidic and chip-based sensor devices for biomolecules. En: Graphene-Based Electrochemical Sensors for Biomolecules (pp. 321-336). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815394-9.00013-3>
37. Matsuo, N.; Takagi, S.; Yamana, K.; Heya, A.; Takada, T.; Yokoyama, S. (2012). Propiedad eléctrica del transistor de efecto de campo de ADN: propiedad de retención de carga = Electrical property of DNA field-effect transistor: Charge retention property. Japanese Journal of Applied Physics, 51(4S), 04DD13. <https://doi.org/10.1143/JJAP.51.04DD13>
38. Mohanty, N.; Berry, V. (2008). Biodispositivo de resolución de una sola bacteria basado en grafeno y transistor de ADN: interconexión de derivados de grafeno con biocomponentes a nanoescala y microescala = Graphene-based single-bacterium resolution biodevice and DNA transistor: interfacing graphene derivatives with nanoscale and microscale biocomponents. Nano letters, 8(12), pp. 4469-4476. <https://doi.org/10.1021/nl802412n>
39. Nagahara, S.; Matsuda, T. (1996). Formación de hidrogel mediante hibridación de oligonucleótidos derivatizados en polímeros vinílicos solubles en agua = Hydrogel formation via hybridization of oligonucleotides derivatized in water-soluble vinyl polymers. Polymer Gels and Networks, 4(2), pp. 111-127. [https://doi.org/10.1016/0966-7822\(96\)00001-9](https://doi.org/10.1016/0966-7822(96)00001-9)
40. Ogata, N. (2012). Nanocircuito de ADN para electrónica = DNA nano-circuit for electronics. En: Nanobiosystems: Processing, Characterization, and Applications V (Vol. 8464, pp. 11-19). SPIE. <https://doi.org/10.1117/12.930918>
41. Ohayon, Y.P.; Hernandez, C.; Chandrasekaran, A.R.; Wang, X.; Abdallah, H.O.; Jong, M.A.; Seeman, N.C. (2019). Diseño de cristales de ADN 3D autoensamblados de mayor resolución a través de modificaciones del extremo de la hebra = Designing higher resolution self-assembled 3D DNA crystals via strand terminus modifications. ACS nano, 13(7), pp. 7957-7965. <https://doi.org/10.1021/acsnano.9b02430> | http://corona2inspect.net/wp-content/uploads/2022/01/Ohayon-Y.P.-2019-10.1021_acsnano.9b02430.pdf
42. Peña-Bahamonde, J.; Nguyen, H.N.; Fanourakis, S.K.; Rodrigues, D.F. (2018). Avances recientes en tecnología de biosensores basados en grafeno con aplicaciones en ciencias de la vida = Recent advances in graphene-based biosensor technology with applications in life sciences. Journal of nanobiotechnology, 16(1), pp. 1-17. <https://doi.org/10.1186/s12951-018-0400-z>
43. Praetorius, F.; Kick, B.; Behler, K.L.; Honemann, M.N.; Weuster-Botz, D.; Dietz, H. (2017). Producción biotecnológica en masa de ADN origami = Biotechnological mass production of DNA origami. Nature, 552(7683), pp. 84-87. <https://doi.org/10.1038/nature24650>
44. Premkumar, T.; Geckeler, K.E. (2012). Materiales híbridos grafeno-ADN: ensamblaje, aplicaciones y perspectivas = Graphene-DNA hybrid materials: Assembly, applications, and prospects. Progress in Polymer Science, 37(4), pp. 515-529. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2011.08.003>

45. Polonsky, S.; Stolovitzky, G.; Rossmagel, S. (2007). [Informe técnico]. Transistor de ADN = DNA transistor. IBM Research Report RC24242. <https://dominoweb.draco.res.ibm.com/reports/rc24242.pdf>
46. Qian, Z.S.; Shan, X.Y.; Chai, L.J.; Ma, J.J.; Chen, J.R.; Feng, H. (2014). Nanosensor de ADN basado en puntos cuánticos de grafeno biocompatible y nanotubos de carbono = DNA nanosensor based on biocompatible graphene quantum dots and carbon nanotubes. *Biosensors and Bioelectronics*, 60, pp. 64-70. <https://doi.org/10.1016/j.bios.2014.04.006>
47. Rusling, D.A.; Chandrasekaran, A.R.; Ohayon, Y.P.; Brown, T.; Fox, K.R.; Sha, R.; Seeman, N.C. (2014). Cristales de ADN de diseño funcionalizados con una carilla de triple hélice = Functionalizing designer DNA crystals with a triple-helical veneer. *Angewandte Chemie*, 126(15), pp. 4060-4063. <https://doi.org/10.1002/ange.201309914>
48. Sawlekar, R.; Nikolakopoulos, G. (2021). Una revisión sobre los dispositivos informáticos basados en ADN y sus aplicaciones = A Survey of DNA-based Computing Devices and their Applications. En: 2021 European Control Conference (ECC) (pp. 769-774). IEEE. <https://doi.org/10.23919/ECC54610.2021.9654895>
49. Scalise, D.; Schulman, R. (2019). Control de la materia a escala molecular con circuitos de ADN = Controlling matter at the molecular scale with DNA circuits. *Annual Review of Biomedical Engineering*, 21, pp. 469-493. <https://doi.org/10.1146/annurev-bioeng-060418-052357>
50. Sidharthan, D.S.; Abhinandan, R.; Balagangadharan, K.; Selvamurugan, N. (2021). Avances en técnicas basadas en ácidos nucleicos para la regeneración ósea = Advancements in nucleic acids-based techniques for bone regeneration. *Biotechnology journal*, 2100570. <https://doi.org/10.1002/biot.202100570>
51. Silva, G.A.; Khraiche, M.L. (2013). Nanotecnologías para estimular y registrar eventos excitables en neuronas y cardiomiocitos = Nanotechnologies for stimulating and recording excitable events in neurons and cardiomyocytes. *Discovery Medicine*, 15(85), pp. 357-365. <https://www.discoverymedicine.com/Gabriel-A-Silva/2013/06/26/nanotechnologies-for-stimulating-and-recording-excitable-events-in-neurons-and-cardiomyocytes/>
52. Sun, J.; Li, Y.; Lin, J. (2017). Estudio de la adsorción de nanoestructuras de ADN sobre grafeno en fase acuosa mediante simulaciones de dinámica molecular = Studying the adsorption of DNA nanostructures on graphene in the aqueous phase using molecular dynamic simulations. *Journal of Molecular Graphics and Modelling*, 74, pp. 16-23. <https://doi.org/10.1016/j.jmgm.2017.03.003>
53. Suzuki, J.; Budiman, H.; Carr, T.A.; DeBlois, J.H. (2013). Un marco de simulación para la comunicación molecular basada en neuronas = A simulation framework for neuron-based molecular communication. *Procedia Computer Science*, 24, pp. 103-113. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2013.10.032> | https://corona2inspect.net/wp-content/uploads/2022/01/Suzuki-J.-2013-10.1016_j.procs_2013.10.032.pdf
54. Stephanopoulos, N.; Freeman, R.; North, H.A.; Sur, S.; Jeong, S.J.; Tatakitti, F.; Stupp, S.I. (2015). Los nanotubos de péptidos de ADN bioactivos mejoran la diferenciación de las células madre neurales en neuronas = Bioactive DNA-peptide nanotubes enhance the differentiation

of neural stem cells into neurons. *Nano letters*, 15(1), pp. 603-609. <https://doi.org/10.1021/nl504079q>

55. Tam, D.Y.; Ho, J.W.T.; Chan, M.S.; Lau, C.H.; Chang, T.J.H.; Leung, H.M.; Lo, P.K. (2020). Penetración de la barrera hematoencefálica mediante nanojaulas de ADN 3D autoensambladas como vehículos de administración de fármacos para la terapia del cáncer cerebral = Penetrating the Blood–Brain Barrier by Self-Assembled 3D DNA Nanocages as Drug Delivery Vehicles for Brain Cancer Therapy. *ACS applied materials & interfaces*, 12(26), pp. 28928-28940. <https://doi.org/10.1021/acscami.0c02957>
56. Walus, K.; Karim, F.; Ivanov, A. (2009). Arquitectura para una entrada externa en un circuito QCA molecular = Architecture for an external input into a molecular QCA circuit. *Journal of computational electronics*, 8 (1), pp. 35-42. <https://doi.org/10.1007/s10825-009-0268-0>
57. Wang, F.; Lv, H.; Li, Q.; Li, J.; Zhang, X.; Shi, J.; Fan, C. (2020). Implementación de computación digital con circuitos de conmutación basados en ADN = Implementing digital computing with DNA-based switching circuits. *Nature communications*, 11(1), pp. 1-8. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-13980-y>
58. Wang, K. (2018). Electrónica de molécula única basada en ADN: del concepto a la función = DNA-based single-molecule electronics: from concept to function. *Journal of functional biomaterials*, 9(1), 8. <https://doi.org/10.3390/jfb9010008>
59. Wang, L.; Wu, A.; Wei, G. (2018). Aptasensores basados en grafeno: desde interacciones molécula-interfaz hasta diseño de sensores y diagnóstico biomédico = Graphene-based aptasensors: From molecule–interface interactions to sensor design and biomedical diagnostics. *Analyst*, 143(7), pp. 1526-1543. <https://doi.org/10.1039/C8AN00081F>
60. Wang, L.; Zhu, J.; Han, L.; Jin, L.; Zhu, C.; Wang, E.; Dong, S. (2012). Puertas lógicas aptámeras basadas en grafeno y su aplicación a la detección múltiplex = Graphene-based aptamer logic gates and their application to multiplex detection. *ACS nano*, 6(8), pp. 6659-6666. <https://doi.org/10.1021/nn300997f>
61. Wang, Y.; Qian, M.; Hu, W.; Wang, L.; Dong, Y. (2020). Un mecanismo molecular autónomo novedoso basado en el cálculo del ADN localizado espacialmente = A Novel Autonomous Molecular Mechanism Based on Spatially Localized DNA Computation. En: *International Conference on Bio-Inspired Computing: Theories and Applications* (págs. 457-470). Springer, Singapur. https://doi.org/10.1007/978-981-16-1354-8_33
62. Willner, I.; Shlyahovsky, B.; Zayats, M.; Willner, B. (2008). ADNzimas para aplicaciones de detección, nanobiotecnología y puertas lógicas = DNAzymes for sensing, nanobiotechnology and logic gate applications. *Chemical Society Reviews*, 37(6), pp. 1153-1165. <https://doi.org/10.1039/B718428J>
63. Xiong, X.; Xiao, M.; Lai, W.; Li, L.; Fan, C.; Pei, H. (2021). Control optoquímico de circuitos de conmutación de ADN para cálculo lógico y probabilístico = Optochemical Control of DNA-Switching Circuits for Logic and Probabilistic Computation. *Angewandte Chemie International Edition*, 60(7), pp. 3397-3401. <https://doi.org/10.1002/anie.202013883>

64. Yan, S.; Wong, K.C. (2021). Futuro dispositivo de computación de ADN y conjunto de herramientas adjuntas: Hacia la computación de alto rendimiento = Future DNA computing device and accompanied tool stack: Towards high-throughput computation. *Future Generation Computer Systems*, 117, pp. 111-124. <https://doi.org/10.1016/j.future.2020.10.038>
65. Yang, K.; Bi, D.; Deng, Y.; Zhang, R.; Rahman, M.M.U.; Ali, N.A.; Alomainy, A. (2020). Una revisión completa sobre la comunicación híbrida en el contexto de la comunicación molecular y la comunicación de terahercios para nano-redes centradas en el cuerpo = A comprehensive survey on hybrid communication in context of molecular communication and terahertz communication for body-centric nanonetworks. *IEEE Transactions on Molecular, Biological and Multi-Scale Communications*, 6(2), pp. 107-133. <https://doi.org/10.1109/TMBMC.2020.3017146>
66. Yao, C.Y.; Lin, H.Y.; Crory, H.S.; de-Silva, A.P. (2020). Agentes supramoleculares que ejecutan tareas de forma inteligente (SMARTI): desarrollos recientes en computación basada en lógica molecular = Supra-molecular agents running tasks intelligently (SMARTI): recent developments in molecular logic-based computation. *Molecular Systems Design & Engineering*, 5(8), pp. 1325-1353. <https://doi.org/10.1039/D0ME00082E>
67. Zahid, M.; Kim, B.; Hussain, R.; Amin, R.; Park, S.H. (2013). Nanotecnología de ADN: una perspectiva de futuro = DNA nanotechnology: a future perspective. *Nanoscale research letters*, 8(1), pp. 1-13. <https://doi.org/10.1186/1556-276X-8-119>
68. Zhang, D.; Seelig, D. (2011). Nanotecnología de ADN dinámico utilizando reacciones de desplazamiento de hebra = Dynamic DNA nanotechnology using strand-displacement reactions. *Nature chemistry*, 3(2), pp. 103-113. <https://doi.org/10.1038/nchem.957>
69. Zhang, H.; Gruener, G.; Zhao, Y. (2013). Avances recientes del grafeno en biomedicina = Recent advancements of graphene in biomedicine. *Journal of Materials Chemistry B*, 1(20), pp. 2542-2567. <https://doi.org/10.1039/C3TB20405G>
70. Zhang, J.; Liu, C. (2021). Pantalla digital y computación de ADN impulsada por CRISPR = CRISPR-Powered DNA Computing and Digital Display. *ACS Synthetic Biology*, 10(11), pp. 3148-3157. <https://doi.org/10.1021/acssynbio.1c00431>
71. Zhang, Y.; Feng, Y.; Liang, Y.; Yang, J.; Zhang, C. (2021). Desarrollo de Circuitos y Redes de ADN Sintético para Procesamiento de Información Molecular = Development of Synthetic DNA Circuit and Networks for Molecular Information Processing. *Nanomaterials*, 11(11), 2955. <https://doi.org/10.3390/nano11112955>
72. Zhao, J.; Zhao, Y.; Li, Z.; Wang, Y.; Sha, R.; Seeman, N.C.; Mao, C. (2018). Modulación del autoensamblaje de cristales de ADN con agentes diseñados racionalmente = Modulating Self-Assembly of DNA Crystals with Rationally Designed Agents. *Angewandte Chemie*, 130(50), pp. 16767-16770. <https://doi.org/10.1002/anie.201809757> | http://corona2inspect.net/wp-content/uploads/2022/01/Zhao-J.-2018-10.1002_anie.201809757.pdf
73. Zhao, S.; Yu, L.; Yang, S.; Tang, X.; Chang, K.; Chen, M. (2021). Puerta lógica booleana basada en el desplazamiento de cadenas de ADN para biodetección: estrategias actuales y

emergentes = Boolean logic gate based on DNA strand displacement for biosensing: current and emerging strategies. *Nanoscale Horizons*, 6(4), pp. 298-310. <https://doi.org/10.1039/D0NH00587H>

74. Zhou, Z.; Wang, J.; Levine, R.D.; Remacle, F.; Willner, I. (2021). Redes dinámicas constitucionales basadas en ADN como módulos funcionales para puertas lógicas y operaciones de circuitos informáticos = DNA-based constitutional dynamic networks as functional modules for logic gates and computing circuit operations. *Chemical science*, 12(15), pp. 5473-5483. <https://doi.org/10.1039/D1SC01098K>