



# BioS: Biología sintética



Imagen: Moisés Sánchez

## Introducción

La Biología Sintética (BioS) se enfoca en la comprensión, diseño y construcción de nuevos sistemas vivos y sus componentes; desde genes, proteínas o partes de una célula, hasta organismos vivos genéticamente modificados (OGMs) y comunidades artificiales de microorganismos. Su objetivo es generar *sistemas biológicos sintéticos* (Sistemas-BS), que realicen funciones distintas o mejores a las que existen en la naturaleza, generalmente con aplicaciones tecnológicas.

La BioS maneja los sistemas biológicos de una manera similar a como se manejan los circuitos electrónicos; es decir, conformados por diferentes piezas que se pueden quitar, reorganizar o añadir, para producir sistemas con nuevas funciones. De esta forma es posible construir Sistemas-BS que combinen partes biológicas nuevas, rediseñadas o naturales, para obtener funciones novedosas que ayuden a enfrentar retos en áreas como energía, salud, agricultura y medio ambiente.<sup>1</sup>

Junto a los posibles beneficios, también se vislumbran importantes riesgos para la humanidad y el medio ambiente, que deben atenderse en sus diferentes niveles: sociales, éticos, económicos, políticos y de seguridad, para garantizar un adecuado desarrollo.<sup>1</sup>

## RESUMEN

- La biología sintética (BioS) es un área de investigación reciente, dedicada al diseño de nuevos sistemas vivos programables o a la modificación de sistemas biológicos existentes, para que puedan ejecutar tareas específicas útiles para el ser humano.
- Sus aplicaciones potenciales incluyen la producción de fármacos, alimentos, biocombustibles, energía, químicos para la industria y nuevas terapias médicas, entre muchas otras.
- Se estima que los productos derivados de la BioS alcanzarán en 2021 un valor global de mercado de \$11.4 mil millones de dólares.
- Estados Unidos de América (EUA), Reino Unido, China y miembros de la Unión Europea invierten estratégicamente para desarrollar sus capacidades científicas, tecnológicas y comerciales en BioS.
- Las oportunidades de desarrollo científico, tecnológico, social y económico son importantes, pero también implican riesgos para la sociedad y el ambiente, con sus consecuentes retos éticos, económicos, políticos y de bioseguridad.
- México debe crear una estrategia nacional de desarrollo en BioS que le permita: 1) salvaguardar la seguridad social y ambiental, 2) aprovechar sus ventajas y generar soluciones propias, 3) conocer, proteger y aprovechar su biodiversidad y patrimonio genético.

## Antecedentes

El concepto actual de la BioS surge en el año 2000,<sup>2</sup> gracias a diversos avances tecnológicos que han facilitado el estudio, modificación y síntesis artificial de moléculas biológicas como el ADN y las proteínas. Además, su desarrollo se ha acelerado recientemente, gracias a nuevas herramientas computacionales que facilitan el estudio de las funciones de los distintos elementos en la célula y sus interacciones.

La definición operativa de BioS, que expresa sus fundamentos y objetivos, fue acordada por la Conferencia de las Partes (COP) del Convenio para la Diversidad Biológica (CDB) que se llevó a cabo en 2016 en México (Recuadro 1).

### Recuadro 1. Definición operativa.<sup>3</sup>

*“La biología sintética representa un nuevo avance y una nueva dimensión de la biotecnología moderna que combina la ciencia, la tecnología y la ingeniería para facilitar y acelerar la comprensión, el diseño, el rediseño, la fabricación y la modificación de materiales genéticos, organismos vivos y sistemas biológicos”.*

## Aplicaciones y casos de éxito tecnológico

La BioS facilita la generación de tecnologías sin enfocarse en un área específica, por lo que sus productos y aplicaciones son muy diversos. Además, al ser una disciplina aún en desarrollo, no se conocen por completo sus alcances y limitaciones. Algunos ejemplos de productos logrados a la fecha son:

- **Organismos vivos con genoma sintético.** Se sustituyó todo el genoma de una bacteria por otro igual pero construido artificialmente y se estableció un precedente de las capacidades para crear organismos semi-sintéticos: con nuevos genomas y capacidades distintas a las naturales.<sup>4</sup>
- **Producción en microorganismos de químicos de interés industrial.** Al añadir genes de seres vivos (como plantas) a microorganismos sencillos (como algas, bacterias o levaduras), se ha logrado producir butanol, butadieno, isopreno, vainillina, ácidos grasos y varios precursores de medicamentos. Estos productos se usan en industrias como las de combustibles, cosméticos, alimentos y farmacéutica.<sup>4</sup>
- **Células especializadas para reconocer y destruir células cancerígenas.** Las células vivas de una persona fueron adaptadas para atacar tumores en la misma persona y generaron así un tratamiento personalizado y específico.<sup>4</sup>
- **Biosensores para detectar moléculas de interés.** Se han diseñado Sistemas-BS en bacterias que permiten generar una respuesta celular visible para indicar la presencia de arsénico en fuentes de agua. El arsénico es un contaminante altamente tóxico para las personas y su presencia en fuentes de agua representa un problema principalmente en Argentina, Bangladesh, Chile, China, India, Pakistán, México y EUA, según la Organización Mundial de la Salud.<sup>5</sup>

## Aplicaciones futuras

La BioS está en el centro de una revolución bioindustrial<sup>6</sup> y diversas áreas se podrían ver beneficiadas con su desarrollo (Tabla 1). Aún no es posible decir hasta qué punto serán realizables estas aplicaciones, pero se espera que la experiencia permita mejorar continuamente sus alcances, costos, predictibilidad y seguridad.<sup>6</sup> Para obtener beneficios de manera expedita y segura, además de los retos científicos, también deben atenderse los socioeconómicos, éticos, ambientales y legales.<sup>1</sup>

## Interés internacional

El **Foro Económico Mundial** reconoció a la Ingeniería de sistemas metabólicos, como una de las 10 tecnologías emergen-

tes del 2016, que permite modificar la capacidad metabólica de organismos vivos para producir compuestos químicos de alto valor agregado; la BioS y la Biología de sistemas facilitan estas modificaciones.<sup>12</sup> Distintos países como EUA, Reino Unido, China y miembros de la Unión Europea ya invierten en BioS como una tecnología estratégica para desarrollar su *bioeconomía* (el uso de recursos y procesos biológicos como palanca del desarrollo económico y social de manera sustentable).<sup>13</sup>

En 2011, el Reino Unido evaluó más de 170 tecnologías para invertir en aquellas que le representaran ventajas competitivas. La BioS fue elegida como una de las “ocho grandes tecnologías”, junto con *Big Data* (Nota INCYTU 001) y computación energéticamente eficiente; Satélites y aplicaciones espaciales comerciales; Robótica y sistemas autónomos; Medicina regenerativa; Ciencia agrícola; Materiales avanzados y nanotecnología; Energía y su almacenamiento.<sup>14</sup>

Algunas de las acciones que llevarán a cabo para desarrollar BioS son: un plan nacional de desarrollo; promover redes de colaboración; invertir en centros multidisciplinarios; desarrollar programas y centros educativos sobre BioS; promover el desarrollo del sector productivo, la transferencia de tecnología y la llegada de productos de BioS al mercado.<sup>6</sup>

EUA y la Unión Europea han realizado acciones similares<sup>15,16</sup> para desarrollar sus capacidades científicas, tecnológicas y comerciales en BioS.

## Relevancia económica y tendencia

El mercado global de BioS en 2016 se estimó en \$3.9 mil millones de dólares y se prevé que llegará a \$11.4 mil millones para 2021.<sup>17</sup> En 2015 había más de 50 productos obtenidos mediante BioS y en 2016 ya existían más de 400 empresas relacionadas, principalmente en EUA y Reino Unido, según el *Synthetic biology project* (del Centro Woodrow Wilson)<sup>18</sup> y la organización *SynBioBeta*<sup>19</sup>, respectivamente.

La mayor parte de este crecimiento ha ocurrido en la última década. Hasta 2016 se habían publicado más de siete mil artículos internacionales en BioS, con más de 97% generados en esa década (Figura 1).

México contribuyó con sólo 24 de estas publicaciones, posicionándolo en el lugar 27 a nivel mundial y el segundo en Latinoamérica después de Brasil.

## Posibles Riesgos

Algunos desarrollos en BioS representan riesgos potenciales porque sus productos pueden interactuar con seres vivos.<sup>4</sup> Los dos principales son:

1. Liberación al medio ambiente de manera no controlada o comportamientos no previsibles de Sistemas-BS que podrían causar una “contaminación viva”, capaz de proliferar, esparcirse y afectar irreversiblemente la biodiversidad y el equilibrio de los ecosistemas.<sup>4,20</sup>
2. Los usos malintencionados deben prevenirse y regularse. La BioS es una tecnología que puede emplearse de forma positiva y desafortunadamente, también negativa, como por ejemplo aumentar la virulencia de virus o bacterias para aplicaciones militares o bioterrorismo.<sup>21</sup>

Tabla 1. Ejemplos de Aplicaciones de BioS.<sup>4,7-11</sup>

Tecnología o aplicación	Ejemplos
Agricultura y alimentación	
Cultivos vegetales mejorados	<ul style="list-style-type: none"> <li>Resistencia a sequías o plagas.</li> <li>Mayor rendimiento en menor tiempo, con menor uso de suelo y fertilizantes.</li> <li>Producción de nutrientes adicionales.</li> </ul>
Agricultura celular	<ul style="list-style-type: none"> <li>Producción de lácteos, carne o huevo sin requerir animales.</li> </ul>
Producción de energía y químicos para la industria	
Biocombustibles	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nuevas moléculas de alto contenido energético para combustibles líquidos (Bioturbosina).</li> <li>Producción para aprovechar desperdicios biológicos y luz solar.</li> </ul>
Biominería	<ul style="list-style-type: none"> <li>Recuperar compuestos valiosos mediante microorganismos rediseñados para esta función.</li> </ul>
Biomateriales	<ul style="list-style-type: none"> <li>Materiales biodegradables de producción más rápida y sustentable.</li> </ul>
Producción de compuestos químicos de alto valor	<ul style="list-style-type: none"> <li>Producción en microorganismos de compuestos que normalmente se extraen de plantas, animales o síntesis química.</li> </ul>
Conservación del medio ambiente	
Biorremediación y tratamiento de desechos	<ul style="list-style-type: none"> <li>Comunidades artificiales de microorganismos para eliminar o extraer contaminantes de suelos, agua o aire y aprovecharlos como materia prima en otras aplicaciones.</li> </ul>
Restauración o protección de la diversidad genética	<ul style="list-style-type: none"> <li>Generar abejas resistentes a insecticidas.</li> </ul>
Medicina y Veterinaria	
Control de especies que dispersan infecciones	<ul style="list-style-type: none"> <li>Generar poblaciones de mosquitos modificadas genéticamente para prevenir la proliferación y dispersión del dengue.</li> </ul>
Bioproducción de medicamentos	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fármacos químicos o biológicos, probióticos, agentes antimicrobianos, etc.</li> </ul>
Sistemas-BS para terapias	<ul style="list-style-type: none"> <li>Virus o bacterias adaptados para detectar y eliminar células cancerosas.</li> </ul>
Biosensores	<ul style="list-style-type: none"> <li>Detección de moléculas químicas o biológicas para diagnóstico médico.</li> </ul>
Terapia génica, celular o personalizada.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Combatir células cancerosas al usar células modificadas de la misma persona.</li> </ul>
Vacunas recombinantes	<ul style="list-style-type: none"> <li>Elaborar vacunas a partir de producir componentes estructurales de virus o bacterias.</li> </ul>

Tecnología o aplicación	Ejemplos
Otros	
Sistemas-BS libres de células	<ul style="list-style-type: none"> <li>Biosensores hechos de partes biológicas, pero que no requieren estar en un célula viva para funcionar</li> </ul>
Almacenamiento y procesamiento de información	<ul style="list-style-type: none"> <li>Usar ADN para guardar información.</li> </ul>

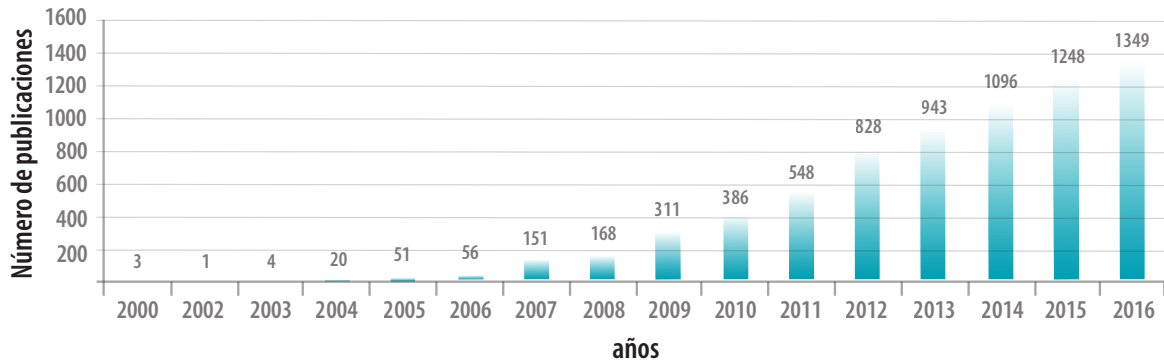
También se deben prevenir aplicaciones que pudieran favorecer a unos grupos pero que por otro lado signifiquen riesgos a gran escala.<sup>22</sup> Por ejemplo, Sistemas-BS para tratar la contaminación de un país o región, los cuáles al liberarse al ambiente podrían afectar negativamente los ecosistemas de otros países.<sup>23</sup> El grupo de Expertos para Biología Sintética del CDB<sup>20</sup> recomendó planear los avances de forma cuidadosa para mejorar el conocimiento y evitar riesgos. La liberación de Sistemas-BS puede tener efectos de largo plazo o irreversibles<sup>20</sup> por lo que se debe hacer un análisis integral, local y global, de los efectos que incluya la política que moldeará el desarrollo de la BioS y las bioeconomías.<sup>23</sup>

### Implicaciones éticas y socioeconómicas

De acuerdo al reporte *Ciencia para la política del medio ambiente: Biología sintética y biodiversidad*, de la *University of the West of England*, las implicaciones tanto positivas como negativas para la sociedad, se dan a diferentes escalas, por ejemplo:

- Los conceptos de naturaleza, vida y biodiversidad pueden verse modificados por nuestra capacidad de alterar la identidad genética de seres vivos y crear organismos mejorados.
- El facilitar la explotación de recursos genéticos sin garantizar una repartición justa de los beneficios puede agudizar la inequidad en el acceso a recursos naturales o de salud.
- Se puede beneficiar económicamente al sector agrícola con el aumento en la demanda de materia prima, pero debe evitarse fomentar la sobreexplotación de suelos y desplazar a pequeños productores en favor de agricultura a gran escala.
- La BioS es socialmente benéfica si su desarrollo se basa en la conservación y sustentabilidad en lugar de intereses comerciales. Por ejemplo si favorece el desarrollo de proyectos enfocados en necesidades sociales, en lugar de la actual política de uso de algunos OGMs cuyo diseño refleja principalmente intereses económicos.<sup>24</sup>
- Podría sólo generar parches y arriesgar el desarrollo de soluciones de fondo para la conservación de biodiversidad.
- Existen casos donde, al reducir la demanda de ciertas plantas o animales para obtener compuestos químicos valiosos, se afecta las fuentes de ingreso de las comunidades productoras. Por ejemplo, la producción de vainilla con levaduras modificadas genéticamente y su venta como "natural", podría desplomar el precio de la vainilla producida por los agricultores en países como México, Madagascar y Uganda y afectar el estilo de vida y sustento de varias comunidades.<sup>25</sup>

Figura 1. Número de publicaciones científicas asociadas a BioS (2000-2016).<sup>30</sup>



## Regulación

Existen dos regulaciones internacionales del *Convenio sobre la Diversidad Biológica* que atañen directamente a la BioS:

1. *Protocolo de Cartagena*, sobre la regulación del desarrollo y uso de OGMs.<sup>9</sup>
2. *Protocolo de Nagoya*, sobre la repartición justa de beneficios por la explotación de recursos genéticos asociados al patrimonio de una comunidad.<sup>20</sup>

Respecto al uso malintencionado de la BioS, existe la *Convención sobre Armas Biológicas* para vigilar y controlar aplicaciones inadecuadas de sistemas biológicos.<sup>23</sup>

En 2016 la COP estableció que los desarrollos de BioS hasta ahora reportados se pueden regular como OGMs según el Protocolo de Cartagena. Se sugiere vigilar desarrollos que podrían no estar cubiertos por esta regulación y evaluar los riesgos e impacto también a nivel ambiental, socioeconómico y cultural.<sup>2</sup>

En 2017, el grupo *G20-Insights* publicó un comunicado sobre el papel que puede tener la BioS para lograr algunos objetivos de la *Agenda al 2030 para un desarrollo sustentable*.<sup>1</sup> Allí se sugieren temas que los miembros del G20 (donde México forma parte) deben discutir y atender, para conducir un desarrollo benéfico de esta disciplina y salvaguardar la seguridad de los ecosistemas y las personas. Los temas que mencionan son:

1. Desarrollar prácticas efectivas y seguras para la comercialización de productos derivados de BioS.
2. Establecer marcos regulatorios y protocolos para ensayos tanto clínicos como en el ambiente.
3. Clarificar y asignar responsabilidades sobre productos o proyectos riesgosos o fallidos.
4. Revisar y adaptar las leyes sobre propiedad intelectual para acoplarse a los retos que plantea esta disciplina.
5. Establecer procedimientos de gobernanza, regulación y manejo de riesgos.
6. Consolidar políticas para el desarrollo y aplicación de la BioS entre los miembros del G20.
7. Tomar medidas sobre la creciente comunidad de personas fuera de la industria y la academia que hacen desarrollos de BioS por cuenta propia o en agrupaciones civiles. Por ejemplo, las comunidades de *biohacking* (grupos dedicados a la manipulación del material genético de

forma experimental sin tener en cuenta las normas éticas y de seguridad aceptadas, o con fines delictivos), *Hazlo tú mismo* o DIYbio, por sus siglas en inglés.

8. Aplicar el principio precautorio a nuevos desarrollos de BioS, para evitar efectos irreversibles o efectos a largo plazo no previsible.

## Regulación en México

La *Comisión Intersecretarial de Bioseguridad de los Organismos Genéticamente Modificados (CIBIOGEM)*, creada en 2005, es el órgano del Poder Ejecutivo Federal encargado de establecer las políticas de seguridad respecto al uso de OGMs en México. Se tiene además una *Ley de Bioseguridad para OGMs*, basada en el Protocolo de Cartagena, que regula los siguientes aspectos:

- El uso confinado (por ejemplo, para investigación o educación)
- Liberación (experimental o comercial)
- Movilización y transporte
- Comercio y consumo
- Exportaciones e importaciones

En 2015, la *CIBIOGEM* formó un Grupo de Trabajo en BioS, formado por expertos de diferentes centros de investigación del país, para participar en discusiones internacionales sobre el uso de la BioS, así como desarrollar documentos técnicos en respuesta a solicitudes del *CDB*.<sup>26</sup>

## Biología Sintética en México

Actualmente existen numerosas empresas biotecnológicas y grupos de investigación en áreas asociadas a la BioS, como la biología de sistemas, ingeniería de rutas metabólicas, ingeniería genética, bioinformática, etc.

En BioS se reporta actividad desde 2006, con la participación de equipos de universidades mexicanas en la competencia más importante del mundo: la *international Genetically Engineered Machine competition (iGEM)* (Recuadro 2). Varios equipos mexicanos han participado cada año desde entonces. En 2009, con apoyo del *Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)* y la *Secretaría de Economía*, se certificó la Oficina de Vinculación y Transferencia de Conocimiento: BioSintética (Asociación Mexicana de Biología Sintética, A.C.). Su objetivo es



crear valor económico mediante proyectos de BioS, al asociar la academia con el sector productivo. BioSintética ha generado talleres nacionales, estudios sobre el crecimiento de BioS en países desarrollados y recomendaciones para que México logre un avance económico mediante BioS.<sup>28,29</sup>

En diciembre del 2017 se celebró en Irapuato, México, el Segundo Foro Nacional en Biología Sintética, organizado por la Red Nacional de Biología Sintética, un grupo de investigadores, estudiantes y emprendedores activos en esta disciplina.

#### Recuadro 2. Competencia iGEM.<sup>27</sup>

Es una competencia internacional en BioS organizada por la *Fundación iGEM* dedicada a la educación y desarrollo de BioS, así como la generación de una comunidad abierta y colaborativa. Cada año compiten alrededor de cien equipos universitarios de más de treinta países. El objetivo es desarrollar aplicaciones con recursos públicos de BioS, como son los *BioBricks*, genes que han pasado un proceso de estandarización para facilitar la construcción de nuevos Sistemas-BS.

### Áreas de oportunidad para México

Resumiendo las experiencias que han aparecido en reportes internacionales, junto con los estudios realizados por BioSintética y en entrevistas a expertos del país, se enlistan sugerencias y áreas de oportunidad para que México pueda obtener beneficios científicos, económicos y sociales a partir de su desarrollo en BioS.

#### Cómo desarrollar las capacidades en BioS de México

- Debe existir voluntad política para hacer de la ciencia un eje de desarrollo económico y de bienestar social.
- Generar un Plan Nacional de Desarrollo para BioS.
- Atender necesidades de salud, alimentación y medio ambiente del país, en vez de necesidades globales.
- Generar apoyos económicos de largo plazo (5 a 10 años) a proyectos en estas áreas.
- Apoyar las redes multidisciplinarias de BioS existentes en el país.
- Apoyar colaboraciones y sinergias a nivel nacional e internacional para acelerar la formación de capital humano y proyectos.
- Aprovechar los recursos libres para generar nueva tecnología que se pueda proteger y explotar.
- Mejorar la comunicación entre actores: academia, sociedad, legisladores y empresas.
- Considerar la opinión pública, trabajar en investigación responsable y mejorar la percepción social de esta disciplina.

#### Áreas de oportunidad para México a partir de la BioS:

- Desarrollo de investigación básica que mejore la capacidad de diseño y control de nuevos Sistemas-BS (p.ej. bioinformática y otras disciplinas).
- Identificar, proteger y aprovechar los recursos genéticos asociados a la biodiversidad y a los conocimientos tradicionales del país.



- Generar una economía circular: impulsar el sector agrícola y aprovechar desechos orgánicos como materia prima en biorefinerías.
- Incorporar la BioS en procesos industriales actuales.
- Apoyar la formación de empresas enfocadas en atender necesidades locales mediante BioS.
- Mejorar el proceso de importación de material para investigación y desarrollar industrias locales que provean los insumos básicos del área.
- Estimular una colaboración mayor con Latinoamérica.

#### Ventajas competitivas:

- México cuenta con recursos para la agricultura (territorio y diferentes climas), aplicables a la producción de biomasa, economías circulares o cultivos mejorados.
- Existe un capital humano científico y tecnológico, con investigadores jóvenes, estudiantes y personas interesadas en generar un desarrollo mediante BioS.
- Se tiene una amplia biodiversidad para el estudio y aprovechamiento de sus recursos genéticos.

#### Desventajas comparativas

- Escasez de apoyos de largo alcance e inversión de riesgo para innovación, necesarios para desarrollar nuevas tecnologías.
- Falta de visión y voluntad política para generar un desarrollo económico y bienestar social a través del conocimiento, la ciencia y la tecnología.
- Falta de una cultura de colaboración e interdisciplina.
- Reglamentación en instituciones públicas que impiden a los investigadores aplicar comercialmente sus descubrimientos.
- Regulación excesiva que resulta limitante, con costos que no permiten la investigación o desarrollo por agentes fuera de intereses comerciales.
- Fuerte retraso frente a los países líderes, que llevan más de una década invirtiendo en el desarrollo de esta disciplina.

Dada la rapidez de avance de esta disciplina es muy importante que México desarrolle sus capacidades y evalúe los riesgos e intereses que simbolizan los distintos proyectos o productos derivados de BioS. Esto permitirá salvaguardar el bienestar social y ambiental de la nación, además de conocer, proteger y aprovechar su biodiversidad y su patrimonio de recursos genéticos. Finalmente, se debe crear tecnología propia de forma segura y responsable, que brinde un beneficio socioeconómico y evite una mayor dependencia tecnológica.

## Referencias

1. Kolodziejczyk, B. & Kagansky, A. Consolidated G20 synthetic biology policies and their role in the 2030 Agenda for Sustainable Development. G20 INSIGHTS (2017).
2. COP en el CDB. Decisión adoptada por la Conferencia de las Partes en el Convenio sobre la Diversidad Biológica XIII / 17. Biología Sintética. (2016).
3. Cameron, D. E., Bashor, C. J. & Collins, J. J. A brief history of synthetic biology. (2014).
4. The Scientific Committees. Synthetic Biology II Risk assessment methodologies and safety aspects. (2015).
5. Alejandro D Nadra, et al. Design and evaluation of an incoherent feed-forward loop for an arsenic biosensor based on standard iGEM parts. (2017)
6. Clarke, L. J. & Kitney, R. I. Synthetic biology in the UK – An outline of plans and progress. (2016).
7. New Harvest. Building the field of cellular agriculture. en <<http://www.new-harvest.org/>> (consultado en febrero 2018).
8. König, H., Frank, D., Heil, R. & Coenen, C. Synthetic genomics and synthetic biology applications between hopes and concerns. (2013).
9. Science Communication Unit, UWE, Bristol. Science for Environment Policy. Synthetic Biology and Biodiversity. (2016).
10. Jagmann, N. & Philipp, B. Design of synthetic microbial communities for biotechnological production processes. (2014).
11. Smith MT, Wilding KM, Hunt JM, et al The emerging age of cell-free synthetic biology. (2014).
12. World Economic Forum's Meta-Council on Emerging Technologies. Top 10 Emerging Technologies of 2016. (2016). en [http://www3.weforum.org/docs/GAC16\\_Top10\\_Emerging\\_Technologies\\_2016\\_report.pdf](http://www3.weforum.org/docs/GAC16_Top10_Emerging_Technologies_2016_report.pdf) (consultado en enero 2018).
13. Biotechnology and Biological Sciences Research Council (BBSRC). The bioeconomy en <<http://www.bbsrc.ac.uk/research/briefings/bioeconomy.>>
14. Research Councils UK. Timelines relating to the Eight Great Technologies: Synthetic biology. (2014).
15. ERASynBio. Next Steps for European Synthetic Biology: a strategic vision from ERASynBio. (2014).
16. Si, T. & Zhao, H. A brief overview of synthetic biology research programs and roadmap studies in the United States. (2016).
17. Bergin, J. Synthetic Biology: Global Markets. (2017). en <<https://www.bccresearch.com/market-research/biotechnology/synthetic-biology-markets-report-bio066d.html>> (consultado en enero 2018).
18. Synthetic Biology Project. Synthetic Biology Products/Applications. (2015). en <<http://www.synbioproject.org/cpi/applications/>> (consultado en enero 2018).
19. Synbiobeta. The Synthetic Biology Industry Annual Industry Growth Update. en <<https://synbiobeta.com/>> (consultado en enero 2018).
20. Ad Hoc Technical Expert Group on Synthetic Biology del CDB. Report of the Ad Hoc technical expert group on Synthetic Biology. (2017).
21. Nielsen, Linda. Ethics of synthetic biology. (2010).
22. Hollis, A. Synthetic biology: Ensuring the greatest global value. (2013).
23. Secretariat of the Convention on Biological Diversity. Synthetic Biology. (2015).
24. Global Network of Science Academies (IAP). IAP Statement on Realising Global Potential in Synthetic Biology: Scientific Opportunities and Good Governance. (2014).
25. ETC Group. What is synthetic biology?. (2016). en <[http://www.etc-group.org/synthetic\\_biology\\_explained](http://www.etc-group.org/synthetic_biology_explained)> (consultado en febrero 2018).
26. CIBIOGEM. Grupo de Trabajo de Biología Sintética. en <<https://www.conacyt.gob.mx/cibiogem/index.php/comunicacion/inf-grupos-tabajo/gt-bios>> (consultado en febrero 2018).
27. iGEM Foundation. International Genetically Engineered Machine Competition. en <[http://igem.org/Main\\_Page](http://igem.org/Main_Page)> (consultado en enero 2018).
28. Biosintetica, A.C.. Vigilancia competitiva de las naciones : estrategias, políticas y acciones nacionales para Biología Sintética en países desarrollados. (2011).
29. Biosintetica, A.C.. Strategic Guidelines for Synthetic Biology Industries in Developing Countries. (2010).
30. Web of science ([www.webofknowledge.com](http://www.webofknowledge.com))