



TRANSFORMAR RESIDUOS PARA TRANSFORMAR NUESTRA SOCIEDAD

Gracias al conocimiento de las dinámicas con que los microorganismos pueden transformar un material, es posible diseñar bioprocesos que transformen residuos en materias primas para la industria.

Uno de los mayores retos de nuestro tiempo es reducir el impacto ambiental que causamos, logrando una sostenibilidad de nuestros procesos productivos que asegure nuestra prosperidad y la de generaciones futuras. El diseño racional de bioprocesos es una metodología que nos permitiría superar este reto.

Desde hace miles de años que los seres humanos hemos aprovechado los microorganismos para obtener productos como el pan, la cerveza y el yogur. Sin embargo, a nivel industrial la conversión microbiana no ha sido tan usada porque no siempre es rentable.

Pero eso está cambiando. “La ingeniería metabólica permite mejorar la eficiencia de los procesos fermentativos, además de expandir el espectro de productos que un microorganismo puede sintetizar” señala el profesor Camilo Suárez, quien lidera la línea de investigación en Diseño Racional de Bioprocesos en el grupo Bioprocesos y Flujos Reactivos de la UN.

Muchos de los avances en esta área se deben a las tecnologías ómicas (genómica, metabolómica, etc), disciplinas de la biología desarrolladas en los últimos años que permiten estudiar las secuencias y funciones de los genes, cómo se expresan y cuáles son sus reacciones bioquímicas y metabólicas.

Estas abren un camino para aprovechar uno de los grandes potenciales del país: su biomasa.

Transformación de biorresiduos en Colombia

En 2011 se presentó el atlas del potencial energético de la biomasa residual en el país, cuantificando el inventario disponible para la producción de energía. Esto también permitió identificar lo que podría ser valorizado a través de bioprocesos, objetivo de los trabajos de dos integrantes del grupo de investigación, Daniel Puerta y Leslie Avendaño.

El primero planteó la transformación del glicerol crudo, un subproducto de la industria del biodiesel que representa un 10% del combustible producido, que en el 2018 llegó a 552 mil toneladas según cifras de la Federación Nacional de Biocombustibles.

El problema es que a pesar de ser una sustancia de interés para la industria cosmética, farmacéutica y alimenticia, está contaminado con metanol, sales y ácidos grasos, haciendo que los procesos de purificación tengan un costo mayor al precio por el que se vende en el mercado.

Por eso, la investigación de Daniel Puerta buscó diseñar un bioproceso para obtener ácido propiónico a partir del glicerol crudo. Este ácido es usado en la industria de alimentos, perfumes, pinturas y medicamentos y la demanda del país requiere importarlo, lo que evidencia una oportunidad para aumentar la producción local.

Leslie Avendaño planteó obtener etileno a partir del gas de síntesis (syngas) producido por la quema controlada de biomasa residual como desechos de flores, cascarilla de arroz o bagazo



de caña de azúcar. El etileno se usa en la producción de bolsas plásticas y se puede convertir en óxido de etileno, estireno, PVC, etanol, ácido acrílico y poliestireno, compuestos usados para elaborar detergentes, surfactantes y envases de aislamiento.

Aquí entra el diseño racional de bioprocesos, que en ambos casos dio inicio con un análisis de caja negra en que se sabe la cantidad de sustrato - glicerol o syngas - que ingresa al biorreactor y la cantidad de producto que sale, pero no cómo se da la transformación en ácido propiónico o en etileno.

Recordemos que los bioprocesos usan microorganismos para lograr la transformación y con este enfoque de caja negra se determinan sus requerimientos energéticos o de 'alimento': cuánto sustrato necesitan para sobrevivir, cuánto para crecer y cuánto para generar el producto deseado.

"La termodinámica debe ser fundamental en los proyectos para determinar el balance de energía" explica el profesor Darío Gallego, integrante del grupo. Ese balance indica si la transformación o producto buscado en un proceso vale la inversión de energía requerida para conseguirlo.

Si el análisis termodinámico indica que es factible, se pasa al modelamiento de las reacciones bioquímicas y las rutas metabólicas que generan la transformación: el paso a paso. La ingeniería metabólica permite rediseñar las reacciones para que tengan funciones que naturalmente no tienen y así lograr la conversión buscada, bajo los parámetros termodinámicos establecidos.

¿Cómo? En ambas investigaciones se eligió la bacteria *E. coli* como un microorganismo chasis, llamado así porque se le insertan los genes de otros microorganismos que puedan generar las reacciones necesarias para la transformación. Esta bacteria es bastante usada porque tiene su secuencia genética bien identificada y al saber la proteína que es codificada por cada gen y la reacción que ésta cataliza, el bioproceso se puede diseñar con un menor grado de incertidumbre.

En la investigación de Leslie Avendaño se insertaron partes de bacterias acetogénicas que consumen monóxido de carbono (elemento predominante en el syngas) para generar etileno. En el proyecto de Daniel Puerta, se acopló un cultivo microbiano mixto y se estudiaron cuatro funciones metabólicas principales para identificar si se lograba transformar el glicerol en ácido propiónico.

"Si conozco muy bien cómo funciona el metabolismo del microorganismo y lo puedo representar a través de un modelo matemático, puedo hacer experimentos por computador para predecir cómo va a ser su comportamiento en condiciones cambiantes y reales" explica el profesor Suárez.

Gracias a esta posibilidad de análisis computacional, Leslie pudo identificar que, en una fase experimental, se deberían remover los genes del *E. coli* que consumen glucosa para que no interfieran con el proceso de consumo de monóxido de carbono que genera etileno. Y Daniel pudo construir una red metabólica que, además de transformar el glicerol en ácido propiónico, también degradaría el metanol presente en este residuo del biodiesel.

Perspectiva a futuro





La metodología de diseño racional de bioprocesos nos permite tener una mayor eficiencia al identificar, antes de una fase experimental, los bioprocesos con las mejores perspectivas de funcionamiento. Esto reduce el tiempo empleado y los recursos usados.

Pero su alcance podría ser mayor al acercarnos al cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible, un conjunto de metas globales para erradicar la pobreza, proteger el planeta y asegurar la prosperidad general.

Una gran fortaleza del grupo es su visión global. No solo se ocupan de los aspectos químicos y biológicos sino que también hacen valoraciones económicas - costo de la transformación vs precio producto en el mercado - que permitan identificar si sus hallazgos son rentables, facilitando su adopción por el sector productivo.

Al hacer factible el reuso o reciclaje de materiales se fortalecen sistemas de producción que demandarían muchos menos recursos y harían viables los propósitos de la economía circular. Estos beneficios también llegarían a los pequeños productores agropecuarios que pueden aprovechar los residuos de sus procesos como una fuente adicional de ingresos y así mejorar su calidad de vida.

Además, al ofrecer fuentes alternativas para la obtención de productos como el etileno - a partir de biomasa y no de procesos petroquímicos - o al facilitar la disposición de residuos al conseguir la degradación de contaminantes presentes en ellos - como el metanol en el glicerol crudo - se reduciría el impacto ambiental de varios sectores.

Esto no es sorpresa porque en el grupo han tenido claro que “nuestras investigaciones van dirigidas a ayudar a las sociedades a cumplir con los objetivos de desarrollo sostenible” reflexiona el profesor Suárez. Y gracias al conocimiento que se genera desde la academia, es posible soñar con alcanzar esas metas.

Palabras claves: diseño racional bioprocesos; ingeniería metabólica; tecnologías ómicas; biomasa residual; ácido propiónico; glicerol; syngas; etileno; biorreactor; análisis termodinámico; microorganismo chasis;

Imágenes Bioprocesos y Flujos Reactivos



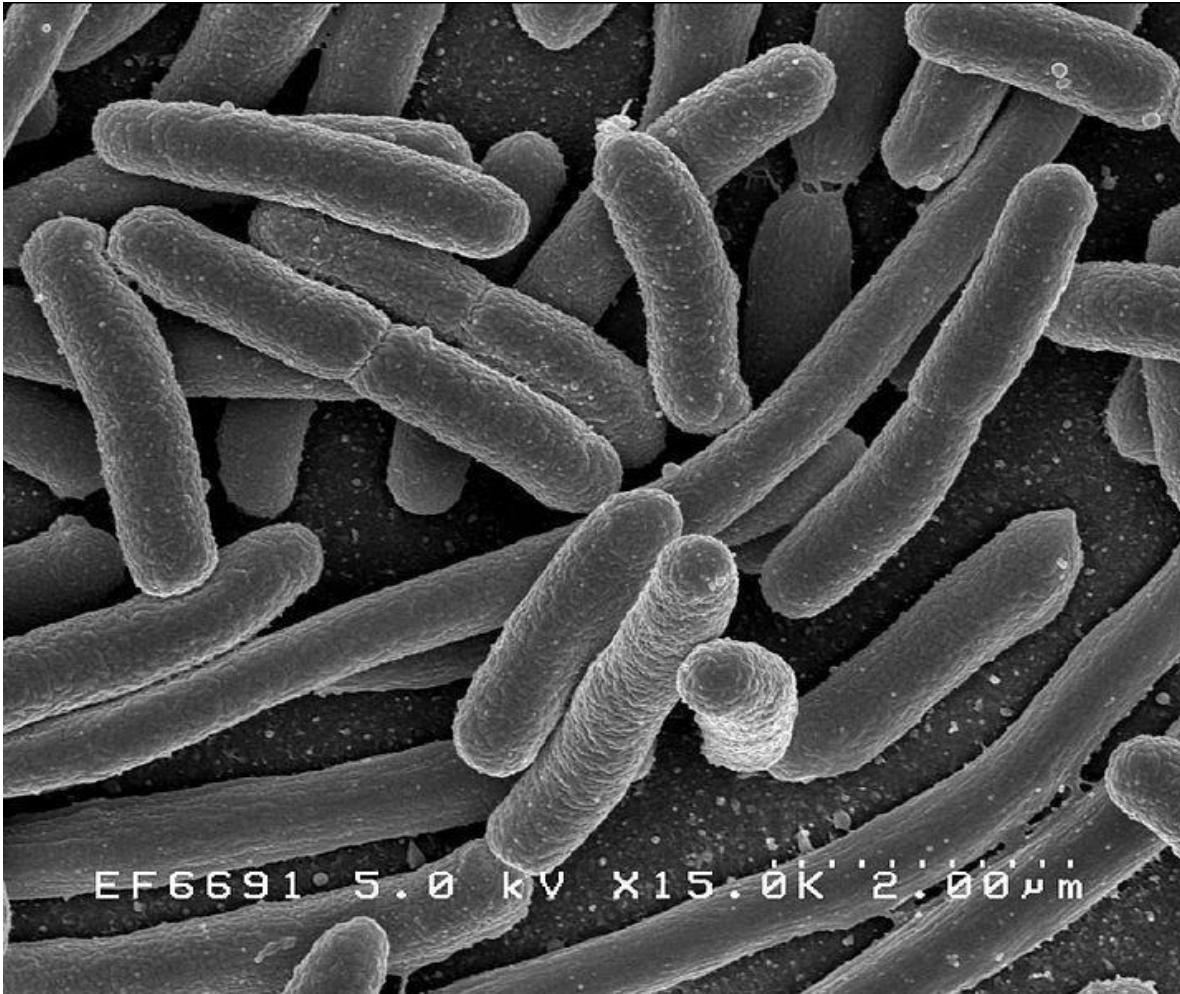
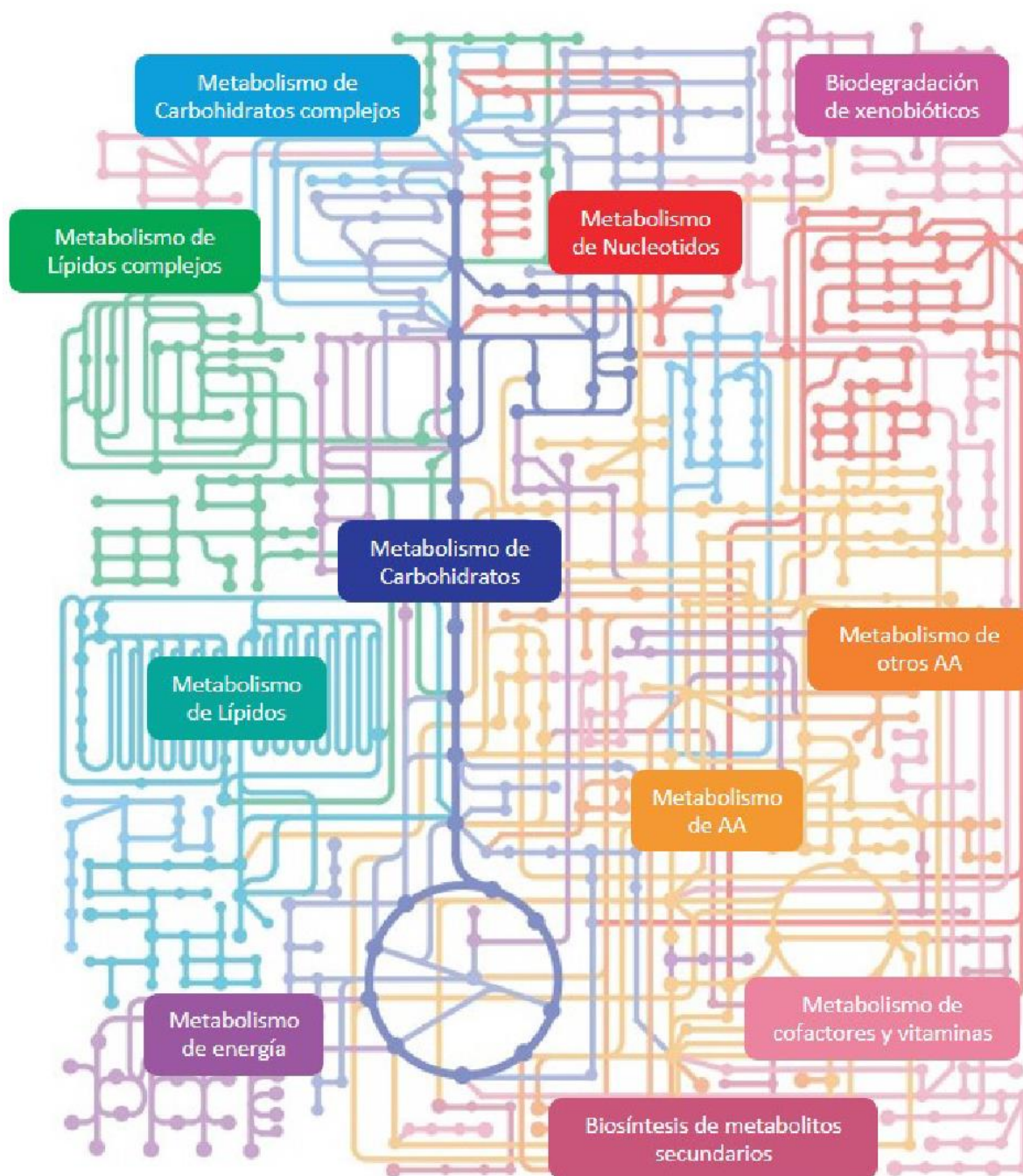
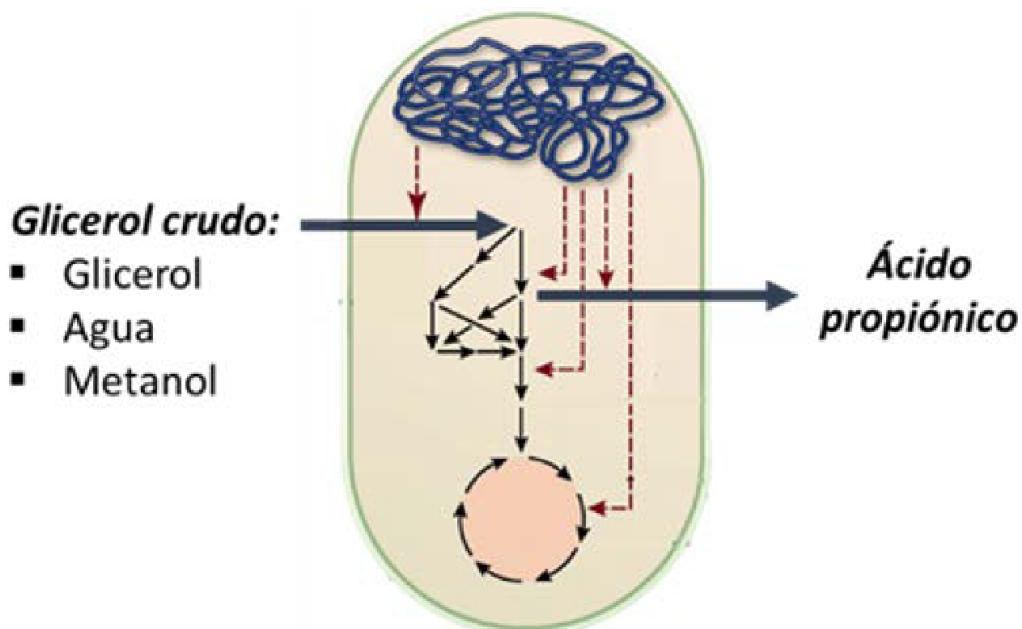


Imagen de E. Coli obtenida a través de microscopio electrónico (Tomada de Wikipedia. Crédito: Laboratorio de las Rocallosas NIAID, NIH)

https://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:EscherichiaColi_NIAID.jpg



Representación del metabolismo celular en microorganismos.



Esquema del microorganismo chasis diseñado para transformar glicerol crudo en ácido propiónico.

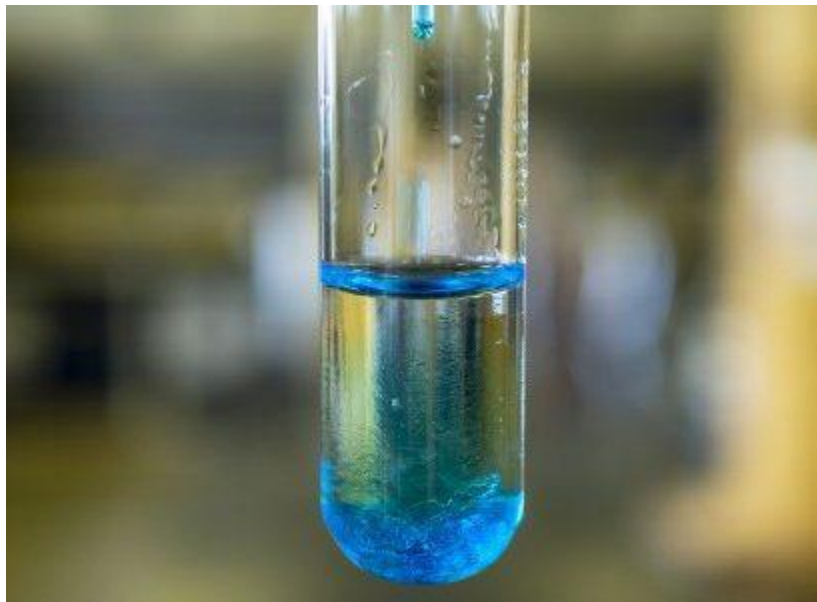
Las dos imágenes anteriores fueron tomadas de la tesis de Daniel Puerta Jiménez: *Diseño in silico de una red metabólica, a partir de cultivos microbianos mixtos, para un microorganismo chasis capaz de producir ácido propiónico a partir de glicerol crudo: aproximación desde la termodinámica y la ingeniería metabólica*



Cáscara de café. (Imagen tomada de <https://unperiodico.unal.edu.co/pages/detail/cascara-de-cafe-remueve-metales-pesados-en-rellenos-sanitarios/>)



Cascarilla de café. (Imagen tomada de <https://agenciadenoticias.unal.edu.co/detalle/article/concreto-sostenible-con-cascarilla-de-cafe.html>)



Glicerol crudo (Imagen tomada de <https://nutricionanimal.info/glicerol-un-subproducto-del-biodiesel-para-la-alimentacion-del-ganado/>)





Cultivos microbianos mixtos (Imagen tomada de <https://microorganismoseficientes.wordpress.com/2014/04/18/aplicacion-de-cultivos-mixtos-de-microorganismos-efectivos-para-aumentar-la-salud-y-produccion-de-los-cultivos/>)

