

SITUACIÓN ACTUAL Y PERSPECTIVAS EN EL EMPLEO DE ENZIMAS

Francisco J. Plou

Instituto de Catálisis y Petroleoquímica, CSIC, 28049 Madrid (España), fplou@icp.csic.es

Palabras clave: Biocatálisis, Biotransformaciones, Aprovechamiento de residuos

Gracias a su elevada actividad catalítica y notable especificidad, las enzimas se han convertido en un pilar fundamental para mejorar nuestra vida cotidiana (1). Las aplicaciones de estas proteínas catalíticas han ido creciendo de manera exponencial; así, el mercado de enzimas superó en 2022 los 12.000 millones de dólares, con una previsión de incremento anual hasta 2030 de casi el 7 % (<https://www.precedenceresearch.com/enzymes-market>).

Aunque todavía existen algunas aplicaciones con enzimas de origen animal y vegetal, la forma más eficiente de producirlas a gran escala es por fermentación sumergida de microorganismos. Para ello ha sido determinante el desarrollo de la microbiología industrial. En conjunto, la producción anual de enzimas supera las 10.000 toneladas.

En función de sus niveles de aplicación, podemos establecer dos grandes grupos de enzimas. Por un lado, tenemos las «enzimas industriales», que se producen a gran escala (habitualmente sin purificar o semipurificadas) y se emplean de forma masiva en detergentes, alimentación humana y animal, obtención de biocombustibles y *commodities*, etc. Por otro lado, las «enzimas especializadas» se producen en pequeña escala, con alto grado de pureza, y se utilizan en la industria farmacéutica, biosensores, análisis clínicos o en biomedicina.

Las enzimas disminuyen el impacto medioambiental de los procesos (2), ya que en su presencia estos se pueden llevar a cabo en condiciones suaves (presión atmosférica, temperaturas moderadas, medios acuosos, pHs moderados, etc.). Todo ello permite minimizar la generación de residuos y gases de efecto invernadero (3).

A comienzos del siglo XXI se produjo un cambio de paradigma en biocatálisis. Hasta entonces, la estrategia era adaptar el proceso a las características

de las enzimas disponibles. Sin embargo, desde el descubrimiento de la evolución molecular dirigida (4), lo que se modifica no es el proceso sino la propia enzima. A este desarrollo espectacular de la biocatálisis también han contribuido las técnicas de secuenciación, los avances en bioinformática, la síntesis de genes, las herramientas de *high-throughput screening*, el modelado molecular, las técnicas metagenómicas y, más recientemente, la inteligencia artificial.

En esta conferencia, desgranaré algunos de los retos futuros que se plantean para las enzimas. Entre ellos, cabe destacar su aplicación extensiva en procesos de química verde, el aprovechamiento de residuos (p. ej. plásticos), la implantación masiva en la industria farmacéutica, los nuevos desafíos en biomedicina o la obtención de energía limpia.

Agradecimiento. Agradecemos al Ministerio de Ciencia e Innovación la financiación a través de los proyectos GLYCOENZ-PHARMA (PID2019-105838RB-C31), SUST_CHIT_BIOPR (TED2021-129288B-C21) y ACYLGLUFLAV_APP (PDC2022-133134-C21). También se agradece a la Unión Europea por el proyecto LIFE21-ENV-ES-CYCLOPS (Ref. 101074544).

Bibliografía.

1. Plou F. (2016) *Qué sabemos de las enzimas*. Editorial CSIC-Catarata. España.
2. Wu S, Snajdrova R, Moore JC, Baldenius K, Bornscheuer UT. (2021) Biocatalysis: Enzymatic synthesis for industrial applications. *Angew. Chem. Int. Ed.* 60, 88–119.
3. Sheldon RA, Woodley JM (2018). Role of Biocatalysis in Sustainable Chemistry. *Chem. Rev.* 118, 801–838.
4. Alcalde M. (2012) Fundamentos de evolución molecular dirigida de enzimas. En: *Biocatálisis aplicada a la obtención de fármacos de alto valor añadido*. Sánchez Montero JM y Ortega Ortiz-de-Apodaca F, Eds. Editorial Real Academia Nacional de Farmacia. España, p. 289-316.