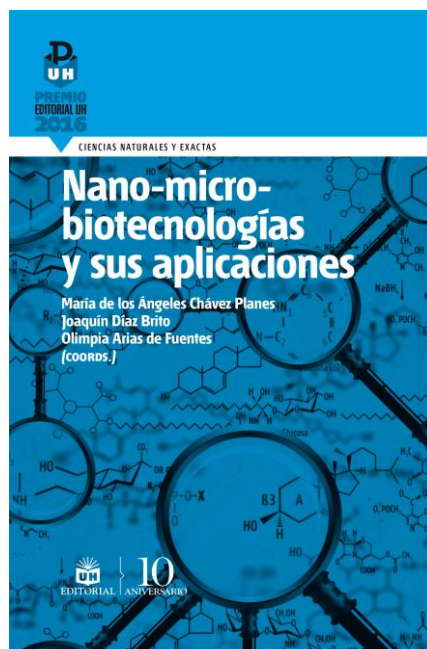


La importancia de las nano-micro-biotecnologías<sup>1</sup>  
The importance of nano-micro-biotechnologies

Agustín Lage<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Profesor e Investigador Titular, Asesor del presidente de BioCubaFarma.



*Nano-micro-biotecnologías y sus aplicaciones*

María de los Ángeles Chávez Planes, Joaquín Díaz Brito, Olimpia Arias de Fuentes  
(coords.)

La Habana: Editorial UH

2019

Cuando la profesora Isel Pascual me pidió que hiciera la presentación de *Nano-micro-biotecnología y sus aplicaciones*, acepté la *tarea* en virtud del respeto que siempre siento por cualquier solicitud que venga de la Universidad, para intentar hacerla con seriedad, pero la asumí como eso: *una tarea*.

Pero sucedió que después el libro me capturó, y no pude soltarlo hasta llegar a la última página. Llevó muchas horas, pero no fue un esfuerzo: su lectura se convirtió en *un disfrute intelectual*, en una fuente de comprensión de aspectos del tema que habían escapado a mi visión anterior, y en un reforzamiento de la percepción de la importancia del tema de las nano-micro-biotecnologías. Y voy ahora a tratar de explicar por qué.

El libro me hizo recordar una historia de mi preuniversitario en los años sesenta: Teníamos un profesor de Química que empezaba el curso advirtiéndolo a los alumnos: «La ciencia es una sola, aunque se divide para su mejor comprensión en física, química y biología». Muchos años después, quien fuera el tutor de mi doctorado en el Instituto Pasteur de París me dijo: «Las buenas ideas están en los bordes, entre un campo de la ciencia y otro». Ahora este libro valida formidablemente ambos consejos.

Las nanotecnologías surgen precisamente en la interfase entre la física, la química y la biología; y entre todas estas y las ingenierías. Es en la escala de los nanómetros donde está el espacio en que la conducta cuántica de la materia empieza a remplazar a la física newtoniana. Es en la escala de los nanómetros donde comienza la vida. Los llamados coacervados, que postuló el académico soviético Aleksander Oparin (en 1922) como los precursores de las primeras células vivas hace millones de años, están en esa escala.

Los seres vivos independientes (no los virus) identifican un nivel de complejidad por debajo del cual la vida no es posible. Ese nivel está también en el orden de los nanómetros. Ahí es donde puede ocurrir el «cierre catalítico» que da origen a la vida, es decir, la existencia de un sistema con una diversidad molecular suficiente para que unas moléculas sean catalizadoras de reacciones entre las otras, las cuales conducen a la autorreplicación. La escala de nanómetros es también la de los organelos intracelulares.

Permítanme describirles primero lo que van a encontrar en los 12 capítulos del libro, para después intentar identificar los conceptos subyacentes que atraviesan todo el volumen; y que es donde radica la novedad y la proyección a futuro del campo de las nanotecnologías.

El libro contiene contribuciones de 32 autores, en su gran mayoría profesores que trabajan en las ciencias biológicas, y aquí vemos el primer rasgo distintivo del libro: es una mirada a las nanotecnologías desde la perspectiva de las ciencias biológicas. Otras miradas al mismo tema pudieran venir desde las ciencias de la información, o desde las ingenierías,

pero esos son otros libros, que también esperamos que profesores de nuestras universidades escriban.

Este, además del excelente prólogo del académico Gustavo Sierra, contiene capítulos sobre las moléculas biológicas (proteínas y ácidos nucleicos), a las cuales, de manera provocadora, la profesora Maya Chávez llama «moléculas informativas». Son moléculas que contienen información, en el sentido que Claude Shannon le dio al término «información» en 1948 como «reducción de incertidumbre».

Luego, el libro pasa a estructuras de orden superior, y nos habla de las membranas biológicas, la inmovilización de proteínas, la modificación química de proteínas. Y llega después a los biosensores, a los liposomas, y a la microencapsulación. Los últimos capítulos están dedicados a las aplicaciones de todo esto en la biomedicina.

Un tema que atraviesa todo el libro es la físico-química de las proteínas, y esto no es una consecuencia trivial del hecho que varios de los autores trabajen en el Centro de Estudio de Proteínas de la Universidad de La Habana. Se trata de que son las proteínas la base material principal de la catálisis enzimática, sin la cual la vida no es posible. Y son también las proteínas los sistemas complejos más pequeños que existen, las menores unidades materiales donde se aprecian las propiedades de la complejidad: propiedades emergentes, auto-organización, sensibilidad a condiciones iniciales, bifurcaciones de comportamiento, etc.; todas esas que los matemáticos modelan en sus redes booleanas, pero que están presentes en el comportamiento de las proteínas. Y, aunque esta afirmación resulte sorprendente para algunos, son las propiedades de las proteínas uno de los campos de la ciencia donde hay mucho pendiente de explorar.

Calculando a partir de la cantidad de genes estructurales de las especies, y la estimación de 100 millones de especies en la biosfera, se puede estimar la diversidad existente de las proteínas entre 1 y 10 trillones de moléculas diferentes. Un número enorme: imaginen un 1 seguido de doce ceros. Pero ese número se vuelve insignificante en comparación con las proteínas que pudieran existir, y de cuyas propiedades no sabemos nada, y de hecho hoy hay tecnologías para hacerlas existir. Veinte posibles aminoácidos en una proteína de 100 aminoácidos (y hay muchas más grandes) crean una diversidad potencial de  $20^{100}$ , es decir  $10^{120}$  proteínas diferentes; esto es, un 1 seguido de 120 ceros. Es un número cercano al infinito, imposible de pensar en él. Es mayor que el número de átomos que se estima que hay en el universo conocido. El mensaje que nos traen estos

cálculos es que las proteínas que existen, todas las que existen, son solamente una fracción infinitesimal de las que pudieran existir, y siempre habrá nuevas proteínas que descubrir y estudiar.

De todo nos habla este libro en sus 423 páginas. Intentemos ahora leer más allá de lo que dice.

Las nano-micro-biotecnologías son esencialmente ciencias de convergencia. Surgen de convergencias entre campos de la ciencia antes separados y, a su vez, generan nuevas convergencias, de orden superior. Cuando dos campos de la ciencia antes separados convergen, la consecuencia suele ser una explosión de conocimiento nuevo y de nuevas posibilidades tecnológicas. Así, de la convergencia entre la cibernética y las telecomunicaciones surgió la informática moderna, que está cambiando el mundo. De la convergencia entre la ingeniería bioquímica (la de las fermentaciones) y la biología molecular surgió la biotecnología moderna, que también está cambiando el mundo. Y de la convergencia de la ciencia de los materiales, la física en la escala nano, la química de los polímeros, las propiedades de las macromoléculas biológicas, y otros ingredientes más, surgen las nanociencias, de las que se habla en este libro. Fue un territorio en disputa entre las disciplinas tradicionales.

Llevando esta presentación al plano anecdótico, recuerdo discusiones que tuvimos aquí en esta Universidad en los años sesenta, cuando reclamábamos una atención diferenciada a la química-física de las proteínas, pues este campo para los químicos (concentrados en los polímeros sintéticos) pertenecía a la biología, mientras que para los biólogos, estudiosos de las especies y el metabolismo, era un campo que pertenecía a la química. La química-física de las proteínas quedaba en «tierra de nadie». De nanotecnologías no se hablaba entonces, pues el término fue acuñado por primera vez por el físico premio Nobel Richard Feynman en 1959.

Esa es la convergencia que da origen a las nanotecnologías. Pero la historia no termina ahí, porque moviéndonos a planos superiores de integración, surgen nuevas convergencias, y así los estudiosos de las tendencias de la ciencia y la tecnología hoy identifican cuatro tecnologías convergentes: la informática, la biotecnología, la nanotecnología y las ciencias cognitivas. Y sugieren que de la integración entre estas surgirán las tecnologías del futuro. Son, para usar otro término de moda, tecnologías

capacitantes, es decir, tecnologías «madre», de las que derivarán nuevas tecnologías específicas.

Estas convergencias de orden superior tienen enormes implicaciones:

- Para el desarrollo de nuevos materiales.
- Para el cuidado del medio ambiente.
- Para el desarrollo ulterior de la computación. Tengan en cuenta que la microelectrónica llega a su límite en las 0.1 micras, y de ahí para abajo aparecen efectos cuánticos que solo son operables a escala nano.
- Para el surgimiento de nuevas tecnologías de fabricación, especialmente la llamada fabricación aditiva, dirigiendo la adición de nuevos materiales, lo que contrasta con la fabricación sustractiva, que es como funcionan las fábricas de hoy.
- Para el surgimiento de nuevos sensores y robots.
- Para el surgimiento de nuevos fármacos y sistemas de diagnóstico.
- En fin, *para mejorar la interacción entre el hombre y el mundo material.*

El libro hay que leerlo en esas dos direcciones:

- Cómo la convergencia de disciplinas previas origina las nanotecnologías.
- Y cómo las nanotecnologías originan nuevas convergencias de orden superior, al tomar contacto con la biotecnología (tema de este libro), la informática, y las ciencias cognitivas.

La interacción entre las nanotecnologías y las ciencias biológicas hay que leerla también en ambas direcciones. Por una parte está la contribución de la ciencia de las nanoescalas a la comprensión de cómo funcionan los sistemas vivos; es decir, de cómo se genera el orden biológico a partir de las propiedades fisicoquímicas de niveles inferiores de organización. Y cómo los sistemas biológicos procesan la información, de nuevo en el sentido de Shannon, para la reducción de incertidumbre. La biología del futuro se parecerá cada vez más a las ciencias de la información.

Pero también en sentido inverso hay que intuir cómo las ingenierías utilizan cada vez más conceptos y arquitecturas de sistema que provienen de las ciencias biológicas. Fenómenos tales como:

- La especificidad y sensibilidad de las interacciones.
- La capacidad de autoensamblaje.
- La robustez ante las perturbaciones externas.
- La capacidad de detección y reparación de errores o daños externos.
- La capacidad de comunicación.
- La arquitectura de las redes biológicas.

Fenómenos familiares para los biólogos, pero no tanto para los ingenieros, para los cuales todo esto requiere intervención exterior a los sistemas.

No sería posible concluir esta presentación (especialmente de un libro surgido de la Universidad y que estamos presentando en la Universidad) sin subrayar las implicaciones educativas que tienen las tecnologías convergentes, especialmente las nanotecnologías.

Todavía hoy la educación de científicos e ingenieros es fragmentaria, en espacios disciplinares más o menos aislados. Pero la convergencia de disciplinas previamente separadas no puede ocurrir sin la aparición de un nuevo tipo de profesional que comprenda en profundidad campos diferentes y pueda integrarlos. Esto va requerir nuevos currículos y posiblemente nuevas formas institucionales para la educación.

Hace 500 años, en el Renacimiento, había hombres como Leonardo da Vinci, y otros, capaces de dominar simultáneamente diferentes campos del conocimiento. Hoy la educación fragmentada por disciplinas nos produce un tipo de profesional que apenas logra dominar una pequeña fracción de la creatividad humana.

¿Cómo formaremos científicos y tecnólogos integradores de disciplinas diversas? Esa es la pregunta, y nadie sabe la respuesta, pero la pregunta es tan importante que vale la pena plantearla una y otra vez, y extraer sus consecuencias prácticas.

Hay que inducir a los alumnos a pensar a través de las disciplinas, y a desplegar capacidades de pensamiento inductivo a través de campos diversos, y no solamente de pensamiento deductivo, que es el que está en los libros de texto. Hagamos una apuesta precoz y visionaria en estos temas, tal como la hicimos (muchas veces guiados por la visión

de Fidel) en las ciencias médicas en los años setenta, en la biotecnología en los ochenta, en la informática en los noventa, y en otras tantas tareas donde asumimos que *es preferible saber a dónde vamos y no saber completamente cómo, que saber cómo y no saber a dónde.*

Termino con otra anécdota. Hace varias décadas había una novela de ciencia ficción donde el protagonista inventaba una máquina para viajar al futuro y desaparecía. En una escena final sus amigos descubren que se había llevado solamente dos libros para su viaje al futuro, y cuando uno de ellos pregunta, ¿cuáles se llevó?, otro le responde: No lo sabemos, ¿cuáles llevaría usted?

Si esa historia fuese hoy, y el protagonista fuese un científico, *yo le recomendaría que se llevara este.*

#### **Notas aclaratorias**

1. Versión de las palabras de presentación del libro Nano-micro-biotecnologías y sus aplicaciones (Editorial UH, La Habana, 2019) en la Universidad de La Habana el 1.º de julio de 2019.