

INGENIERÍA MOLECULAR. Duplicación del ADN y código genético. Parte 1 de 2

Autor:
Carlos J. Alés-Esteban Ing. Ind. por la ETS de Sevilla

1. INTRODUCCIÓN

Los éxitos alcanzados tecnológicamente por la Ingeniería tienen un paralelismo en los organismos vivos, a nivel molecular, que es aún difícil de explicar en su conjunto.

Cuando se analiza la actividad de la Química Orgánica, los retos y dificultades a los que se enfrenta, se observa cómo estos están resueltos con organización, cronología, documentación, exactitud, verificación, mejoras... y puesto que se trata de procesos químicos que sólo están sometidos a las leyes universales, su análisis resulta fascinante, cuando no increíble. Puesto que la evolución de la biología molecular no se rige por las "leyes" expuestas en su día por Darwin (y Wallace) para las especies, basadas en variación, supervivencia, selección natural y reproducción del más adaptado al entorno, falta por desarrollar una teoría que abarque las distintas tendencias que actualmente son aceptadas para explicar la evolución a nivel molecular de los elementos orgánicos (6).

El ingeniero, que partiendo de materiales, piezas, herramientas crea estructuras, máquinas, fábricas o complejos industriales y que es consciente de las dificultades superadas para alcanzar ese nivel tecnológico, se queda sorprendido al analizar como la química orgánica, a partir de simples moléculas, realiza procesos, crea elementos complejos y forma organismos vivos, tanto o más complicados que aquellos, con una facilidad inusitada, como si tuviese que ser así. Cuando se la estudia a nivel molecular se observa que tiene que hacer frente a muchas dificultades semejantes a las de la Ingeniería

y cómo las tiene resueltas con originalidad y por qué no, en ocasiones, con soluciones óptimas y coordinadas que requieren ciertas dosis de inteligencia. Esto adquiere, desde nuestro punto de vista, más mérito aún, cuando todo se realiza en un entorno donde los medios imprescindibles que usamos como planos, números, medidas, cronogramas o la comunicación verbal, no existen.

Si Ingeniería se podría definir como la "ciencia" que transforma los conocimientos en cosas útiles, de la química orgánica, se podría afirmar, que tiene la "capacidad" de crear cosas útiles sin tener conocimiento.

Los organismos vivos utilizan en sus procesos biológicos las propiedades de la energía libre, las fuerzas interatómicas, los enlaces moleculares fuertes y débiles, las concentraciones iónicas, la electricidad, las formas geométricas, etc. y los usan ejecutando procedimientos ordenados basados en criterios con lógica.

2. BIOLOGÍA. ALGUNOS CONOCIMIENTOS BÁSICOS

Para poder valorar como es esta ingeniería molecular hay que conocer algunas "herramientas" con las que trabaja la química orgánica. En este ar-

tículo solo se va a exponer un proceso, la duplicación del ADN en células con núcleo (eucariontes), y para entenderlo será suficiente conocer que son las proteínas y sus propiedades, la célula y su capacidad operativa y el ADN y sus características químicas y en una segunda parte se planteará un problema sobre el código genético.

2.1. PROTEÍNAS

Constituye la base fundamental de toda la Biología y por tanto de los organismos vivos. Lo primero que sorprende es su simplicidad ya que son solo cadenas que pueden adquirir formas geométricas estables. Estas cadenas usan, básicamente, 20 eslabones distintos llamados aminoácidos.

Un aminoácido está formado por tres únicos átomos, siempre los mismos, un nitrógeno (N), un carbono (C) y otro carbono (C), y su fórmula es $N-C(R_i)-C$; varían entre sí en un terminal diferente (R_i) que va unido al Carbono del centro. El resto de valencias se saturan con Hidrógenos y Oxígenos.

Para formar la cadena se unen el Nitrógeno (N) de un extremo y el Carbono (C) del otro con un enlace llamado Peptídico. Una proteína es, por tanto, una cadena continua que puede estar formada por decenas, cientos, miles de aminoácidos, uno pegado a otro y cuya estructura final es un sumatorio cuya fórmula sería $\sum_1^n -NC(R_i)C-$.

Que combine sólo 20 (R_i) laterales diferentes, no quiere decir que químicamente no haya muchos más aminoácidos posibles y distintos, pero la química biológica utiliza sólo esos 20, aunque eso sí, al combinarlos, crea miles de proteínas distintas.

A las proteínas se las podría equiparar en nuestra vida corriente con elementos tan distintos como los hierros del hormigón, motores que mueven máquinas, con las "instrucciones" de

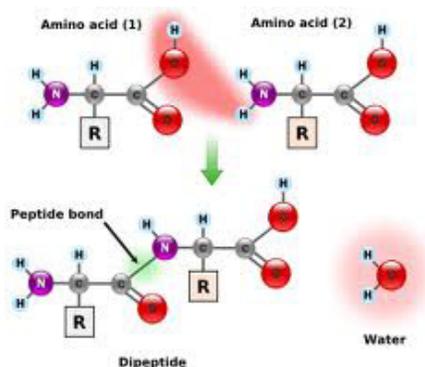


Fig. 1: Aminoácidos. Enlace Peptídico.

una obra e incluso equipararlas a toda una línea de montaje de una factoría, siendo en este caso, agrupaciones de proteínas que “trabajan” coordinadamente.

Es por tanto una molécula polifacética, ya que dependiendo del caso, posee propiedades estructurales o funcionales. Entre las proteínas más populares están la Insulina, o la Hemoglobina de los glóbulos rojos, la Miosina, gracias a la cual nuestros músculos se mueven, la Queratina que se encuentra en nuestros cabellos, piel o uñas, etc, pero hay otras, que como se verá, realizan la duplicación del ADN o el caso del complejo proteico Ribosoma que “traduce” el ADN y ensambla los aminoácidos para formar nuevas proteínas.

Para un ingeniero, la proteína sería un elemento-herramienta-maquina perfecto y desde un punto de vista biológico, lo es.

2.2. LA CÉLULA

La célula es la unidad básica viviente, es la Central Biológica donde se concentra una impresionante actividad interna característica de los seres vivos. Carece de cerebro, pero sí posee codificado un “manual” de instrucciones (ADN) y habría también que destacar que tiene necesidades permanentes que debe cubrir.

En los organismos pluricelulares, por ejemplo, la célula necesita una incesante intercomunicación con su exterior a través de la membrana citoplasmática que la delimita. Esta comunicación es tan importante, que si en las células animales, estas señales externas desaparecen, se desencadena un extraño proceso de autodestrucción programada que la lleva a su muerte y disolución (apoptosis de la célula). Este suicidio, que sorprende cuando ocurre en células perfectamente sanas incomunicadas, es necesario para el control de diversos procesos.

En un aspecto más positivo, la capacidad de reproducción que puede llegar a desarrollar una célula es extraordinaria. En el hombre existen unos 200 tipos diferentes de células, con una renovación permanente de los

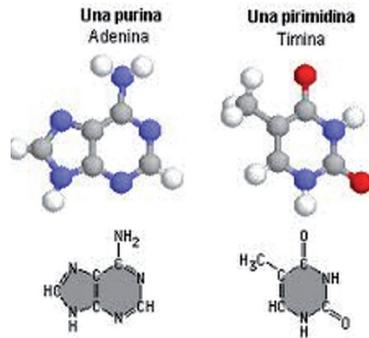


Fig. 2: Purina (A) y Pirimidina(T)

tejidos. Se considera que un individuo adulto posee más de 10^{11} células, todas ellas creadas a partir de una sola (cigoto) procedente de la unión del óvulo materno y el espermatozoide paterno. Esta proeza sólo se puede conseguir copiándose y duplicándose sucesivamente. Esto nos hace recordar la famosa historia del grano de trigo que se multiplica por 2 en cada casilla de ajedrez y que en la casilla 40 ya era superior a todo el trigo del planeta.

2.3. ADN. PURINAS Y PIRIMIDINAS

Es otra clave de la química orgánica. ADN son las siglas en castellano del ácido desoxirribonucleico, aunque generalmente, incluso en textos en español, se suele utilizar también las del inglés DNA.

El ADN es como un proyecto completo de Ingeniería “llave en mano”.

El ADN tiene un soporte físico material y unas letras. Está formado también por una cadena de eslabones unidos una y otra vez, en este caso por miles, millones, cientos de millones de veces.

El soporte son cuatro elementos básicos; un fosfato (P), un Oxígeno (O), un azúcar circular (la desoxirribosa) y otro Oxígeno (O). Por tanto, es en esencia, un sumatorio $\sum_1^n -PO(5)azúcar(3)O-$, donde n =millones. La molécula circular de la desoxirribosa (el azúcar) posee 5 carbonos que están enumerados del 1 al 5. La cadena siempre se construye incorporando elementos por el extremo 3→ del azúcar. Así pues el ADN solo

se puede engarzar en la dirección de la cadena 5→ 3.

Las letras o bases son moléculas llamadas Purinas (anillo doble de carbono nitrogenado) y Pirimidinas (anillo simple). Fig. 2.

La unidad básica del ADN está formada, por tanto, por un Fosfato + azúcar + Purina/Pirimidina, y se le llama nucleótido o base. Un conjunto completo de miles o millones de nucleótidos se denomina cromosoma.

En el ser humano, cada célula tiene dos conjuntos completos (células diploides) de 23 cromosomas por lo tanto tiene 46, la mitad procedentes del padre y la mitad de la madre. No todos los cromosomas humanos poseen el mismo tamaño, siendo el promedio de unos 140 millones de bases. Han sido numerados por el tamaño. El mayor, el 1, posee más de $247 \cdot 10^6$ bases y los menores, los 21 y 22, están formados por unas $45 \cdot 10^6$. A estos, hay que añadirles los que definen el sexo, el X femenino y el Y masculino, este último por cierto, uno de los más pequeños.

En total “un juego” completo de 23 cromosomas está constituido por unos $3 \cdot 10^9$ nucleótidos o bases.

2.3.1. La doble cadena del ADN

En 1953, en la revista *Nature*, James Watson y Francis Crick publicaron que el ADN era una doble hélice, dextrógira, unidas por bases (purinas/pirimidinas) y con enlaces covalentes débiles. En su estado normal, relajado, tiene un aspecto parecido a un collar de miles de perlas, ya que la cadena helicoidal, cada cierto número de bases (entre 20 y 40), rodea a unas proteínas llamadas Histonas, dando aproximadamente 1,7 vueltas (a este conjunto se le llama nucleosoma). Esto le permite ser una cadena recogida y compacta.

Por otro lado, los cromosomas no son “collares”, sueltos, sino que se mantienen sujetos en unas posiciones estables dentro del núcleo celular, lo que hace que aquello sea controlable; piénsese en 46 cadenas cromosómicas y sus miles de millones de nucleótidos en una pequeña célula que puede tener de diámetro 10 μ m.

Los elementos de unión entre las dos cadenas del ADN son las letras comentadas, y se acoplan de manera biunívoca; así la Adenina (que es una purina) forma un tándem con la Timina (que es una Pirimidina) de tal manera que si una de las cadenas tiene una Adenina, ésta está unida a la otra por la Timina y no por ninguna otra pirimidina.

Esta relación biunívoca permite la duplicación del ADN de una manera realmente ingeniosa, ya que “solo” hay que abrir el ADN (enlaces covalentes débiles), como una cremallera de ropa y tomando cada una de las dos cadenas como plantilla, se les puede ir añadiendo las purinas/pirimidinas complementarias, con lo que el resultado final son dos cremalleras idénticas, o mejor dicho, dos cromosomas idénticos, uno por cada plantilla.

3. PROCESOS DE INGENIERÍA BIOLÓGICA. DUPLICACIÓN DEL ADN

Aunque este artículo va a tratar sobre la Duplicación del ADN de una célula con núcleo, hay otros procesos biológicos tanto o más espectaculares aún: la división celular Mitosis y Meiosis, la lectura y traducción del RNA, el Ribosoma, el RNA mensajero, la recombinación homóloga del ADN, la Mitocondria, etc. un Biólogo fácilmente haría una lista de 20, 30 ó más procesos, todos sorprendentes, de lo que se podría llamar “Ingeniería Biológica”.

La Duplicación del ADN, al igual que los demás procesos, suele necesitar densos capítulos técnicos, por lo que, con el fin de adecuarlo al artículo, se ha intentado sintetizarlo al máximo y usando un lenguaje fácil, hacerlo lo más comprensible posible.

Sin ser el más espectacular, ni el más complejo, duplicar el ADN es uno de los procesos más productivos y precisos de la Naturaleza y su ejecución no es tan sencilla como parece indicar su enunciado, ya que se tiene que enfrentar a problemas de índole biológico, físico y de productividad.

3.1. LA PRODUCCIÓN. MILES DE MILLONES DE NUCLEÓTIDOS

Hagamos algunos números. En un ser humano hay aproximadamente cien mil millones de células. Una barbaridad. Cada una, al ser diploides, (dos juegos de cromosomas) tienen en su conjunto $2 \cdot 3 \cdot 10^9$ nucleótidos o bases, por lo que en un humano adulto hay unos $6 \cdot 10^{20}$ elementos ordenados con precisión que no han sido puestos masivamente al azar y al igual que las letras de un libro, en función de ese orden, tienen un significado y una interpretación exacta.

Como con los exponenciales, 10^{13} , 10^{15} , nuestro cerebro carece de referencias para evaluar su dimensión es necesario poner algún ejemplo comparativo para hacernos una idea aproximada de su magnitud.

Si se contabilizasen todos los nucleótidos que existen en un humano, contando de mil en mil por segundo, y este trabajo se hubiese comenzado en el origen del universo, hace 15.000 millones de años, en la actualidad se estaría en el entorno de $4,7 \cdot 10^{17}$ y habría que seguir contabilizando a esa velocidad durante 4.000 millones de años más, para alcanzar la astronómica cifra de las $6 \cdot 10^{20}$ bases del ADN contenidas en todas las células.

Hay más nucleótidos o bases en un humano que letras en todos los libros de todas las bibliotecas públicas del mundo (sirva de referencia de cálculo la Biblioteca Británica, una de las mayores, con 140 millones de libros, que suponiendo una media de $6 \cdot 10^6$ letras por libro, se requerirían unas 700.000 bibliotecas). En definitiva, $6 \cdot 10^{20}$ elementos ordenados es una exageración y todo partiendo de una célula.

3.2. PRODUCTIVIDAD

Puesto que los $6 \cdot 10^{20}$ nucleótidos se han generado al alcanzar la edad adulta, supongamos 20 años, quiere decir que desde que se crea la célula primera, cigoto, y suponiendo un producción lineal durante ese tiempo, el cuerpo humano en su conjunto, tiene que sintetizar purinas/pirimidinas a una velocidad de 900.000 millones por

segundo durante unos cuantos años, aún usando vías de recuperación. Si la Astronomía sorprende, la Biología no lo es menos.

De esto se surge una conclusión: los organismos vivos, las células, “trabajan” de forma incansable e incesante.

Afortunadamente cada célula “sólo” tiene que enfrentarse en cada división en duplicar la no despreciable cifra de $6 \cdot 10^9$ nucleótidos.

3.3. LA ADN POLIMERASA

Es la maquinaria de ensamblaje, es decir, el conjunto organizado de proteínas que se encarga de duplicar el ADN. Para esta función necesita, como cualquier maquinaria, ayuda de otras proteínas que le preparen su labor.

El cromosoma tiene marcados muchos sitios de Inicio de la Duplicación, y cada 30 o 40 mil nucleótidos y en muchos puntos simultáneamente, se acopla una ADN polimerasa. La proteína que reconoce esos puntos es la ORC y la que abre la “cremallera” es la Helicasa. Esta va seguida inmediatamente de la proteína SSB, que estabiliza (le pone un “capuchón” protector) a las purinas/pirimidinas de la cadena-plantilla abierta para que no interactúen con otros elementos químicamente activos de la célula.

Como la ADN Polimerasa necesita tener al menos un terminal $-(3)$ libre del azúcar para empezar a colocar nucleótidos (también en una cremallera se requiere tener unidos dos o tres unidades para poder empezar a cerrarla) esta labor la realiza la proteína Primasa que forma un empalme-cebador donde ya se puede adherir la ADN Polimerasa.

3.4. CADENA ADELANTADA Y CADENA ATRASADA

Hay sin embargo un problema químico aparentemente baladí, pero que lo complica todo extraordinariamente. Al ser el ADN dos cadenas complementarias, una de ellas tiene la dirección $\rightarrow(5)\text{-azúcar}(3)\rightarrow$ y su complementaria va en la dirección opuesta, $\rightarrow(3)\text{-azúcar}(5)\rightarrow$; pero las cadenas de ADN solo “pueden crecer” añadiendo nucleótidos en el extremo (3) ya co-

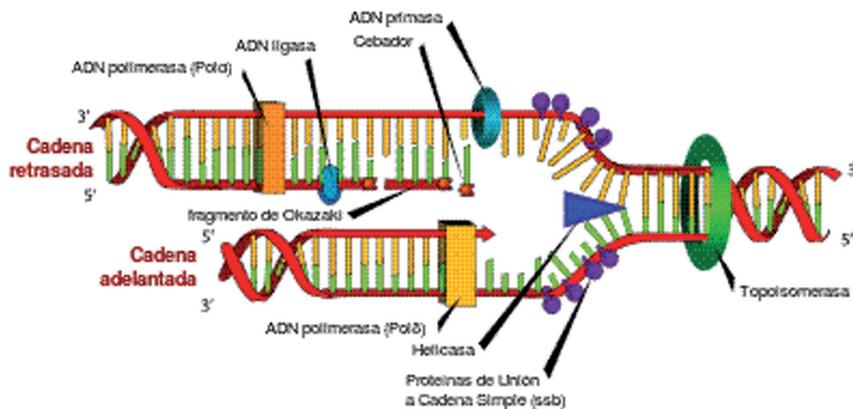


Fig. 3: Duplicación del ADN

mentado. Una de las plantillas abiertas, sobre la que se posiciona la ADN Polimerasa, le permite ir añadiendo nucleótidos en ese orden $\rightarrow(5)\text{-azúcar-(3)}\rightarrow$, y lo hace de forma continua; a esta cadena se la llama “cadena adelantada”; pero la otra no puede ir cumplimentándola en la dirección $\rightarrow(3)\text{-azúcar(5)}\rightarrow$; por ello, tiene que ir haciendo una labor ímproba, debe ir fabricando esta cadena pedacito a pedacito, de manera que la Helicasa le va abriendo un tramo suficiente del ADN, la Primasa le va creando un empalme- cebador 3’ y la ADN Polimerasa completa ese tramo (a estos tramos se les llaman fragmentos de Okazaki) y volver a empezar de nuevo, hacer otro pedacito y así hasta finalizar su plantilla. Estos fragmentos de Okazaki quedan finalmente unidos y de forma continua gracias a otra proteína, la Ligasa. Esta cadena -“cadena atrasada”- se duplica mucho más lentamente y marca la velocidad del proceso.

3.5. VELOCIDAD

La duplicación del ADN necesita una alta velocidad dado el número tan elevado de bases que tiene que aparear. Lo cierto es que las velocidades intracelulares siempre sorprenden al ser muy superiores a la que nos sirve de referencia, la nuestra corporal. La célula está sometida a una actividad frenética y sus ritmos están a nivel atómico/molecular, siendo en numerosas ocasiones

mil por segundo la unidad de referencia. Así, la ADN Polimerasa, puede colocar del orden de 100 nucleótidos/segundo, una velocidad alta sin duda, aunque bastante inferior a la que sintetizan las bacterias, unas 1.000 bases/segundo, ya que la mayoría de estas poseen un solo cromosoma circular, por lo que no tiene que enfrentarse al problema de la cadena atrasada.

3.6. PRECISIÓN

Pero si algo caracteriza a este proceso es la precisión. Un solo fallo en el orden de un nucleótido, una purina/pirimidina mal apareada, una “letra” mal puesta, puede hacer inviable un organismo completo; este problema tiene que estar resuelto con verdadera maestría ya que tiene que colocar adecuadamente en cada división $2 \cdot 3 \cdot 10^9$ nucleótidos.

En la ADN Polimerasa se encuentra una zona activa que es donde se produce el acople de los nucleótidos complementarios y se realiza con una gran precisión, pero a veces ocurre que la purina/pirimidina que se acopla no es la apropiada, (sin entrar en los motivos) y entonces la ADN Polimerasa es capaz de desplazar la cadena recién formada a una zona inmediata de reparación, donde una proteína elimina la incorporación errónea y una vez eliminado el error, devuelve la cadena plantilla al sitio activo de la duplicación para continuar. Mediante este

procedimiento se alcanza un grado de precisión de un error por cada 10^7 bases, un índice de calidad altísimo, pero, aun así, insuficiente. Para mejorar esta precisión se realiza un chequeo posterior del ADN ya sintetizado, un control de calidad, así tal y como suena, y mediante varios sistemas de reparación, realizados por las proteínas MSH, MLH y PMS, son capaces de reconocer el error, cuál de las dos cadenas es la nueva -y por tanto la errónea- y repararlo; con este control de calidad se alcanza una fiabilidad del orden de un error por cada 10^{10} nucleótidos, lo que es realmente increíble tratándose de un proceso químico.

3.7. IMPOSIBILIDAD DE REPLICAR LOS EXTREMOS

De nuevo la circunstancia aparentemente trivial de que la cadena del ADN se construye en la dirección $\rightarrow(5)\text{-azúcar-(3)}\rightarrow$ provoca que en los extremos finales del cromosoma (llamados Telómeros) no se pueda adherir o “armar” la proteína ADN Polimerasa. Esto hace que en cada división los cromosomas “fabricados” sean más cortos que los precedentes, con un pedacito de la cadena atrasada sin duplicar.

Por ello, las células somáticas, las que forman la casi totalidad de los órganos del cuerpo humano, cada vez que se produce una división acortan sus cromosomas, hasta que llega un momento en el que, tras sucesivas divisiones, el recorte afecta a alguna zona importante del ADN o a la consistencia de su estructura y el ADN duplicado no es útil para su finalidad; esto quiere decir que el organismo tiene un ciclo biológico definido y por tanto una edad limitada de vida, siendo uno de los diversos motivos de la longevidad del ser humano. Esta pérdida es un factor por el que incluso se puede determinar la edad de un organismo.

Si las células germinales (en los aparatos reproductivos masculino y femenino y que transmiten la herencia a los hijos) no tuviesen resuelto este problema, los cromosomas que se van reproduciendo de padres a hijos, serían cada vez más cortos, y desaparecería

la especie. Obviamente esto no ocurre. Esto es debido a que estas células poseen una proteína llamada Telomerasa que, en la duplicación del ADN, crea unas bases repetitivas inútiles, que solo sirven para alargar el cromosoma y que no se acorte en las sucesivas divisiones. Para ello utilizan, a nivel proteico, el ya clásico e ingenioso sistema de encofrados deslizantes con el que la ingeniería humana construye el tablero de un puente de hormigón o la chimenea de una central térmica.

Como curiosidad, las células cancerígenas suelen disponer de la proteína Telomerasa, con lo que se pueden repetir indefinidamente, sin que se acorten sus cromosomas.

3.8. ENREDOS

También, y para finalizar la descripción del proceso, a medida que se van creando los dos cromosomas

nuevos, unas proteínas Condensina y Cohesina, la primera, a modo de lacito, hace que el “collar” quede recogido como un trébol ordenado, y la segunda evita que los dos cromosomas resultantes se mezclen con los otros 45 que se están replicando. Simultáneamente, tres proteínas, CAF-1, RCAF y NAP-1, van fabricando las histonas donde el ADN se va enrollando para que quede más compacto.

3.9. RESUMEN

Es posible que el lector tenga ahora cierto lío sobre qué es lo que hace la célula para lo que parecía tan sencillo, como era duplicar el ADN. Hay motivo, pues aunque simplificado el proceso al máximo, se han descrito 19 proteínas y sus actividades asociadas: ORC (Reconoce), Helicasa (abre), Primasa (inicia), SSB (estabiliza), ADN Polimerasa α , β , θ , (duplica, degrada),

Ligasa (une), Topoisomerasas (desenreda), MSH, MLH, PHS (corrigen), Cinasas (controlan), Telomerasa (alarga), Cohesina, Condensina (ordenan), CAF-1, RCAF, NAP-1 (forman histonas).

Por tanto la duplicación del ADN es una maestría de productividad y precisión, a una velocidad sorprendente, con una coordinación de proteínas asombrosa y donde se aprecia como la química orgánica ha ido solventando todas las dificultades asociadas a lo que en nuestro argot se llamaría un proceso complejo. En definitiva, una obra de arte de “Ingeniería Biológica”.

Con la descripción de este proceso se ha pretendido, desde un punto de vista técnico, acercar al Ingeniero-lector el asombroso mundo de la Biología y si ha creado una cierta curiosidad o dado a conocer algo nuevo, ya es mucho más de lo que se podía esperar.

Purificación del aire mediante conjuntos estables de átomos de oro

Fuente: Goldemar Solutions

Autores: Ernest Mendoza Gómez, Marta Santiago Redondo y Jordi Llorca Piqué

Actualmente, la contaminación atmosférica en todas las comunidades autónomas de España supera los niveles permitidos por la directiva comunitaria y la Organización Mundial de la Salud (OMS). La exigencia de cumplir los objetivos fijados por dichas organizaciones, además de una mayor conciencia social, hacen de vital importancia desarrollar una tecnología eficiente y versátil para poder purificar el aire.

Las principales causas de la mala calidad del aire son antropogénicas e incluyen diferentes contaminantes atmosféricos como: monóxido de carbono, plomo, ozono, óxidos de nitrógeno,

partículas, dióxido de azufre y compuestos orgánicos volátiles (COVS).

De entre los potenciales contaminantes del aire, los compuestos orgánicos volátiles despiertan especial atención por ser muy nocivos tanto medioambientalmente como para la salud humana. De hecho, los COVs se consideran: i) precursores del ozono estratosférico, ii) destructores del ozono estratosférico y iii) contribuyen a la formación del smog fotoquímico, al reaccionar con otros contaminantes atmosféricos (como óxidos de nitrógeno) y la luz solar. Por definición, estos tóxicos son sustancias químicas orgánicas que emiten vapores con gran facilidad a temperatura ambiente y se encuentran tanto en el aire exterior (liberados por la quema de combustibles tales como gasolina, madera, carbón o gas natural) como en el aire interior (liberados por disolventes, pinturas, y otros productos que habitualmente se

emplean y almacenan en los hogares, en los lugares de trabajo o en la industria). Ante este escenario y teniendo en cuenta la reducción de la UE prevista para el 2020 (50 % de las emisiones de COVs en aire en comparación con los niveles de 2005, Protocolo de Gotteborg, 2006) no es de extrañar, que minimizar la presencia de estos compuestos en el aire sea uno de los mayores retos tecnológicos que existen hoy en día. Diferentes metodologías para la purificación de aire han sido desarrolladas utilizando por ejemplo sistemas catalíticos, fotocatalíticos, adsorbentes o tecnologías de oxidación promovidas por ozono. Sin embargo, la mayoría de estas soluciones presentan una eficiencia limitada en condiciones ambientales y requieren un agente externo, aumentando considerablemente el coste global del proceso.

Goldemar Solutions presenta la solución ideal a los problemas de con-

taminación del aire utilizando como catalizador clusters de oro de un tamaño sub-nanométrico i.e. ≈ 1.4 nm. Dichos clusters son un grupo de aproximadamente 45 átomos de oro que forman configuraciones específicas y presentan extraordinarias propiedades catalíticas en la oxidación de moléculas orgánicas a temperatura ambiente. Sin embargo, para que esta clase de materiales exhiban alta reactividad, en condiciones suaves, estabilizar el tamaño de las partículas es crucial, ya que al superar los 3 nm el oro pierde esta especial propiedad.

Las imágenes de microscopía (Figura 1) muestran el producto ofrecido en diferentes estados, acuoso y sólido. En todos los casos, las partículas de oro obtenidas son homogéneas en forma y tamaño, con una distribución de tamaño de partícula centrada entre 1 y 1.5 nm.

Los clusters de oro se encuentran normalmente en fase sólida estabilizados sobre un soporte poroso inorgánico y en forma de polvo. Asimismo, y como ventaja adicional a la gran actividad catalítica presentada, se debe destacar que

nuestro producto satisface necesidades particulares; ya que tanto la cantidad de oro que contiene el producto, como el soporte escogido para su estabilización, se optimizan dependiendo exclusivamente de cada aplicación. Por ejemplo, purificar el aire en un ambiente cerrado sería tan sencillo como dispersar nuestro producto en los filtros de sistemas de aire acondicionado o ventilación.

Diferentes estudios catalíticos realizados para eliminar diversos contaminantes como monóxido de carbono, o compuestos orgánicos volátiles, incluyendo aldehídos, compuestos aromáticos, alcoholes y cetonas, ponen de manifiesto la alta actividad catalítica de los clusters de oro en condiciones de operación normales. Para tener una idea de la reactividad demostrada por los clusters, podemos decir que 0.15 gramos de material, que contiene 125 microgramos de oro, es capaz de convertir 1400 ppm de CO a CO₂ o eliminar selectivamente el 80% de formaldehído presente en el ambiente de un laboratorio de química general. Paralelamente, se ha examinado la

estabilidad de los clusters de oro, sometiendo a continuos ciclos de envejecimiento térmico hasta 850°C, manteniéndose la actividad catalítica constante.

La excelente actividad catalítica, estabilidad y selectividad a CO₂, hacen nuestra tecnología muy versátil para su uso en diferentes sectores relacionados con la purificación del aire como son: i) Automoción, ii) Purificación de aire en espacios cerrados (aviones o submarinos), iii) Purificación del aire interior en casas, hospitales, laboratorios químicos o industria iii) Mejora de los equipos de protección individual, y iv) Total eliminación de malos olores producidos por moléculas orgánicas.

Las ventajas de utilizar clústeres de oro quedan resumidas en tres palabras: SOLUCIÓN real de problemas aún sin medida, como son las emisiones de CO e hidrocarburos durante la puesta en marcha del motor del vehículo, MEJORA de la calidad de aire dentro de los espacios cerrados y MINIMIZACIÓN de costes al necesitar menores cantidades de metal precioso sin ningún input externo. ■