



**La construcción socio-técnica de la biología sintética en México: entre
la apropiación privada y social del conocimiento**

**Tesis para obtener el grado de Doctor en Sociología dentro de la
línea de investigación Sociedad y Nuevas Tecnologías**

Maestro en Sociología Javier Pichardo Servín

DIRECTORA DE TESIS

Dra. Arcelia González Merino

Miembros del Jurado:

Dra. Michelle Chauvet Sánchez Pruneda

Dra. Rosa Luz González Aguirre

Dr. Rafael Pérez Miranda

Dra. Alma Amparo Piñeyro Nelson

Ciudad de México, a 03 de febrero de 2022

AGRADECIMIENTOS

La presente tesis es el producto de la formación y apoyo obtenido de mi *alma mater*, la Universidad Autónoma Metropolitana en sus distintas unidades, agradezco haberme acogido en sus aulas y pasillos desde la licenciatura en la Unidad Xochimilco, donde se sentaron las bases y se refrendó mi compromiso con el estudio, lo que se traduciría años después en la realización de la maestría y el doctorado en la Unidad Azcapotzalco.

Debo mi gratitud, aprecio y reconocimiento a la Dra. Arcelia González Merino por acompañarme y guiarme desde hace siete años como mi asesora, durante la maestría como el doctorado, su orientación, recomendaciones y apoyo en cada etapa fueron fundamentales para la conclusión de la presente tesis. Le agradezco el voto de confianza para la realización de la investigación, su dedicación, comprensión y la paciencia durante estos cinco años que duro mi doctorado, su acompañamiento no sólo me ha servido a crecer en mi vida académica sino también personal.

A la Dra. Michelle Chauvet Sánchez Pruneda por el acompañamiento como mi lectora y la sugerencia en cambiar el tema en el primer año de doctorado por el de biología sintética, sus atinadas recomendaciones, paciencia y críticas constructivas abonaron a la construcción y mejoramiento del trabajo, así como su importante apoyo como coordinadora de la línea de sociedad y nuevas tecnologías. A la Dra. Rosa Luz González Aguirre por las enseñanzas recibidas, al compartir sus conocimientos y experiencias del tema permitiéndome profundizar las reflexiones, les agradezco a las dos haberme acompañado desde la maestría, sus contribuciones y comentarios al presente trabajo me incentivaron a crecer y mejorar. Así mismo, al Dr. Rafael Pérez Miranda y Dra. Alma Amparo Piñeyro Nelson por aceptar ser parte del sínodo, su apoyo fue fundamental para presentar lo antes posible mi examen doctoral, en especial a la Dra. Piñeyro, por su revisión exhaustiva que posibilitó entregar una mejor tesis por sus atinadas contribuciones.

Por otro lado, también agradezco a las investigadoras e investigadores que estuvieron presentes durante todo mi camino en el posgrado, a la línea de sociedad y nuevas tecnologías como a todos sus integrantes -investigadores y alumnos-, a las personas que me permitieron entrevistarlas, sin sus aportes hubiera sido imposible realizar la investigación, y al Dr. Antonio Diéguez Lucena, por recibirme y acompañarme durante mi estancia de investigación en España.

Principalmente quiero agradecer a mi familia que están a mi lado en cada paso que doy, a mis padres que desde niño me han motivado a seguir creciendo como persona y superarme cada día, me dieron el impulso para seguirme formando académicamente hasta un posgrado, su motivación fue invaluable para la presente tesis, como hermanos y sobrinos, su apoyo, paciencia y comprensión por mis ausencias, enojos y estrés durante este tiempo, y el amor que siento ahora, que sin saberlo comenzó conmigo el doctorado y lo está acabando de igual forma, estoy más que agradecido por la paciencia que me tuviste, por escucharme en mis crisis de ansiedad y darme esos consejos, sé que no fue un proceso fácil.

De igual forma, mi más sincera gratitud al posgrado en la maestría y doctorado en Sociología de la UAM-Azcapotzalco, por brindarme los últimos siete años de mi vida la oportunidad de continuar mi formación académica y profesional. Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por haber financiado mis estudios por medio del programa de becas nacionales, sin su apoyo me hubiera sido imposible continuar mis estudios a nivel posgrado, dedicarme tiempos completo en mis investigaciones y cumplir con las metas, y a todas aquellas personas que me brindaron palabras de aliento y estuvieron acompañándome de alguna forma en la presente aventura, agradezco la comprensión, paciencia y consejos que me pudieron dar.

RESUMEN

La presente tesis analiza una historia poco conocida, la adopción y desarrollo de una disciplina emergente dentro de la biología como lo es la biología sintética, la cual se desenvuelve bajo dos lógicas de apropiación de los conocimientos a nivel mundial opuestas entre sí, ante la carencia de estudios que den cuenta de dichos procesos en los países en vías de desarrollo a pesar de los efectos y consecuencias negativas que podría traer para algunas naciones. La investigación se delimita al estudio de caso de México y dentro del marco temporal que parte del 2006 hasta el 2019, retomando los aportes teóricos de Hernán Thomas respecto a las trayectorias socio-técnicas que se desarrollan dentro de los Estudios Sociales de la Ciencia, Tecnología y Sociedad como marco de análisis.

Primero se reconstruyen de forma histórica y temporal las tres fases que ha vivido el país con la biología sintética, resaltando la participación de los actores centrales en el proceso que han marcado las pautas de desenvolvimiento y las orientaciones respecto a las formas de apropiación. Posteriormente, se exponen los problemas que traen consigo la biología sintética en el tema bioseguridad, principalmente en las formas de acceso y participación de los beneficios a partir de la utilización de los recursos genéticos como lo propone el Convenio de Diversidad Biológica (CDB), resaltando las implicaciones de la digitalización de las secuencias genéticas para el país.

Por último, se ponen a consideración los efectos de los derechos de propiedad intelectual retomando el papel de las patentes en el acceso a los recursos genéticos en México ante los vacíos legales en los cuales opera actualmente. Concluyendo que las dos opciones que plantea la biología sintética respecto a las formas de apropiación podrían tener impactos negativos para el país, donde se privilegia la forma de apropiación privada de los recursos genéticos.

ÍNDICE

Agradecimientos	3
Resumen	5
Lista de tabla	7
Lista de imágenes	7
Lista de gráficas	8
Lista de anexos	8
Siglas y Acrónimos	8
Introducción	11
Pregunta de investigación	16
Objetivo general	16
Hipótesis	17
Metodología	17
Capítulo 1. Reprogramando la vida: la biología sintética	19
1.1 ¿Qué es la biología sintética?	23
1.1.1 Definición, objetivo y características	27
1.1.2 Diferencia con otras disciplinas	36
1.1.3 Problemas y riesgos de la biología sintética	40
1.2 Desarrollo y evolución de la biología sintética	46
1.2.1 Etapa fundacional (2000-2004)	49
1.2.2 Etapa de desarrollo (2005-2010)	52
1.2.3 Etapa de expansión (2011-2019)	58
1.3 Aspectos comerciales y aplicación de la biología sintética	65
1.3.1 Industria de la biología sintética	68
1.3.2 Aplicación y productos de biología sintética	71
1.3.3 Impactos potenciales sobre la biodiversidad	75
Capítulo 2. Trayectorias socio-técnicas: entre la apropiación privada y social del conocimiento	79
2.1 Trayectorias divergentes	81
2.1.1 Trayectoria tecnológica	83
2.1.2 Trayectoria socio-técnica	86
2.2 El conocimiento y sus formas de apropiación	91

2.2.1 Construcción de la sociedad del conocimiento	96
2.2.2 La apropiación privada del conocimiento científico y tecnológico	99
2.2.3 La apropiación social del conocimiento científico y tecnológico	104
2.3 Gobernanza científica y tecnológica	109
2.3.1 Modos de gobernanza, alcances y limitaciones	112
2.3.2 Gobernanza de la ciencia, tecnología e innovación	119
Capítulo 3. La construcción socio-técnica de la biología sintética: dilemas en la bioseguridad y la propiedad intelectual en México	125
3.1 Trayectoria socio-técnica de la biología sintética en México	127
3.1.1 Etapa de adopción (2006-2009)	130
3.1.2 Etapa de expansión (2010-2014)	140
3.1.3 Etapa de desarrollo (2015-2019)	153
3.2 La bioseguridad y las implicaciones de la información digital de secuencias de los recursos genéticos en México	164
3.2.1 El Convenio de Diversidad Biológica en México: el acceso a los recursos genéticos y participación de los beneficios	168
3.2.2 La información digital de secuencias en México	175
3.3 Los derechos de propiedad intelectual y la biología sintética en México	180
3.3.1 Los derechos de propiedad intelectual y las patentes en la biología sintética	182
3.3.2 Los derechos de propiedad intelectual y el acceso a los recursos genéticos	186
Conclusiones	192
Bibliografía	209

Lista de tabla

Tabla 1. Definiciones sobre biología sintética	29
Tabla 2. Principio de ingeniería en la biología sintética	34
Tabla 3. Escalas de trabajo en la biología sintética	35
Tabla 4. Proyectos Finnova 2011-2013	143

Lista de imágenes

Imagen 1. Antecedentes disciplinares y tecnológicos	25
Imagen 2. Diseño y síntesis de un organismo	30
Imagen 3. Antecedentes de la biología sintética	47
Imagen 4. Equipos iGEM (2006-2009)	132
Imagen 5. Red de actores de la primera etapa (2006-2009)	136
Imagen 6. Equipos iGEM (2010-2014)	142
Imagen 7. Grupo de Trabajo ampliado en Biología Sintética	154
Imagen 8. Laboratorios de Biología Sintética en México	155

Imagen 9. Equipos iGEM (2015-2019)	159
---	-----

Lista de gráficas

Gráfica 1. Valor de la industria global en biología sintética	69
Gráfica 2. Mercado tecnológico en biología sintética	70

Lista de anexos

Anexo 1. Estancia de investigación en España	202
Anexo 2. Listado de entrevistados	204
Anexo 3. Publicaciones relevantes de la primera etapa	204
Anexo 4. Tesis sobre biología sintética	205
Anexo 5. Eventos de biología sintética (2010-2014)	205
Anexo 6. Integrantes del Grupo de Trabajo en Biología Sintética, sector académico	206

Siglas y Acrónimos

ABS: Acceso a los recursos genéticos y la distribución justa y equitativa de beneficios derivados de su uso y aprovechamiento
A.C: Asociación Civil
ADN: Ácido Desoxirribonucleico
ADPIC: Aspectos de los Derechos de Propiedad Intelectual relacionados con el Comercio
AERI: Alianzas Estratégicas y Redes de Innovación
AL: América Latina
AMEXBIO: Asociación Mexicana de Bioseguridad A.C
ARN: Ácido Ribonucleico
AST: Análisis Socio-técnico
ATHEG: Grupo de Expertos Técnicos Ad Hoc
BID: Banco Interamericano de Desarrollo
Biosintética A.C: Asociación Mexicana de Biología Sintética A.C
BM: Banco Mundial
BUAP: Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
CB: Ciencias Biomédicas
CCG: Centro de Ciencias Genómicas
CDB: Convenio de Diversidad Biológica
CIATEJ: Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco
CIBIOGEM: Comisión Intersecretarial de Bioseguridad y Organismos Genéticamente Modificados
CIDEB: Centro de investigación y Desarrollo de Educación Bilingüe
CIMAV: Centro de Investigación en Materiales Avanzados
CINVESTAV: Centro de Investigación y de Estudios Avanzados
COST: Construcción Social de la Tecnología
CONABIO: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad
CONACYT: Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología
COP13: Conferencia de las Partes sobre Biodiversidad
CRISPR: Repeticiones Palindrómicas Cortas Agrupadas y Regularmente Espaciadas
CTS: Ciencia, Tecnología y Sociedad
DIY: Do It Yourself
DPI: Derechos de Propiedad Intelectual
DSI: Información de Secuencia Digital

EBAMYyF: Escuelas de Biología, Arquitectura y Matemáticas y Física
EBQMyF: Escuelas de Biología, Química, Matemáticas y Física
ECTS: Estudios sobre Ciencias, Tecnología y Sociedad
ENMyH: Escuela Nacional de Medicina y Homeopatía
ESCOM: Escuela Superior de Cómputo
ESCyT: Estudios Sociales de la Ciencia y Tecnología
ESM: Escuela Superior de Medicina
ETC: Erosion, Technology, Concentration Group
EU: Estados Unidos
FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
FC: Facultad de Ciencias
FCB: Facultad de Ciencias Biológicas
FM: Facultad de Medicina
FQ: Facultad de Química
GATCorp: Biología Sintética Aplicada S.A.P.I. de C.V
GATT: Acuerdo General de Comercio y Aranceles
GT BioS: Grupo de Trabajo en Biología Sintética
IA: Instituto de Astronomía
IC: Instituto de Ecología
IE: Ingeniería Electrónica
I+D: Investigación y Desarrollo
IFC: Instituto de Fisiología Celular
IIMAS: Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y Sistemas
iGEM: International Genetically Engineered Machine
IPN: Instituto Politécnico Nacional
Langebio: Laboratorio Nacional de Genómica para la Biodiversidad
LBSyS: Laboratorio de Biología Sintética y Sistemas
LBOGM: Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados
MIT: Massachusetts Institute of Technology
NAS: Academia Nacional de Ciencias
NSABB: National Science Advisory for Biosecurity
PLACTS: Pensamiento Latinoamericano sobre Ciencia, Tecnología y Sociedad
OCDE: Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico
OGM: Organismos Genéticamente Modificados
OMC: Organización Mundial del Comercio
OMPI: Organización Mundial de la Propiedad Intelectual
ONU: Organización de las Naciones Unidas
OVM: Organismos Vivos Modificados
SAGARPA: Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación
SBOL: Synthetic Biology Open Language
SBSTTA: Órgano Subsidiario de Asesoramiento Técnico y Tecnológico
SEMARNAT: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
SYNBERC: Synthetic Biology Research Center
TAR: Teoría del Actor Red
Tec de Monterrey: Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey
TIC: Tecnologías de la Información y Comunicación
TIRFAA: Tratado Internacional de los Recursos Genéticos para la Alimentación y la Agricultura

TLC: Tratados de Libre Comercio

UACH: Universidad Autónoma de Chihuahua

UAM: Universidad Autónoma Metropolitana

UANL: Universidad Autónoma de Nuevo León

UCSF: University of California at San Francisco

UNAM: Universidad Nacional Autónoma de México

UPIBI: Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología

UPIIG: Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería Campus Guanajuato

USB: Universal Serial Bus

INTRODUCCIÓN

La biología sintética se caracteriza por ser convergente y multidisciplinar al articular cómo combinar una serie de tecnologías y conocimientos más allá de las ciencias biológicas, como las ingenierías e informática, se presenta como otra solución con grandes potencialidades para mitigar los impactos del cambio climático que actualmente sufrimos y la crisis agrícola. Este desarrollo no sería posible sin la injerencia de la ingeniería genética y la biotecnología moderna dados los progresos en las técnicas de secuenciación, decodificación del material genético, la síntesis y edición genética, el análisis genético por nuevas tecnologías de información y el almacenamiento por medio de programas de computación (González, 2018).

Actualmente la biología sintética se desarrolla bajo distintas controversias científicas por la falta de claridad de los alcances, oportunidades y riesgos asociados a su práctica, principalmente por el desconocimiento de las funciones del Ácido Desoxirribonucleico (ADN)¹ en articulación con otras secuencias genéticas y el comportamiento que tendrían las partes sintéticas en los organismos, no se puede calcular el impacto de la modificación de un sólo gen o su creación en un organismo. Lo que ha generado distintas discusiones respecto a la falta de debates que den cuenta de las consecuencias no deseadas, principalmente en la biodiversidad y las economías en desarrollo, ante la falta de una regulación adecuada debido al temor de que los marcos actuales de bioseguridad no sean suficientes por la disparidad en las discusiones y aplicaciones ante sus avances tecnológicos.

Para los países en vías de desarrollo, muchas veces los nuevos conocimientos disciplinares se desarrollan y adoptan como agendas de investigación exógena. En el caso de la biología sintética, viene acompañada con nuevas problemáticas como es la biopiratería de los recursos genéticos, entendida como una nueva modalidad de saqueo. Esto se debe a que representa un cambio de paradigma al intentar diseñar los organismos a partir de la programación de sus funciones, desvaneciendo las fronteras y nuestra comprensión de lo vivo² y lo no vivo, lo natural y lo artificial, al reconfigurar el paradigma que actualmente

¹El ADN es una de las moléculas más importantes para la vida, consiste de una doble hélice donde cada una de las cadenas es un polímero integrado por miles o incluso millones de nucleótidos. Cada nucleótido está formado por un azúcar (desoxirribosa), una base nitrogenada que puede ser adenina (A), timina (T), citosina (C) o guanina (G) y un grupo fosfato. La información fue obtenida de <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/710/secuenciacion.pdf>.

²Los biólogos han identificado varias características comunes a todos los organismos que conocemos. Aunque las cosas inanimadas pueden tener algunos de estos rasgos, solo los seres vivos poseen *todas*: organización, metabolismo, homeostasis, crecimiento, reproducción, respuesta a factores externos y evolución. La información fue obtenida de <https://es.khanacademy.org/science/biology/intro-to-biology/what-is-biology/a/what-is-life>.

domina la biología³ sobre la evolución⁴ ya que tiene la intención de crear nuevas formas de vida de forma asistida por programas de computación (Landeweerd y Peter, 2016; Macia y Solé, 2011).

Actualmente México no es parte de la vanguardia mundial respecto al desarrollo de conocimientos en ciencias biológicas, pero a nivel Latinoamérica tiene una fuerte presencia con la participación de universidades como la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), el Instituto Politécnico Nacional (IPN) y el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (Tec de Monterrey), que han creado una red extensa de facultades, institutos y laboratorios que contemplan carreras como la ingeniería biológica, genética o biomédica. Ante las deficiencias para impactar en los conocimientos de las ciencias de la vida a nivel mundial, promover nuevas disciplinas biotecnológicas e impulsar la economía en el país, la adopción de nuevos conocimientos disciplinares como la biología sintética, parecería ser la mejor opción para el desarrollo tecnológico ante las desventajas competitivas de acceso a nuevos conocimientos y tecnologías en México (Morones, 2010).

Por las características del país como periférico dentro del uso y circulación de los conocimientos científicos como tecnológicos, la adopción generaría una serie de incertidumbres y controversias dependiendo de los contextos en que se adopte, desarrolle, transfiera, impulse o se llegue a implementar, lo que podría representar un cambio de percepción frente a la biología sintética ante los posibles impactos y consecuencias no deseadas, por las deficiencias y falta de capacidades del país para hacerle frente a los nuevos retos tecnológicos que traerían consigo su adopción y uso, lo que se traduce en conflictos, controversias y luchas que ponen en cuestionamiento sus efectos y la legitimidad de su adopción para impulsar el desarrollo tecnológico, disminuir las brechas y desigualdades existentes vinculadas al acceso, producción, distribución, difusión y aplicación de los conocimientos científicos y tecnológicos con otros países (Kreimer, 2010).

³ La versión más actual de la teoría se deriva de la llamada Síntesis Moderna, que a la selección natural añade la explicación genética de la herencia e identifica a las mutaciones genéticas como fuente de variabilidad de las especies. Su resultado fue reconocer al menos cuatro procesos responsables de los cambios evolutivos. Estos procesos se conocen con los nombres de mutación, selección natural, deriva génica y migración. La información fue obtenida de <http://www.comoves.unam.mx/assets/revista/97/el-agente-secreto-de-la-evolucion.pdf>.

⁴La evolución es el proceso mediante el cual los organismos cambian con el tiempo. Las mutaciones producen variación genética en las poblaciones y el medio ambiente interactúa con dichas variaciones seleccionando a aquellos individuos que mejor se adapten a su entorno. Los individuos mejor adaptados tienen mayor descendencia que los individuos peor adaptados. A través de un periodo largo, una especie puede evolucionar en muchas otras. La información fue obtenida de <https://www.genome.gov/es/genetics-glossary/Evolucion>.

Una característica de los países periféricos, como pasó con la biología sintética en México, es que la ciencia se desarrolla de un modo posterior y a veces imitativo de aquellas naciones donde los conocimientos tienen un grado muy avanzado, usualmente llamados *centrales*, sus características dependerán directamente de la identidad, objetivos, fines e intereses de los actores que participen en su adopción, difusión y uso, los vínculos, alianzas y articulaciones que generan entre ellos por un fin específico o un tiempo determinado, lo que va a orientar sus trayectorias en el país (Kreimer, 2010).

Esto da pie para plantear la necesidad de hacer un análisis de la adopción de los conocimientos en biología sintética, al menos en México, ante los posibles efectos adversos, tomando en cuenta los diferentes actores involucrados en el proceso, donde los cambios en la orientación de las trayectorias son aspectos significativos para comprender las pautas de creación, adopción e implementación de los conocimientos disciplinares dentro de las ciencias biológicas, al menos en el país.

En este sentido, al ser una historia poco conocida para todos aquellos ajenos a las ciencias en general y principalmente las disciplinas biológicas, la presente tesis analiza a la biología sintética como disciplina aún emergente en México, poniendo en su justa dimensión el alcance que tiene respecto a otras disciplinas ya consolidadas, por medio de la reconstrucción de sus orientaciones en secuencias temporales, examinando el contexto en el cual se desarrolló, los procesos de institucionalización y difusión que permitieron diferentes tipos de innovación, que no necesariamente son tecnológicas como se podría pensar (Kreimer, 2010; Thomas, 1999:2008:2010:2013).

Esto se debe a que la innovación se define en función de los grupos y actores que participan en el desarrollo de la biología sintética, adquiriendo ese carácter a partir de que así sea percibida, lo cual es un proceso conflictivo, turbulento, de ensayo y error, de experimentación continua y constantes negaciones entre los involucrados, donde el énfasis está puesto en la comprensión sociológica de una disciplina emergente para el país (Bravo, 2018; Kreimer, 2010).

La tendencia sobre este tipo de conocimientos es la transferencia y adopción a partir de los países desarrollados de donde se importan los marcos normativos para su uso, muchas veces vinculados a regulaciones comerciales. Ante el carácter periférico de México es necesario visibilizar las particularidades y condiciones en las cuales se produce este tipo de conocimiento, dada la problemática de que muchos de los escritos sobre el tema se generan en

los países considerados como centrales y pocas veces se reflexionan los procesos locales, resaltando los debates, consecuencias y retos en temas de bioseguridad como propiedad intelectual para el país.

Es por ello que se parte de la reconstrucción narrativa y analítica de lo vivido por los entrevistados, donde el uso y adopción de la biología sintética en México no únicamente está vinculado a sus cualidades técnicas o sus potenciales usos. Es el resultado de una serie de articulación de distintos elementos heterogéneos que plantean la necesidad de realizar estudios holísticos sobre su situación en el país, sin perder de vista la participación de actores y grupos relevantes que permiten diferentes pautas de desarrollo, otorgan sentido y construyen artefactos, por lo tanto, distintas trayectorias de una misma disciplina (Bijker, 1995; Guzmán, 2019; Paz, 2015).

La biología sintética tiene sentido en relación con las estructuras que la producen y sustentan, por lo cual, es pertinente preguntarse en qué contexto político, económico y social se está desarrollando, al definir una configuración del mundo a partir de un doble proceso, la inclusión y exclusión de ciertos grupos y actores, esto se debe a que tienen distintas interpretaciones respecto a su orientación y se sustenta con la creación de organizaciones, redes o una comunidad científica que orientan sus trayectos por diversas rutas, bajo distintos intereses y perspectivas (Bravo, 2018; Pavone, 2013).

Para el caso de México se parte de la actividad que se desarrolla en torno a la biología sintética, así como los procesos de investigación que la integran y no propiamente de los resultados empíricos producidos hasta el día de hoy, los cuales son pocos en comparación a otros países. Es por ello, que se busca reconstruir las trayectorias de los diferentes conocimientos y las prácticas científicas en relación con dicha disciplina por medio de una noción amplia de ciencia, poniendo el énfasis en las conexiones que permiten la conformación de una comunidad y los diferentes procesos que se generan dentro de ella, sin separar el contexto del contenido científico (Arellano y Ortega, 2005; Ronny, 2017).

Se propone la agenda de los estudios sociales de la Ciencia, Tecnología y Sociedad (CTS) como marco de análisis, el cual permite cuestionar las verdades absolutas, las formas de autoridad y la utilidad de los nuevos conocimientos, permitiendo analizar las prácticas y conocimientos asociados a la biología sintética, como sus efectos desde una perspectiva crítica con sus debidas limitaciones, poniendo en cuestionamiento la naturaleza de la

disciplina, el uso y eficacia que puede tener para México ante el aumento de conciencia pública del tema con la participación de actores no expertos en los debates.

Los estudios CTS representan una visión alternativa de la narrativa dominante que se tiene sobre la biología sintética y sus investigaciones ante su dimensión geopolítica, al ser parte de un proceso hegemónico de poder y dominación del conocimiento que aumenta considerablemente las asimetrías y brechas entre países. La perspectiva teórica de los estudios CTS permiten una renovación en la perspectiva en la que son abordados los nuevos conocimientos disciplinares analizando sus orientaciones, actores, intereses y aumentando la capacidad de comprensión, así como de análisis de los retos para el caso de México, planteando nuevas interrogantes sobre su orientación, formas de gobernar si es posible, los conocimientos científicos para aminorar y gestionar sus riesgos, como una responsabilidad social para futuras investigaciones por parte de la comunidad científica local.

Para repensar la biología sintética a partir de las características de México, primero es necesario generar un marco común para comprender de mejor manera qué es, ubicar sus características, objetivos, programas de investigación, diferencias con otras disciplinas, problemas y riesgos, historia, industria, aplicaciones comerciales y efectos, para posteriormente desarrollar un estudio de caso que ayude a dilucidar sus vínculos, relaciones, formas de apropiación, consecuencias no deseadas, efectos secundarios, estrategias para superar las limitaciones impuestas por los países que dominan su devenir.

La tesis se divide en tres capítulos, que a su vez se subdividen en diferentes apartados. El primero busca responder a la interrogante de qué es la biología sintética generando un marco común de comprensión y entendimiento para los lectores, se plantean de forma genérica las características, objetivos, diferencias con otras disciplinas, particularidades, efectos y consecuencias no deseadas, aplicaciones comerciales y su historia.

En el segundo capítulo se analiza el marco conceptual del cual parte la presente investigación, definiendo los conceptos centrales que orientan la tesis, sus características y principalmente la forma en que se van a utilizar posteriormente. El primer concepto que se define es el de trayectoria socio-técnica, partiendo de un análisis de su antecedente conceptual como lo fue la trayectoria tecnológica. El segundo concepto que se desarrolla es el de sociedad del conocimiento, haciendo una distensión en las formas en que se pueden apropiar los conocimientos científicos y tecnológicos -social y privada-. Por último, el tercer concepto

que se aborda es el de gobernanza, haciendo énfasis en la gobernanza científica y tecnológica, se determinan sus alcances, limitaciones y características.

Por último, en el tercer capítulo, se aborda el estudio de la biología sintética en México. En el primer apartado se reconstruye, de forma histórica y temporal, su desarrollo desde el 2006 hasta el 2019, en el segundo se plantean los problemas relacionados a la bioseguridad y las formas de acceso y participación de los beneficios a partir de la utilización de los recursos genéticos, resaltando las implicaciones de la digitalización de las secuencias genéticas para el país, y en el tercer apartado, se abordan los posibles problemas que se tendrían sobre los derechos de propiedad intelectual a partir de las patentes en el acceso a los recursos genéticos para el país.

Pregunta de investigación

La pregunta de investigación de la cual parte la presente tesis es ¿Cómo se está desarrollando la trayectoria socio-técnica en la generación de una agenda de innovación en biología sintética en México?, donde las preguntas particulares son:

1. ¿Cómo están articulados los actores que influyen o no en la adopción de la biología sintética en el país?
2. ¿Cómo ha evolucionado la red de actores que participan en su orientación?
3. ¿Qué implicaciones tendría la biología sintética en los marcos de regulación para la apropiación de los recursos genéticos en el país?
4. ¿Cuáles son las capacidades, recursos materiales, humanos, económicos y organizativos que se necesitan para que se desarrolle la biología sintética en el país?

Objetivo general

De ahí que el objetivo general sea analizar cómo se construye la trayectoria socio-técnica en la generación de una agenda de innovación en biología sintética, examinando las redes, actores e intereses que influyen en su orientación y adopción en México e investigar si el desarrollo de este conocimiento beneficia la apropiación social o privada del conocimiento.

Los objetivos particulares son:

1. Examinar a través de una red y sus propiedades, quiénes son los actores que están influyendo en la adopción o no de la biología sintética en el país.

2. Analizar la evolución de la red de actores que participan en su orientación.
3. Examinar las implicaciones de la biología sintética en los marcos de regulación para la apropiación de los recursos genéticos en el país, que se encuentran entre la propiedad privada y social del conocimiento.
4. Analizar las capacidades, los recursos materiales, humanos, económicos y organizativos que se requieren en México para que se desarrolle la biología sintética.

Hipótesis

Se parte de la hipótesis de que la biología sintética en México, al ser un conocimiento convergente sigue diferentes trayectorias sociotécnicas. Estas trayectorias se basan en la generación de una agenda de innovación impulsada principalmente por actores públicos, los cuales privilegian la forma de apropiación privada sobre los recursos genéticos a pesar de las controversias sobre sus posibles consecuencias para el país.

Metodología

Se reflexionó el proceso de generación de una agenda de innovación a partir del estudio de caso, privilegiando la re-construcción histórica del proceso a partir de los postulados y aportes de Hernán Thomas. En primer lugar se definió la espacialidad del estudio siendo México el objeto que se analizó, espacio donde se dan las interacciones, se construyen las redes de conocimiento y comunidades de investigación, se desarrollan las luchas, conflictos y controversias para definir qué es la biología sintética, ante el hecho de que es un espacio no regulado por normas y consensos entre los involucrados, sino de interacción mediado por las visiones de los actores que participan en su definición como disciplina y su funcionamiento para el país.

En segunda instancia, se especificó la duración del análisis, reconstruyendo, en la medida de lo posible, los cambios tecnológicos que ha tenido a través del tiempo la biología sintética, por medio del ordenamiento de las relaciones causales en secuencias temporales del proceso histórico, distinguiendo en principio tres etapas, fases o periodos, los cuales no son cortes planteados a discreción debido a que se basan en elementos documentales que posibilitan plantear nuevos sentidos, orientaciones y significados respecto a su abordaje, a partir de la participación de otros actores y la construcción de redes de conocimiento,

partiendo del año 2006 hasta el 2019. Al ser una disciplina reciente en México con apenas 15 años, facilitó el contacto con diferentes actores que fueron parte de su historia desde el inicio

Con el fin de responder a la pregunta y corroborar la hipótesis se realizó una estancia de investigación internacional en el área de Lógica y Filosofía de la Ciencia, Departamento de Filosofía de la Universidad de Málaga, del 07 de enero al 28 de febrero de 2020, que permitió generar y obtener información sobre las características del desarrollo de la biología sintética en el país a partir de la realización de ocho entrevistas. La información obtenida posibilitó contrastar trayectorias, trayectos y sentidos con el caso mexicano, como identificar las particularidades del país en su adopción y desarrollo (Ver anexo 1.).

Se abordó la metodología desde el análisis cualitativo y cuantitativo. Para el proceso de selección como de recopilación de datos se combinaron distintas técnicas de recolección: se hizo una revisión y selección de documentos -tesis, reportes, informes, artículos, minutas- que hablaran del tema enfocado a México. Para la generación de información, ante la ausencia de documentos de consulta, se utilizaron técnicas como el portero y la bola de nieve para la vinculación con los actores clave referente al tema, lo que permitió la realización de 11 entrevistas semi-estructuradas con perfiles muy variados (Ver anexo 2.), con las cuales se buscó conocer el sentido que le otorgaron los entrevistados a la biología sintética, las condiciones materiales en que se dio su participación y su experiencia en concreto para la reconstrucción del proceso histórico en México. En cuanto a las fuentes secundarias, se utilizaron como indicadores del análisis los papers, proyectos de investigación, formación de recursos humanos en universidades (licenciatura y posgrados), laboratorios y/o centros de investigación, empresas, eventos (cursos, foros, seminarios, congresos, coloquios, talleres, etc) y competencias internacionales (iGEM y TecnoX).

En el caso del enfoque cuantitativo, se trabajó con el análisis de redes a partir de la consulta y posterior creación de una base de datos sobre la participación de los estudiantes, universidades y centros de investigación en la competencia iGEM, que permitió la realización de las redes en cada periodo y su presentación de forma visual, se utilizó el programa de VOSviewer para la realización y análisis de las redes sociales durante la tesis (González y Molina, 2003).

CAPÍTULO 1. REPROGRAMANDO LA VIDA: LA BIOLOGÍA SINTÉTICA

La biología sintética es parte de la revolución científica y tecnológica que actualmente estamos viviendo, la cual tiene el potencial de decidir el curso del conocimiento sobre los seres vivos al cuestionar conceptos centrales que son fundamentos de la biología y que se asocian a la propuesta de Charles Darwin sobre la evolución de las especies, al modificar las líneas de evolución de los organismos por medio de la lectura e intervención de los procesos que dan vida, sobrepasando los límites biológicos impuestos por la evolución y superando las limitaciones de las especies (Investigación y Ciencia, 2013; Macia y Solé, 2011).

Representa una revolución artefactual que intenta mejorar el entendimiento que tenemos sobre los mecanismos evolutivos de las especies conocidas, con el potencial de modificar los ecosistemas al intervenir en los mecanismos que hacen posibles la evolución de los organismo a través de la intervención de las estructuras y códigos que dieron origen a la vida, representando una extensión tecnológica de los artefactos biológicos que buscan una evolución dirigida a través del mejoramiento e imitación de funciones a partir de nuevas tecnologías de edición genética, lo que plantea una ambigüedad conceptual sobre lo que entendemos por vida artificial como natural y nuestra comprensión de la materia viva como parte de los debates que se han desarrollado en el siglo XXI.

La biología sintética opera en la frontera de la innovación tecnológica y las expectativas públicas al descomplejizar la vida, mediante determinantes genéticos y reguladores clave, proporcionando una caja de herramientas de componentes genéticos reutilizables y conocimientos para manipular la materia. Es el resultado de los esfuerzos de instituciones como el Massachusetts Institute of Technology (MIT) en la conformación de una comunidad operando en canales de difusión como competencias, congresos, revistas y la creación del Registry of Standard Biological Parts (Durán, 2011; Kwork, 2010; Maiso *et al*, 2016; Starkbaum *et al*, 2015; Wang *et al*, 2013).

A pesar de ello, la biología sintética tiene una capacidad limitada respecto al conocimiento sobre el ADN y de entendimiento de las interacciones de las secuencias genéticas para predecir el comportamiento de los organismos que modifica, como de revolucionar el desarrollo de la biología como ciencia y las investigaciones de los procesos biológicos a nivel mundial. Es el resultado de diferentes tecnologías emergentes desarrolladas en las últimas décadas que se basan en la concepción de que biología es un medio para la fabricación de dispositivos y sistemas biológicos, las cuales parten del supuesto de que si se

sabe cómo funciona el ADN de los organismos vivos se puede intervenir y modificarlo al ser visto como la memoria para codificar la información de éstos, propuesta que tiene su base conceptual en los aportes de Francis Crick sobre el flujo de información, donde el ADN es el mensajero de la información genética que permiten la construcción de proteínas o ribosomas, lo que se conoce como el Dogma Central dentro de la biología molecular.

La biología sintética parte de la aplicación de la ciencia, tecnología y la participación de distintas ingenierías para facilitar y acelerar la modificación y manipulación del material genético, disciplina considerada emergente dentro de las ciencias biológicas preñadas de múltiples promesas que se compone de distintas disciplinas, ciencias y áreas de investigación más allá de las biológicas, contemplando la informática y las ingenierías (Cavalheiro, 2007; Maiso, 2015; Rohmer, 2016).

Como pasa con otras disciplinas y nuevas tecnologías, es un conocimiento emergente dentro de las ciencias biológicas que está en constante cuestionamiento su estatus de disciplina, donde muchos de sus postulados son más teóricos, que prácticos no llegando a conformarse un cuerpo de conocimiento unificado al tener la característica de conocimiento convergente. Como inmersa en diferentes incertidumbres científicas ante el desconocimiento de sus posibles impactos y el alcance de sus desarrollos principalmente en la biodiversidad, donde cualquier desarrollo o producto puede tener una aplicación distinta a la que fue concebida en principio por el temor a que puedan ser utilizadas como armas biológicas, lo cual supone un grave riesgo por el uso mal intencionado que se le pueda dar creando múltiples desafíos en su adopción, progreso y aceptación del público.

Es decir, se desenvuelve en un marco de incertidumbres e intensos debates sobre los posibles riesgos, los cuales tienen el potencial de orientar su trayectoria y sus pautas de desarrollo, consecuencia directa de las tensiones, luchas y negociaciones entre los interesados en torno a su adopción, uso y funcionalidad, las formas en que debe ser regulada y los elementos que deben considerarse dentro de los marcos regulatorios (Grupo de trabajo internacional de la sociedad civil sobre biología sintética, 2011; Hidalgo, 2016; Linares, 2007; Vercelli, 2009).

Por si misma, plantea una transición en las formas de entender y crear vida a partir de diferentes postulados basados principalmente en las ingenierías, expandiendo de manera vertiginosa los límites conocidos, el entendimiento que tenemos respecto a las tecnologías de edición genética y los conocimientos asociados a ellas. Por lo cual, no es un conocimiento

neutral libre de intereses políticos, económicos y sociales sino un campo de lucha, controversia y constantes conflictos con la capacidad de moldear a la sociedad a través del diseño de sistemas y objetivos tecnológicos de gran complejidad (Gustavo, 2013).

No solamente plantea nuevas miradas que trascienden los paradigmas actuales sobre la vida, es una nueva forma de poder y un mecanismo de dominación en tanto el conocimiento sea visto como fuente de valor que se inserta en un nuevo patrón de acumulación, posibilitando mayores capacidades de decisión y control a quienes lo detentan, principalmente instituciones privadas y educativas ubicadas en los países con economías desarrolladas y grupos de investigación consolidados, donde el conocimiento que se desprenda permitirá una renovación epistémica que no solo realizará transformaciones en la generación sino en la apropiación y aplicación de éste (Marquina y Nájera, 2015).

A causa de ello, se pueden plantear múltiples trayectorias de desarrollo, uso y generación de conocimiento en la biología sintética en cada país, las cuales se resignificarán en función de los objetivos, prioridades, necesidades, ideología política y económica, intereses y valores de científicos, ingenieros, empresarios, inversionistas, políticos y organizaciones que se cristaliza en financiamiento a través de proyectos de investigación. A mediano plazo, tiene el potencial de representar un parteaguas para las ciencias biológicas y un avance tecnológico por la creación de nuevos paradigmas científicos ante el cambio de visión en la construcción de la vida, que a su vez representaría una ruptura parcial con los modelos explicativos y teorías previas por su capacidad tecnológica disruptiva como potencial transformador, cuando se tengan las capacidades y las tecnologías (Pavone, 2013; Sánchez, 2018).

Donde lo vivo es interpretado por medio del paradigma de comprensión ingenieril siguiendo con el modelo de los artefactos técnicos y el desarrollo de maquinaria, reduciendo en último término los procesos biológicos a un carácter mecanicista. El cual parte del supuesto de que los organismos se componen de estructuras independientes entre sí, las funciones orgánicas son engranajes que se articulan a una estructura mecánica que pueden ser ensambladas para obtener distintos productos a partir de que se sepa la funcionalidad de los componentes, lo que Maiso define como la metáfora de la programación, en la cual el ADN funciona como el software que enseña al hardware de cualquier organismo vivo en específico a su maquinaria celular los diferentes modos de evolucionar, crecer, funcionar y desenvolverse (Maiso, 2013:2013b:2015; Muñoz *et al*, 2019; Nuño, 2016).

En síntesis, la biología sintética funge como una herramienta biotecnológica que se distancia de ella en su técnica, escala y ambición al utilizar sus conocimientos, técnicas, herramientas e instrumentos, representando una metodología con aplicación práctica con la intención de crear sistemas, organismos y máquinas biológicas de forma sintética aumentando el grado de manipulación posible, distinguiéndose por su perspectiva de diseño y construcción de componentes centrales bajo la premisa de resolver problemas específicos (Castro, 2011; CDB, 2012b; Hernández, 2015; Moya, 2012; Ramírez y Gutiérrez, s/f).

Su práctica tiene el potencial de reconstruir la noción de vida y evolución al no sólo realizar una síntesis de los componentes químicos de las secuencias genéticas, sino una contextual del funcionamiento interno y externo del ADN, se basa en la creación de un producto social que no se desarrolla a partir de una lógica interna que está mediada por sus condiciones de uso, representando un cambio tecnológico a la hora de analizar los organismos vivos al replantear la selección y evolución a partir de enfoques artificiales (Chauvet, 2015; Nuño, 2016; Tavares, 2008).

Por lo tanto, la biología sintética sirve de referencia para comprender la complejidad de la biología al permitir procesos y trayectorias innovadoras que se caracterizan por desarrollarse bajo nuevos marcos colaborativos y sinérgicos entre ciencia, tecnología, conocimientos ingenieriles e informáticos. Lo que la define como una disciplina convergente que representa una forma de entender la actividad científica que se desarrolla dentro de los nuevos paradigmas científicos en la actualidad, esto se debe a la creación y desarrollo de tecnologías que son el resultado de la generación e implementación de nuevos conocimientos disciplinares principalmente en las ciencias biológicas (Alonso y Galán, 2004; Morones, 2010; Stezano y Oliver, 2015).

De igual manera, permite reflexionar sobre las consecuencias no deseadas por la proliferación de nuevos conocimientos y la necesidad de estudiarla desde nuevas perspectivas ante la probabilidad de que éstas pueden hacer palidecer las transformaciones previas impactando en las relaciones económicas, sociales y ecológicas, por el hecho de poder utilizar la información de los recursos genéticos para producir compuestos y componentes para su aplicación comercial e industrial sin la necesidad de utilizar los recursos genéticos de forma física ante las nuevas tecnologías de información, secuenciación, síntesis y edición de genes.

Con la finalidad de conocer más sobre el tema, el capítulo uno se divide en tres apartados, en el primero se analizará qué es la biología sintética, examinando las

características que se aglutinan en las múltiples definiciones, su objetivo y programas de investigación, haciendo énfasis en los elementos ingenieriles que la componen, planteando las diferencias con otras disciplinas, examinando los posibles riesgos y problemas. En el segundo se hace un análisis histórico de la biología sintética bajo su concepción moderna haciendo tres cortes temporales, empezando con la etapa fundacional (2000-2004), etapa de desarrollo (2005-2010) y etapa de expansión (2011-2019), donde se presentan los principales avances y hechos que marcaron su rumbo. Por último, se distinguen los aspectos comerciales de la biología sintética, examinando las características de la industria que se quiere desarrollar, las aplicaciones como productos en los cuales tiene cabida y los impactos potenciales que podrían traer este tipo de desarrollos, principalmente sobre la biodiversidad.

1.1 ¿Qué es la biología sintética?

La biología sintética se entiende mejor en el contexto de múltiples disciplinas que permiten la articulación y sinergia de conocimientos científicos como tecnologías, es una disciplina de investigación con apenas dos décadas que consiste en la aplicación de algunos principios de las ingenierías e informática que promueve la integración de diferentes objetivos, tecnologías y conocimientos no sólo de las ciencias biológicas, actividad que se ubica en la interacción e interfaz de la biología e ingeniería que carece de una teoría fundacional en general, de ahí su carácter convergente (Anderl *et al*, 2008; Joly y Raimbault, 2014; Roco *et al*, 2013).

Es una disciplina en crecimiento con el potencial aún limitado de cambiar algunos aspectos centrales en la forma en que se práctica la biología, esto no se debe a la falta de interés de los científicos sino algunas limitaciones técnicas como los esfuerzos tempranos para solucionar los problemas de almacenamiento y montaje de las biopartes que posiblemente sean superadas en las próximas décadas a través de nuevos experimentos, como de conocimiento respecto al ADN y la interacción de las secuencias genéticas que se irán solucionando con el mejoramiento como desarrollo de nuevas tecnologías de edición genética.

Actualmente no existe ninguna disciplina o ciencia con el potencial tecnológico, epistémico y las herramientas que permitan una ruptura total con la biología a tal grado de plantear un nuevo modelo de construcción y diseño de la vida. En el caso de la biología sintética aún se encuentra en la etapa de prueba de muchos de sus principios más básicos principalmente los ingenieriles, lo que pone en duda el cumplimiento de sus objetivos y programas de investigación, poniendo en duda si sus postulados son anacrónicos o no. Su

potencial aún está en cuestionamiento ante la falta de entendimiento de elementos centrales de la vida y el comportamiento del ADN, es complicado asegurar o dar por hecho que los principios de la ingeniería tengan una serie de aplicaciones directas en las formas de construir vida de forma eficaz, tal como lo plantea la biología sintética (Porcar y Peretó, 2015).

A pesar de que la convergencia entre las ciencias y las tecnologías no es algo nuevo, lo que caracteriza esta nueva etapa y es elemento constitutivo es su potencial transformador, consecuencia de su concepción moderna surgida a principios de siglo XXI para dar sentido y orientar las interacciones e integración entre distintos conocimientos científicos, principalmente entre las ciencias biológicas, ingenierías y la informática, ante la naturaleza sinérgica de los conocimientos involucrados y la integración de sistemas tecnológicos a la escala nano, lo que postula un modelo de episteme con la capacidad de transformar los modos de pensar y abordar los problemas relacionados con la vida (Barrera, 2013; Echeverría, 2009; ETC, 2004; Maiso, 2013).

Por lo tanto, la biología sintética es el resultado de la generación de capacidades y conocimientos que permitieron la intervención sobre la materia viva a escalas cada vez más pequeñas, como técnicas de investigación que incrementaron los conocimientos de los seres vivos y los mecanismos a nivel molecular que eran base de los metabolismos en múltiples niveles -celular y multicelular-, y conocimientos consolidados en las ciencias biológicas con el fin de medir y organizar a través de la manipulación y/o modificación, creando insumos y procesos a nano escala, consecuencia de la escritura y reescritura de la información genética, lo que permite un mayor nivel de intervención y la posibilidad cuando se desarrollen las condiciones, de diseñar la biología y la vida (Diéguez, 2016; ETC, 2004b; Maiso, 2013b; Ribeiro, 2013; Ruiz y Moreno, 2012).

La biología sintética surgió en el momento en que se conjugaba la disponibilidad de información por medio de diferentes vías de acceso al conocimiento ante el crecimiento del Internet, la reducción de costos y el desarrollo de conocimiento como herramientas en biología molecular, dando como resultado una evolución como expansión de tecnologías/técnicas a nuevas plataformas más rápidas y precisas, como la ampliación del ADN, el desarrollo de técnicas de manipulación, análisis e integración de estructuras moleculares, la capacidad secuenciar y editar el ADN, la secuenciación del genoma humano, proteínas de dedos de ZINC y Repeticiones Palindrómicas Cortas Agrupadas y Regularmente Espaciadas (CRISPR) (Ver la imagen 1.) (Castro, 2011; Cique, 2017; González, 2018; Lee *et*

Tiene el potencial de desarrollarse con un fuerte impacto en los sectores tecnológicos de alta especialidad mejorando sus expectativas y capacidades ante el surgimiento de nuevos procesos, productos e insumos, esto plantea una creciente articulación entre disciplinas, tecnologías, actores, estructuras organizativas y autoridades al permitir la confluencia en el plano cognitivo, tecnológico, la actividad humana e industrial (Gutiérrez, 2015; Guzmán *et al*, 2018; Lavarello, 2014; Roco *et al*, 2013).

La biología sintética se caracteriza como una rama de la ingeniería biológica con diferentes utilidades al permitir una mayor intervención por el diseño de los procesos biológicos y sus componentes, poniendo en cuestionamiento las propiedades y características claves de los sistemas biológicos que explican su organización, dinámica, autonomía y su capacidad de evolución. Por lo cual, representará un cambio en la estructura científica como un incremento en el tamaño de las investigaciones y el número de investigadores que participan en las ciencias biológicas, modificando los objetivos que tienen las comunidades, redes de conocimiento y las formas en que se organiza la investigación con relación a la vida (Echeverría, 2003).

Además podría representar a mediano plazo una convergencia epistémica al generar nuevos conocimientos en las ciencias y disciplinas al conectar con las fronteras epistémicas de otras disciplinas que se modifican durante la articulación e interacción, integrando nuevos espacios que son cada vez más complejos dependiendo de las interacciones y los campos interconectados, dando pie a nuevas ontologías producto y consecuencia de la nueva producción de conocimientos (Stezano y Oliver, 2015; Tavares, 2008).

Sin embargo, la biología sintética no responde a los esquemas tradicionales que dan cuenta de la aparición de nuevos conocimientos disciplinares que se basan primero en la elaboración de teorías y posteriormente su experimentación, sino se basa en la utilización de conocimientos con fines prácticos poniendo el énfasis en el diseño como en la producción y no en la búsqueda del conocimiento *per se*. Lo cual se ve impedido y obstaculizado por los intereses que se mueven en otras disciplinas ya consolidadas, la falta de interés de muchos investigadores en abordar sus investigaciones desde dicho enfoque, su aceptación como una disciplina en las ciencias biológicas y la asimilación de sus conocimientos con una utilidad práctica, generando un desfase entre sus propuestas y sus logros prácticos (De Cózar, 2016).

En medida en que se acepte como disciplina y clarifique las fronteras entre artefactos y organismos, se reconfigura el entendimiento de la evolución propuesta por Darwin que

actualmente se utiliza para explicar el desarrollo de los organismos vivos que cohabitan en el planeta al saber dónde, cuándo y cómo codificar los genes, al tener el potencial de modificar las formas de producirlos buscando que la naturaleza sea domesticada y gobernada desde sus entrañas a partir de su ADN con la construcción de organismos de novo, lo que cambiará nuestra práctica y entendimiento sobre la evolución biológica (Delgado *et al*, 2012; García, 2016; Nuño, 2016).

En consecuencia, plantea nuevas problemáticas de regulación y gestión del riesgo al ser una nueva manipulación que paulatinamente puede desvanecer las fronteras dentro de las ciencias biológicas, este cambio modifica y re-define las formas de producir y crear conocimientos entorno a los organismos vivos generando tensiones entre los elementos de naturalidad asociados a la biología y artificialidad vinculada a lo sintético, donde las repercusiones aún son inciertas para la mayoría de los actores involucrados ante la falta de capacidades de predecir las consecuencias de los organismos sintéticos. A pesar de ello, la biología sintética genera expectativas y preocupaciones por los posibles riesgos profundizando los debates éticos y políticos sobre la regulación en las formas de producción de conocimiento de organismos sintéticos ante su posible liberación al ambiente de forma accidental (GRAIN, 2006; Landeweerd y Peter, 2016).

1.1.1 Definición, objetivo y características

Durante los veinte años que han transcurrido desde el surgimiento del concepto con una nueva connotación a pesar de las coincidencias, particularidades y matices en las distintas definiciones, la biología sintética se puede utilizar como un nuevo marco de explicación en expansión dentro de la biología, la cual aún no tiene una definición consensuada entre los diferentes actores que participan en su desarrollo. Como pasa con otras disciplinas convergentes, el concepto inicialmente tuvo la finalidad de captar la atención de organismos públicos y privados que le permitiera recibir financiamiento, lo cual paulatinamente está quedando atrás a la vista de su crecimiento y el interés comercial que genera (Landeweerd y Peter, 2016).

La biología sintética también es conocida como ingeniería genética extrema (ETC, 2007), genómica sintética o biología constructiva (Luna, 2017), ingeniería de la biología (Rohmer, 2016), biología intencional (Bensaude, 2013) o ingeniería de la vida (Murray, 2014) y no sólo es una herramienta biotecnológica con sorprendentes potencialidades

principalmente a nivel celular, sino un conjunto de técnicas, conocimientos y tecnologías provenientes de diferentes disciplinas. Donde las múltiples acepciones dan cuenta de la falta de consenso entre los involucrados como parte de los debates en el seno de las ciencias biológicas para considerarla una nueva disciplina o la continuidad de la biotecnología moderna, por esa razón su indefinición permite confrontar visiones de la biología e ingeniería favoreciendo en algunos casos, la incorporación de los diferentes intereses y perspectivas que influyen en su trayectoria ante la aparición de nuevos actores en las discusiones (Romeo, 2010).

No hay que olvidar que su indefinición es el resultado de una renovación generacional gracias a la potencialización de las herramientas de la biotecnología moderna y nuevas tecnologías de edición genética, donde la biología sintética es considerada una rama emergente dentro de la misma basada fundamentalmente pero no exclusivamente en la ingeniería genética. Su base actual parte de una visión reduccionista y mecánica de los organismos como equivalentes a su ADN, permitiendo la unificación de distintas perspectivas analíticas, como el reduccionismo que analiza las propiedades de los seres vivos a partir de sus componentes, y el enfoque sintético vinculado al holismo metodológico, a pesar de ser perspectivas opuestas y excluyentes (CIBIOGEM, 2015; Diéguez, 2016; Moya, 2014).

El término se utilizó por vez primera en 1912 por el francés Stephane Ludec para referirse a la fabricación de vida en el laboratorio, actualmente el concepto se distancia de dicha propuesta y contempla sistemáticamente actividades heterogéneas entre sí como conocimientos disciplinares e ingenierías que imposibilitan dar una definición unitaria, consensuada y avalada entre las distintas ciencias ante el creciente uso del concepto en los programas de investigación a nivel mundial.

Su indefinición ha permitido que distintos organismos científicos y gubernamentales intenten definirla (Ver la tabla 1.), los cuales no ponen énfasis en los mismos elementos. A pesar de ello, hay características que pueden delimitarla como la utilización de la biología molecular, la genética y el uso de los conocimientos que se desprenden de las ingenierías ante los límites y fronteras tan difusas que son complicadas de establecer, como los criterios de demarcación con otras disciplinas por la utilización de sus conocimientos, tecnologías genéricas de otras disciplinas y herramientas informáticas (Durán, 2011; Grupo de trabajo internacional de la sociedad civil sobre biología sintética, 2011; Monterroza, 2011).

Es una característica constitutiva de las disciplinas convergentes ante el trabajo multidisciplinario del cual se desprende, lo que complica crear marcos de comprensión compartidos por todos los participantes e interesados, no es fácil definirla como disciplina dentro de la biología por las líneas de investigación que propone, las perspectivas teóricas que abarca y las tecnologías que usa, donde gran parte de la biología molecular no utiliza dicha denominación aunque distintas líneas y proyectos se presenten como tal (Murray, 2014; Ruiz y Moreno, 2012).

Tabla 1. Definiciones sobre biología sintética

Procedencia	Definición
Comisión Presidencial para el Estudio de Asuntos de Bioética	Es una disciplina científica que se basa en la síntesis química del ADN y de procesos estandarizados y automatizables para hacer frente a las necesidades humanas mediante la creación de organismos con características o rasgos nuevos o mejorados.
Presidential Commission for the Study of Bioethical Issues (2011)	Es el nombre dado a una disciplina emergente de investigación que combina elementos de biología, ingeniería, genética, química y ciencias de computación. Las tareas diversas pero relacionadas que caen bajo este paraguas dependen del ADN sintetizado químicamente, junto con procesos automáticos estandarizados, para crear nuevos sistemas bioquímicos u organismos con características nuevas o mejoradas.
Unión Europea (2005)	La biología sintética es la ingeniería de componentes biológicos y sistemas que no existen en la naturaleza y el re-diseño de los elementos biológicos que ya existen, se fundamenta en el diseño intencional de sistemas biológicos artificiales en vez de en la comprensión de la biología natural.
Royal Academy of Engineering	La biología sintética busca diseñar y obtener mediante ingeniería productos con base biológica, instrumentos y sistemas nuevos, así como rediseñar sistemas biológicos naturales ya existentes.

Fuente: Elaboración propia a partir de Cornejo, 2013; ETC, 2012 y Romeo, 2010.

No hay que olvidar que la multidisciplinaria tiene limitaciones importantes, en principio impulsa y fomenta colaboraciones entre las distintas disciplinas pero es difícil crear un lenguaje en común, así como compartir visiones e importancia de los proyectos, requiere la articulación de objetivos de investigación, el desarrollo de vocabularios compartidos y marcos de entendimiento entre las distintas disciplinas que permitan un diálogo, de ahí la complicación de dar un concepto unitario, claro y avalado (Delgado y León, 2012; Kastonhofer, 2016).

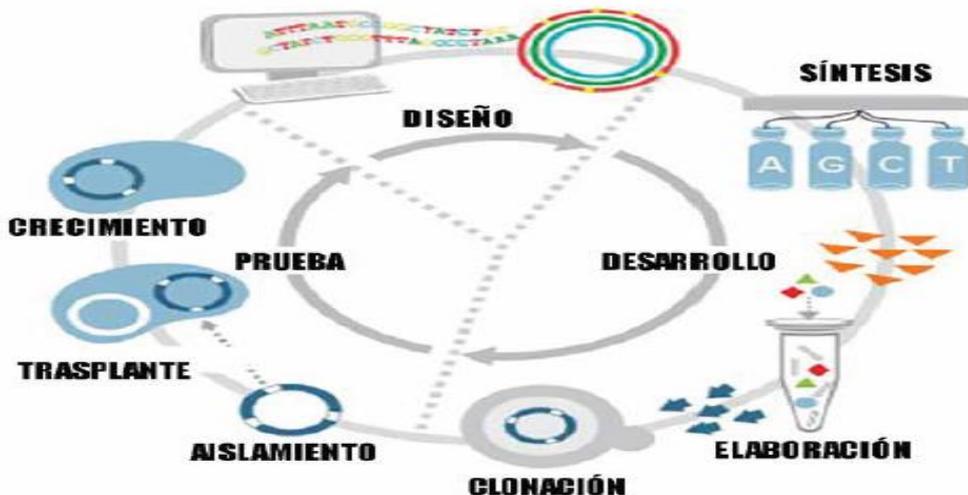
Por esa razón representa no solamente un desafío en la definición sino a la hora de analizarla por las interacciones y articulaciones que ocurren en la intersección de múltiples disciplinas, conocimientos y tecnologías, consecuencia de las fronteras difusas en que participa la biología sintética tanto en la esfera de conocimiento como de aplicación al estar entre lo natural lo artificial. A pesar de ello, algunas características y elementos que coinciden en las distintas definiciones describen en términos generales las disciplinas que abarca, las

líneas de investigación que propone dando cuenta de tres propiedades: la caracterización de sistemas modulares, computables y producidos a partir del diseño ingenieril (Escobar, 2008; Guzmán *et al*, 2018; Nuño, 2016; Ramírez y Gutiérrez, s/f).

La primera propiedad es la idea de una disciplina ingenieril de la biología que se distancia de la ingeniería genética al ser más rápida, de mayor escala y volumen, partiendo de la noción de que los módulos son piezas equiparables a las de un lego y operan como la ingeniería, combinando principios ingenieriles que tienen como objetivo estandarizar piezas o módulos que sean compatibles e intercambiables para crear organismos parcial o totalmente artificiales, por medio del uso de modelos matemáticos y programas informáticos que buscan predecir los comportamientos de los organismos y sistemas biológicos como pasa con las ingenierías ya establecidas (Bellver, 2016; Bensussen y Meneses, 2013; ETC, 2012b; Nuño, 2016; Ruiz y Moreno, 2012).

La biología sintética ve a los organismos como ensamblajes de distintas partes ordenadas y caracterizadas en secuencias genéticas las cuales se pueden fabricar, articular, conectar y modificar, dando lugar a sistemas biológicos complejos e información genética nueva a pesar de que la reducción de la complejidad de los organismos es una de sus promesas a largo plazo. Se basa en principios de la ingeniería molecular y se entrelaza con la biología de sistemas para generar diseños racionales de nuevos organismos a partir de un ciclo de creación, diseñado y simulación en computadora (Ver la imagen 2.), teniendo como fases previas la construcción como validación de resultados (Aguilar *et al*, 2012; Garro, 2016; Maiso, 2015; Müller, 2016).

Imagen 2. Diseño y síntesis de un organismo



Fuente: Villa, 2018.

La primera etapa estudia los sistemas de interés a partir del conocimiento disponible por medio de modelos matemáticos que permitan visualizar los comportamientos de los sistemas, la fase del diseño contempla la elaboración de diferentes soluciones para uno o más problemas evaluando las herramientas a partir de análisis matemático y computacional, y la de implementación se desarrollan los dispositivos previamente seleccionados para su experimentación ajustándose sobre la marcha para mejorar su rendimiento, estructura o capacidades.

Intenta construir organismos que manifiesten propiedades como comportamientos con un carácter ampliado por medio del control de su evolución y busca alejarse de la comprensión clásica de la vida, al plantear la construcción de organismos mejores como más eficaces a través del reordenamiento de secuencias, de constructos o redes artificiales de genes con la intención de crear nuevas formas de vida, artefactos o sistemas no existentes hasta el momento (Cosme *et al*, 2008; Fox, 2012; Durán, 2011; Diéguez, 2016).

La segunda propiedad se refiere el uso de programas informáticos para diseñar y crear organismos otorgándoles características como funciones específicas, haciendo accesible y manejable el uso de gran cantidad de información ampliando las capacidades de procesamiento y almacenamiento con la intención de escribir y en todo caso, reescribir el código genético. Generando una nueva visión de manufactura digital que rediseña la organización de la producción y la estructura institucional que le da soporte con la finalidad de adoptar estrategias orientadas a desarrollar nuevos productos, teniendo como elementos centrales los procesadores y programas de informática (Aguilar *et al*, 2012; Alonso y Soto, 2014; Luna, 2017; Stezano, 2017).

La informática se utiliza para simular el funcionamiento de los organismos a través de programas de computación a partir de la digitalización de las secuencias genéticas, permitiendo crear modelos que imitan la naturaleza de forma digital, con la realización de experimento en computadoras se hacen ecuaciones de forma individual que simulan el comportamiento de los sistemas complejos que de forma empírica sería imposible realizar y analizar (Ferreiro, 2017; Yves, 2012).

Además concibe al ADN como el archivo digital por excelencia que almacena las secuencias genéticas sustituyendo a los soportes actuales como las memorias, Bus Universal en Serie (USB), discos y nube. Posibilita la transferencia digital del material genético a partir de la secuenciación y almacenamiento por medio de programas de computación, rompiendo

con las barreras físicas de las ciencias predecesoras al tener la posibilidad de ser enviadas de forma online y reproducidas de forma instantánea en los laboratorios del mundo que cuenten con las capacidades tecnológicas de replicarlas, pasando de la obtención física de los recursos genéticos a la producción de laboratorio de organismos sintéticos (Augusto, 2012).

La biología sintética busca imitar el funcionamiento de los artefactos biológicos a partir de sistemas computacionales que tengan la capacidad de gestionar, ordenar, procesar y transferir grandes cantidades de datos a bajo costo, trayendo consigo una nueva manera de considerar los procesos biológicos ante el hecho de que ciertos fenómenos biológicos son leídos y operados en términos de flujo de información digital a partir de la bioinformática (Delgado *et al.*, 2012).

La tercera propiedad parte del interés de construir, diseñar y obtener partes o entidades biológicas, instrumentos y sistemas nuevos que no existen en la naturaleza, busca rediseñar sistemas ya existentes como los elementos que los componen a partir del diseño racional, utilizado a las ingenierías para la reprogramación de los organismos a partir de cambios en las secuencias genéticas, lo que se denomina como su software genético (Church y Regis, 2012; Instituto de Investigación Alexander von Humboldt; Nuño, 2013; Romeo, 2010).

Propone desarrollar nuevos componentes y capacidades de autoprogramación como de autoorganización pasando de un proceso de ensayo-error hacia un modelo de diseño racional en laboratorio, partiendo del supuesto de que la naturaleza funciona como la ingeniería donde los organismos vivos son un sistema de información a partir de su ADN. No intenta realizar pequeñas modificaciones que puedan alterar la información genética de un organismo sino diseñar, manipular, simular e introducir circuitos genéticos a los organismos de forma controlada, como incorporar aminoácidos con propiedades químicas y estructurales genéticas diferentes a los naturales para construir proteínas con nuevas propiedades y funciones. De ahí que se considere una biología artificial al diseñar, rediseñar, editar, sintetizar y construir físicamente entidades vivas que no son producto de una evolución natural, como sistemas biológicos prediseñados y asistidos a través de programas que imprimen secuencias artificiales con máquinas sintetizadoras de ADN (Aguilar *et al.*, 2012; Fox, 2012; Lanier, 2014; Macia y Solé, 2011; Sánchez, 2019; Thomas, 2013).

La biología sintética intenta transformar los organismos *naturales* transfiriendo genes de otros a partir de diferentes técnicas de laboratorio permitiendo un nivel de intervención mayor al que se tenía conocimiento al modificar y alterar sus procesos moleculares, su

propósito es recombinar la información genética diseñando, cortando y pegando genes entre especies, siendo su principal problema el estar limitada a los existentes en la naturaleza para ampliar nuestra concepción de la vida a través de un proceso dirigido de evolución por medio de la creación de organismos vivos que sean producto del diseño (Cornejo, 2013; Fox, 2012; Maiso, 2013).

Es por ello, que al ser un conocimiento emergente dentro de la biología y carecer de una definición unitaria, avalada y aceptada por otras disciplinas, la cual se encuentra en constante construcción, la definición de la cual se parte en la presente tesis es que la biología sintética es una disciplina emergente y convergente, un avance del conocimiento en las ciencias biológicas que se basa en la combinación de la ciencia y tecnologías de edición genética, la cual es guiada por principios y herramientas estandarizadas de la ingeniería, es asistida por computadoras y programas informáticos para diseñar, fabricar, construir, programar, reprogramar o modificar estructuras de ADN, sistemas biológicos y organismos que sean funcionales e inexistentes (CDB, 2016; Luna, 2017; Thomas y Villa, 2016).

Tiene el objetivo de diseñar y crear formas de vida artificial a partir de mejorar las funciones de los organismos para que tengan la capacidad de responder a determinados estímulos, busca cambiar las funciones y programar nuevas modificaciones en el ADN de forma controlada, fiable y predecible para que se comporten diferente a los organismos ya existentes. Gradualmente busca deshacerse de la evolución como la conocemos para dar paso a la creación de organismos de *novo* desarrollando instrumentos estandarizados de tipo universal como los biobricks, transitando de los procesos biológicos a procesos digitales más sencillos, precisos y rápidos que sean utilizados de forma rutinaria y mecánica en las ciencias biológicas (Alonso y Soto, 2014; Garro, 2016; Lee *et al*, 2013; Macia y Solé, 2011; Nuño, 2016).

Esto no sería posible sin el progreso que se ha tenido en las ciencias biológicas sobre el funcionamiento de los seres vivos, permitiendo una mejor comprensión sobre los elementos básicos y las interacciones que permiten a los organismos regular sus funciones. Del mismo modo, busca fabricar organismos a la *carta* que se comporten de la misma forma que los sistemas técnicos donde sus funciones sean programadas y predecibles con la finalidad de que funcionen con la fiabilidad de los artefactos mecánicos (Castro, 2011; Maiso *et al*, 2016; Nuño, 2016; Ruiz y Moreno, 2012).

Llama la atención que su objetivo es la creación de vida artificial sintética donde las posibilidades de abuso, la generación de consecuencias negativas intencionales y accidentales son mayores por la poca capacidad de controlar su desarrollo, así como predecir el comportamiento de los organismos sintéticos ante la falta de información que se tiene al respecto y al incompleto entendimiento de cómo funciona la evolución, la adaptabilidad, el cambio de conducta que pueden tener los organismos y su interacciones del ADN.

De ahí el motivo de la utilización intencional de procedimientos, criterios, valores y principios básicos que rigen a la ingeniería para estandarizar y automatizar la construcción de sistemas biológicos a partir de la generación y acumulación de conocimiento de la biología, donde la biología sintética se deriva principalmente de tres principios: la estandarización, abstracción y desacoplamiento (Ver la tabla 2.), con los cuales busca generar la capacidad de ser más eficiente a la hora de plantear una intervención en el material genético en sus diferentes escalas -sistemas, dispositivos, biopartes y ADN- (Diéguez, 2016; Ruiz y Moreno, 2012).

Tabla 2. Principio de ingeniería en la biología sintética	
Nombre	Características
Estandarización	En biología sintética, la modalidad más conocida es la estandarización de partes biológicas o biobricks, entendidas como “módulos de construcción” para el ensamblaje de secuencias de ADN, permite crear “cajas de herramientas” en las que los diferentes componentes puedan ser reutilizados, recombinados o intercambiados, facilitando así el paso a la producción industrial.
Abstracción	Significa la organización de la información en jerarquías que describen las funciones biológicas entre diferentes niveles de complejidad, manejando la complejidad biológica, mediante un ejercicio de abstracción es posible excluir propiedades que no son relevantes y manejar sólo una parte del sistema para entender su dinámica, así un sistema puede ensamblarse a partir de varios dispositivos cuyo funcionamiento es conocido.
Desacoplamiento	El desacoplamiento parte de la idea de que resulta muy útil separar un problema complicado en pequeños problemas sencillos para su solución independiente, de manera que se logre solucionar el problema completo al producir así un todo funcional, el tipo de desacoplamiento más simple e inmediato es el que se diseña desde la fabricación, por lo que es importante tomar en cuenta que deben escogerse genes con una única función, es decir, marcos abiertos de lectura que codifiquen para una sola proteína funcional.

Fuente: Elaboración propia a partir de Castro, 2011; Fuentes, 2013; Garro, 2016 y Maiso, 2013.

Por otro lado, actualmente se desarrollan principalmente dos aproximaciones de investigación a nivel mundial que son las más conocidas y financiadas que reúnen comunidades de investigadores e ingenieros con la finalidad de controlar y normalizar los sistemas biológicos, aunque no los únicos (Ver la tabla 3.). En inglés son definidas como *bottom up* -de abajo hacia arriba- que busca la creación de comportamientos emergentes y se aplica en los estudios de química prebiótica como origen de la vida, y *top down* -de arriba hacia abajo-, que busca analizar los límites mínimos de viabilidad para que un organismo vivo

sobreviva, para distinguir estas dos aproximaciones, el parlamento alemán hace la distinción entre modificaciones o intervenciones *en sentido amplio* y *sentido estricto*, respectivamente (Bensaude, 2013; Coenen, 2016; Domínguez, 2013; Laboratorio de Alternativas, 2012; Murillo y Ruiz, 2016; Murray, 2014; Ruiz y Moreno, 2012).

Tabla 3. Escalas de trabajo en la biología sintética	
Tema	Característica
Dispositivo genético	Los dispositivos biológicos representan conjuntos de una o más reacciones bioquímicas, incluyendo transcripción, traducción, fosforilación de proteínas, regulación alostérica, unión ligando-receptor y reacciones enzimáticas (...) se distinguen tres tipos de dispositivos genéticos: 1) los sistemas de control no transcripcional; 2) los sistemas de control transcripcional y 3) los sistemas de interacción proteína-ligando y proteína-proteína.
Módulos genéticos	Unidades funcionales independientes que contienen todos los elementos necesarios para realizar una función que puedan asociarse con otros módulos para formar sistemas de mayor complejidad, los principales prototipos se distinguen en tres categorías: 1) redes de regulación transcripcional, 2) Rutas de señalización mediadas por proteínas y 3) redes metabólicas sintéticas.
Circuitos de ADN	Son pequeñas secuencias de genes generados a partir de un ordenador que tienen el potencial de codificar una función y producir diferentes compuestos, pueden ser implementadas en un organismo para “programarlo” como interruptores que activan o desactivan la expresión de un gen, transformando el comportamiento y la lógica funcional de los organismos de acuerdo con un diseño al permitir que los circuitos funcionen como interruptores que activan o desactivan alguna expresión de un gen en determinado momento.
Rutas metabólicas sintéticas	Reacciones químicas que ocurren dentro de una célula y que resulta en un compuesto químico, “compuesto base” producido en la célula que se altera químicamente por la producción de diferentes enzimas en una secuencia particular y que conduce a la producción final de un compuesto conocido como “metabolito secundario”. Se busca diseñar esas rutas con el fin de regular o cambiar los metabolitos que se producen, usando ADN sintetizado en laboratorio y son “optimizados” para incrementar la producción de metabolitos de alto valor insertados en huéspedes microbianos. Las nuevas rutas cambian la forma en que los huéspedes metabolizan los azúcares de las plantas de modo que los tanques de fermentación pueden convertirse en instalaciones de producción para compuestos de alto valor.

Fuente: Elaboración propia a partir de Castro, 2011; ETC, 2012; Fuentes, 2013; López *et al*, 2006; Macia y Solé, 2011 y Maiso, 2013.

La primera aproximación está ligada a la construcción de vida artificial a partir de la generación de partes biológicas pre-sintetizadas como unidades mínimas que se construyen en laboratorio mejor conocidos como biobrick o biopartes, son piezas de ADN estandarizadas, intercambiables y reusables de cualquier secuencia que se pueden codificar como ensamblar con otros organismos para fabricar nuevos componentes, están registradas en diferentes catálogos y bases de datos para su acceso aunque en su mayoría no están bien caracterizadas y puestas a prueba para comprobar que realmente funcionan (Bellver, 2016; Fuente, 2013; Jaimes *et al*, 2010; Nuño, 2016).

Los biobricks son cualquier fragmento de ADN que tiene la capacidad de codificar información y busca acceder a una variedad de componentes sintéticos de forma organizada como funcional, se estandarizan a partir de un prefijo y sufijo en el ensamblaje para desarrollar una función específica y pueden fungir como promotores, terminadores, zonas de

unión de ribosomas, secuencias codificantes de proteínas y genes basándose en la unión de diferentes piezas de ADN a partir de reacciones de restricción-ligación (Fuentes, 2013; Garro, 2016; Luna, 2017; Ramírez, s/f).

La segunda aproximación es la más financiada y reconocido en los medios de comunicación porque aspira a crear un organismo con mínima expresión de ADN basado en el control total del genoma, busca construir una célula mínima simple y estandarizada que tenga la información genética para vivir y reproducirse utilizando moléculas artificiales para reproducir su comportamiento, desarrollando comportamientos emergentes que darían como resultado la *vida artificial* (Aguilar *et al*, 2012; Hernández, 2015; Nuño, 2016; Wan, 2013).

Intenta reducir en su mínima expresión genética la complejidad de una célula y sus componentes, con la capacidad de autorreplicarse por medio de elementos moleculares más simples, a tal manera que pueda fungir como un chasis de carro y ser intervenida en diferentes momentos, lo cual entra en tensión con las capacidades que tienen los seres vivos de autoproducirse, repararse, evolucionar y son distintivas de los organismos vivos al producir células (Coenen, 2016; Nuño, 2016; Porcar y Peretó, 2015; Ruiz y Moreno, 2012).

Cabe aclarar que todo esto se ha quedado como propuesta, la biología sintética aún no ha generado las capacidades tecnológicas y de conocimiento para crear vida desde cero y obtener organismos completamente sintéticos, muchas de las investigaciones no han rebasado las primeras etapas de investigación y los experimentos de pruebas de concepto aún no han cristalizado por las complejidades asociadas a los planteamientos.

Además es una disciplina que no opera con todas sus capacidades y está en constante construcción, donde apenas se están validando la mayoría de los principios propuestos desde la ingeniería por lo que hay que diferenciar entre las visiones y promesas, las fronteras de lo real y lo posible al no existir una división bien definida a la hora de promoverla (Grupo de trabajo internacional de la sociedad civil sobre biología sintética, 2011; Instituto de Investigación Alexander von Humboldt, s/f; Müller, 2016; Wan, 2012).

1.1.2 Diferencia con otras disciplinas

La biología sintética es vista como una extensión de la biotecnología moderna, un avance técnico y de conocimiento respecto a los Organismos Genéticamente Modificados (OGM) que conocemos, representa un cambio relevante en la dirección de las tecnologías genéticas con la

intención de identificar y entender el papel de los genes que se encuentran en la naturaleza, esto se debe a que el panorama actual de la disciplina está ampliamente dominado por el enfoque biotecnológico del cual aprovecha sus herramientas, técnicas y conocimientos habitualmente genéricos (Domínguez, 2013; ETC, 2007; Luna, 2017; Murillo y Ruiz, 2016).

Es percibida como una herramienta de investigación que puede permitir un mejor entendimiento de la biología, que se diferencia de la biotecnología moderna por la creación de nuevas herramientas que permiten el diseño del ADN que son sencillas y rápidas, aunque su enfoque no se restringe a la manipulación o transferencia de genes sino a la construcción de organismos artificiales o secuencias sintéticas (Friends of the earth *et al*, 2012; García, 2016).

Como sucede con otras investigaciones vinculadas a las ciencias de la vida, su principal característica es un nivel de complejidad no esperado ante las incertidumbres por las consecuencias de su desarrollo y utilización, donde los fenómenos biológicos aún no son predecibles y la falta de comprensión de los sistemas biológicos, sus funciones y cualidades emergentes son muy complejos de analizar, existiendo el temor de que puedan escapar de los confines académicos y de investigación para proliferar fuera del control de los laboratorios generando daños, riesgos y efectos secundarios adversos (Moya, 2012; Rebolledo, 2011; Romeo, 2010).

La biología sintética es parte de la nueva era de la biología que no se restringe a la lectura de las secuencias genéticas implicando la escritura del ADN y el diseño de éstas, es percibida como una mirada renovada en las formas de producir conocimiento al impactar en los modos de pensar, percibir y llevar adelante las prácticas científicas respecto a los organismos vivos permitiendo mejoras tecnológicas con el potencial de traducirse en aplicaciones comerciales e industriales (Alonso y Soto, 2014; Maiso, 2013; Ruiz y Moreno, 2012).

Se considera legado de la biología molecular que se suscribe dentro de la etapa post-genómica o también conocida como nueva Teoría de Procesos Moleculares, aunque una diferencia considerable es el hecho de que antes las moléculas de ADN eran sintetizadas por organismos vivos principalmente bacterias, ahora dicho proceso se lleva a cabo mediante máquinas que realizan todo el procedimiento de forma mecánica y automatizada (Alonso y Soto, 2014; Martínez *et al*, 2015; Murray, 2014).

Cabe aclarar que la biología sintética no representa una ruptura epistémica con las teorías y conocimientos previos, las tecnologías recombinantes no son sinónimo de ésta sino

campos precursores, es una disciplina cuantitativa que busca replicar y mejorar las funciones de los organismos vivos a partir del proceso ingenieril por medio de modificaciones racionales y transferencias intencionales de ADN, a partir de la producción en laboratorios de secuencias sintéticas.

Por lo cual, la biología sintética tiene el potencial de alterar de manera radical los procesos biológicos y estructuras organizativas básicas que son inherentes a la vida por su interpretación ingenieril de la evolución a partir de procedimientos digitales basados en una perspectiva mecanicista, automatizada y programable por medio del acceso digital de las secuencias genéticas y selección artificial que va más allá de la transferencia de ADN. Aunque los productos que se originan a partir de esta modificación pueden ser más invasivos que los elaborados por la biotecnología convencional, al reescribir códigos genéticos artificialmente con la capacidad de realizar funciones asociadas a las líneas mecánicas de producción (Alonso y Soto, 2014; Bellver, 2016; Fuentes, 2016; Diéguez, 2013; Ferrerio, 2017; GRAIN, 2006; Moñivas, 2016; Nuño, 2013; Nuño, 2016; Ruiz y Moreno, 2012).

Su desarrollo está generando nuevos avances científicos y tecnológicos que rebasan las limitaciones presentes en la transgénesis, lo cual se traduce en un distanciamiento con otras disciplinas. Su diferencia radica en la utilización de las secuencias de ADN, la primera utiliza las existentes en la naturaleza para transferirlas entre organismos; en cambio la biología sintética las obtiene por medio de la utilización de ordenadores para construir organismos de *novo*, lo cual dificulta evaluar sus comportamientos e impactos dentro de los organismos como en su contexto ecológico al ser difíciles de predecir sin importar el salto cualitativo por el hecho de que las capacidades de modificación y/o intervención de los sistemas biológicos es integral (González, 2018; Ruiz y Moreno, 2012; Thomas, 2013).

Con la biología sintética no sólo se busca leer o reajustar el código genético, plantea la necesidad de reescribirlo sistemáticamente para generar organismos con nuevas secuencias programadas que tengan la capacidad de auto ensamblarse a escalas nano. Lo cual impacta directamente en la forma de ver y analizar los sistemas biológicos porque permite un pluralismo metodológico que no es bien aceptado por las disciplinas ya consolidadas dentro de las ciencias biológicas al agregar un enfoque de diseño y construcción de los diferentes componentes para la vida (Diéguez, 2016; Echeverría, 2009; ETC, 2004b; Ochoa, 2013; Wan, 2012).

Se puede considerar un paradigma de continuidad donde su desarrollo se basa en un proceso acumulativo de los conocimientos de las ciencias previas, herramientas y tecnologías, a diferencia de otras disciplinas que sí representan procesos revolucionarios y discontinuos en el sentido que lo aplica Kuhn, por ese motivo es necesario analizarla como un enfoque evolutivo que se basa en gran medida en las principales disciplinas de la biología, no representando una ruptura total con los modelos de explicación anteriores, pero si tiene variaciones significativas entre sí principalmente sobre su concepción de vida y la forma de abordarla (Echeverría, 2003; Martínez *et al*, 2015).

Tres características sobresalen de la biología sintética en comparación con otras disciplinas, la primera tiene que ver con su relativa homogeneidad por los modelos, herramientas y técnicas que utiliza, la segunda característica es la relación tan estrecha con sus aplicaciones basada en dos elementos, en la generación de mayores resultados y la accesibilidad de los no expertos en su desarrollo, y la tercera es el medio por el cual se proyecta, rompiendo con los modelos tradicionales de generación de departamentos, clases, laboratorios o institutos para pasar a la organización de competencias a nivel internacional que agrupa a jóvenes entusiastas como mecanismo de difusión (Morange, 2009).

En el sentido estricto, la biología sintética no representa una revolución epistémica pero sí un cambio tecnológico, aunque impacta de manera positiva en la generación del conocimiento donde los métodos científicos están produciendo una transformación en la práctica científica y tecnológica al desarrollar nuevas estructuras, capacidades, sistemas de investigación, políticas de innovación en ciencia y tecnología. De igual forma, en las formas de organización para la generación, producción de productos y servicios, pero se tiene que evitar en un futuro que los diferentes procedimientos sean subsumidos automáticamente dentro de dicha categoría, muchos de los cuales son utilizados en otras disciplinas y están consolidados desde tiempo atrás (Coenen, 2016).

Aún se encuentra en una etapa de consolidación y validación de sus principios ingenieriles no conociéndose todo el potencial práctico que puede tener, su interacción con otras ciencias desarrolla sinergias que crean valor agregado al conocimiento, lo que puede traer mejoras a un número ilimitado de productos y servicios de alto valor comercial, algunos de los cuales ya se encuentran en el mercado o están en proceso. Para que esto sea posible se requiere mejorar las capacidades de modificación del genoma con seguridad y precisión donde la demanda de estas modificaciones podrá ser un elemento clave en la configuración de

la sociedad en las próximas décadas por las promesas que plantea la biología sintética (De Cózar, 2016; Diéguez, 2013; Joly y Raimbault, 2014).

1.1.3 Problemas y riesgos de la biología sintética

Como pasa con otras disciplinas convergentes e investigaciones relacionadas con las ciencias de la vida se tiene que proceder con un balance entre los potenciales riesgos y los beneficios, no hay que olvidar que la historia está repleta de nuevos conocimientos que permitieron el desarrollo de tecnologías que a la larga presentaron diferentes dificultades, siendo conscientes de las afectaciones que conlleva su uso y abuso. A pesar de ser una disciplina con un gran potencial se está desarrollando sin un debate sobre sus posibles implicaciones, así como poca regulación y control de las incertidumbres por los efectos socioeconómicos, de seguridad, salud, ambiente y de derechos humanos que podría tener (ETC, 2006: Friends of the earth *et al*, 2012; Porcar y Peretó, 2015; Romeo, 2010).

La biología sintética confronta, como pasó con la ingeniería genética, con el estigma y preocupación de que sea usada de forma inapropiada al tener efectos y consecuencias negativas difíciles de superar, al no comprender a cabalidad los principios y restricciones subyacentes en el diseño de organismos. Por ese motivo actualmente no hay consenso sobre si comparte problemas técnicos, sociales y culturales que se han planteado con anterioridad con otro tipo de desarrollos como la ingeniería genética, la clonación, la reprogramación celular o si los va a superar en el mediano plazo (Castro, 2011; Maiso, 2013b; Wang, 2013).

Derivado de su noción ingenieril, se plantean 4 problemas que limitan su desarrollo como disciplina dentro de las ciencias biológicas, el primero es la incapacidad de manejar la complejidad biológica por las interacciones internas y externas de las secuencias genéticas, no se tienen los instrumentos y los conocimientos para entender cabalmente cómo funcionan los organismos vivos, comprendiendo la redes de interacciones genéticas y epigenéticas en la que los genes están implicadas (Fuente, 2013; Nuño, 2016:453).

El segundo está vinculado a los métodos tediosos y en algunos casos poco fiables que se tienen para caracterizar y construir los sistemas biológicos, el funcionamiento de los organismos como de su sistema genético y celular no se acomoda a los esquemas basados en las ingenierías, las herramientas de diseño que utiliza la biología sintética se encuentran en etapas tempranas donde la identificación como análisis de los módulos y rutas de interacción de los genes son un problema (Ramírez y Gutiérrez, s/f).

El tercer problema son las variaciones, como pueden ser los cambios en la conducta de los sistemas y organismos, al ser entes complejos generan propiedades emergentes de forma espontánea que impactan de manera significativa en la adaptabilidad por la inserción de secuencias sintéticas apareciendo funciones emergentes que no fueron programadas, actualmente no se cuentan con los mecanismos y conocimientos para reducir la complejidad de los sistemas vivos a un nivel donde su comportamiento sea cien por ciento predecible (Diéguez, 2016; Isalan y Shaerli, 2012; Lorenzo, 2014; Maiso, 2013).

Por último, la evolución es impredecible. Al tener un conocimiento limitado de cómo funcionan los mecanismos y las interacciones que se llevan a cabo dentro y entre los seres vivos. Sigue habiendo una falta de entendimiento y tecnologías que permitan una mejor comprensión de estas interacciones, por lo que los organismos en principio más sencillos, pueden ser lo suficientemente complejos para generar comportamientos inesperados. Por ese motivo los objetivos propuestos por la biología sintética no son plenamente realizables a corto y mediano plazo, se requiere una mejor comprensión y un conocimiento más profundo del engranaje molecular y las interacciones genéticas para que cumpla con sus objetivos, sino seguirá encontrando múltiples dificultades y falta de aceptación (Murray, 2014; Murillo y Ruiz, 2016; Nuño, 2013; Porcar y Peretó, 2015).

Su carácter disruptivo plantea la necesidad de generar nuevos marcos de evaluación y análisis de riesgos que permitan gestionar sus desarrollos, los cuales serán más complejos en la medida en que se produzcan las secuencias sintéticas y los organismos sintéticos, por lo que es necesario cuestionarse si entran dentro de las perspectivas actuales o se deben establecer nuevos marcos que den cuenta de la complejidad de la cual es partícipe por sus características convergentes, generando incertidumbres en los contextos donde se transfieran y usen, teniendo como resultado un cambio de actitud sobre los conocimientos biológicos, las tecnologías, los derechos de propiedad y la percepción sobre las ciencias (Aguilar *et al*, 2012; González, 2018; Grupo de trabajo internacional de la sociedad civil sobre biología sintética, 2011).

Actualmente la biología sintética se desenvuelve con pocos debates sobre sus repercusiones y una nula supervisión regulatoria acorde a sus características por el hecho de que los desarrollos tecnológicos son más rápidos que las reflexiones en torno a ella, incertidumbres regulatorias que plantean si los componentes sintéticos entran dentro de Organismos Vivos Modificados (OVM) que el Protocolo de Cartagena (2003) utiliza, así

como si las metodologías de evaluación de riesgo costo-beneficio utilizadas para regular a la biotecnología moderna son adecuadas y siguen siendo aplicables o se requieren de mejoras que permitan dar cuenta de los nuevos retos y con ello reducir los posibles riesgos (Fernández, 2006; Friends of the earth *et al*, 2012; González, 2018; Ruiz, 2006).

Con el objetivo de plantear nuevas reflexiones en seguridad y los riesgos no hay que olvidar que muchas de las problemáticas y peligros tienen sus antecedentes en otras ciencias y tecnologías, donde el principio precautorio⁵ no se utiliza para orientar los desarrollos basados en biología sintética por aquellos países que dominan de manera activa la investigación, estos elementos en su conjunto plantean problemáticas emergentes las cuales están interconectadas entre sí y se pueden dividir en cuestiones técnicas, de conocimiento, ambientales, éticas y de bioseguridad (Grupo de trabajo internacional de la sociedad civil sobre biología sintética, 2011).

Técnicas: El tener algunas tecnologías de edición genética y los conocimientos para secuenciar los genomas, no necesariamente quiere decir que se comprenda a cabalidad los procesos biológicos. Uno de los mayores problemas es la inserción de nuevos genes que posibilite la creación de nuevos organismos que no tengan un símil de forma orgánica con el cual compararse, se deben diseñar y desarrollar las condiciones para que los genomas funcionen como se tenía pensado siendo un reto científico y a la vez técnico toda vez que el ADN son entidades interactivas que determinan su comportamiento (Alonso y Soto, 2014; Milken, 2005; Nuño, 2013).

Otros problemas son la falta de precisión, la indefinición de las biopartes y la no funcionalidad de éstas ante la aparición de comportamientos no deseados, el aumento de la complejidad, la incompatibilidad, interacciones no controladas y la variabilidad ante la aparición de comportamientos emergentes o mutaciones que ocasionan inestabilidad de los organismos al no determinar con antelación el comportamiento del huésped (De Cózar, 2016; Lorenzo, 2014; Macia y Solé, 2011).

A pesar de no conocer con claridad las posibles consecuencias a corto, mediano y largo plazo, las investigaciones no han parado en buscar el rediseño de las estructuras

⁵Surge como consecuencia de buscar la protección de la salud humana y del medio ambiente frente a ciertas actividades caracterizadas por la carencia de un conocimiento suficiente sobre sus posibles consecuencias (...) se mueve en un entorno de incertidumbre científica y de sospecha, todavía no acreditada, de que la actividad sometida a evaluación puede comportar grandes daños. El principio de precaución supone el tránsito del modelo de previsión (conocimiento del riesgo y de los nexos causales) al de la incertidumbre del riesgo, adonde es incalculable el daño y del posible nexo causal entre uno y otro (Romeo, 2010:05).

genéticas sobrepasando las capacidades de conocimientos y tecnológicas para comprender y analizar cómo funcionan los genes y sus combinaciones. Éstos no sólo se ven influenciados de manera interna sino por factores externos que posibilitan diferentes resultados en cada organismo, cambian a menudo con el contexto genómico y con las condiciones fisiológicas del hospedador lo cual genera una dependencia contextual que no es muy sencilla de superar (Friends of the earth *et al*, 2012; Lorenzo, 2014; Maiso, 2013; Nuño, 2013).

Conocimiento: Una limitante que es una constante es el desconocimiento que se tiene sobre las diferentes piezas que se usan, no se puede partir de la analogía de los artefactos mecánicos para comprender los procesos moleculares, prevalece una carencia de conocimiento respecto al comportamiento de los sistemas biológicos como de estructuras genéticas de forma fiable y la atribución de propiedades inherentes al organismo (De Cózar, 2016; Macia y Solé, 2011).

Un riesgo es la mala utilización, ya sea intencional o accidental de la biología sintética para la construcción de armas biológicas, patógenos, virus o especies invasoras con la liberación en Internet de información que permita a otros secuenciar y diseñar en ambientes que no tienen las medidas de bioseguridad adecuados, consecuencia de que los marcos de bioseguridad no tienen la capacidad de eliminar el riesgo que representa el acceso a las tecnologías y conocimientos por personas con intereses más allá de los científicos, de ahí la importancia por establecer mecanismos y pautas que permitan una mejor comprensión del uso que se le da y evitar consecuencias no deseadas.

Otro problema es la falta de conocimiento y entendimiento de los procesos evolutivos, la incapacidad de predecir con certeza las funciones secundarias que se podrían desprender de los dispositivos sintéticos y los efectos que pueda tener en las células modificadas. Del mismo modo, el conocimiento es un mecanismo de poder de los países desarrollados sobre las economías emergentes que se ve reflejado en la falta de acceso a las tecnologías y herramientas para la interpretación de la información, supone una desventaja competitiva entre los grupos de investigación no sólo en financiamiento sino en la generación, acceso y uso de nuevos conocimientos como tecnologías principalmente en los países que no concentran su desarrollo y aplicación, afectando en la producción de conocimiento a nivel teórico y práctico (Delgado y León, 2012; Lara, 2012; López, 2009; Ochoa, 2013).

De igual forma, genera riesgos para un número amplio de países al no obtener beneficios o retribuciones en especie, ya sea de tipo monetario o en la generación de

conocimiento derivado de la utilización de los recursos genéticos que tienen en su territorio, a pesar de que la información se encuentre dentro de sus límites geográficos pone en desventaja a los países de origen, dificultando el hacer uso de las secuencias genéticas extrañas, lo cual complica regular y controlar los flujos de los recursos genéticos, evadiendo las disposiciones de bioseguridad al traspasar las fronteras de forma digital, creando huecos en las reglas de bioseguridad y de acceso a los recursos genéticos, así como de participación en los beneficios que hacen posible una nueva modalidad de biopiratería⁶, la cual rompe con la noción del término y con el paradigma clásico de acceso físico a los recursos para pasar a una nueva modalidad virtual conocida como biopiratería digital (Augusto, 2012; Bagley, 2015; ETC, 2016: 2016b; Pastor y Ruiz, 2008).

Ambientales: Los efectos ambientales se relacionan con la generación de patógenos que se deriven de la creación de organismos como bacterias y virus, los cuales a su vez puedan generar agentes biológicos con cierta letalidad y toxicidad, así como metabolismos nocivos tanto para la naturaleza como para los seres humanos, que sean liberados o se esparzan por el ambiente accidentalmente poniendo en riesgo los organismos vivos, alterando los hábitats, las redes alimentarias o la biodiversidad (Cique, 2017; Wan, 2012).

Por los efectos que podrían tener, los organismos producto de la biología sintética no deben ser liberados sin información sobre la naturaleza del organismo y una evaluación de riesgo donde sus impactos ambientales no han sido evaluados, muchas veces se basan en los ya desarrollados de tecnologías anteriores no existiendo una regulación, reglamentación o marcos de bioseguridad que garanticen que no habrá afectaciones a la biodiversidad (CDB Alliance, 2012; Friends of the earth *et al*, 2012).

La biología sintética al encontrarse en una etapa temprana, puede tener un mayor potencial de provocar daños accidentales, impactando en la conservación y uso sostenible de la biodiversidad al permitir la transferencia de material genético mediante la transferencia horizontal de genes, generando daños irreversibles que se pueden traducir en la aparición de nuevas malezas y daños a las economías que dependen del uso de la biodiversidad (ETC, 2010; Thomas, 2013).

⁶Mientras que la biopiratería "*tradicional*" implica la extracción física del material de una comunidad a manos privadas, la biología sintética permite la "biopiratería digital" donde el ADN de un organismo se secuencia in situ, se carga en Internet como información y luego se transfiere digitalmente a un sintetizador de ADN para ser copiado y reconstruido en otro lugar (Bagley, 2015:13).

Éticas: Se plantean dilemas éticos-filosóficos a la hora de la manipulación humana muchos de los cuales están en etapas iniciales por la alteración del genoma humano y sus características hereditarias, el problema fundamental es caracterizar la organización mínima de los seres humanos con la intención de establecer límites en el control de la naturaleza por su promesa de crear vida de *novus*, no planteando límites o fronteras bien establecidas entre las máquinas y los organismos vivos (Fernández, 2006; Friends of the earth *et al*, 2012; Maiso,2013b; Murillo y Ruiz, 2016; Murray, 2014).

Se cuestiona hasta qué punto algunas investigaciones son morales y socialmente aceptables por la comunidad científica y la sociedad por los riesgos que entrañan, como los potenciales daños a los sujetos con los cuales se haga la experimentación. Por ende, es necesario resolver diferentes dilemas dentro de la biología, conocer los principios fundamentales de lo que conocemos y definimos como vida a partir de una nueva noción, por lo que es necesario reflexionar sobre qué beneficios puede aportar y qué riesgos se pueden derivar de su desarrollo como uso (Fernández, 2006; Murray, 2014).

Bioseguridad: Los marcos actuales de regulación sobre biotecnología y las metodologías de evaluación de riesgos no son adecuados para comprender el alcance de la biología sintética, no existen procedimientos para evaluar los impactos directos en bioseguridad de los productos y el desarrollo de secuencias sintéticas, esto plantea nuevos retos ante las limitaciones específicas de los principios y metodologías que actualmente se usan en los OGM.

Diferentes organismos públicos y privados han aprobado distintos informes respecto al tema, pero es necesario una discusión amplia sobre las implicaciones y la creación de marcos regulatorios adecuados a cada país, donde los intereses y problemáticas marquen las agendas de investigación y no así los grandes conglomerados empresariales. Las características de la biología sintética permiten enviar secuencias genéticas de forma digital y reproducirlas en cualquier parte del mundo que tenga los conocimientos y herramientas disponibles, lo que genera nuevos retos regulatorios al evadir las reglas de bioseguridad respecto al uso de material genético y el reconocimiento, aprovechamiento y beneficios de los recursos genéticos al atravesar las fronteras estatales de forma virtual (ETC, 2016: 2017; Viguera y Diéguez, 2015).

Estos elementos plantean una nueva forma de apropiación de la naturaleza como es la biopiratería digital, la cual no está contemplada dentro del Convenio de Diversidad Biológica

(CDB) (1992) y el Protocolo de Nagoya (2010), al no cubrir los organismos sintéticos, productos, procesos y tecnologías relacionadas con la biología sintética, aunque diferentes lineamientos y directrices existentes para evaluar a los OGM actualmente se pueden aplicar a la biología sintética por la similitud de efectos adversos, existe la posibilidad de generar riesgos que sean específicos que no se vinculen al producto final sino al proceso de investigación y desarrollo de organismos sintéticos (Alonso y Soto, 2014; CDB, 2012b).

Esta nueva modalidad de piratería plantea cambios en las formas de explotación de los recursos genéticos, donde la biología sintética tiene el potencial de minar la implementación de las obligaciones de acceso a los recursos genéticos por parte de los países, eliminando la posibilidad de una repartición de beneficios, los cuales van a depender en gran medida del marco legal y de regulación adoptados por los gobiernos para proteger sus recursos. A la par genera preguntas, dudas y cuestionamientos sobre las obligaciones potenciales de la biología sintética respecto a la propiedad intelectual, el consentimiento previo e informado, el acceso y repartición de beneficios al tener el potencial de erosionar los acuerdos internacionales sobre la conservación genética y generar dificultades a la hora de las negociaciones sobre diversidad biológica al no considerar dentro de sus postulados la transmisión digital de materiales biológicos (Augusto, 2012; Bagley, 2015; ETC, 2007: 2016; Landeweerd y Peter, 2016).

1.2 Desarrollo y evolución de la biología sintética

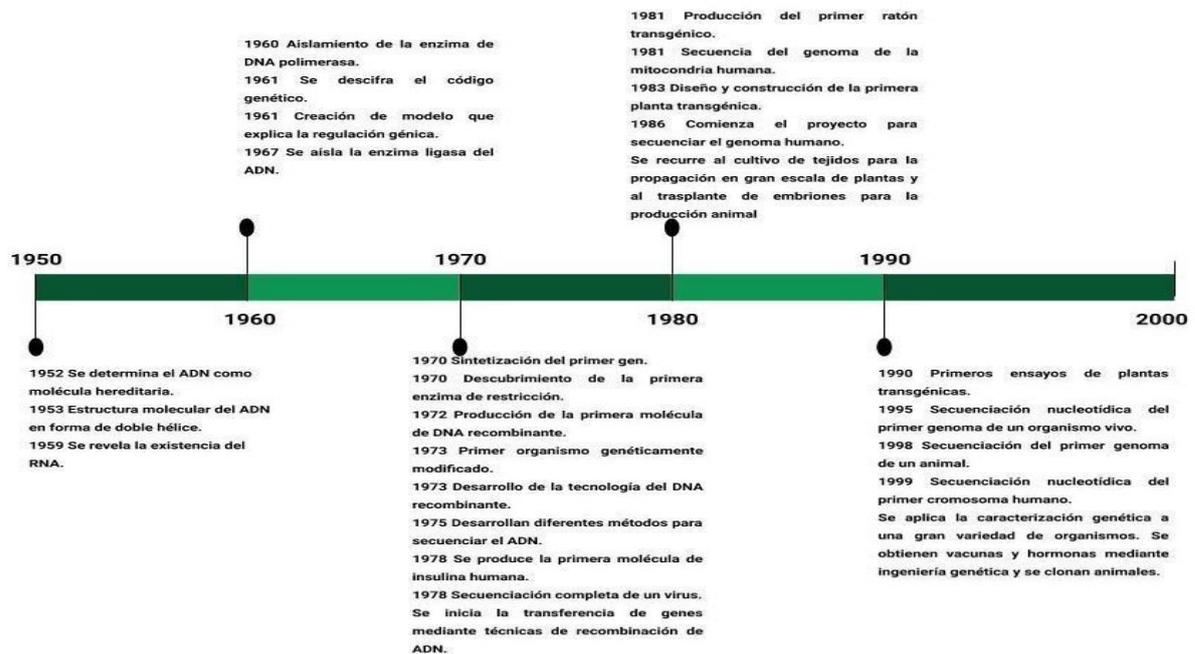
La biología sintética es heredera de distintas tradiciones científicas desarrolladas durante el siglo XX como la mutación dirigida y el estudio de los mecanismos hereditarios, estos conocimientos permitieron que posteriormente se dieran importantes avances en las ciencias biológicas con el desarrollo de diferentes disciplinas y la creación de tecnologías de edición genética, permitiendo grandes avances técnicos en las décadas siguientes en el área de la experimentación biológica (Alonso y Soto, 2014; Grewal, 2017; Ruiz y Moreno, 2012).

Algunos aportes que permitieron el desenvolvimiento de la biología molecular y lo que posteriormente se conocería como biología sintética, fue la publicación del artículo de Francois Jacob y Jacques Monod *General Conclusions: Teleonomic Mechanisms in Cellular Metabolism, Growth, and Differentiation* en 1961, que representó un parteaguas al hablar de los mecanismos de regulación genética en las células así como el descifrado del código genético en 1964 y los avances en la manipulación genética que permitieron que los genomas se materializan en un ente físico, tangible y manipulable para los científicos, abriendo paso a

una nueva etapa en las ciencias biológicas conocida como fase experimental dentro de la biología molecular que permitieron avances técnicos en la manipulación genética (Cárdenas, 2013; Fuentes, 2013; Villatoro, 2014).

Los antecedentes de la biología sintética se remontan a la segunda mitad del siglo XX a partir del descubrimiento del ADN en 1953 que permitió vincular los procesos moleculares a las secuencias de ADN, pero no fue hasta 1978 que se anunció una nueva era de la biología a la que se nombraría como sintética por la intención de sintetizar las moléculas de ADN con el fin de diseñar genes, es bajo este lapso que se desarrolló la biología molecular que sentó las bases para la intervención de los sistemas biológicos con el potencial de canalizar como controlar la acción externa del gen, y la biotecnología moderna que permitió la selección, separación y transferencia de los genes de forma asistida en laboratorios gracias a los nuevos modelos computacionales y tecnologías de edición genética donde la biología molecular, la bioquímica y algunas ingenierías comenzaron a vislumbrar la posibilidad de estandarización de procesos biológicos en las ciencias (Alonso y Soto, 2014; Grewal, 2017; Ruiz y Álvaro, 2012).

Imagen 3. Antecedentes de la biología sintética



Fuente: Elaboración propia a partir de Castro, 2011; Gaviño, 2016 y Pichardo, 2016.

La biología sintética es resultado de la acumulación de una gran cantidad de conocimientos que se ha venido generando, esparciendo y cimentado desde mediados del siglo XX y principios del XXI (Ver la imagen 3.), Villatoro ubica sus antecedentes entre los años 1961 y 1999 por lo que se considera una disciplina en pleno crecimiento que tiene sus

fundamentos en desarrollos científicos y tecnológicos desarrollados en el siglo pasado que son parte importante del crecimiento de la biología, para mediados de la década de los noventa la secuenciación automatizada del ADN, las mejoras en las técnicas de alto rendimiento para medir Ácido Ribonucleico (ARN), proteínas, lípidos y los metabolitos permitieron a los científicos generar un amplio catálogo de componentes celulares y sus interacciones (Bensaude, 2013; Cameron *et al*, 2014; Muñoz *et al*, 2019; Villatoro, 2014).

Tomando en cuenta estos elementos, diferentes autores proponen distintas trayectorias y cortes temporales para explicar el desarrollo como el crecimiento de la biología sintética. Church y Regis plantean que ha recorrido tres fases: la primera vinculada a las primeras etapas de la ingeniería genética que inició en los años setenta con la modificación del genoma de microorganismos, la segunda asociada a la genómica sintética y la elaboración de nuevos fármacos, biocombustibles y OGM, y la tercera el momento presente que tiene como objetivo crear síntesis completas de genomas, incluso la creación y producción de especies nuevas (Church y Regis, 2012; Garro, 2016).

En contraste, Cameron *et al* (2014) proponen tres periodos: el primero llamado etapa fundacional que se ubica entre los años 2000 y 2003 donde se establecen sus características, el segundo denominado periodo intermedio, que va del 2004 al 2007 y que se caracteriza por la expansión de la disciplina, y por último el periodo de expansión del año 2008 al 2013 donde se da un aumento del ritmo y escala, caracterizándose por una innovación acelerada y un cambio en las prácticas permitiendo avanzar hacia las aplicaciones comerciales e industriales (Cameron *et al*, 2014).

Los diferentes autores analizan diferentes elementos en la conformación de la disciplina, el primero resalta las herramientas tecnológicas dentro de la biología molecular que sentarán las bases para el desarrollo de la biología sintética, en cambio los segundos, enfatizan sus características a partir de su versión moderna que se ha ido construyendo en las últimas dos décadas. En este sentido, en este trabajo se retoma la cronología de Cameron y sus colaboradores (2014), con algunas modificaciones temporales y conceptuales, proponiendo diferentes criterios de demarcación y analizando tres etapas de la trayectoria de la biología sintética a nivel mundial: la primera va de los años 2000 con los primeros artículos que le dan sustento, conocidos como trabajos fundacionales, hasta la primera competencia del gremio, llamada “International Genetically Engineered Machine” (iGEM) ocurrida en 2004, momento

caracterizado por ser el proceso inicial donde se generan los cimientos de la disciplina, se realizan las primeras publicaciones sobre el tema y reflexiones de forma sistemática.

El segundo periodo, denominado fase de desarrollo abarca del 2005 a partir de la secuenciación del virus de la gripe de 1918 hasta el 2010, con la presentación pública de la *primera célula sintética*, en esta etapa se plantean las primeras agendas de investigación, se gestan los procesos de institucionalización, se amplían los esfuerzos por pasar a una etapa comercial, aumentan los proyectos para incrementar las iniciativas educativas y hay un crecimiento considerable entre los grupos, organizaciones e investigadores sobre el tema.

La tercera etapa, denominada de expansión incluye desde el 2011 -a partir del reporte *News Directions: The Ethics of Synthetic Biology and Emerging Technologies* entregado al presidente Obama- hasta el 2019, con la creación del primer organismo creado con ADN sintético; se caracteriza por un crecimiento en términos cuantitativos y cualitativos de la biología sintética, hay un incremento en las publicaciones, investigadores, patentes, universidades y centros de investigación involucrados y orientados en formar recursos humanos, una agenda de investigación más amplia, nuevos problemas y abordajes, así como el desarrollo de tecnologías que sustentan a la biología sintética.

1.2.1 Etapa fundacional (2000-2004)

La biología sintética surge en una etapa de formación de nuevas disciplinas dentro de la biología que se agrupan en la categoría *ómicas* -genómica, proteómica, metagenómica-, incluyendo la bioinformática, sus antecedentes se ubican en la mitad del siglo XX y es consecuencia tanto de los conocimientos como de las tecnologías generadas a partir de esos años, que plantearon un avance respecto al estudio de la biología lo que vino a modificar parcialmente el paradigma de las ciencias (CDB, 2017; Fundación Alternativas, 2010; Morange, 2009).

A pesar de que el concepto de biología sintética no es reciente y la utilización del término sintético para describir la síntesis bioquímica de los genes tiene más de treinta años, es a inicios del siglo XXI que resurge bajo otra connotación adecuada a las nuevas realidades tecnológicas por los objetivos que se plantean, las tecnologías que utiliza y los avances que ha logrado en las últimas dos décadas pasando de la transferencia de los genes a la creación de estos.

En un principio el término rivalizó con otras definiciones como *biología constructiva* vinculada a la inteligencia artificial, concepto acuñado en 1999 que tenía el objetivo de analizar y comprender los mecanismos biológicos por medio de la construcción de sistemas, y la *biología intencional*, frase utilizada en el año 2000 con la finalidad de investigar el potencial adquirido de las ciencias biológicas a partir de la introducción de métodos de ingeniería (Bensaude, 2013).

Una particularidad de la biología sintética es que sus precursores son principalmente académicos en ingeniería de sistemas y no biólogos como se podría esperar, los cuales esperaban establecer prácticas similares en biología. Como pasa con distintas disciplinas, diferentes investigadores asumen su autoría; por un lado se considera como uno de los fundadores a Carlos Bustamante, biólogo de Berkeley que fue investigador en el Instituto de Ciencias Moleculares hasta el 2002, así como a Tom Knight, Drew Endy y Ron Weiss del MIT, siendo estos últimos los que son más reconocidos y se les considera sus precursores, los cuales tenían la intención de construir organismos vivos de igual forma que algún artefacto o maquinaria (Bensaude, 2013; Domínguez, 2013; Grewal, 2017).

La biología sintética es el resultado de la conjunción de una amplia contribución teórica y diferentes publicaciones que permitieron encaminarla, conocidos como artículos fundacionales sentaron las bases de la disciplina dentro de las ciencias biológicas, resaltan los aportes de Leland Hartwell, John Hopfield, Stanislas Leibler y Andrew Murray, así como Timothy Gardner, Charles Cantor y James Collins (Ver anexo 3.). Estos dos aportes proporcionaron los cimientos de la construcción de circuitos biológicos y la catalización para la creación de diferentes partes biológicas de forma estandarizada, con ellos se dan los primeros pasos en la caracterización de la biología sintética como una disciplina de con una fuerte connotación ingenieril y bajo una perspectiva artefactual por las similitudes con los artefactos mecánicos y eléctricos, hasta ese momento se presentaba como una disciplina desconocida dentro de la biología y gracias a la publicación de distintos artículos realizó su presentación oficialmente a principios del siglo (Cameron *et al*, 2014; Gaviño, 2016; Morones, 2010; Schmidt, 2010).

A pesar de las promesas que plantea su desarrollo, no ha estado exento de controversias y conflictos no solamente relacionados con las herramientas que utiliza sino con los organismos que ocupan como base de la síntesis. Su primer avance se registró en el año 2000 con el desarrollo de un genoma sintético a partir de la síntesis del virus de la hepatitis,

para el 2002 se da la primera alerta a nivel mundial, el virólogo Eckard Wimmer junto a su equipo de la Universidad Estatal de New York reconstruyó el virus de polio a partir de segmentos de ADN solicitados por correo y de un mapa del genoma viral disponible en ese momento de forma libre en Internet, lo cual sentó las bases de los primeros cuestionamientos sobre la regulación de la disciplina y los primeros riesgos potenciales por su uso para la elaboración de armas biológicas (Cárdenas, 2013; Church y Regis, 2012; ETC, 2007; Wan, 2012).

Para el año 2003 el panorama de la biología sintética cambió considerablemente partir de la creación del primer virus elaborado a partir de elementos sintéticos por Dr. Craig Venter el cual tenía como característica un comportamiento similar a un virus natural, de igual forma el Dr. Jay Keasling de la Universidad de California diseñó e introdujo un circuito genético para producir en la bacteria *Escherichia coli*, una sustancia química precursora de la artemisa que es usada contra la enfermedad de la malaria (Aguilar *et al*, 2012; Cárdenas, 2015; Domínguez, 2013; ETC, 2007).

Dentro de este orden de ideas lo que le dio visibilidad y reconocimiento a nivel internacional y uno de los principales programas de investigación fue el concurso iGEM realizado por el MIT en 2003 con 5 equipos de diferentes partes de Estados Unidos (E.U), el cual tenía como objetivo promover el desarrollo de la biología sintética impulsando a los estudiantes a desarrollar dispositivos biológicos de forma estandarizada, actualmente es la actividad más grande, visible y que aglutina a la mayor parte de la comunidad a nivel mundial (Cique, 2017; Guan *et al*, 2013).

El éxito fue tal que en el año 2004 la competencia iGEM se expandió e internacionalizó, aumentando considerablemente el número de participantes y la cantidad de biopartes, en principio se basa en una idea simple: la utilización de los principios de ingeniería en la biología como la estandarización, abstracción y desacoplamiento para generar nuevas funciones en los sistemas vivos que sean menos intimidantes, más accesibles y predecibles (Cique, 2017; Nature Biotechnology, 2014).

A partir de los aportes de los estudiantes y los proyectos presentados se creó la librería biológica por iniciativa del MIT conocida como Registry of Standard Biological Parts donde se catalogan los biobricks, propuesta en 2003 por el investigador Tom Knight y tiene como objetivo generar modelos a nivel de la composición física de las secuencias, representado un

esfuerzo temprano para abordar los problemas de almacenamiento y montaje de los organismos vivos (Cameron *et al*, 2014; Fuentes, 2013; Grewal, 2017).

Ante la difusión e internacionalización de la biología sintética se da la primera conferencia mundial en el MIT -*Synthetic Biology 1.0 (SBI.0)*-, con la cual se buscaba la obtención de células y organismos creados a través de la ingeniería, promesa lejos de cumplirse dentro de las investigaciones al ser costosas, poco fiables y realizados *ad hoc*. A pesar de ello se sentaron los cimientos en la construcción de una comunidad científica aglutinando a ingenieros, biólogos, químicos, físicos e informáticos con apoyos gubernamentales y permitiendo la creación de diferentes grupos, proyectos y líneas de investigación en el mundo, lo cual permitió que en meses posteriores los investigadores del Lawrence Berkeley National Laboratory de la Universidad de California anunciaran la creación del primer departamento de biología sintética del mundo (Cameron *et al*, 2014; ETC, 2007; Fuentes, 2013; López *et al*, 2006).

Pero no todo fueron grandes avances y logros: desde el principio se generaron los primeros cuestionamientos respecto a la biología sintética pero no fue hasta el 2004 que la editorial de *Nature* sugirió la realización de una conferencia bajo la idea de reproducir un tipo de conferencia de *Asilomar* en torno a la biología sintética ante el potencial de sobrepasar los principios de protección y precaución, incrementado los riesgos asociados a su desarrollo y utilización se buscó convocar a una nueva conferencia para establecer nuevos lineamientos de bioseguridad (Cique, 2007; Domínguez, 2013; ETC, 2007).

A pesar del carácter multidisciplinario de la biología sintética, en la primera etapa se desarrolló bajo un modelo de publicación de una serie de artículos que permitieron establecer sus cimientos, etapa en la cual se sentaron las bases para que en años posteriores se desarrollará un perfil disciplinario e institucional con la creación de grupos de trabajo, departamentos, objetivos y líneas de investigación con financiamiento, como se plantearon las primeras reflexiones sobre los riesgos asociados e incertidumbres en su desarrollo, uso y aplicación como parte de las controversias que suscita dentro del desarrollo científico y tecnológico.

1.2.2 Etapa de desarrollo (2005-2010)

A partir de 2005 da inicio una nueva etapa en la biología sintética donde diferentes opiniones alzan la voz sobre la orientación que debería seguir la disciplina en los años venideros. En

este sentido, dos artículos sobresalen de los demás; el primer aporte de Drew Endy, principal teórico y practicante de la biología sintética con *Foundations for Engineering Biology* que promueve a las tecnologías basadas en la ingeniería informática, el segundo es *Synthetic Biology* de Steve Benner y A. Michael Sismour que hacen un análisis a través de la química, estos autores a su vez plantean dos modelos de disciplina que generaron diferentes reflexiones sobre su trayectoria (Bensaude, 2013).

Estos debates influyeron en la conformación del movimiento Do It Yourself (DIY) en 2005 que tiene como propuesta elaborar herramientas y conocimientos accesibles necesarios para realizar experimentos científicos de biología molecular, microbiología, biología celular y bioquímica con soluciones a bajo costo en plataformas colaborativas como repositorios digitales y bancos de datos que permitan la circulación del conocimiento en torno a la biología. A pesar de ser un movimiento alternativo a los modelos clásicos de propiedad intelectual y derecho de autor, no es una práctica generalizada dentro de las ciencias de la vida a pesar de sus propuestas y principios, ya que a través de estrategias de código abierto busca reducir la complejidad al acceder a los recursos genéticos de manera digital y de forma gratuita por medio de distintas acciones, buscando la divulgación, intercambio y accesibilidad de los conocimientos como herramientas informáticas (Bagley, 2015; García, 2016).

Del movimiento se desprenden iniciativas internacionales como Openwetware en 2005, el cual es un wiki público desarrollado en Estados Unidos donde se comparten protocolos de laboratorio, Synthetic Biology Research Center (SYNBERC-2006) el cual es un consorcio de laboratorios en biología sintética de varios académicos de instituciones radicadas en los E.U. y el desarrollo de la plataforma *DIYbio.org* que tenía como objetivo servir de canal de comunicación entre las comunidades para transferir conocimiento sobre el tema.

A la par del surgimiento del movimiento y de una serie de iniciativas, diferentes instancias internacionales empezaron a preocuparse por la estrategia que seguiría la biología sintética, uno de los primeros en abordar el tema fue la Comisión Europea, a pesar de ello estos debates no fueron impedimento para la continuidad en la investigación, muestra de ello son los desarrollos e investigaciones que continuaron en años posteriores como la reconstrucción del virus de la gripe de 1918 (Asociación Mexicana de Biología Sintética A.C, 2011; ETC, 2007).

Por otro lado, ante la carencia de financiamiento y la promesa de múltiples aplicaciones con valor comercial, un número creciente de investigadores formaron las

primeras empresas de biología sintética, la expansión de compañías como LS9, Amyris y Codon Devices y un interés en invertir a partir de fondos públicos como capitales de riesgo, donde las agencias de E.U. participaron activamente para la ampliación de la investigación y la creación de redes institucionales proporcionando capital a diferentes laboratorios, académicos e institutos de ese país (Cameron *et al*, 2014; Ruiz, 2006).

La biología sintética comenzó a recibir un amplio reconocimiento de la prensa especializada debido al crecimiento de la competencia iGEM, la cual jugó un papel relevante generando interés dentro de las universidades y el público por sus planteamientos como el uso de las biopartes, de igual forma una de las iniciativas que sobresale y se desprende del concurso es la creación de la Fundación Biobricks por iniciativa de Tom Knight, su intención fue crear una plataforma con estándares homologados para el desarrollo y fabricación de biopartes que fungiera como un repositorio de fragmentos de ADN (Cameron *et al*, 2014; Cárdenas, 2015; Macia y Solé, 2011; Nuño, 2016).

Es bajo este contexto que durante el 2006 se dan una serie de avances en los planteamientos de la biología sintética, por ejemplo, se anunció el diseño de una cepa de levadura para producir el ingrediente activo de la artemisa -ácido artemisínico- por parte del profesor Jay Keasling de la Universidad de California en Berkeley, se rediseñó una cepa de avispa para producir una sustancia que tenga la misma resistencia que el Kevlar y se dio la reducción de elementos genéticos es una bacteria de *Escherichia coli* para el desarrollo de un chasis, una estructura de elementos genéticos mínima (Bellver, 2016; ETC, 2007).

A pesar de los avances que se dieron durante esos años, un grupo de investigadores llamó públicamente a ejercer un código voluntario de conducta que permitiera autorregular el trabajo dentro de los laboratorios para manejar los riesgos de bioseguridad, siendo rechazado en principio por diferentes organizaciones por la carencia de estudios que dieran cuenta de los posibles impactos, a causa de ello una coalición de organizaciones lideradas por la ONG por Erosion, Technology, Concentration Group (ETC) realizó un llamado a cuestionar las propuestas de auto-regulación, comenzando con un diálogo abierto con la sociedad ante la iniciativa de realizar un *Asilomar* para la biología sintética en el evento de *SynBio 2.0* (ETC, 2007).

Esta reunión se realizó y de ella se desprendió una declaración -sin haberse debatido previamente con las organizaciones o gobiernos-, donde se hacía un llamado a la comunidad científica en todo el mundo para actuar con el objetivo de mitigar las preocupaciones sobre la

seguridad y regirse bajo una óptica de autorregulación, sin regirse dentro del principio de precaución. De igual forma, se desarrollaron diferentes proyectos como Synbiosafe de origen europeo que tenía la intención de investigar los aspectos éticos y de seguridad de la biología sintética para así generar un debate más amplio e incluyente, como propuestas es autogobernanza del instituto de Craig J. Venter publicadas el informe de Synthetic Genomics: Options for Governance en 2006 (Asociación Mexicana de Biología Sintética A.C, 2011; ETC, 2007; GRAIN, 2006).

Para el 2007 hay importantes avances en la investigación aplicada, los investigadores Mamie Li y Stephen Elledge describen en un artículo publicado en *Nature Methods* cómo unir distintos fragmentos de ADN permitiendo un ensamblaje más eficiente y reproducible en comparación a las técnicas previas, también se presentó la construcción de un microorganismo que sintetizaba 13 enzimas de distintos organismos que le conferían capacidad de transformar el almidón en hidrógeno. El equipo del Dr. Venter sintetizó el genoma de *Mycoplasma genitalium* representando un avance técnico al permitir cambiar una especie bacteriana por otra y se presentó la primera solicitud de patentamiento a lo que él considera que es una nueva forma de vida llamada *Mycoplasma laboratoriums* (Cárdenas, 2015; Nuño, 2013; Schmidt, 2010).

A pesar de los avances, el tema de la bioseguridad no fue abandonado durante estos años; la Unión Europea desarrolló el proyecto *Hacia una estrategia europea en Biología sintética* que tenía como fin dar un panorama sobre las perspectivas futuras, por otro lado ante el debate creciente por el posible uso malintencionado de la biología sintética y sus técnicas, E.U creó el National Science Advisory for Biosecurity (NSABB) y el comité Frank-Lemon-Relman para controlar los patógenos peligrosos en la Universidad de Maryland (Asociación Mexicana de Biología sintética A.C, 2011).

De igual forma, el gobierno británico creó el Sciencewise Expert Resource Centre con el cual buscaba generar y promover iniciativas de vinculación, diálogo y reflexión de las ciencias y las técnicas emergentes. En este contexto que se llevó a cabo la tercera conferencia *SynBio 3.0* en Zurich-Suiza donde se plantearon las primeras iniciativas que permitieran un mapeo sobre propiedad intelectual en biología sintética a partir del taller organizado conjuntamente por el MIT y *Duke Center for Public Genomics* (Joly y Raimbault, 2014; Singh, 2017).

Para el 2008 las cosas cambiaron drásticamente, siendo reconocida como la hazaña más grande dentro de la biología sintética hasta ese momento la creación de la primera bacteria simple a la cual se le ensamblaron 485 genes codificadores del *Mycoplasma genitalium*; este avance permitió reforzar los programas de investigación como la conexión de la biología, la ingeniería y la informática, impactando de forma positiva en el número de publicaciones sobre el tema las cuales describen circuitos con un mayor grado de complejidad con mejoras a partir de partes caracterizadas que mostraron un comportamiento preciso (Schmidt, 2010).

De igual forma, surge uno de los proyectos de mayor relevancia a nivel mundial lanzado por el *Woodrow Wilson International Center*, el cual tenía el objetivo de informar y minimizar los riesgos, generando confianza en el público a partir del mapeo de la biología sintética, la anticipación, identificación y abordaje de los riesgos emergentes, así como el análisis de la percepción pública, a la par se promovió la creación y utilización de repositorios, bancos de datos, plataformas e iniciativas que permitiera el acceso de material genético digitalizado con el fin de realizar secuenciaciones de forma sintética como parte de los esfuerzos del código abierto.

Otra iniciativa fue Synthetic Biology Open Language (SBOL) que buscaba crear un software y herramientas que permitieran sentar las bases de un estándar para el intercambio de diseños genéticos a partir del código abierto, Bajo el auspicio de la Academia Nacional de Ciencias (NAS), la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) y la Sociedad Real de Reino Unido, se celebró el simposio *Oportunidades y retos en el campo emergente de la Biología Sintética* del 9 al 10 de julio en Washington (Asociación Mexicana de Biología Sintética A.C, 2011; Cameron *et al*, 2014; Moñivas, 2016).

En cambio, en Alemania se publicó una declaratoria conjunta sobre los posibles riesgos y oportunidades asociados a la biología sintética, con el objetivo de mejorar la calidad de los repositorios de partes biológicas se crea *BioFab* proyecto destinado a documentar las funciones y los comportamientos de las partes biológicas de mejor forma (Asociación Mexicana de Biología Sintética A.C, 2011; Nuño, 2016).

Para 2010 el panorama de la biología sintética cambió por completo, ya que se desarrolló lo que se considera como la *primera célula sintética*⁷ la cual representaría un

⁷ Lo novedoso parte del hecho de que por primera vez se sintetizaba toda la cadena de ADN de un ser vivo (...) componer en el laboratorio mediante ordenador el genoma de un ser vivo, ubicarlo en un “chasis” celular distinto, y conseguir que esa entidad sintética se autorreplicara naturalmente (Bellver, 2016:638).

parteaguas para las ciencias biológicas y un avance tecnológico, este avance permite ir definiendo los genes mínimos que se necesitan para que funcione un organismo, basados en el hecho de que la vida se basa en la información genética el equipo de Craig Venter ensambló el genoma de *Mycoplasma mycoides* trasplantándolo a una célula de *Mycoplasma capricolum* lo que permitió desarrollar nuevas células de *Mycoplasma mycoides* (Wan, 2012).

Aunque el experimento fue publicitado a nivel mundial y presentando como un hito importante dentro de las ciencias biológicas, posteriormente se desarrolló una segunda versión sin tanto impacto mediático, siendo la primera la que creó una serie de dudas, debates e incertidumbres respecto a la creación por primera vez de vida artificial, muchas críticas planteaban que no se había creado vida en el sentido estricto sino que se ha reproducido y/o copiado la secuenciación del organismo con técnicas de laboratorio de forma sintética ante el hecho de que el organismo no tiene la capacidad de autorreplicarse.

En ese mismo año E.U. creó una comisión presidencial que discutiera los aspectos e implicaciones relacionadas con la biología sintética con la intención de analizar su potencial estratégico para esa nación, sus consecuencias y riesgos, desprendiéndose un año después el informe *New Directions: The Ethics of Synthetic Biology and Emerging Technologies*. Washington, ed. D.C.: *Presidential Commission for the Study of Bioethical Issue* donde se analizaron las implicaciones de las técnicas y tecnologías contrastadas con los valores éticos (Murray, 2014).

Es por ello que el experimento y los resultados obtenidos por Venter elevaron las pretensiones de crear organismos sintéticos con la finalidad de ser utilizados con fines industriales, donde la relación con la industria se estrechó con el pasar de los años, las instituciones de educación y los departamentos de investigación participan como actor central en el desarrollo de los proyectos. En el caso de los países industrializados, universidades de los E.U. y Reino Unido son las que llevan la batuta en el tema, concentrado en la mayoría de los casos la investigación al conformar departamentos e institutos y consolidar grupos de trabajo sobre biología sintética (Domínguez, 2013).

En el caso de E.U, este país concentra la mayoría de las empresas involucradas en biología sintética que han participado con la creación de departamentos de investigación y desarrollo, programas de educación a la par se genera lazos con las universidades para trabajar de forma conjunta con organismos orientados a su difusión, esto se debe a las inversiones

públicas y privadas como los incentivos gubernamentales para su investigación e implementación (Asociación Mexicana de Biología sintética A.C, 2011; Domínguez, 2013).

Tres elementos caracterizan la segunda etapa: el primero fue el cambio en el modelo de financiamiento pasando de capitales de riesgo a apoyos públicos y privados como principal fuente de inversión, el segundo es la apertura de nuevos canales de comunicación entre los investigadores y la internacionalización de la comunidad de biología sintética a partir de distintos eventos, permitiendo un periodo relativo de estabilización, el tercero es el aumento del ritmo de las investigaciones con la creación de redes institucionales donde la competencia iGEM marcó un antes y un después, gracias a su realización permitió construir una comunidad científica en torno a la biología sintética e inició un proceso de institucionalización en las universidades y centros de investigación en todo el mundo (Gaviño, 2016; Raimbault *et al*, 2016).

1.2.3 Etapa de expansión (2011-2019)

En comparación con la etapa anterior, la biología sintética tiene una maduración en doble sentido, tanto en ritmo como en calidad en la producción de tecnologías, productos y conocimientos, se encuentra en una fase precompetitiva donde la mayoría de las investigaciones se plantean de carácter básico y algunas de ellas tienen implicaciones en el conocimiento tecnológico como en las ciencias aplicadas (Cameron *et al*, 2014; Domínguez, 2013).

A pesar de que la mayor parte de las investigaciones no se clasifican como biología sintética diferentes líneas de investigación sí son presentadas como tal, bajo el concepto de biología sintética se cobijan y aglutinan distintas iniciativas, departamentos, institutos, laboratorios, tesis, congresos, becas y revistas con la intención de atraer, obtener y capitalizar fondos privados como públicos impactando de forma positiva dentro de la disciplina (Müller, 2016).

Este nuevo panorama trajo consigo una serie de cambios que fortalecieron la presencia de la biología sintética a nivel mundial, ejemplo de ello es la competencia iGEM que al inicio comenzó con 16 estudiantes y para el 2011 se dividía en tres competencias regionales - América, Asia/Australia y Europa/África- donde participaron más de 1,000 personas en 143 equipos provenientes de 28 países. Otro indicador es el número de publicaciones que tuvieron un aumento considerable pasando de 51 hasta el 2005 a 1,255 registradas en el *Web of Science*

sólo en el 2011, incluyendo publicaciones, actas de congresos, trabajos de científicos sociales y otros interesados en comprender las implicaciones de la biología sintética (Guan, 2013; Oldham *et al*, 2012).

A pesar de los cambios planteados los desarrollos continuaron y las preocupaciones por los riesgos e incertidumbres, en 2011 se completó y presentó en la revista *Nature* por parte de investigadores de la Universidad de Wisconsin la creación de una cepa híbrida de gripe aviar con el potencial de propagarse entre los humanos, fue retrasada su publicación por temas de riesgo biológico ante la posibilidad de ser usada como arma biológica (Wan, 2012).

Los temores por el uso de la biología sintética y sus técnicas en la construcción de armas biológicas permitieron la creación de diferentes iniciativas que tuvieron como objetivo identificar y mitigar los riesgos centrándose en las etapas de desarrollo, contemplando actividades difíciles de rastrear como las que se aglutinaban dentro de la perspectiva DIY que se desarrollan en la mayoría de los casos fuera de las normas y mecanismos de prevención de bioseguridad. A la par, siguieron las iniciativas de código abierto, se lanzó la primera versión del modelo de datos básicos SBOL y se realizaron dos congresos de la plataforma *DIYbio.org* donde se propusieron códigos de ética contemplando los tipos de prácticas (Moñivas, 2016; The Wilson Center, 2015).

En 2011 el *Woodrow Wilson International Center* en Washington reunió a un grupo de biólogos y ecólogos con la intención de explorar los posibles riesgos ante la latencia de la introducción de nuevos organismos sintéticos en el medio ambiente para evaluar sus efectos. También se realizaron talleres en San Francisco y Londres para facilitar el desarrollo de códigos voluntarios de conducta para las comunidades de investigadores dentro de las redes formales e informales de investigación (The Wilson Center, 2015).

En ese mismo año el equipo de Dr. Randy Lewis introdujo un gen de araña a cabras para la producción de tela por medio de su leche y distintos investigadores hicieron público que utilizaron ADN recolectado de víctimas de la peste negra para reconstruir la secuencia del genoma bacteriano *Yersinia pestis*, en 2012 una coalición de 113 organizaciones publicó el documento *Principios para la supervisión de la biología sintética* a pesar de los esfuerzos por poner en debate las implicaciones y posibles consecuencias, por otro lado desde 2007 hasta esa fecha se han publicado 40 documentos que dan cuenta los retos para regular la biología sintética, sus riesgos y aplicaciones (Cárdenas, 2015; ETC, 2012; Grupo de trabajo internacional de la sociedad civil sobre biología sintética, 2011; Wan, 2012).

De igual manera, en abril del mismo año el Órgano Subsidiario de Asesoramiento Técnico y Tecnológico (SBSTTA) del CDB comenzó a considerar las implicaciones de la biología sintética como un problema emergente dentro de la biología, interesándose particularmente sobre los efectos en tres objetivos que marca el convenio: la conservación de la biodiversidad, su uso sostenible y la distribución equitativa de los beneficios derivados de la utilización de los recursos genéticos. A nivel técnico en 2012 se construyó un sistema de almacenamiento de datos genéticos con la característica de ser reprogramable, este avance se produjo después del análisis experimental de 700 diferentes diseños genéticos para encontrar uno con esas características (Murray, 2014; Singh, 2017; Oldham *et al*, 2012).

Al mismo tiempo se presentan los resultados de una investigación sobre el panorama de la biología sintética a nivel mundial donde se identificaron a 40 países involucrados, dentro de los cuales resalta E.U. como la nación que tiene una mayor participación con la presencia de naciones emergentes como México, donde el panorama está dominado por los E.U., Reino Unido, Canadá, Alemania y Francia, teniendo participación en menor medida economías emergentes como China, Brasil e India (Oldham *et al*, 2012).

De igual forma, se ubicaron a 682 organizaciones⁸ distribuidas en diferentes partes del mundo que eran partícipes de algún modo de la biología sintética donde un número reducido de investigadores son los que llevan la batuta en el tema marcando las líneas de investigación, los objetivos, los marcos de análisis y concentrando en la mayoría de los casos el financiamiento y las tecnologías (The Wilson Center, 2014).

Entre 2008 y 2013 se observa un aumento significativo en el desarrollo de la biología sintética y variaciones en el número de organizaciones, pasando de 61 a 192 empresas y de 127 a 204 universidades que trabajan el tema con 300 investigadores. En el caso de E.U. son las instituciones de California las que concentran la mayor actividad, en Europa al menos 17 países tienen alguna organización vinculada a la biología sintética, respecto a Asia y Oceanía 6 naciones solamente están involucradas (The Wilson Center, 2014).

En el plano comercial, en los primeros años de la etapa de expansión se dan pasos importantes como la producción a gran escala de la artemisina, del isopreno -caucho natural- y la vainilla, donde la biología sintética al ser vista como disciplina estratégica, favoreció que agencias federales de E.U. publicaran hojas de ruta para identificar desafíos y realizar

⁸Incluye empresas, universidades, instituciones de investigación, laboratorios gubernamentales y militares, etc.

recomendaciones, teniendo de ejemplo el informe presentado por el Departamento de Energía de dicho país ante el Congreso (ETC, 2012b; Wang y Zhang, 2019).

En ese mismo año creó a partir de técnicas de laboratorio de biología sintética la primera carne de hamburguesa por medio de cultivo de células madre de especie bovina, por otro lado en 2014 los avances siguieron al realizarse una biblioteca de 74 nuevos compuestos químicos enriquecidos con componentes bioactivos. Otro acontecimiento de gran relevancia fue la creación de una bacteria por parte de investigadores de la empresa emergente Synthorx con un alfabeto genético de forma ampliada -seis letras-, sumándole nuevas bases X e Y a los estándares ya establecidos (Bagley, 2015).

De igual manera, en 2014 el equipo de Boeke y Chandrasagaran fabricó un cromosoma funcional de una célula eucariota abriendo la puerta para la construcción de vida artificial al producir ADN sintético en una célula compleja, este experimento es tan relevante como el de Venter y diferente a la vez con mayor grado de complejidad al no sintetizar la totalidad del genoma, sino sólo el de uno de los 16 cromosomas que integran la levadura de la cerveza (Barbieri, 2016; Bellver, 2016; Cique, 2015; Luna, 2007).

Para el 2014 siguen los intentos del movimiento DIY para expandir sus horizontes, naciendo la contrapropuesta de la competencia iGEM desde sur del continente americano llamada TecnoX por los altos costos que implica asistir y la poca infraestructura que se cuenta para competir, del mismo modo surgió la red de Biohacker de América Latina con la intención de democratizar el conocimiento y crear herramientas para desarrollar la biología sintética de garage. En ese mismo año el Dr. William, Satoshi Ōmura y Youyou Tu obtuvieron el premio Nobel de medicina por su trabajo al sintetizar una droga vinculada a la malaria. En octubre el CDB convocó y reunió a un grupo especial de trabajo de expertos técnicos para abordar diferentes cuestiones de riesgos, bioseguridad y recomendaciones para los gobiernos sobre el tema de biología sintética (Muñoz *et al*, 2019).

Es bajo ese contexto que se desarrolla el tercer dictamen de los comités científicos de la Comisión Europea sobre las prioridades de investigación para la evaluación de riesgos, como la realización del taller *Hacia una biología programable* en York -Reino Unido- que reunió a investigadores de diferentes disciplinas para discutir rutas hacia la computabilidad en general y particularmente la programabilidad de los elementos biológicos para demarcar los desafíos *in vivo* e *in silico* de la biología sintética (ACS Synthetic Biology, 2016).

A pesar de ello, en 2016 la biología sintética fue considerada la *cuarta revolución industrial* por parte del Foro Económico Mundial en conjunto con los robots y la inteligencia artificial, esto se da en el contexto de un aumento considerable en la utilización de herramientas estandarizadas y lenguaje común para la biología como es el caso de la plataforma SBOL, la cual aglutinaba a 40 universidades, 22 compañías y 6 organizaciones alrededor del mundo.

Por otro lado, se realizó el *Cold Spring Harbor Asia Conference on Synthetic Biology* en noviembre de 2016 en China que hace gala de los avances y las aplicaciones que la biología sintética está realizando con la ingeniería de rutas metabólicas para producir productos valiosos. Ahí se presentó el diseño de *Lactobacillus plantarum* que mejora la producción de *ácido láctico* y la disección de *E-Cell E. Coli*, conocida por tener una producción mejorada de hidroxibutano y el desarrollo de una bacteria sintética con 473 genes, siendo el genoma más pequeño creado hasta el momento con la capacidad de reproducirse, dando un paso más para la creación de vida artificial con una estructura mínima (ACS Synthetic Biology, 2016; Nuño, 2016).

También fue publicado un artículo que describe la técnica para aislar los circuitos dentro de las células sintéticas individuales obstaculizando que se interrumpan entre sí, esto permitió el control de la comunicación entre ellas, permitiendo que se combinen de forma programada en momentos o etapas específicas. A la par, investigadores de distintas universidades de China desarrollaron cromosomas sintéticos a partir del emparejamiento de un genoma hecho de forma sintética con secuencias diseñadas en el laboratorio (Universitam, 2016; Xinhua, 2016).

Para el 2017 los desarrollos continúan, algunos de los avances que marcan el año son la codificación de 4 bases de ADN que sirven como almacenamiento en calidad de archivo, se como se diseñó y creó una levadura que produce seda de araña ante la complejidad de su cultivo a escala masiva, así como con un microscopio de fuerza atómica de alta velocidad se desarrolló una película de Cas9 durante su escisión del ADN.

En este mismo año terminó el proyecto *Synthetic Biology Engaging with New and Emerging Science and Technology in Responsible Governance of the Science and Society Relationships* que inició en el 2013 que era financiado por la Unión Europea y se publicaron los resultados de los ensayos clínicos que dan cuenta de la fase uno de una vacuna contra el Zika basada en proteínas de superficie sintetizadas del virus, como se presentó el primer

tratamiento terapéutico de manera comercial que se basa en la utilización de las células de ingeniería (Coenen, 2016; Twistbioscience, 2017).

Para 2018 se realizaron avances en el almacenamiento de datos de ADN, se presentó una enzima que degrada el plástico y la generación de medicamentos microbianos. Se otorgó el premio Nobel a Frances Arnold del Instituto Tecnológico de California, Goerge P. Smith de la Universidad de Missouri y Gregory P. Winter de la Universidad de Cambridge, por su utilización de herramientas para el desarrollo de proteínas sintéticas, así también se da el descubrimiento de la enzima ScCas9 que necesita solo una guanina para cortar el ADN, abriendo la edición CRISPR a enormes cantidades del genoma. También se desarrolló una fuerte controversia cuando el Dr. He Jiankui afirmó haber creado los primeros bebés editados genéticamente del mundo a partir de técnicas de CRISPR/Cas9 (Twistbioscience, 2018).

Para 2019 los desarrollos más relevantes son la creación del primer organismo vivo a partir de un código de ADN completamente sintético a partir de la bacteria Syn61 que vive en el intestino y la reescritura y elaboración de un genoma artificial con un tamaño de 780,000 bases a partir de la bacteria *Caulobacter crescentus* por investigadores de Suiza, lo que permitió una síntesis más eficiente y barata (BBC NEWS, 2019; Sánchez, 2019; Xinhua, 2019).

Por otra parte, se continúa con la concentración del mercado en biología sintética en E.U. y Europa principalmente en Reino Unido. Las áreas de mayor probabilidad de crecimiento que se desarrollan fuera de E.U. son en la región Asia-Pacífico, China y Singapur. Estados Unidos es por excelencia líder en investigaciones y comercialización al ser pionero en el tema gracias a las inversiones gubernamentales y militares, por lo que ha podido establecer centros y programas de investigación permitiendo el desarrollo de herramientas y aplicaciones, como país emergente empieza a tener un papel relevante, lo que permitió el establecimiento del comité sobre biología sintética a partir de la Academia de Ciencias para impulsar la investigación básica como su aplicación, para definir la orientación y el desarrollo de la disciplina en el país (Gallegos, 2019; Si y Zhao, 2016).

En esos años los centros de investigación de mayor relevancia son *Synthetic Biology Engineering Research Center* (Synberc), *Centers for Synthetic Biology del MIT*, University of California at San Francisco (UCSF) y el Instituto J. Craig Venter, a pesar de ello la mayoría de las universidades en el mundo carecen de un programa propiamente en biología sintética en comparación con el Reino Unido donde es más sencillo encontrarlos, el cual cuenta con

programas en el Imperial College London, University of Warwick, Cambridge University y University of Edinburgh que se caracterizan por la profundidad y amplitud de la investigación (Gallegos, 2019; Si y Zhao, 2016).

Por otro lado, Reino Unido es el país más activo dentro de la biología sintética con una sincronización nacional y con una hoja de ruta sobre el desarrollo, potencial y aplicaciones, ha realizado una fuerte inversión en infraestructura y en varios centros de investigación en biología sintética ofreciendo la más amplia plataforma tecnológica. Hay un número creciente de empresas que se especializan en medicamentos, diagnósticos, terapias, productos químicos renovables, proteínas, polímeros, aguas residuales, desperdicio de alimentos, agricultura inteligente, creación de software e inteligencia artificial, elaboración de enzimas industriales, sabores, fragancias, impresión 3D de tejidos, control genético de vectores y envejecimiento celular (Chen y Feng, 2016; Gallegos, 2019).

En el caso de China, se desarrolla como una plataforma emergente con el potencial de eclipsar al líder actual ante la inversión gubernamental en comparación con E.U. que tiene el 25% de las patentes internacionales. El país asiático detenta el 14% de patentes resultado del crecimiento en sus investigaciones y se caracteriza por el aumento del capital en Investigación y Desarrollo (I+D), las iniciativas de financiamiento público, la creación de marcos de regulación más flexibles y el establecimiento de una hoja de ruta que abarca el desarrollo de bases de datos de piezas sintéticas, marcos temporales comercialización y la utilización aplicaciones clínicas (Hyde, 2019; Songer, 2018).

En consecuencia, la etapa de expansión se caracteriza por la transición a las aplicaciones comerciales tomando pasos importantes hacia el objetivo integral del control de la función celular, aumento del ritmo en el progreso y acelerando los ciclos de diseño y prueba en todas sus etapas. La biología sintética una disciplina dentro de la biología sin consolidarse que se desarrolla con un alto nivel de autonomía, con mayor articulación entre las redes institucionales y los grupos de investigación basados en algunos casos en prácticas de colaboración interinstitucional (Cameron *et al*, 2014).

Eso se dio a partir de dispositivos institucionales que fomentan la comunicación y articulación de los miembros permitiendo el intercambio de métodos, instrumentos y una agenda de investigación conjunta, donde un pequeño grupo de investigadores principalmente ubicados en los países de mayor desarrollo tecnológico como E.U., juegan un papel clave en

la formulación de conceptos, enfoques y una agenda de investigación así como en la orientación de la comunidad científica a nivel mundial (Raimbault, 2016).

1.3 Aspectos comerciales y aplicación de la biología sintética

A pesar de que la biología sintética tiene dos décadas bajo su concepción actual y se sigue negociando una definición, hay elementos que condicionan la conformación de una industria y elaboración de productos comerciales, principalmente problemas vinculados a las investigaciones muchas de las cuales se encuentran en las primeras etapas, el tiempo desarrollo de un producto desde el laboratorio hasta llegar a la comercialización puede tardar años a pesar de los avances tecnológicos, los costos elevados que implica su creación siendo pocas empresas las que pueden asumir las inversiones y el riesgo, la complejidad que representan algunos organismos ante su falta de entendimiento, la carencia de capacidades técnicas y de conocimiento para llevar adelante las intervenciones genéticas, la falta de herramientas tecnológicas y su disponibilidad en los países en vías de desarrollo, la ausencia de estándares para la construcción de dispositivos biológicos funcionales y los problemas de las patentes a partir de la utilización de diversas tecnologías (Keasling, 2005).

Su potencial genera gran entusiasmo entre los sectores industriales de alto valor, los cuales reportan crecientes inversiones y una activa participación que ha permitido colocar algunos productos en el mercado y un porcentaje mayor en fases pre-comerciales, principalmente la síntesis de genes para la producción de enzimas alcanzó una etapa de aplicación (ETC, 2012; Grupo de trabajo internacional de la sociedad civil sobre biología sintética, 2011; Stezano, 2012; Zamora, 2015).

Con la intención de crear una serie de productos, los organismos vivos y sus recursos genéticos son una fuente tecnológica prometedora, planteando en el mejor de los casos un nuevo horizonte en la industria de la biotecnología en los países desarrollados, a partir de las empresas transnacionales que se ubican en esas naciones y la asociación de éstas para colocar algunos productos en el mercado global (Garro, 2016; Grupo de trabajo internacional de la sociedad civil sobre biología sintética, 2011).

La promesa en la cual se sustenta la biología sintética es la domesticación de la naturaleza desde sus entrañas -su ADN- para la generación de una serie de productos que sean compatibles con el crecimiento económico basado en un desarrollo sostenible, parte del interés de convertir los procesos biológicos en materia de la ingeniería para explotar, mejorar

y maximizar los procedimientos de intervención en el material genético hasta un nivel comercial e industrial, estos elementos a su vez incentivan la creación de una nueva industria basada en productos biológicos sintéticos donde distintas industrias y empresas ya están invirtiendo en los procesos de investigación (Maiso, 2015 Nuño, 2016).

Donde gobiernos, universidades, centros de investigación, petroleras y empresas se encuentran en competencia para generar y comercializar productos basados en biología sintética, y un pequeño pero creciente grupo de investigadores alrededor del mundo funge como científicos-empresarios al formar compañías con fondos públicos y capitales de riesgo, ejemplo de ello es el Dr. Venter que fundó la compañía Synthetic Genomics (Friends of the earth *et al*, 2012; Ruiz, 2006).

La biología sintética vista como una industria, ve en su aplicación una nueva *bioeconomía*⁹ por medio de microbios que funcionen como fábricas que ensamblen partes orgánicas pre-sintetizadas, los cuales dependen en gran medida de la oferta a escala industrial que se tenga sobre las materias primas, la utilización de azúcares derivados principalmente de la biomasa tanto agrícola y forestal como materia prima (Alonso y Soto, 2014; Maiso, 2013b; Nuño, 2016).

La industria de biología sintética tiene como promesa asegurar el desarrollo tecnológico a partir del crecimiento económico y el desarrollo sostenible sanando al planeta de las consecuencias no deseadas de las tecnologías previas, si las investigaciones y aplicaciones avanzan a la escala esperada en los próximos años se puede estar ante el cambio de un paradigma económico y de fabricación basados en una revolución industrial de base biológica para acaparar la biomasa del planeta que permita la producción de nuevos productos como abriendo nuevas industrias y mercados al convertirse en un sector global de alta rentabilidad (CDB, 2014; De Cózar, 2016; Cique, 2015; Maiso, 2015; Viguera *et al*, 2015).

La bioeconomía conocida como economía verde, da pie a una nueva concepción de la economía a nivel mundial con el potencial de impactar y transformar a las sociedades, los objetivos que busca con la utilización de la biología sintética es la programación de secuencias genéticas que permitan la construcción de nuevas rutas metabólicas que modifiquen las funciones de los organismos, desarrollando microorganismos que funcionan

⁹La bioeconomía se define como la economía que se desarrolla alrededor de las nuevas biotecnologías agrícolas, médicas e industriales y que considera la naturaleza como un vasto depósito de objetos, ciclos, principios químicos, tejidos y patrimonios genéticos potencialmente aptos para ser incorporados en los procesos productivos y de mercado y, por lo tanto, para generar beneficios económicos y contribuir al crecimiento y a la competitividad (Pavone, 2013:64).

como fábricas vivas moleculares con la finalidad de construir sustancias industriales que no se producen de forma natural a partir de la biomasa (Maiso, 2013b:2015; Muñoz, 2019; Ribeiro, 2013).

Desplegándose en el marco de la economía del conocimiento, muchos de sus planteamientos sólo son propuestas teóricas o están en las primeras etapas de experimentación siendo las menos las que ya funcionan bajo un nivel industrial, las cuales no cuestionan los patrones de consumo, el modelo de apropiación de la naturaleza y las formas de producción presentándose como otra vía de continuidad al mismo, lo que busca con la utilización de la biomasa es patentar y explotar industrialmente la vida, lo que va muy de la mano con nuevas formas de apropiación legal e ilegal a partir del aprovechamiento económico de los materiales orgánicos y organismos vivos, donde las principales industrias beneficiadas se encuentran en Europa y E.U. (ETC, 2013; Ribeiro, 2013).

Este avance del conocimiento se da bajo un contexto histórico marcado por crisis económicas, ecológicas y energéticas donde la biología sintética emerge como una disciplina capaz de articular grandes promesas y movilizar inversiones de capital por todo el mundo, permitiendo la fabricación de productos ecológicos de forma rentable, lo que provocaría un crecimiento de dicho sector a partir de la materia viva y abriendo nuevas oportunidades de expansión para la bioeconomía (CDB, 2016; Maiso, 2013b; Maiso *et al*, 2016).

Tanto la tecnología como las empresas que invierten en biología sintética provienen de naciones con economías desarrolladas en comparación con los países para extraer y procesar la biomasa, que afecta de manera directa a las economías en proceso de desarrollo, donde las naciones de la OCDE que dominan los procesos de investigación son 36 países alrededor del mundo (Grupo de trabajo internacional de la sociedad civil sobre biología sintética, 2011; Ribeiro, 2013).

Por lo cual, se basa en el uso industrial de la biomasa como materia prima en la generación de nuevas aplicaciones y productos industriales con la intención de generar capacidades para ayudar y frenar el cambio climático, como contrarrestar la dependencia actual de los combustibles fósiles -petróleo, carbón y gas- a partir de energías verdes, sin olvidar que muchas veces este tipo de propuestas aparecen como soluciones y en algunos casos terminan profundizando, agravando y generando nuevos problemas, donde el discurso adoptado con tintes ecologistas y/o ambientalistas tiene como finalidad la explotación

sistemática y a mayores niveles de los anteriormente utilizados de la materia viviente a través de su patentamiento (Bellver, 2016; De Cózar, 2016).

1.3.1 Industria de la biología sintética

La industria de la biología sintética es joven en comparación con otras, se posiciona como una vanguardia de las más competitivas en los próximos años que tiene el objetivo de patentar y explotar industrialmente la vida a través de la biomasa, avances como la artemisa y las diferentes versiones de la célula sintética han sido considerados notables, incrementando e impulsando los intereses de los inversionistas en conformar una industria para invertir en ella con la proyección de crear nuevos productos (Thomas y Villa, 2016; Zamora, 2015).

Tiene el potencial de revolucionar la industria y favorecer la apertura de nuevos mercados, está en transición de convertirse en un sector global al expandirse a 40 países con casi 700 organizaciones enfocadas en el tema y financiada por 530 agencias, en sus primeros años intentó desarrollar la capacidad de transformar la biomasa en combustibles y químicos que fueran fáciles de comercializar por medio de la construcción de microbios manipulados con la intención de crear polímeros que se procesen en diferentes aplicaciones, lo que plantea un cambio en la forma de operar ante la sustitución de las materias primas como el petróleo, carbón o gas hacia un modelo basado en el uso de material vegetal el cual sea teóricamente renovable como azúcares, algas o pastos (ETC, 2013; Flores y Tangney, 2017; Ribeiro, 2013).

Los proyectos, iniciativas y esfuerzos por desarrollar una industria conjugan una serie de intereses, una mezcla de fines filantrópicos, avances científicos, oportunidades de negocio con grandes beneficios económicos y el financiamiento de industrias vinculadas a los regímenes internacionales de propiedad industrial, lo que plantea problemas de propiedad intelectual por la creación de barreras legales para acceder a las nuevas invenciones al ser protegida como instrumento de explotación monopolística. A pesar de ello, despierta gran interés en las industrias que se encuentran en la búsqueda de nuevos productos como procesos patentables que les permitan generar grandes dividendos a corto y mediano plazo (Augusto, 2012; Fernández, 20016; García, 2016; Landeweerd y Peter, 2016; Romeo, 2010).

La industria de la biología sintética se desarrolla como un sector industrial discreto que abarca productos, tecnologías y servicios mostrando un fuerte crecimiento tanto en tamaño en su valor comercial en los últimos 10 años, para el 2020 se pronostica que tendrá un valor de 14.7 billones de dólares (Ver la gráfica 1.) y es impulsada por empresas

transnacionales como Aryris Inc, E.I. Du Pont De Nemours and Company, Genscript, Integrated DNA Technologies Inc y Intexton Corporation (Grupo de trabajo internacional de la sociedad civil sobre biología sintética, 2011; Mordor Intelligence, 2018).



Fuente: Elaboración propia a partir de información de BCC Publishing, 2020.

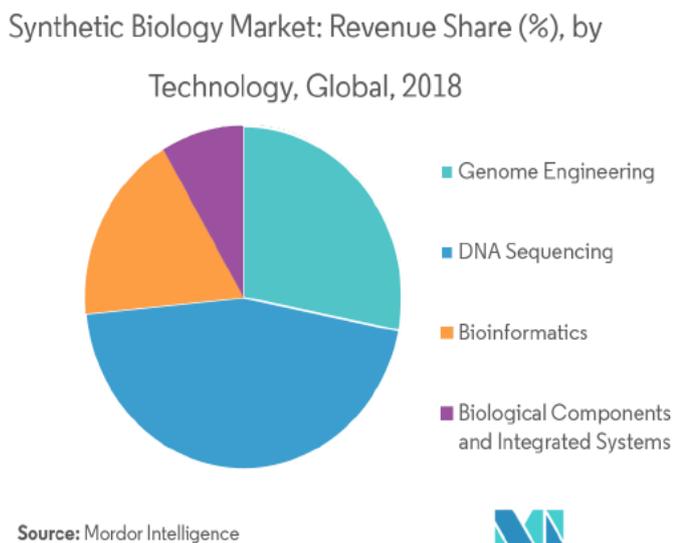
Se basa en el desarrollo, manufacturación y comercialización de productos que para llegar a su etapa comercial requieren mucha investigación, tiempo y financiamiento con altos índices de riesgo, donde muchos de sus resultados mantienen un cobijo especulativo por el hecho de que los productos y procesos están destinados para su uso en confinamiento en los laboratorios, por lo cual, cuatro áreas sobresalen respecto a los demás sectores: la producción de biocombustibles, el mejoramiento en los procedimientos de extracción de hidrocarburos, la generación de ingredientes activos a partir de fuentes botánicas de forma sintética y el desarrollo de aplicaciones agrícolas (CDB, 2014; ProMéxico, 2014; Thomas y Villa, 2016).

Algunos factores vinculados al crecimiento y expansión de la industria son la creación de herramientas nuevas y baratas, la reducción de precios en la secuenciación y síntesis del ADN, de equipos e insumos, el desarrollo de nuevas tecnologías, el aumento de financiamiento público y privado, la creciente demanda de nuevos medicamentos y productos en general, el aumento en las inversiones en investigación y diferente información ha sido colocada en bancos de datos de fácil acceso que se encuentran en plataformas digitales lo que vuelve un proceso más sencillo el rediseño y alteración de los organismos (ETC, 2016).

El mercado global de biología sintética está segmentado en **productos básicos:** ADN sintético, células, genes sintéticos y chasis de organismos; **productos habilitados:** síntesis de ADN y oligonucleótidos, medicina, productos químicos, agricultura, biocombustibles, otros; y **tecnología:** secuenciación, bioinformática, componentes biológicos, ingeniería de genomas y

sistemas integrados. A nivel tecnológico hay una tendencia muy marcada de una mayor participación de la ingeniería de genoma para la utilización de la biología sintética, esto se debe a la creación de nuevas herramientas tecnológicas como el CRISPR y las tecnologías de síntesis que permiten procedimientos más rápidos, baratos y de forma múltiple (Ver la gráfica 2.) (Mordor Intelligence, 2018; Ortiz, 2016).

Gráfica 2. Mercado tecnológico en biología sintética



Fuente: Mordor Intelligence, 2018.

Geográficamente el mercado global de biología sintética está segmentado en América del Norte -Estados Unidos, Canadá y México-, Europa -Alemania, Francia, Reino Unido, España, Italia, Países Bajos, Suiza- y Asia-Pacífico -Japón, China, Australia, India, Taiwán, Sudáfrica, Sur Corea-, siendo el mercado americano el más grande en tamaño y financiamiento, concentrando la mayor parte de la inversión que se realiza a nivel mundial ante la creciente demanda de productos biológicos. Esta tendencia se espera que siga durante los próximos años a pesar de que las compañías e instituciones académicas chinas han presentado cuatro veces más patentes que E.U. y Europa en los últimos tres años, sin embargo, al no tener la influencia tecnológica fuera de su país en comparación con su par americano tienen poco impacto en la orientación de la biología sintética a nivel mundial (ETC, 2012b; Mordor Intelligence, 2018; Ortiz, 2016).

Cabe mencionar que el modelo empresarial en que se basa la biología sintética es un trabajo colaborativo entre pequeñas y grandes empresas de diversos sectores que se asocian para el desarrollo de nuevos productos, mejora de los existentes o generar servicios personalizados donde se implementan dos modelos, el primero vinculado a la

comercialización de plataformas tecnológicas y el segundo basado en empresas que comercializan los productos donde la firma de acuerdos, convenios y colaboraciones es esencial entre las empresas, universidades, centros de investigación con entidades públicas y privadas (Garro, 2016; López *et al*, 2006; Patsnap, s/f).

De igual forma, hay una mayor participación de los gobiernos y las instituciones de investigación tanto en la inversión como creación de nuevas empresas que tiene como finalidad la vinculación con el sector privado para comercializar los resultados de investigación y el desarrollo de nuevas tecnologías, ejemplo de ello es el Dr. Venter que tiene acuerdos de vinculación con empresas como BP y Exxon Mobile para desarrollar una serie de productos como combustibles y aceites por medio de algas (CDB, 2016; Ribeiro, 2013).

1.3.2 Aplicación y productos de biología sintética

La biología sintética tiene innumerables aplicaciones potenciales que pueden estar conectadas a más de un desarrollo que se caracteriza por ser una industria en crecimiento, lo cual no permite conocer sus alcances y limitaciones por lo que los productos y aplicaciones que propone son muy diversos entre sí, es pronto para vislumbrar todo el potencial que tiene y señalar un logro que pueda perdurar, muchas aplicaciones y principios básicos de la ingeniería como estandarización y ortogonalidad están en etapa de prueba (Macia y Solé, 2011; Paz, 2018; Porcar y Peretó, 2015).

Bajo la perspectiva de bioeconomía, algunas áreas en las cuales se concentra la biología sintética son salud, energía, agricultura, industria química, biomateriales y ambiente, donde busca crear y producir una nueva generación productos petroquímicos, biomateriales, farmacéuticos, energías limpias, alimentos, de diagnóstico de enfermedades a partir de enzimas y metabólicos que sean extraídos de distintos microorganismos, fábricas vivas a nivel molecular con líneas de montaje que sean adaptables y autosuficientes con características únicas como soportar temperaturas altas y bajas, niveles de pH elevados, como condiciones extremas (CDB, 2016; Maiso, 2013b; Maiso *et al*, 2016).

Su principal potencia es incorporar propiedades químicas y funciones diferentes a los aminoácidos ya existentes en la naturaleza para generar proteínas con propiedades nuevas a partir de la sustitución de los procesos industriales los cuales sean de alguna forma más amigables con el medio ambiente, componentes genéticos que sea reusables y tengan diversas aplicaciones, una caja de herramientas que permita mejoras industriales y la fabricación de

productos baratos, ligeros, eficaces, seguros, fuertes y potentes (Aguilar *et al*, 2012; De Cózar, 2016; Maiso, 2013).

A pesar de sus postulados y visiones de progreso, la biología sintética genera múltiples preguntas que aún no tienen respuesta, las cuales pueden orientar las nuevas aplicaciones ante el reemplazo de los métodos de producción como consecuencia de la relación tan estrecha entre la ciencia e industria en los últimos 20 años, al ser una disciplina que puede permitir la optimización y automatización para el manejo del ADN tiene el potencial de convertirse en un estandarte dentro de la biología contemporánea y la esperanza biotecnológica por sus potenciales aplicaciones (Garro, 2016; Porcar y Peretó, 2015).

En principio las actividades industriales de la biología sintética estaban enfocadas en la creación de microbios que produzcan una nueva generación de biocombustibles, plásticos y diferentes compuestos químicos, pero en los últimos años se ha visto un cambio de tendencia, sin dejar de producirlos, la industria cambió de rumbo para la fabricación de materiales que previamente eran elaborados a partir de fuentes naturales permitiendo que una serie de productos se comercialicen incluyendo bioplásticos derivados del maíz, ingredientes farmacéuticos, cosméticos y biocombustibles elaborados a partir de la azúcar de caña (ETC, 2012; Informes de la Alianza CBD Alliance, 2012; Ribeiro, 2013).

Esto se debe que muchas empresas se empiezan a identificar como parte del sector, permitiéndoles el establecimiento de asociaciones con empresas transnacionales que les posibilita posicionar sus productos en el mercado basado en productos cosméticos, aditivos, fármacos, fragancias y suplementos alimenticios, donde algunos productos creados a partir de la biología sintética ya se encuentran disponibles en el mercado de forma comercial, principalmente microorganismos que se venden como productos industriales (CDB, 2014; ETC, 2013; Grupo de trabajo internacional de la sociedad civil sobre biología sintética, 2011).

Es por ello, que muchas aplicaciones están bajo análisis y se basan en el mejoramiento de técnicas experimentales en el laboratorio, modelos teóricos y de simulación por computadora que permite conocer el comportamiento y propiedades de los posibles organismos y sus componentes, aunque actualmente no es técnicamente factible sintetizar todos los componentes moleculares de un organismo que permitan sustituir a sus contrapartes naturales, lo que es cuestión de inversión de capital y tiempo para generar las capacidades técnicas (Macia y Solé, 2011; Muñoz, 2015).

Aplicaciones potenciales

Salud: El campo de la biomedicina es una de las áreas en la que se pronostica un mayor crecimiento y beneficio por los avances propuestos que van desde la terapia génica hasta la regeneración de tejidos, permitirá la creación de nuevos y mejorados diagnósticos a través del desarrollo de biosensores como mecanismos de biorremediación a partir de bacterias y hongos con la capacidad de eliminar compuestos tóxicos. A su vez la medicina regenerativa podría generar la capacidad de que los cuerpos se puedan reparar a sí mismos, a partir del conocimiento adquirido sobre el funcionamiento de las células madre, así como a partir del diseño y construcción de microorganismos que ataquen las infecciones virales y microbianas (Aguilar *et al*, 2012; Macia y Solé, 2011; Sharma, 2012).

Otro tipo de aplicación sería el desarrollo de fármacos inteligentes que permitan la detección de patologías como terapias genéticas a partir de circuitos biológicos que detecten de manera oportuna cambios anormales y dando respuesta oportuna a dicho mal, diagnosticando enfermedades o colonizando tumores cancerígenos, de igual forma la reparación y regeneración de tejidos a partir del desarrollo de sensores que señalan un daño dentro de los tejidos, la reprogramación celular y la síntesis *in vivo* de fármacos (Macia y Solé, 2011; Nuño, 2016).

Energía: El principal objetivo de la biología sintética es desarrollar alternativas tecnológicas que sea sustentables ante la utilización de combustibles fósiles, siendo el sector que más sobresale de los demás, busca el diseño y creación de microorganismos que optimicen los procesos de conversión de la biomasa para generar biocombustibles los cuales incluyen el etanol por medio de azúcares, la producción de biodiesel a partir de aceites vegetales, la conversión de residuos, la modificación de bacterias y hongos para eliminar componentes tóxicos y descontaminar (ETC, 2007; Domínguez, 2013; Macia y Solé, 2011).

Principalmente busca producir biocombustibles -hidrógeno o etanol- a partir de la modificación de microbios y microalgas que permitan la concentración de aceites/combustibles, permitiendo a partir de artefactos microbianos la limpieza de suelos contaminados con productos químicos que son tóxicos para el ambiente y residuos nucleares (ETC, 2013; Grupo de trabajo internacional de la sociedad civil sobre biología sintética, 2011; Nuño, 2016).

Agrícola: En la agricultura se estima que las aplicaciones pueden tener un impacto directo en la conservación de la naturaleza y la biodiversidad a partir del mejorar los

rendimientos agrícolas y aumentar la producción de alimentos, así como crear organismos sintéticos como microbios que repliquen a los productos naturales. Otra tendencia es la fabricación de comida de forma sintética, principalmente la producción de carne a partir de lo que ha sido denominada *agricultura de laboratorio* (Cornejo, 2013; Futurizable, 2016; Grupo de trabajo internacional de la sociedad civil sobre biología sintética, 2011).

Biomateriales: Mediante la biología sintética se busca diseñar y crear materiales a partir de células y microorganismos que sean capaces de reproducir las propiedades de algunos compuestos con características de biodegradación, con versiones sintéticas que tiene su origen en la naturaleza como la seda de araña, polímeros, membranas, o microbios elaborados de forma sintética con la capacidad de producir químicos o plásticos (Domínguez, 2013; Grupo de trabajo internacional de la sociedad civil sobre biología sintética, 2011; López *et al*, 2006).

Ambiente: Se buscan opciones que permitan la mitigación de la pérdida de biodiversidad a partir de la recreación de especies extintas o en peligro de extinción y la conservación de la diversidad biológica, generar procedimientos para procesar el CO₂ a través de organismos fotosintéticos (algas y/o plantas) modificados que tengan la capacidad de procesarlo para crear compuesto energéticos y químicos útiles, dotar a los seres vivos que habitan en el planeta de nuevos genes que les permitan ser más resistentes ante el cambio climático.

También se contempla el desarrollo de microorganismos que tengan la función de biorremediación del ambiente o descontaminarlo de agentes bacteriales para detener la desertificación, así como mecanismos que permitan curar enfermedades de la vida silvestre. Otra aplicación es el desarrollo de biosensores reprogramados para levaduras que permitan eliminar las secuencias repetitivas de los organismos así como poder distinguir las secuencias sintéticas de las naturales (CDB, 2014; Cornejo, 2013; Domínguez, 2013; Ecoticias, 2016; Garro, 2016).

A pesar de las propuestas y promesas, algunas estimaciones plantean que se debe de esperar entre 10 y 15 años para que la biología sintética pueda llegar a un nivel de desarrollo industrial e impactar de forma positiva en los diferentes sectores, para colocar productos en el mercado donde las compañías tengan la capacidad de convencer dentro de los marcos de regulación actuales que los productos son naturales y/o sustancialmente equivalentes de su contraparte botánica (ETC, 2012b; Macia y Solé, 2011).

1.3.3 Impactos potenciales sobre la biodiversidad

Así como ha pasado con otras nuevas disciplinas, la bioeconomía que impulsa la biología sintética presenta algunos retos y problemas derivados de la instauración del nuevo modelo económico sobre la preservación, conservación y uso sostenible de la biodiversidad a diferentes escalas como genes, especies y organismos. Un reto mayor es el uso y protección de la información genética, lo que plantea algunas interrogantes sobre la propiedad de los recursos genéticos y los mecanismos de acceso y participación de los beneficios (Grupo de trabajo internacional de la sociedad civil sobre biología sintética, 2011; Romeo, 2010).

El rápido crecimiento de la industria y los desarrollos basados en la biología sintética dificulta prever los posibles impactos ambientales y sociales, los cuales no han sido evaluados de forma sistemática por la inexistencia de reglamentos nacionales e internacionales que regulen los problemas actuales, tampoco analizan si sus productos no afectan la biodiversidad, mientras que los desarrollos actuales han sido colocados sin alguna regulación (Thomas y Villa, 2016).

La pretensión de la biología sintética de reducir de manera significativa la vida a funciones básicas asociadas a componentes elementales a partir del gen representa una congruencia llamativa con el objetivo de eliminar toda barrera legal y de bioseguridad para su completa explotación industrial y económica, el peligro que esto representa es una visión de una vida *perfecta* ante los criterios de eficiencia y productividad de los organismos al ser planificados, controlados y organizados como artefactos mecánicos basados en la ingeniería (Maiso, 2013; Zamora, 2015).

Cada vez es más común que lleguen al mercado algunos productos como es la stevia sin ninguna regulación específica y muchas veces avalados como *sustitutos* de activos naturales, aunque hay diferentes funciones utilizadas dentro de la biología sintética que pueden estar cubiertas de forma parcial dentro de las regulaciones actuales de bioseguridad, existe el riesgo de que sus productos sean más potentes e invasivos en comparación de los que se generan a partir de la biología convencional (GRAIN, 2006; Ribeiro, 2013).

Algunos de los problemas que se derivan de su aplicación comercial e industrial tienen que ver con la falta de garantías y de certeza sobre los posibles riesgos que los organismos sintéticos podrían tener a la hora de salir de los laboratorios sobre el ecosistema, la biodiversidad y la seguridad humana, así como si tienen el potencial de desplazar a los organismos silvestres de forma definitiva alterando los ecosistemas y creando nuevas especies

invasivas, o en el peor de los casos introduciendo toxinas al medio ambiente (CDB, 2012b; Friends of the earth *et al*, 2012).

La biología sintética tiene el potencial de dañar el ambiente, la biodiversidad y amenazar a los países en vías de desarrollo que sustentan su economía en una serie de productos que pueden ser sustituidos por organismos sintéticos, en consecuencia se proponen dos visiones sobre las regulaciones, la primera busca una regulación más estricta ante la amenaza que presenta en el sustento y subsistencia de los campesinos que producen sus pares naturales y dependen directamente de la biodiversidad, en cambio hay voces que buscan estimular la utilización de los actuales marcos de regulación o en su defecto crear nuevos pero flexibles con la intención de estimular la industria creciente (Grupo de trabajo internacional de la sociedad civil sobre biología sintética, 2011; Sharma, 2012).

Esto es consecuencia de la falta de interés existente de los gobiernos y los organismos internacionales por realizar análisis de riesgos que den cuenta de los efectos potenciales sobre las economías en desarrollo, principalmente las que dependen en gran medida de las exportaciones agrícolas o poseen muchos de los recursos genéticos que son utilizados de forma sistémica para elaborar nuevos productos.

El reto que se plantea es el desarrollo de políticas científicas responsables, mecanismos de bioseguridad y nuevas disposiciones legales sobre propiedad intelectual ante la intención de aprovecharse de la legislación actual con el fin de no generar nuevas disposiciones legales que lleguen a afectar el desarrollo y la comercialización de los productos derivados de una industria creciente, ante el impedimento de empresarios y grupos de investigación para establecer nuevos marcos regulatorios y controles de supervisión más estrictos (Grupo de trabajo internacional de la sociedad civil sobre biología sintética, 2011; Nuño, 2013; Villa, 2016).

Esto se debe a la falta de control de los productos y procedimientos utilizados en la biología sintética, derivados de la carencia de metodologías de evaluación, donde los actuales mecanismos para evaluar los OGM parecen ser insuficientes por el hecho de que no contemplan algunas características como la transmisión digital de secuencias, por lo tanto, como se vaya desarrollando la biología sintética será necesario revisar los mecanismos de evaluación y los marcos de bioseguridad vigentes en cada país (CDB, 2014).

Actualmente su aún es complicado evaluar los efectos de los OGM sobre la biodiversidad, en el caso de la biología sintética la incertidumbre se eleva de forma

considerable ya que se entraña otro nivel de complejidad biológica. A su vez, el desarrollo de la bioeconomía supone algunos retos comerciales, como la falta de conjugación en los modelos económicos respecto a modelos tradicionales principalmente imbricados en los países en vías de desarrollo, la creciente demanda de biomasa que se requiere para alimentar los microbios sintéticos impacta de forma negativa sobre la diversidad y seguridad alimentaria de comunidades campesinas e indígenas, lo cual pone en desventaja sus productos al competir de forma desigual ante la utilización de procesos industriales (Alonso y Soto, 2014; Bellver, 2016; Sharma, 2012).

Con la utilización de biomasa, la biología sintética profundiza el acaparamiento de tierras para producir azúcares y cultivos que son utilizados para la alimentación de miles de personas, impactando de forma directa en las poblaciones como en el precio de los alimentos y el mercado mundial de productos agrícolas, mientras que sus aplicaciones tienen el potencial de afectar y desestabilizar el mercado de productos que se hacen de forma tradicional al plantear de forma directa una sustitución de productos de los campos agrícolas para la generación de insumos para la nueva industria, como es el caso la azúcar (CDB, 2012b; Villa, 2016; Wan, 2012).

Otro problema es la sustitución de los ingredientes activos de una serie de productos como el -azafrán, el karité, la vainilla, el cacao, el aceite de coco, la stevia, el anís, el vetiver, el patchouli, el babazú- que tienen un alto valor, de los cuales se requiere cantidades pequeñas para cubrir la demanda de manera comercial, donde la actual industria de biología sintética tiene el interés de sustituir ingredientes a partir de microorganismos genéticamente alterados, los cuales sustituyen a las plantas y los procesos de producción actual muchas veces vinculados al trabajo manual y los mercados locales (Ribeiro, 2013; Villa, 2016).

El valor que actualmente tienen los recursos genéticos podría disminuir de forma drástica en la medida que las empresas y los laboratorios tengan la capacidad de producir productos sintéticos que sean más eficientes, menos costosos y más rápidos en comparación con sus homólogos naturales ante el abaratamiento de las materias primas y su posible obsolescencia a mediano plazo (Augusto, 2012; Grupo de trabajo internacional de la sociedad civil sobre biología sintética, 2011).

A pesar de las promesas y progresos realizados por la biología sintética, diferentes voces están escépticas de que represente un cambio y tiene una utilidad comercial, al sólo estar sustituyendo los principios activos de los organismos que se producen. Busca mantener

un modelo de negocios donde sólo se benefician las grandes industrias, aunque es pronto para saber con certeza los efectos y conocer de primera mano los compuestos que competirán con los productos naturales ante el secreto industrial, como predecir los productos y economías que se verán afectadas en el mediano plazo (ETC, 2012; García, 2016).

CAPÍTULO 2. TRAYECTORIAS SOCIO-TÉCNICAS: ENTRE LA APROPIACIÓN PRIVADA Y SOCIAL DEL CONOCIMIENTO

Actualmente somos testigos del desarrollo de nuevas tecnologías las cuales parten de conocimientos disciplinares emergentes dentro de las ciencias ya consolidadas como la biología, química y física. Salvo esta última, los otros campos no solamente se basan en una perspectiva teórica sino tienen un fuerte componente práctico a corto y mediano plazo, siendo la primera la que despierta más interés por los avances tecnológicos que se desprendieron de ella en las últimas cuatro décadas, donde las nuevas disciplinas son espacios no propiamente regulados por normas específicas y consensos entre los involucrados, como antecedieron con los cuerpos de conocimiento de los cuales se desprenden, sino campos de lucha, conflicto y controversias.

Para analizar a la biología sintética se retoma el abordaje constructivista de los Estudios Sociales de la Ciencia y Tecnología (ESCyT), que plantean la unificación de estos dos elementos en un modelo explicativo con un nivel de análisis complejo que aborda de forma sistemática el carácter social de las tecnologías y en paralelo lo tecnológico de la sociedad. Los cuales permiten estudiar distintas disciplinas bajo la perspectiva de que los campos científicos son espacios de interacción, lucha, controversia y conflicto muchas veces mediados por las diferentes visiones e interpretaciones, donde los estudios buscan romper con los análisis lineales que hacen una segmentación de los elementos culturales, políticos, sociales, económicos y tecnológicos de las dinámicas de cambio tecnológico como de innovación.

Se propone el Análisis Socio-Técnico (AST) como marco de referencia, en específico los aportes sobre la trayectoria socio-técnica propuesta por Hernán Thomas (1999:2008:2010:2013), que tienen como ventaja metodológica el ordenamiento de las relaciones que se establecen de forma causal entre los diferentes elementos heterogéneos en secuencias temporales. Si bien el enfoque está orientado en examinar la adopción, implementación y/o funcionamiento de una tecnología, en la presente tesis permite conocer cómo la biología sintética se ha ido adoptando, sus etapas, como las diferentes visiones o sentidos que le dan los actores, esto es posible porque dicha disciplina se sustenta en una conceptualización ingenieril de la vida, lo que le da el carácter artefactual con un fuerte componente tecnológico que se traduce en diferentes aplicaciones dentro de la biotecnología (Brieva y Juárez, 2018; Carrapizo *et al*, 2018; Garrido, 2010; Martín y Becerra, 2012).

Del mismo modo, se utilizará el concepto de sociedad del conocimiento que está vinculada al acceso, producción, distribución, difusión y aplicación de los conocimientos científicos y tecnológicos, los cuales adquieren valor en los mercados donde su capacidad de incidencia varía en cada país por cuestiones culturales, históricas, epistemológicas, políticas y económicas, ante el hecho de que todos los resultados derivados pueden ser igualmente válidos en diferentes países pero no útiles o aplicables (Lema, 2001; Olivé, 2005).

La cual es una forma de organización que se valora a partir de diferentes grupos e instituciones que orientan y usan los conocimientos a través de agendas de investigación, políticas públicas y proyectos políticos, proceso que se da a partir de la articulación de comunidades de investigación que buscan financiamiento. El término permite la adaptación de estructuras institucionales en un nuevo ordenamiento de poder donde lo técnico condiciona la toma de decisión, esto se debe a que la generación de los conocimientos se basa en la lógica de la racionalidad científica, que está en constantes cuestionamientos ante la falta de consenso sobre cuánto hay que difundir de los mismos (Álvarez, 2012; Escobar, 2017; Olivé, 2005).

Se presentan los principales modelos o enfoques de pensamiento que distinguen las formas en que se usan, circulan y apropian los conocimientos dentro del marco de la sociedad del conocimiento, estos a su vez permiten conocer con qué orientación se desarrolla las trayectorias de la biología sintética y de qué modo en comparación con otras, distinguiendo los actores que participan como las estrategias que implementan (Ahumada y Miranda, 2003; De Greiff y Maldonado, 2011).

Por último, se utilizará el concepto de gobernanza aplicado a la ciencia y la tecnología, implica un cambio en las relaciones de poder entre el Estado con otros actores al tener una intervención de funciones reducida por compartir su poder con la sociedad civil en la gestión de los asuntos públicos, dicho vínculo se caracteriza por una relación más horizontal, de negociación, cooperación y participación de actores -públicos y privados- así como gubernamentales de distintos niveles, es una nueva interacción y entendimiento de la vida pública y sus estructuras organizativas para los procesos de toma de decisión (Del Pilar, 2013; Farinós, 2005; Graña, 2005; Herrera, 2019; Mayntz, 2011).

Es una perspectiva que ha tomado cierta relevancia al convertirse en el concepto de moda que cuestiona las formas verticales de llevar a cabo la vida pública como las relaciones de poder que busca tomas de decisiones efectivas y justas, generar acuerdos, instrumentos y políticas públicas, pero no cuestiona en sí la validez de las instituciones del Estado o la

legalidad de este sino la toma de decisiones de los gobiernos en turno como sus capacidades y eficacia antes las problemáticas presentes (Aguilar, 2010; Arellano *et al*, 2014; Brower, 2006).

Se retoma el concepto aplicado a la ciencia y tecnología, el cual reconoce la importancia de estos elementos como la no linealidad de su producción al ser un proceso multidimensional que necesita tomar en cuenta las diferentes perspectivas como los legos – gente que no se especializa en algún tema- y no sólo la de los expertos, reconoce las tensiones entre los conocimientos científicos y tradicionales, busca una perspectiva más inclusiva y de participación que permitan generar políticas públicas en la producción, distribución y uso de los conocimientos científicos como tecnológicos sin limitarlas o inhibirlas, pero que a la vez den cuenta de las necesidades de los participantes (Comisión Europea, 2009).

Por consiguiente, en el primer apartado se analizarán los antecedentes conceptuales de la propuesta de Thomas haciendo énfasis en la trayectoria tecnológica, examinando sus postulados, antecedentes y limitaciones, para posteriormente analizar el concepto de trayectoria socio-técnica presentando sus referentes, características, relevancia dentro de los estudios ESCyT y sus componentes. En el segundo apartado se retoma el concepto de sociedad del conocimiento como marco de análisis para examinar los principales enfoques o modelos de apropiación del conocimiento -privada y pública-, investigando sus características como elementos distintivos de cada propuesta. Por último, se retomará en el tercer apartado el concepto de gobernanza como marco general distinguiendo sus alcances y deficiencias, para posteriormente diferenciarla de la gobernanza de la ciencia, tecnología e innovación, donde se presentan sus propuestas, particularidades y características.

2.1 Trayectorias divergentes

Los aportes de los ESCyT en América Latina (A.L) tuvieron una trayectoria distinta a la tradicional europea y americana de los estudios sociales en ciencia y tecnología, sin marcar una clara separación y ruptura con ellos al tenerlos de base en muchos de los planteamientos e investigaciones, al plantear críticas respecto al modelo de intercambio tecnológico vigente en ese momento entre los países, la dependencia científica y tecnológica de vivía la región. En el caso de los estudios de la economía de la innovación, así como los del cambio tecnológico, éstos han operado por caminos similares y bajo una dinámica particular diferente a otras regiones del mundo por sus críticas al modelo lineal de innovación. A pesar de ello, este es el

modelo base de las políticas públicas en la materia en distintas partes de la región (Brieva y Juárez, 2018; Dagnino, 2010; Kreimer, 2007; Lepratte *et al*, 2015).

Esto permitió la aparición de diferentes autores que propusieron bajo una óptica renovada basada en las particularidades de la región, la construcción de abordajes teórico-metodológicos orientados a la investigación, diseño e implementación de políticas públicas en ciencia y tecnología, resaltando los aportes de Hernán Thomas, el cual lleva más allá sus contribuciones respecto a las trayectorias basadas en los ESCyT y los nuevos debates del Pensamiento Latinoamericano sobre Ciencia, Tecnología y Sociedad (PLACTS) (Hernán,1999:2008:2010:2013; Juárez y Becerra, 2012).

Este tipo de perspectivas generó a lo largo de A.L, la proliferación de estudios con base empírica, los cuales tienen como antecedentes directos marcos teóricos generados fuera de la región y son esenciales para entender la propuesta de Thomas, el cual se basó en las investigaciones y propuestas conceptuales como la teoría de los Sistemas Tecnológicos (Hughes, 2008), la Teoría del Actor Red (TAR) (Latour,1991:1992; Callon,1987) y la Construcción Social de la Tecnología (COST) (Bijker,1995:2008; Pinch y Bijker, 2008).

La propuesta de Thomas busca ser un enfoque analítico con mayor alcance explicativo que pueda ser utilizado para analizar y pensar las políticas tecnológicas en los países en vías de desarrollo, intenta superar el determinismo social y tecnológico ordenando en términos de trayectorias socio-técnicas la información y proponiendo relaciones causales entre los diferentes elementos, aunque dentro de las mismas podemos encontrar convergencias, huecos, negociaciones como disfuncionalidades que permiten dos procesos, la continuidad y discontinuidad de las dinámicas innovativas que se pueden ejemplificar a partir de las trayectorias de investigación y los procesos de desarrollo, generación, adopción e implementación de nuevos conocimientos disciplinares que generan diferentes orientaciones y caminos, lo que presupone la existencia de distintas trayectorias para un mismo desarrollo tecnológico, o en el presente caso de un conocimiento disciplinar como la biología sintética (Bortz y Di Bello, 2015; Brieva, 2007; Brieva y Juárez, 2018).

El concepto de trayectoria socio-técnica busca reconstruir los procesos de cambio tecnológico a través del tiempo al plantear nuevos marcos de explicación emergentes dentro de lo que se caracteriza como sociedad del conocimiento, se basa en los estudios de innovación a partir del aporte de Shumpeter y los enfoques neoshumpeterianos permitiendo explicar por qué los actores se vinculan, bajo qué formas, perspectivas y en qué momento

(Freeman, 1983; Dosi,1982:1988; Garrido, 2009; Nelson y Winter, 1982; Paz, 2015;Pérez, 2001; Shumpeter,1983).

Para llevar a cabo dicha tarea es necesario diferenciar el concepto de las trayectorias tecnológicas, las cuales expresan de forma acumulativa y evolutiva el cambio de las tecnologías en la medida en que estas se difunden y se utilizan en la producción de servicios, donde la innovación es representada de forma lineal y unidireccional que parte de la invención, la explotación comercial de algunos procesos productivos, mercados y organizaciones, basándose en la idea de que existe un contínuum que supone el escalonamiento progresivo de forma secuencial a partir del descubrimiento, pasando por la investigación aplicada, el desarrollo tecnológico, la fabricación y el lanzamiento al mercado (Brieva y Juárez, 2018; Cantero *et al*, 2017; OCDE, 1996).

2.1.1 Trayectoria tecnológica

El concepto de trayectoria tecnológica tiene como característica explicar las dinámicas de cambio tecnológico que ocurren dentro de una empresa, sector o industria a lo largo de un periodo determinado. Para Latour esto ha sido objeto de estudios y aproximaciones de diferentes disciplinas como la historia, economía, sociología y la política, de una manera sesgada como parcial, lo que genera la necesidad de postular nuevos marcos conceptuales que permitan abordar las distintas problemáticas a partir de nuevas miradas (Latour 1991:1992; Thomas *et al*, 2005; Vera y Vera, 2013).

El concepto de trayectoria tecnológica se suscribe dentro del modelo lineal de innovación que dominó por varias décadas las reflexiones en ciencia y tecnología, basándose en seis etapas: investigación básica, aplicada, desarrollo tecnológico, elaboración de productos, producción y utilización. Pone su mirada en los productos y procedimientos que se generan durante el proceso productivo de forma simultánea que incorporan en algún grado algo novedoso, presentándose como innovaciones incrementales de forma sucesiva que permitan la mejora en la calidad de un producto o en la productividad de un proceso determinado (OCDE, 1996; Viales, 2017).

A la par de la presente concepción se encuentra otro enfoque - perspectiva interactiva- que ha cambiado radicalmente dicha noción en las últimas décadas, vista como el remplazo del modelo lineal, que admite que se requieren diferentes tipos de conocimiento, múltiples pruebas de ensayo error, vínculos y efectos de ida como de vuelta en todas las fases del

proceso, regresando en múltiples ocasiones a las etapas iniciales. En ambos enfoques las tecnologías tienen un papel principal no sólo demarcando las posiciones y conductas de los actores involucrados, sino condicionando las estructuras de distribución social, los costos de producción, el acceso de los bienes y servicios (Becerra y Santos, 2011; OCDE, 1996; Thomas y Gianella, 2006; Thomas, 2010).

Sin embargo, el modelo lineal es una forma de explicar la creación e implementación de políticas de desarrollo incluyendo procesos de aprendizaje de forma constante, como son las actividades vinculadas con la generación, modificación y distribución de los conocimientos, tiene una naturaleza acumulativa y dinámica del cambio tecnológico al ser evolutivas distinguiéndose en dos niveles: el primero vinculado a los procesos y el segundo a los productos (Carrapizo *et al*, 2018; Dosi, 1982; Fremman, 1983; Thomas y Gianella, 2006; Nelson y Winter, 1982; Pérez, 2001).

Su importancia radica en que reconoce que las tecnologías se rigen y orientan a partir de sus propias reglas donde la sociedad no tiene ninguna injerencia, la relevancia del carácter acumulativo de las mismas partes de la noción de generar procesos de aprendizaje largos y complejos para su utilización, las cuales siguen una trayectoria similar en cuanto al ritmo y dirección de los cambios donde su evolución coincide con el mercado, consecuencia directa del desarrollo y aplicación de las tecnologías que supone la generación de un stock de conocimiento que esté disponible en todo momento para ser aprovechado por el tejido productivo, con la intención de producir un producto o servicio que pueda llegar a comercializarse, lo que se traduce en un proceso de innovación entendido en el sentido clásico a partir de Schumpeter (Kreimer, 2010; Thomas y Gianella, 2006; Schumpeter, 1983).

Las tecnologías en sí mismas son percibidas a manera de caja negra, autónomas y neutrales, que determinan sus pautas de desarrollo sin contemplar factores sociales pero sí tomando en cuenta los conocimientos disponibles, las formas de organización, las capacidades adquiridas y acumuladas, el mercado y su comportamiento, donde el cambio generado a partir del proceso innovativo representa la causa fundamental desde dicha óptica como del dinamismo y el crecimiento de la economía (García y Navas, 2007; Vera, 2013).

Pero ¿qué se entiende por trayectoria tecnológica?, ¿Cuáles son sus postulados y antecedentes teóricos? y ¿Por qué es más conveniente para la presente tesis utilizar los aportes de las trayectorias socio-técnicas?, el concepto en principio da cuenta de dos procesos, la naturaleza de las dinámicas y la acumulación de conocimiento en torno a una tecnología para

la innovación técnica. El término está influenciado por los conocimientos tecnológicos pasados, presentes y futuros que se desprenden del proceso innovativo dentro de una empresa, sector o industria, su base son los aportes de Schumpeter (1983), Freeman (1983:1988), Dosi (1982:1988), Nelson y Winter (1982) y Pérez (2001), los cuales analizaron y demostraron que el cambio tecnológico es más relevante que factores como el aumento de la oferta del capital y los insumos que se ocupan en el trabajo, lo cual puede explicar el mejoramiento de los ingresos tanto de algunos países como de algunos sectores (Brieva, 2006; Cantero *et al*, 2017; Vera y Vera, 2013).

De estos estudios se desprende la noción de trayectoria donde los primeros autores que plantean un aporte son Freeman (1987) y Pérez (2001) con las trayectorias tecno-económicas y Dosi (1982:1998) con las trayectorias tecnológicas, siendo este último el que enlaza su contribución con la obra de Kuhn respecto a los paradigmas. Es a partir del análisis y principalmente la propuesta realizada por Dosi que surge la trayectoria tecnológica dentro de la matriz de economía de la innovación, la cual busca explicar las dinámicas de cambio tecnológico desde otro paradigma (Cimoli y Dosi, 1994; Oble, 2016; Thomas y Gianella, 2006).

Basándose en investigaciones realizadas por Pavitt, Freeman, Mowery y Rosenberg, Dosi reformula los planteamientos hechos hasta ese momento sobre el significado de la trayectoria, contemplando elementos como formas de organización, conocimientos y las capacidades acumuladas que se desprenden de las actividades del pasado, el mercado y el comportamiento en general del entorno. En términos simples se puede entender la trayectoria tecnológica como la reconstrucción a través del tiempo de los procesos de cambio tecnológico, enfatizando su carácter acumulativo para la creación y utilización de tecnologías que definen la naturaleza de las actividades de innovación, haciendo una diferenciación dentro de la matriz de innovación (Garrido, 2010; Vera y Vera, 2013).

La trayectoria tecnológica analiza la evolución de una tecnología bajo procesos específicos en la medida que se difunden y utilizan para la producción de bienes y servicios, a pesar de que ésta está pensada en la innovación de productos, como procesos presentan dificultades y resultan incompletas a la hora de reflexionar en casos mayores que impliquen no sólo trayectorias técnicas sino también organizaciones o institucionales, lo que dificulta examinar los cambios organizacionales en niveles menores para entender las dinámicas de innovación que ahí se dan (Cantero *et al*, 2017; Thomas, 2008; Thomas y Gianella, 2006).

Otra limitación es que la trayectoria de una tecnología no debe reducirse a su interpretación inicial en cada industria, sector o empresa, su desarrollo y evolución tiene configuraciones particulares no permitiendo conocer las cuestiones relacionadas con la selección y su estabilización, no explicando el por qué se escoge sobre otra y tiene éxito a diferencia de otras opciones, lo que plantea un abordaje determinista y sesgado del modelo de innovación al predominar enfoques como temáticas exógenas del proceso (Brieva, 2006; Juárez y Becerra, 2012; OCDE, 1996).

Con la intención de superar las limitaciones de la trayectoria tecnológica que se pueden enumerar de la siguiente forma: es un modelo exógeno a las realidades regionales de A.L. y/o características de algunos países periféricos, no explica el éxito o fracaso de una tecnología, las cuales son consideradas neutrales al regirse a partir de sus propias reglas internas, no contemplan factores sociales, políticos, económicos, culturales ni los actores que participan en el proceso, propone un cambio basado en una perspectiva lineal que puede ser considerado parte del determinismo tecnológico donde las cualidades técnicas determinan la evolución de la tecnología como su adopción o implementación (Thomas, 2007; Paz, 2015).

Por estos motivos, para incluir los aspectos no considerados se retoma el concepto de trayectoria socio-técnica de Hernán Thomas, que cuenta con un enfoque holístico y sistemático que permite explicar el desarrollo, evolución y adopción de una tecnología contemplando diferentes elementos heterogéneos, mientras que en principio se hace una distinción entre dinámicas y trayectorias socio-técnicas, donde el éxito o no para el presente caso de un conocimiento disciplinar, no necesariamente se relaciona con las cualidades técnicas ni su implementación en la sociedad o desarrollo tecnológico, sino de una serie de factores como la participación de diferentes actores y grupos que permiten comprender la adopción, uso y utilidad (Paz, 2015).

2.1.2 Trayectoria socio-técnica

En las últimas dos décadas se han generado diferentes abordajes dentro de los estudios sociales de la tecnología que buscan captar y analizar la naturaleza compleja de los procesos de cambio tecnológico, como en su momento se intentó hacer bajo la concepción de trayectorias tecnológicas. Diferentes autores propusieron una serie de conceptos nuevos que resignifican algunos aportes dentro de los ESCyT y la economía evolucionista neoschumpeteriana, esto permitió el desarrollo de diferentes conceptos dentro de la tradición

socio-técnica tales como: dinámicas, trayectoria, adecuación, alianza y procesos de co-construcción, los cuales se caracterizan por girar en torno a la categoría sociedad del conocimiento (Lepratte, 2014; Juárez y Becerra, 2012; Thomas, 2008).

La mayoría de los planteamientos tienen su base en la perspectiva constructivista de la tecnología a partir de los aportes de Bijker, el cual analiza lo socio-técnico a partir de la metáfora del tejido sin costura rompiendo en principio con los enfoques deterministas para abordar los problemas en CTS, el análisis socio-técnico representa una oportunidad de examinar los procesos de cambio tecnológico y de innovación a partir de nuevos planteamientos, una conceptualización dinámica que describe con términos de relaciones, procesos y trayectorias un análisis más complejo (Thomas, 2008).

Retomando los aportes de Bijker, lo técnico es socialmente construido y lo social es tecnológicamente construido, lo que representa una unidad de análisis compleja que busca romper con las distinciones a priori de estos dos elementos incluyendo lo económico, social, cultural y científico, donde los objetos no son puramente tecnológicos o sociales sino el resultado de diferentes procesos de co-construcción que se desenvuelven bajo un marco tecnológico. Dentro de este marco se pueden reconocer dos aportes, el primero vinculado a la TAR, que introduce la perspectiva simétrica en las relaciones y retoma los aportes del tejido sin costuras, y el segundo el COST que analiza los vínculos a partir de los grupos sociales que construyen por medio de su visión los artefactos tecnológicos (Lepratte *et al*, 2015; Thomas, 2008).

Algunas perspectivas dentro la tradición socio-técnica reconocen la participación de actores y grupos que juegan papeles relevantes en la construcción y orientación de una tecnología como en las relaciones que se establecen para su desarrollo. En esta perspectiva las dinámicas de innovación y de cambio tecnológico son procesos de co-construcción constantes, donde la modificación o alteración de algún elemento genera cambios en el sentido como en el funcionamiento a partir de la participación o no de distintos grupos y actores en el proceso (Bijker, 1987: 1995: 2008; Callon, 1987; Garrido, 2010; Juárez y Castañeda, 2017; Leprette, 2011; Martín y Becerra, 2012; Pinch y Bijker, 2008).

Con la intención de incluir los aspectos no considerados y superar las limitaciones de la trayectoria tecnológica antes mencionadas, se propone una nueva conceptualización que reconstruye el proceso de cambio tecnológico por medio del concepto de trayectoria socio-técnica, la cual se integra a partir de diferentes instrumentos y herramientas teóricas como una

matriz disciplinar dentro de la sociología de la tecnología, principalmente en su corriente constructivista, funge como una categoría complementaria al concepto de economía de la innovación mediante la cual se dan procesos de acumulación de distintos conocimientos (Thomas, 1999:2008:2010:2013; Thomas *et al*, 2005).

La trayectoria socio-técnica surge de una serie de investigaciones desarrolladas en el continente americano y principalmente en el sur, que se basan en el estudio de los procesos de co-construcción con base en el análisis de las dinámicas y trayectorias de los artefactos, firmas y organizaciones. Tienen como objetivo crear un cuerpo de conocimiento teórico-metodológico que sirva como instrumento de gestión en la generación de políticas públicas y una herramienta conceptual para los investigadores dentro del campo CTS (Juárez y Becerra, 2012; Leprette, 2011).

Permite analizar por medio de la reconstrucción, los procesos de coevolución de los productos, dinámicas productivas y organizaciones como las instituciones a través de las racionalidades, políticas y estrategias que un actor o grupo -firma, institución de IyD, universidades- pone en marcha dentro de un marco tecnológico determinado, da lugar a una perspectiva histórica de la actividad que se encuentra dentro de los procesos de innovación que se conceptualizan en términos de dinámicas (Thomas, 1999; Thomas y Gianella, 2006).

Su importancia y aporte radica en que es un concepto diacrónico que establece relaciones causales entre distintos componentes heterogéneos, -la dependencia de ésta a las diferentes circunstancias- determinado por marcos temporales que permite el análisis de unidades simples como artefactos, organizaciones, redes o empresas, o complejas, como sistemas tecnológicos, ciudades, gobiernos, sectores productivos o países en tiempo y espacio. Es una forma de operacionalizar los procesos de co-construcción de los productos, organizaciones, las dinámicas donde se dan los problemas y las soluciones, los procedimientos por los cuales se da un aprendizaje, los vínculos entre los usuarios vs productor, los mecanismos que determinan el funcionamiento o no de una tecnología, las políticas y el repertorio de estrategias que utilizan los actores (Thomas, 2008).

El concepto es apropiado para analizar los procesos que se desarrollan con la difusión, adopción y transferencia de una tecnología identificando las alianzas que fueron forjando los actores y grupos, permite dar respuesta al por qué una trayectoria se produce de esa forma en específica y no de otra, como a partir de qué elementos les otorgan, discuten e imponen significados como utilidad tecnológica. Es un modelo multidireccional de análisis que permite

diferentes trayectorias entre sí de forma paralela y continua a partir de los problemas y las soluciones que implementan quienes participan en su definición, analizando fenómenos complejos que pueden abarcar múltiples dimensiones, las cuales tienen como características que son construidos socialmente y son históricamente contextuales (Brieva, 2006; Cantero *et al*, 2017; Lepratte, 2014; Meier e Iriarte, 2009; Pérez *et al*, 2018; Picabea y Thomas, 2011; Thomas, 2008; Vercelli y Thomas, 2006).

Cabe mencionar que toda trayectoria se desprende y desenvuelve en el seno de una dinámica, la cual resulta incomprensible fuera de ella, concepto sincrónico que incluye una diversidad de interacciones como las tecno-económicas y sociopolíticas vinculadas al cambio tecnológico e inserto en un mapa de vínculos; no son entidades con materialidad o existencia real sino construcciones que se desarrollan a partir del análisis y reflexión del analista, su alcance no es definible en primer momento porque se basa en el criterio teórico y metodológico del observador (Becerra y Santos, 2011; Thomas y Gianella, 2006; Thomas, 2008).

Las trayectorias socio-técnicas funcionan como unidades de análisis complementarias que mapean distintos procesos no equivalentes a las dinámicas, son más abarcativas y se desarrollan dentro de las primeras, careciendo de sentido fuera de éstas al permitir señalar patrones de interacción entre las tecnologías, políticas, gobiernos, instituciones, racionalidades, objetivos e intereses, son un conjunto de patrones de interacción de los elementos heterogéneos que permiten conocer una forma determinada de cambio socio-técnico con el potencial de generar productos, procesos de cambio tecnológico y cambios estructurales (Brieva, 2006; Lepratte *et al*, 2015; Thomas, 2008: 2010).

A causa de ello, la trayectoria utiliza mecanismos causales aplicando y ampliando nociones como funcionamiento, flexibilidad interpretativa, adecuación socio-técnica, estilo socio-técnico y resignificación dentro de un marco de co-construcción. Funciona por medio de un ciclo basado en el análisis de algunos componentes sin perder de vista otro tipo de elementos que contribuyen a los mecanismos. Para el caso del funcionamiento o no de un artefacto se pueden indagar las variables de los elementos heterogéneos -conocimientos, condiciones materiales, regulaciones, infraestructura, financiamiento, normas, políticas públicas, etcétera- que afectan su adopción, implementación o transferencia. Es una evaluación socialmente construida a la cual se le dan sentidos positivos y negativos que no

son permanentes al variar a lo largo del proceso de construcción (Bijker, 1995; Thomas, 2008; Paredes *et al*, 2018; Pérez *et al*, 2018; Ronny, 2017; Viales, 2017).

Por esa razón no es una característica intrínseca de los artefactos, está dada a partir del sentido que le otorgan los diferentes actores y grupos que participan en sus trayectorias al ser una contingencia que se construye desde lo social, tecnológico y cultural, se basa en una constante evaluación que asigna distintos sentidos haciendo referencia a la flexibilidad interpretativa la cual aumenta o disminuye en la medida que los participantes discuten, negocian, generan consensos o imponen los significados de los artefactos a los demás (Bijker, 1995; Juárez y Becerra, 2012; Meier e Iriarte, 2009; Thomas, 2010; Ronny, 2017; Vercelli y Thomas, 2006).

Otro concepto relevante es el de adecuación socio-técnica la cual tiene sus antecedentes en desarrollos teóricos previos, es un proceso organizativo que integra los conocimientos, artefactos y sistemas tecnológicos a las distintas dinámicas o trayectorias, permite abrir la caja negra respecto al éxito o fracaso de una tecnología y explicar la adopción de un artefacto, para llevar a cabo dicha tarea integra elementos de problema-solución, dinámicas, traducciones, resignificaciones y estilos, donde la producción y construcción social del significado de utilidad o funcionamiento de una tecnología son dos caras de la adecuación (Brieva y Juárez; Thomas, 2008).

En cambio, los estilos socio-técnicos parten de la reconstrucción de las trayectorias permitiendo analizar las características y particularidades en las formas en que se produce o adopta una tecnología, como la percepción de los actores para definir su funcionamiento o no. Este concepto se desprende de los aportes de Hughes y su análisis sobre el estilo tecnológico a partir del cual pueden ser vistas las formas estabilizadas de producción de una tecnología donde la adaptación a un entorno específico culmina en un estilo (Aguiar *et al*, 2008; Garrido, 2010; Hughes, 2008; Thomas, 2008).

Es decir, la estabilización de ciertas prácticas que caracterizan una firma o institución es una respuesta tecnológica -producto, proceso y organización- a diferentes entornos, la cual se define en función de sus componentes científicos, artefactuales, organizaciones y en términos de problema solución. Las operaciones de re-significación no son alteraciones mecánicas de una tecnología, se consideran un estilo por el sentido que le otorgan a su medio de aplicación y estará en función de los intereses, objetivos, necesidades de determinados

actores a partir de su historia, conocimientos, trayectoria de aprendizaje y fines (Picabea y Thomas, 2011; Ronny, 2017; Sánchez, 2018; Thomas, 2010; Thomas y Gianella, 2006).

Sobre la base de las ideas expuestas ¿Cómo se abordará el tema de la biología sintética desde la perspectiva de trayectoria socio-técnica?, primero se privilegiará la creación y análisis del proceso histórico de dicha disciplina en México en secuencias temporales, analizando cómo se ha construido la red de biología sintética en el país como unidad simple, reconstruyendo el proceso en etapas que den cuenta de las transformaciones, interacciones, las relaciones y grupos que determinan su funcionamiento o no en el país a partir de las alianzas hechas.

Esto es relevante en tanto se comprenda de mejor manera las condiciones, particularidades, limitaciones y trayectorias divergentes en la construcción de una agenda de investigación que posibilite la innovación en México, como los alcances que realmente tiene dicha disciplina, los impactos que ha tenido y las estrategias que han seguido los diferentes grupos y actores para la generación de condiciones que permitan a más personas conocer y usar sus conocimientos a escala nacional, construyendo una comunidad en biología sintética.

Una segunda consideración es analizar los procesos de construcción de las redes de investigación y de conocimiento que permiten la adopción, desarrollo y difusión en función de los actores que participan en su definición, en la medida que estos otorgan, discuten y definen significados de la biología sintética, los cuales permiten plantear procesos de funcionalidad, uso y apropiación o no, tomando en cuenta su articulación, las condiciones técnicas del país, económicas, de regulación, demográficas, etcétera.

La ventaja del concepto de trayectoria socio-técnica es que permite ubicar los patrones que permiten la constitución de redes y los grupos de investigación que generan un sentido de pertenencia, identidad y afiliación profesional con la intención de conformar una comunidad en biología sintética en el país, distinguiendo los actores que participan en las diferentes etapas, ubicando a los centrales, así como las estrategias y características que implementan que permiten la evolución y orientación de las trayectorias.

2.2 El conocimiento y sus formas de apropiación

Los conocimientos son un elemento importante para la elaboración de políticas en ciencia y tecnología, instrumentos que explican la realidad, sirven como motor de desarrollo y factor dinamizador del cambio social, vistos de forma abstracta deben socializarse para generar un

impacto real al no ser suficiente su creación para alcanzar los objetivos de desenvolvimiento que propone cada sociedad, así como económicos que buscan los países con la generación de políticas, las cuales se pueden basar en nuevos marcos conceptuales que fungen como narrativas para justificar las acciones teniendo de ejemplo el término de sociedad del conocimiento (Chaparro, 2001; Escobar, 2018; Marrero, 2007).

El conocimiento posibilita nuevas formas de organización social y estructuras que les dan soporte, donde éste adquiere dimensiones antes no valoradas permitiendo desempeñar un papel más allá del que históricamente se le había dado. En el caso de las sociedades modernas, éstas se basan en diferentes conocimientos que intervienen de forma directa en su construcción, donde la ciencia y la tecnología es un tópico moderno basado en los progresos científicos y tecnológicos de los últimos cincuenta años del siglo XX, etapa en la cual se produjo y acumuló gran cantidad de conocimientos (Chaparro, 2006; Lema, 2001; Marrero, 2007; UNESCO, 2005).

Dicha conceptualización tiene el respaldo de diferentes organismos internacionales, gobiernos, responsables de la elaboración de políticas públicas, empresarios y recibe cierta aceptación en las comunidades académicas al ser un modelo de sociedad en construcción que se basa en los conocimientos científicos y tecnológicos, lo cual genera un nuevo vínculo en las sociedades al ser una estructura que se caracteriza por una economía que se sustenta en la producción y su uso de la ciencia como la tecnología (Chaparro, 2001; Greiff y Maldonado, 2011; Olivé, 2005).

El uso del conocimiento para el progreso científico y tecnológico tiene como consecuencia el aumento de la brecha económica, científica y tecnológica, agudizando las desigualdades de conocimientos en tres planos de forma simultánea; en la generación, circulación y apropiación del conocimiento entre los países desarrollados y en vías de desarrollo, generando nuevas formas de intercambio desigual que acentúan las asimetrías donde la ciencia y la tecnología son parte de las dinámicas de concentración y acumulación de la riqueza y poder (Delgado y Chávez, 2016; Lage, 2001; Marrero, 2007; Núñez, 2009).

Esta concentración viene acompañada de importantes desigualdades, exclusiones y conflictos, donde los intereses de las naciones menos desarrolladas y los grupos más desfavorecidos no suelen beneficiarse de este tipo de prácticas orientadas al uso y consumo de los sectores de mayor ingreso. Estas desigualdades plantean preguntas sobre quién produce el conocimiento, con qué intención se genera, quién tiene acceso, para qué se usa, quiénes y

cómo lo utilizan, qué actores, grupos e instituciones mantienen el control otorgándoles una ventaja competitiva, al fungir como punto de referencia obligatorio al tener la capacidad de incidir en la elaboración de normas que posibiliten dicha práctica, al introducir nuevas formas de organización en la producción, distribución y apropiación del conocimiento (Aguado *et al*, 2008; Arocena y Sutz, 2006; Cardona, 2010; Núñez, 2006; Núñez, 2009).

Ante estos cuestionamientos, existe un dilema dentro del conocimiento por la coexistencia de dos lógicas incompatibles de apropiación -apropiación privada y social del conocimiento-, la de garantizar el uso social de todo tipo de conocimiento no restringiéndose a los científicos o incentivar a los generadores de conocimiento su uso privado a través de mecanismos legales de propiedad intelectual, los cuales son mecanismos de apropiación antagónicos que desde su dinámica, postulados y práctica misma generan tensiones dialécticas (Chaparro, 2006; Echeverri y Franco, 2012).

Son enfoques opuestos sobre la utilización de los conocimientos como del desarrollo económico y societal al ser dos formas de concebir el mundo que se basan en visiones totalmente contrarias, entre ellas se generan intensos debates, batallas jurídicas, confrontaciones políticas como ideológicas, por lo cual distintos autores las conceptualizan bajo diferentes términos. Para Barrio son el desarrollo cooperativo y competitivo, en cambio Slater las denomina conocimiento sobre y hacia, el primero tiene como característica el papel de dominador y el segundo vinculado a la creación de conocimientos alternativos (Barrio, 2008; Delgado y Chávez, 2016; Echeverri y Franco, 2012; Slater, 2008).

En el caso de la apropiación privada del conocimiento, se desarrolla bajo la tensión que generan los derechos de propiedad intelectual y en particular los derechos de autor que privatizan el conocimiento, limitando el acceso y su libre circulación con diferentes regímenes de protección presentados como estímulo al esfuerzo e inversión en investigación. Esta práctica afirma la dominación existente entre países a través de los conocimientos y las tecnologías sacando ventajas en la competencia de capitales, determinando qué conocimiento es válido privilegiando la búsqueda de investigaciones aplicadas para su uso comercial, haciendo de los resultados un bien privado protegido por distintas legislaciones internacionales y nacionales como tratados comerciales (Cardona, 2010; Gilly y Roux, 2009).

Por lo anterior, se han planteado modelos de producción, circulación, gestión y transferencia de conocimientos alternos como estructuras de decisión más participativas que tengan un impacto social más amplio a través de la democratización en la toma de decisión y

bajo una lógica de apertura, los cuales permitieron el surgimiento y expansión de movimientos sociales como la comunidad del Open Access, software libre, ciberactivismos y hacktivismo que se oponen a la legislación en propiedad intelectual (Chaparro, 2006; Echeverri y Franco, 2012; González de la fe, 2004; Lozada y Pérez, 2012).

La apropiación social del conocimiento busca generar modelos de toma de decisión más democráticos, nuevas configuraciones de comunicación científica y difusión, así como perspectivas educativas que permitan enfoques críticos en ciencia y tecnología. A pesar de ello, termina imponiéndose de forma unilateral la mercantilización de los conocimientos sobre el presente criterio, el cual está representado por la óptica de la libre circulación que a su vez impulsa la aparición de diversas variantes de cooperación, comunicación e intercambio (Chaparro, 2006; Lander, 2001).

El concepto de apropiación menciona los dos procesos y describe dos prácticas contrapuestas, comúnmente percibido con una connotación negativa y contraria a la propiedad privada, una práctica que se opone al uso de los conocimientos en manos privadas y estimula la socialización de los bienes como recursos accesibles para la sociedad. A pesar de ello, son dos modos de organización y uso de los conocimientos que han coexistido por muchas décadas de forma paralela, haciendo una distinción entre los conocimientos derivados de las universidades, vistos en principio como un bien público y los desarrollados en los laboratorios industriales que son más difíciles acceder (Escobar, 2018; González de la fe, 2004; Nieto y Pérez, 2006; Vercellone, 2016).

En la presente tesis se usa el concepto de sociedad del conocimiento para describir dos enfoques opuestos sobre las formas en que se genera, circula, gestiona y transmite el conocimiento en biología sintética, sin perder de vista que se basan en diferentes planteamientos, visiones y postulados, donde las fronteras de lo que debe ser público y privado aún son difusas, poco claras en la comunicación de resultados y lo que es apropiable económicamente. Esto desarrolla tensiones y divergencias entre los objetivos que se plantean las investigaciones y los desarrollos tecnológicos, así como la disyuntiva de obtener beneficios privados o permitir la trasmisión de los conocimientos de forma libre.

Tensiones que hasta el momento no han resuelto del todo el mercado, los derechos de propiedad intelectual y los movimientos sociales, lo cual permite plantear que en la sociedad actual los conocimientos son inherentes a las formas de apropiación y se desarrollan en condiciones de incertidumbre, esto se debe a que las actividades científicas y tecnológicas no

son ajenas a intereses externos al existir presiones políticas, económicas, industriales, regulación y movimientos sociales que cada vez están teniendo una mayor participación en la comunidad científica (Acevedo *et al*, 2005; Cardona, 2010; Verre, 2017).

Es bajo este contexto que se genera un cambio de roles en las investigaciones ante la apropiación privada de los resultados, donde gran parte de los desarrollos, a pesar de haberse generado a partir de fondos públicos, pueden privatizarse por actores externos a las universidades o centros de investigación que los generan, donde el sector privado actualmente está desempeñando un papel relevante como fuente de inversión en distintas investigaciones principalmente en los países desarrollados, mientras que para el caso de las naciones en vías de desarrollo ocurre lo contrario, el Estado sigue siendo el principal financiador.

Para analizar y caracterizar las dos formas de apropiación primero es necesario ubicar el marco conceptual en el cual se ubican dichas prácticas, es necesario primero conocer qué es la sociedad del conocimiento, sus antecedentes y postulados, identificando los elementos distintivos y los motivos por los cuales se parte de dicha conceptualización. Es bajo este contexto y como parte de las revoluciones científicas que se produjeron en el fin del siglo pasado e inicio del presente, que aparecen diferentes conocimientos disciplinares como la biología sintética que plantea los dos modelos de apropiación en su desarrollo.

Donde los nuevos conocimiento disciplinares están relacionados con las dinámicas de generación de conocimiento dentro de la nueva conceptualización para describir a la sociedad, no siendo ajenos a las disputas y conflictos que se enmarcan en las formas de apropiación, teniendo como características el desarrollo de tecnologías genéricas con múltiples aplicaciones que abarcan casi todos los sectores, un distanciamiento entre el conocimiento básico del cual se desprende y su aplicación, planteando la necesidad de desarrollar nuevas formas de organización de las investigaciones para mantener el ritmo en la construcción de una masa crítica de los campos de conocimiento que son tan cambiantes, esto se debe al ritmo acelerado que tienen algunos desarrollos por sus aplicaciones tecnológicas (Chaparro, 2001:2006).

2.2.1 Construcción de la sociedad del conocimiento

El interés por conocer las características de la organización social en las ciencias sociales no es reciente; diferentes autores abordaron las problemáticas de identificar los elementos distintivos de lo que se podría denominar un nuevo estadio social a través de diversos

términos que buscan señalar los factores constitutivos de las sociedades, incorporando perspectivas de análisis globales capaces de dar cuenta de los cambios y transformaciones, donde la gran mayoría de los estudios se basan en discutir las formas de gestión ignorando en gran medida los problemas asociados al tema de la apropiación (Begoña *et al*, 2012; Bell, 1973; Cabero, 2008; Castells, 1997; Lage, 2001).

Esto sucede con el concepto de sociedad del conocimiento, que describe una serie de elementos que caracterizan a las sociedades contemporáneas que se han visto beneficiadas ante la aparición de la inteligencia artificial, nuevas disciplinas y tecnologías de información como comunicación. Una característica de esta nueva etapa es que el conocimiento que se desprende de las ciencias es un bien potencialmente privatizable, implica que los conocimientos no son susceptibles de apropiación social ante la existencia de mecanismos de decodificación que ponen trabas a dicha práctica, permitiendo la compra y venta entre particulares, lo que crea alrededor de los desarrollos científicos y tecnológicos un mercado de conocimiento como un modelo económico y social donde su riqueza se da a partir de su apropiación (Cardona, 2010; Cazaux, 2008; Lazos *et al*, 2013; Olivé, 2005; Vega, 2001).

La caracterización del proceso de cambio no es unánime, las divergencias no necesariamente responden a diferencias conceptuales como se podría pensar, lo cual impacta en el uso de los conceptos que son utilizados indistintamente como sinónimos entre sí para analizar a las sociedades contemporáneas. En el caso de la sociedad del conocimiento, no es el único concepto utilizado para dar cuenta de los cambios, también se usan nociones como sociedad de la información y economía basada en el conocimiento que se diferencian en las formas de generar, almacenar, distribuir, apropiarse y aprovechar los conocimientos (Bianco *et al*, 2002; Krüger, 2006; Olivé, 2005).

No existe consenso en los círculos académicos sobre el punto de ruptura con el momento histórico previo, la magnitud de los cambios y la dirección que toman en la definición, lo que vuelve difuso el concepto, presentándose la ventaja de construir uno a partir de los elementos que sean relevantes, determinado qué se incluye y qué no al presentar términos tan generales como difusos por la variedad de contextos a nivel internacional (Ayuste *et al*, 2012; Escobar, 2018; Ramírez, 2015).

El concepto de sociedad del conocimiento intenta alejarse de interpretaciones previas como sociedad de la información¹⁰ y de red¹¹ que dan cuenta del papel que tienen la ciencia y la tecnología, busca una ruptura y un proceso de discontinuidad con los periodos anteriores, lo cual no se relaciona con un tema de cantidad sino de significados otorgados, lo que genera una disputa de sentidos de los proyectos de sociedades actuales (Ayuste *et al*, 2012; Burch, 2005).

Su auge fue a finales de la década de los noventa del siglo pasado a partir del trabajo de Nico Stehr y Robin Mansell, utilizándose como una alternativa ante la conceptualización de sociedad de la información, al expresar de mejor manera los cambios y la complejidad de estos al comprender las dimensiones sociales, políticas, económicas y éticas. Implica un cambio cualitativo en el uso y aplicación de la información que permite la generación de nuevos conocimientos basados en la educación y el aprendizaje continuo, no determinado en un espacio en concreto, como institución educativa o limitado a un periodo temporal (Burch, 2005; Cazaux, 2008; Bianco *et al*, 2002; García, 2008; Krüger, 2006; UNESCO, 2005).

Como pasa con diferentes conceptos, éstos enmascaran la realidad y no revelan los conflictos sociales existentes tras su denominación. En el caso de los conocimientos en ciencia y tecnología, estos se desenvuelven en procesos desiguales respecto a la generación, distribución, circulación y apropiación entre los países centrales y periféricos, lo que condiciona la relación de estos últimos con los primeros, aumentando la polarización de las riquezas y el poder en la medida que avanza la globalización (Büchner, 2005).

El conocimiento es visto como una forma de generar y ejercer poder no sólo entre particulares sino entre países, lo que revela su carácter conflictivo a la hora de explicar el desarrollo de las sociedades actuales. Es un error pensar que se transita a la sociedad del conocimiento orientando las prácticas e instituciones para su generación y así adquirir valor comercial ante los procesos de distribución desigual, lo que permite un control político y

¹⁰Se desprende de los aportes que realizó Daniel Bell a partir del diagnóstico de la sociedad postindustrial, a partir del cual introduce la noción de “*Sociedad de la Información*” en su libro *El advenimiento de la sociedad post-industrial* (1973), formula como principal elemento de esta sociedad el conocimiento teórico, donde los servicios basados en éste se convertirán en la estructura central de la nueva economía, con el “propósito del control social y el direccionamiento de la innovación y el cambio; esto conlleva el surgimiento de nuevas relaciones sociales y nuevas estructuras” (Bell, 1973: 104).

¹¹ Manuel Castells (1996;1997; 2006) propone la “*Sociedad red*” basando en la era de la información, plantea la “idea de que el conocimiento y la información comienza a jugar un papel central en las nuevas sociedades” (Marrero,2007:65), se conforma una estructura social dominante, que genera una nueva economía informacional, nuevos modelos culturales físicos y virtuales. Este proceso da pie a la revolución tecnológica que tiene como base los procesos y no los contenidos.

económico a partir de las capacidades de generar conocimientos (Greiff y Maldonado, 2011; Olivé, 2005).

Aunque pareciera ser un proceso global, la sociedad del conocimiento no reemplaza en su totalidad a las sociedades que le antecedieron, genera un abanico de situaciones dispares y heterogéneas entre los países desarrollados y en vías de desarrollo, al no ser los mismos procesos, condiciones, capacidades y flujos de información. Donde el acceso y uso del conocimiento no garantiza mejoras al existir un desequilibrio entre los nuevos conocimientos y las capacidades que tienen las naciones, instituciones o universidades de asimilarlos, así como aprovecharlos de forma satisfactoria; esto se debe a que las estructuras científicas no cambian a la misma velocidad a la que se generan los avances científicos y tecnológicos (Bianco *et al*, 2002; Chaparro, 2006; Ramírez, 2005).

El término de sociedad del conocimiento se remonta a principios de la década de los años 60 y se desarrolló a partir del análisis de los cambios que estaban sufriendo en ese momento las sociedades industriales. Fue propuesta por el sociólogo Peter F. Drucker en 1969 con el interés de analizar las transformaciones que ocurrieron con la etapa de la posguerra, lo que supondría una pérdida de los rasgos de las sociedades que la antecedieron aunque no en su totalidad (Krüger, 2006; Palacio, 2011; UNESCO, 2005).

Lo que entendemos como sociedad del conocimiento se agrupa en cuatro vertientes: 1) resalta la importancia de las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) así como su utilización en el proceso económico; 2) privilegia las nuevas formas de producir conocimiento, considerado uno de los pilares del crecimiento junto al capital y el trabajo; 3) enfatiza el rol de los procesos educativos y formativos, institucionales y vivenciales; y 4) destaca la importancia de los servicios intensivos en conocimiento y comunicación (Krüger, 2006).

Al plantearse como una sociedad en construcción, se basa en diferentes supuestos que contrastan con la realidad y el entorno en la búsqueda de un nuevo futuro, plantea la vinculación del saber con la aplicación del conocimiento, visualizando una educación continua que genera competencias en los participantes para resolver los problemas que se les presenten desarrollando un pensamiento reflexivo, crítico y creativo de forma paralela, el cual se desenvuelve como una actividad colectiva en cuanto a su modo de producción que no necesariamente se genera en lo que se denomina centros de saber (Büchner, 2005; Chaparro, 2001; Krüger, 2006; Ramírez, 2015).

La sociedad del conocimiento es un proceso de desarrollo colectivo en la construcción de significados que orientan la interacción con el mundo físico, tecnológico y social que tiene el desafío de convertir la información en conocimiento útil, aprovechar la generación como apropiación de los conocimientos para introducir procesos y cambios dinámicos de aprendizaje a través de la creación así como el fortalecimiento de capacidades y habilidades (Bianco *et al*, 2002; Barroso, 2012).

Esto genera cambios cualitativos en las funciones que se le otorgan al conocimiento, principalmente en la generación y circulación de éste como en la apropiación y valorización de las transacciones económicas, acelerando las dinámicas de convergencia mediática y la cultura participativa donde la ciencia es la principal fuente para desarrollarlo a través de las investigaciones científicas, para la transmisión de resultados es necesaria la generación de nuevos mecanismos a partir de las realidades locales, generando procesos de innovación adecuados a cada país (Ayuste *et al*, 2012; Chaparro, 2006; Lage, 2001; Ramírez, 2015).

Está vinculado a la producción del conocimiento alterando las formas tradiciones de entender el término, lo que tiene que ver con su elaboración, organización, creación y difusión, es un modelo de transmisión subjetiva como dinámico, de forma colaborativa que se considera patrimonio común de la gente que permite procesos de reflexión y el deterioro de estructuras tradicionales reguladoras del conocimiento, posibilitando la verificación de la producción, distribución y reproducción de éstos, y el sometimiento a un proceso de revisión continuo sobre los conocimientos que se desprenden de los expertos (Ahumada y Miranda, 2003; Begoña, 2015; Krüger, 2006).

2.2.2 La apropiación privada del conocimiento científico y tecnológico

En la historia ha existido una fuerte relación entre el sistema económico y las formas de organización que plantean un conjunto de estructuras tanto políticas como jurídicas que definen la propiedad y las normas que regulan su uso, no es un proceso reciente ya que en las diferentes sociedades se plantean distintas formas de apropiarse las formas de valor donde los derechos de propiedad han sido claves con la finalidad de lucrar con el conocimiento al ser un proceso aledaño a la revolución industrial (González de la Fe, 2004; Sánchez, 2003; Vercelli, 2010).

Al igual que las sociedades que le antecedieron, en la sociedad del conocimiento uno de sus objetivos es la apropiación privada no sólo de los bienes sino del conocimiento en sí

mismo, por medio de diferentes mecanismos y estructuras jurídicas que permiten la producción, uso y la exclusividad de los beneficios tanto de los conocimientos científicos como tecnológicos, lo cual plantea un predominio de los valores e intereses basados en la comercialización, mercantilización y competitividad que están vinculados al aumento artificial del valor de cambio, lo que disminuye su valor social debido a su privatización (Büchner, 2005; Cardona, 2010; Vercellone, 2016).

Se pueden establecer cuatro etapas de apropiación sobre las formas de valor, los bienes materiales e intelectuales, la primera es un proceso de estabilización de los derechos de propiedad y el reconocimiento de que los bienes de todo tipo pueden tener un carácter privado; la segunda es el avance de las dinámicas de apropiación sobre bienes materiales que tienen como característica ser de carácter común; la tercera está orientada a los bienes intelectuales, es la estabilización y reconocimiento de los derechos privados sobre obras intelectuales; y la cuarta es la apropiación de bienes que se desarrollan e implementan en tiempos de las tecnologías digitales y nuevas tecnologías de edición genética (Vercelli, 2010).

Liderado por un proceso de globalización, el conocimiento se vuelve un campo de lucha bajo el imperativo de buscar la supervivencia de empresas y Estados donde sean monopolizados en favor de un lucro privado muchas veces condicionado por el mercado. En el caso de los conocimientos científicos y tecnológicos, en las dos últimas décadas se desarrollaron transformaciones en su generación y apropiación a partir del patentamiento ante la creación de barreras para el acceso de los resultados de las actividades científicas. Una vía para legitimar la privatización es restringir la competencia con otros investigadores o empresas con las patentes y el copyright, mecanismos que permiten generar una noción de escasez para privatizar los bienes que no sean rivales y excluyentes como lo es el conocimiento (Ahumada, 2003; Darat y Maximiliano, 2016; Delgado y Chávez, 2016; Marrero, 2007; Núñez, 2006; Sánchez, 2003; Vercellone, 2016).

Las patentes se han convertido en una actividad provechosa y una fuente de riqueza de la creciente comercialización de los conocimientos que tiene el objetivo de proteger las innovaciones para obtener dividendos económicos, a partir de distintas estrategias de apropiación que articulan varios mecanismos jurídicos. Sirven en buena medida de instrumentos los Tratados de Libre Comercio (TLC), la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (OMPI), la Organización Mundial del Comercio (OMC) que incluye los Acuerdos sobre los Aspectos de los Derechos de Propiedad Intelectual relacionados con el

comercio (ADPIC), así como el Acuerdo General de Comercio y Aranceles (GATT), los cuales son cada vez más restrictivos y se expanden de manera silenciosa y unilateral por el planeta por medio de los acuerdos comerciales con la participación de las empresas transnacionales (Arvanitis y Dutrénit, 1997; Büchner, 2005; Darat y Maximiliano, 2016; Delgado y Chávez, 2016; Nieto y Pérez, 2006; Núñez, 2008; Sánchez, 2003; Verre, 2017).

La apropiación privada del conocimiento también es conocida como escuela de propiedad intelectual y conocimiento privado o monopólico, se encuadra en las formas institucionales como estructurales dentro de la lógica de acumulación del capitalismo, generando transformaciones en las formas de operación, articulación y desarrollo de los sistemas de innovación. Este proceso tiene como causa la debilidad gubernamental de algunos Estados y el abuso de las corporaciones transnacionales con la capacidad de incidir en las estructuras jurídicas de propiedad intelectual en muchos países (Echeverri y Franco, 2012; Reboloso, 2008; Vercellone, 2016).

Por lo cual, la conceptualización de innovación vigente en las políticas públicas está teniendo una fase de reestructuración a partir de las empresas transnacionales, permitiendo una carrera por la generación de patentes y se define en relación con la apropiación que se hace del conocimiento para el mercado, lo que da como resultado un proceso de explotación extensiva e intensiva del conocimiento, generando un costo en la distribución y uso que excluye en su mayoría a los ciudadanos (Büchner, 2005; Delgado y Chávez, 2016; Greiff y Maldonado, 2011; Marrero, 2007; Shadlen, 2011).

Esto fue posible por la autonomía del sistema tecnológico donde se establecieron diferentes mecanismos de apropiación, regímenes de protección como estructuras de incentivos y recompensas, empezando por el secreto industrial hasta llegar a los sistemas de patentes, fenómeno que se acentuó con la creación de grupos de investigación que se aglutinan en torno a diferentes campos con la intención de distribuir el riesgo, las inversiones y los beneficios, incluyendo los recursos genéticos. Esta evolución como cambio de visión del ritmo del progreso científico genera problemas éticos y legales respecto al patentamiento de los recursos genéticos ante la privatización de la vida (Besen y Ranskind, 1991; Chaparro, 2006; Fundación Heinrich Boll, 2005; Katz, 2000; Nieto y Pérez, 2006; Vega, 2001).

En la historia del sistema de patentes y sus múltiples regímenes como mecanismo de apropiación, están vinculados a la mercantilización e industrialización del conocimiento técnico desde la década de los años 90 del siglo pasado con la difusión de nuevas tecnologías,

que se ha acentuado a través de los Derechos de Propiedad Intelectual (DPI) de los cuales se desprenden los derechos de autor, de copia, licencias de uso y las patentes que son reguladas, protegidas y explotadas comercialmente (Katz, 2000; Vega, 2001).

Este tipo de apropiación genera una escuela de pensamiento que cambia las formas de valorar el conocimiento científico y tecnológico y de la cual se desprenden distintos supuestos, como la idea de que es más valioso el conocimiento siempre y cuando se pueda generar un valor comercial. También se considera que, la única forma de que avance el desarrollo científico y tecnológico es a través de la protección jurídica de los inventos e inventores. A su vez, la percepción que se tiene de la labor de los científicos plantea una concepción de superioridad sobre otras formas de conocimientos con un fuerte determinismo tecnológico basado en el rol de los nuevos conocimientos disciplinares, y las tecnologías son vistas como el único motor de cambio (Cardona, 2010; Echeverri y Franco, 2012; Delgado y Chávez, 2016; Lander, 2001; Vercellone, 2016).

Otra idea generalizada que se tiene es que su valor e impacto se mide por el éxito comercial de aplicaciones que tienen una sanción positiva del mercado por medio de licencias y patentes como medida de eficacia, donde hay una creencia de propiedad moral de los derechos de propiedad privada en relación con otros mecanismos de apropiación como de conocimientos (Álvarez, 2012; Drahos, 1990; Vercellone, 2016).

Para cumplir con los objetivos de la apropiación privada del conocimiento diferentes autores reconocen métodos, mecanismos, formas o etapas en que esto se lleva a cabo. Núñez reconoce tres mecanismos como el reforzamiento de los derechos de propiedad intelectual, el desplazamiento del financiamiento o ejecución de las investigaciones hacia el sector privado, y el flujo selectivo de personal calificado. En cambio Lage propone cuatro formas, la protección de la propiedad intelectual del conocimiento científico y tecnológico a través de las patentes, la imposición de estructuras normativas, la internalización del trabajo científico en grandes organizaciones de la industria que crea las condiciones para la internalización del trabajo pretérito en capital, la especulación de las regulaciones por medio de barreras técnicas, y el robo de cerebros que permite el flujo de conocimiento de forma unidireccional (Lage, 2001; Núñez, 2002).

Estos mecanismos a su vez se vinculan a cuatro tendencias de apropiación privada como es la concentración del conocimiento que se desprende de estas áreas en un grupo reducido de países, empresas transnacionales y centros de investigación principalmente

privados, aumentando la brecha entre países en términos de ingresos monetarios y de conocimiento, donde la tendencia por controlar y apropiarse del conocimiento se puede observar en la obtención de patentes, marcas registradas y otros sujetos de propiedad industrial, monopolizando y restringiendo el uso, acceso y circulación (Marrero, 2007; Núñez, 2002; Reboloso, 2008).

La segunda es un cambio en el financiamiento de la investigación pública que impacta de forma negativa en el proceso de producción, distribución y uso del conocimiento como un sesgo hacia productos de alta rentabilidad ante otro tipo de necesidades, esto es visible con el crecimiento en la producción de conocimiento que se genera desde el sector privado y un declive del sector público, el cambio de inversión a partir de una creciente participación de las empresas que permite el controlar las agendas de investigación y apropiarse de los procesos o resultados del trabajo científico (Delgado y Chávez, 2016).

Una tercera tendencia es la concentración de investigadores e investigaciones de vanguardia en los países desarrollados, el 90% de la capacidad científica y tecnológica mundial está en manos de siete naciones industrializadas y en algunos centenares de grandes corporaciones, que se acentúa con la conformación de mega grupos de trabajo que están liderados y financiado por investigadores de los países desarrollados, esto trae en algunos casos serios problemas en los sistemas de producción de conocimiento nacionales o regionales ante la fuga de cerebros (Lema, 2001; Núñez, 2009).

La cuarta tendencia es la creación de estructuras normativas que permiten la apropiación del conocimiento a través de diferentes mecanismos y estructuras jurídicas nacionales e internacionales o la adecuación de éstas. El poder de tales estructuras no sólo abarca efectos en las normativas vigentes también genera ordenamientos unificados a nivel mundial sobre las condiciones y exigencias de la propiedad intelectual de los seres vivos, como narrativas oficiales sobre la necesidad de apropiarse del conocimiento científico como tecnológico para el progreso (Silva, 2005; Slater, 2008).

La privatización y mercantilización del conocimiento científico como tecnológico tiene una serie de consecuencias en su producción y distribución, con la expansión de un mercado y la comercialización de la ciencia y la tecnología. En la medida en que los gobiernos regulen a favor de la protección de los derechos de propiedad intelectual habrá una reducción de los derechos en el acceso y uso del conocimiento no sólo de los investigadores, lo cual podría ser un obstáculo para la ciencia cuando los investigadores tengan que hacer uso

de herramientas, máquinas y tecnologías con candados jurídicos ya sea a través de la patente o derechos de autor (Cardona, 2010; Echeverri y Franco, 2012; Poltermann, 2005).

Por esta razón, esta tendencia plantea problemas de acumulación que no se traducen en la utilización de los conocimientos, sino en la posesión de éstos como mecanismos de poder ya sea de las empresas, centros de investigación o países, agudizando las diferencias y desigualdades existentes entre las naciones ante los problemas que causan las medidas de protección impuestas a partir de la propiedad intelectual, acarreando consecuencias respecto al equilibrio institucional y la legitimidad de las investigaciones e instituciones científicas a partir de una subinversión en las actividades de desarrollo tecnológico e investigación, donde un punto de debate es el reajuste en la legitimidad de los sistemas de producción de conocimientos y las instituciones de reproducción de estos (Lema, 2001; Vega, 2001).

A causa de esto se desarrollan consecuencias graves en la orientación, rumbo, escala y contenido de los conocimientos, los cuales serán definidos con base en los intereses del mercado, condicionando los procesos de transferencia reservados a uso interno de quien detenta los derechos no permitiendo su divulgación. Para el caso de la propiedad intelectual sobre las formas de vida, ésta genera nuevos retos legales que parten de la monopolización de la diversidad biológica, así como de los conocimientos asociados muchas veces vinculados a los saberes tradicionales (Acevedo *et al*, 2005; Arvanitis y Dutrénit, 1997; Katz, 2000; Lander, 2001; Olivé, 2005).

2.2.3 La apropiación social del conocimiento científico y tecnológico

En las últimas décadas se ha creado una fuerte corriente de pensamiento en contraposición al modelo hegemónico de apropiación que cuestiona el papel de la ciencia y la tecnología, principalmente lo que tiene que ver con la privatización así como comercialización del conocimiento, desde donde se imponen barreras legales para su circulación y uso a partir de los DPI. En principio no se trata de un modelo o proceso excluyente, sus postulados se rigen bajo visiones alternativas de producción, gestión y apropiación del conocimiento respecto a las formas privadas, aglutinándose alrededor de movimientos sociales que tienen como fundamentos los procesos de apertura y el objetivo de generar nuevos esquemas de participación en la toma de decisión basados en procesos de aprendizaje continuo (Lozano, 2018; Vessuri, 2002).

Por esa razón, parte de una crítica a la desconexión y desarticulación prevaleciente en el modelo actual de comunicación de los conocimientos ante la desvinculación de los generadores y la sociedad, permitiendo la generación de una serie de iniciativas que se centran más en informar que en apropiar, donde los procesos de apropiación suponen un grado de comprensión superior, otorgándole un valor agregado a la producción científica y dependientes del nivel educativo de los sujetos, grupos, medios e infraestructura para acceder a los mismos (Escobar y García, 2013; Pabón, 2018).

Como pasa con otros conceptos, las conceptualizaciones de apropiación social del conocimiento cuestionan la noción de *desarrollo* vigente al buscar nuevos mecanismos de intercambio, toma de decisión así como establecer formas de creación, uso y difusión del conocimiento de una forma más democrática, donde su significado va más allá de expresiones e iniciativas como son la popularización, divulgación, entendimiento o comunicación de la ciencia. Implica procesos complejos que van desde la generación hasta el aprovechamiento de los beneficios de la ciencia y la tecnología por medio de estrategias vinculadas a la educación formal e informal como ferias, clubes de ciencias, programas específicos, cursos, talleres, los cuales tendrán un papel relevante en las estrategias de apropiación (Delgado y Chávez, 2016; Hoyos, 2002; Lozano y Pérez, 2012).

Esta perspectiva defiende el conocimiento como un bien público y de libre acceso al negar la privatización y explotación del conocimiento, buscando crear, mejorar y generar una sociedad más capacitada para utilizarlo como herramienta crítica, lejos de tratarse únicamente de una cuestión en contra de la propiedad intelectual y ejercer políticas públicas que buscan ser más democráticas, es un instrumento que incluye a los actores y un tipo de innovación vinculado a sus usuarios (Chaparro, 2006; De la Cueva, 2013; De Greiff y Maldonado, 2011; Pabón, 2018; Poltermann, 2005).

La apropiación social del conocimiento es una práctica que se basa en las diferentes formas de difundir los conocimientos y está mediada por la cultura, las instituciones, actores y grupos relevantes que tienen diferentes interpretaciones de la sociedad. Busca reducir la brecha existente entre el vertido por los expertos y los legos, dotándoles de una serie de capacidades que les permitan a estos últimos desarrollar una opinión fundamentada de las prácticas y políticas, así como participar mejor informados y con mayor responsabilidad al otórgales herramientas, recursos e información para tomar decisiones claras como conscientes

en temas de ciencia y tecnología, en temas que se ubiquen dentro de su entorno y su cotidianidad desde una perspectiva crítica (Hoyos, 2002; Pabón, 2018; Vessuri, 2002).

La apropiación social del conocimiento científico es un proceso de articulación entre los conocimientos tecnocientíficos y la sociedad construida a través de la participación de diversos grupos por medio de distintas iniciativas, las cuales se basan en procesos de aprendizaje de diversos actores. No solamente usan el conocimiento disponible sino crean capacidades y herramientas de análisis crítico para experimentar, generar, aprovecharse y sistematizar los conocimientos científicos, tecnológicos y de innovación para responder con éxito a los desafíos para alcanzar sus fines, satisfacer sus necesidades e intereses a partir de un sentido de pertenencia (Chaparro, 2006; Escobar, 2018; Lazos *et al*, 2013; Sierra y Gravante, 2012; Universidad de Antioquía, 2013; Vessuri, 2002).

La apropiación social se basa en un proceso intencional de reflexión a partir de contextos y realidades concretas, donde se convoca y articula a distintos actores que permitan un proceso de intercambio, negociación y diálogo de los conocimientos, cuestionando su validez y origen por medio de la mediación del reconocimiento de diferentes fuentes de información, dinámicas de enseñanza-aprendizaje, la transferencia, gestión, transformación y producción de nuevos conocimientos principalmente en ciencia como en tecnología (Franco y Pérez, 2010).

La apropiación es un proceso de participación en las discusiones que se dan alrededor de la construcción de los objetos, hechos y artefactos que va más allá del conocimiento vertido por los laboratorios y expertos, representando una serie de desafíos en la apropiación real de los conocimientos en ciencia así como en tecnología, en función de los valores y necesidades que tiene la gente a partir de un proceso de conversión de la información en conocimiento útil, induciendo procedimientos dinámicos de aprendizaje por medio de los cuales fortalezcan capacidades y habilidades de las personas (Bianco *et al*, 2002; De Greiff y Maldonado, 2011; Universidad de Antioquía, 2013).

El concepto de apropiación social comenzó a emplearse desde principios de la década de los años noventa en Colombia y España donde tiene su origen. En el caso del primer país, esto es resultado de las Misiones de Sabios que lo utilizaban como principio para orientar las políticas públicas del país, siendo la nación donde más se ha discutido el tema y buscando una definición, lo cual representa un punto de acceso y de diálogo tanto con las ciencias como con las tecnologías a toda persona o público interesado en estos temas, reconociéndose tres tipos

de concepciones: la primera se refiere a la apropiación de los procesos sociales para comprender la naturaleza del conocimiento científico, la segunda pone énfasis en la relación ciencia-tecnología y sociedad como motor de desarrollo y crecimiento, y la tercera es vista como bien público y escenario de participación (Colciencias, 2010; Escobar, 2018; Lozano y Pérez, 2012; Posadas *et al*, 1995; Vessuri, 2002)

Este tipo de apropiación tiene como finalidad generar mecanismos bidireccionales y bilaterales sobre los procesos de comunicación, difusión y generación del conocimiento que permitan su apropiación social, esto implica crear o adaptar instituciones sociales, políticas y jurídicas que permitan el cumplimiento de las exigencias que traería consigo los esquemas de decisión y gestión de este enfoque así como legislar políticas públicas que puedan ser comprensibles y alcanzables (Álvarez, 2012; Lozano y Pérez, 2012; Universidad de Antioquía, 2013).

Los postulados de los que parte son que el conocimiento es una construcción social que se genera a partir del cúmulo de experiencias y aprendizajes como bien público, que no existe la exclusión de su uso a nadie y la rivalidad o competencia por acumularlo de forma privada, es perdurable donde todos tienen el mismo derecho de usarlo en los mismos términos y condiciones al no ser una mercancía, parte de que es un bien público y sus resultados no se pueden comercializar (Arvanitis y Dutrénit, 1997; Echeverría y Franco, 2012).

Aunque es necesario socializar el conocimiento como condición necesaria en la apropiación social del mismo, esto no es suficiente para lograr los diferentes objetivos, no significa una democratización *per se* del mismo y mucho menos una reducción en las desigualdades y exclusión de miles de personas sobre sus beneficios. No se trata de un proceso exclusivamente informativo, al incluir el desarrollo de herramientas que permitan la integración de los conocimientos en ciencia y tecnología, sino de la participación de nuevos actores en contraposición a los grupos que históricamente han sido avalados como productores y que no son reconocidos como tales ante las estructuras tradicionales de producción de conocimientos en ciencia y tecnología (Chaparro, 2006; Hoyos, 2002; Olivé, 2005).

Es por ello que se han puesto en práctica diferentes mecanismos de participación e instrumentos de integración que permitan intervenir en las estructuras de conocimiento en ciencia y tecnología, con la finalidad de participar en las estructuras de poder, los cuales requieren de un entorno favorable y propicio para el desarrollo y aplicación de tecnologías

abiertas, colaborativas, democráticas e incluyentes (De Greiff y Maldonado, 2011; Lazos *et al.*, 2013).

Se proponen principalmente dos opciones que evitan que se limite la libre transmisibilidad del conocimiento, la primera es el código legal, donde sobresalen las iniciativas de licencias libres y la segunda es el código informático, vinculado al movimiento *open* en sus múltiples vertientes -data, science, content y access-, creando espacios de diálogo, discusión e intercambio de ideas entre los denominados expertos y no expertos para impulsar un proceso de formación con mayor impacto (Cueva, 2013).

Se hace una distinción de dos formas de apropiación social, la primera es la débil, que consiste en la integración de representaciones provenientes de la ciencia y la tecnología por parte del público en general, lo que se traduce en la incorporación de representaciones en la cultura de los miembros, y la fuerte, que va más allá al abarcar distintas prácticas a partir de la participación de grupos, ampliando las dinámicas de producción de conocimiento más allá de los actores tradicionales e incluyendo a nuevos sectores que serán foco de atención (De Greiff y Maldonado, 2011; Olivé, 2011).

En resumen, la apropiación social del conocimiento es el proceso mediante el cual se puede participar en la producción, adaptación, consumo y aplicación de los conocimientos en ciencia y tecnología accediendo de forma directa a sus beneficios, donde los conocimientos deben tener una funcionalidad abierta, teniendo la posibilidad de transformar sus usos y funciones así como ser accesibles bajo la óptica de aprender, desarrollar y generar habilidades por parte de un conjunto de personas (Universidad de Antioquía, 2013).

Por consiguiente, estudiar cómo analizar los procesos de apropiación social permiten detectar los mecanismos, momentos y circunstancias en las cuales los individuos dejan de ser actores pasivos y se vuelven sujetos de cambio, donde sus miembros tienen la capacidad de apropiarse los conocimientos disponibles provenientes de cualquier parte del mundo, los aprovechan para satisfacer sus necesidades, independientemente de que sean científicos o tradicionales al tener la habilidad de generar los que les hagan falta para mejorar su situación y buscar una mejor calidad de vida (Lazos *et al.*, 2013; Sierra y Gravante, 2012).

Pero ¿qué pertinencia tiene el concepto de sociedad del conocimiento y las dos formas de apropiación para la presente tesis? En el caso de la biología sintética permite reflexionar en las formas de apropiación del conocimiento distinguiendo las formas en que se usan, circulan y apropian sus conocimientos, esto se debe a que se desarrollan de forma paralela las dos

lógicas de apropiación, la corriente que involucra el patentamiento de todos los desarrollos y las propuestas Open Source, siendo la primera la que domina el panorama actual.

Su análisis permite ubicar a los actores e intenciones en que se establecen sus agendas o líneas de investigación, la adopción e implementación de nuevos conocimientos disciplinares, las formas de apropiación del conocimiento, la difusión de resultados de investigación, las condiciones de quienes y bajo qué circunstancias acceden al conocimiento en función del origen de los fondos que financian dichas actividades (Naidorf, 2005).

Es necesario identificar cómo analizar los espacios donde se produce y distribuye el conocimiento que permiten el desarrollo de la biología sintética, las prácticas y objetivos que persiguen los actores que están detrás del proceso, para ver cómo permean las estructuras nacionales en los regímenes globales de conocimiento basados en la sociedad del conocimiento. De igual forma, ubicar a los actores, grupos y organizaciones permite analizar las prácticas y estrategias que tienen como objetivo examinar los significados sobre la biología sintética por el hecho de que es un proceso de conflicto, de discusión y negociación constante, así como examinar sus intereses y bajo qué óptica se rigen.

2.3 Gobernanza científica y tecnológica

Las brechas entre los países centrales y periféricos no sólo son un distanciamiento con los centros más dinámicos respecto a los conocimientos científicos, también involucran diferencias en el uso de las tecnologías, el control de ellas y las formas de propiedad, y también hacen referencia a las capacidades de investigar e innovar de las naciones, la distribución de los beneficios y riesgos, la generación de nuevos conocimientos, los procesos de formación y educación, lo que hace pertinente considerar la relación de nuestra región con las naciones que dominan el panorama (Comisión Europea, 2009; Kreimer, 2007).

Estos procesos se han visto impactados negativamente ante la reducción de tareas del Estado moderno por el cambio de visión en su papel y su concepción de gobierno como parte de las transformaciones del siglo XXI, que en principio fungía como elemento clave para aminorar y en la medida de lo posible evitar las desigualdades ocasionadas por el uso, posesión o no del conocimiento científico y tecnológico (Canto, 2014; Palacio, 2009).

Esto no es propiamente una pérdida del control, el fin o el declive del Estado en sus funciones, éste sigue siendo la vía para la búsqueda del interés colectivo y el camino para el bien público en la sociedad, sino es una alteración de forma ante la aparición y participación

de actores que están teniendo un papel relevante y privilegiado. A pesar de ello, el Estado conserva el derecho de ratificación legal, la estructura para fijar políticas públicas y su implementación (Del Pilar, 2013; Mayntz, 2000:2001; Natera, 2004).

En el caso de la ciencia y la tecnología esto permite la consolidación de un modelo de apropiación del conocimiento privado ante la poca capacidad de algunos Estados de reaccionar, aminorar las consecuencias y prever los efectos, como la aparición y gestión de nuevas formas de poder sustentadas en la generación de políticas públicas para impulsar o controlar las capacidades innovativas, lo que mantiene y fortalece los ejercicios transfronterizos de poder y las relaciones estáticas tradicionales entre el centro vs periferia (Comisión Europea, 2009; Graña, 2005; Palacio, 2009).

El retiro parcial del Estado, la participación de nuevos actores y los procesos de negociación, se analizan a partir de nuevas miradas, como es el de la gobernanza moderna, término paraguas que incluye distintos ámbitos y una variedad de fenómenos, el cual actualmente se utiliza como un modo de gobernar considerando la intervención de una multiplicidad de actores en el control de la vida pública como parte de los cambios en las sociedades modernas (Canto, 2014; Del Pilar, 2013; Mayntz, 2000; Natera, 2004).

La gobernanza es un marco postgubernamental, un modelo de estado-red que plantea un nuevo proceso directivo y un cambio en la relación del Estado con la sociedad civil como consecuencia de la globalización que define nuevas capacidades, alcances y límites a éste, a su vez propone una forma de gobierno horizontal para el tratamiento y solución de los asuntos públicos en contra-posición al modelo tradicional basado en el principio de autoridad estatal, por lo cual, es un conjunto de actividades que presenta una mirada diferente en la dirección con la inclusión de actores económicos y sociales en la toma de decisión (Aguilar, 2010; Farinós, 2005; Graña, 2005b: 2005c).

En la medida que se abordan los problemas de las formas de gobernar y las características de los Estados desde el enfoque de gobernanza, variarán las definiciones en función de los estudios de caso y evolucionan en distintos sentidos a partir de la participación de nuevos actores, sus análisis suelen ser multidireccionales en distintos ámbitos, actores y niveles de intervención de las estructuras gubernamentales, los cuales permiten analizar patrones, configuraciones, negociaciones y reglas que facilitan o limitan la articulación e interacción sin perder de vista que el concepto se utiliza para examinar distintas realidades territoriales, por lo tanto, se puede hablar de distintas escalas de gobernanzas que van desde

las globales, regionales, locales, europea, latinoamericana y mundiales (Comisión Europea, 2001; Del Pilar, 2013; Dieter, 2010; Mayorga y Córdoba, 2007; Natera, 2004).

Para el caso de la ciencia y la tecnología, la gobernanza incluye riesgos potenciales ante la carencia de capacidades para el manejo de los efectos imprevistos de los nuevos conocimientos disciplinares y el uso de nuevas tecnologías, por esa razón el concepto cuestiona el papel que juega el conocimiento científico y tecnológico experto en la toma de decisión, al poner en duda el modelo donde las decisiones se basaban en éstos de forma piramidal, ante la participación ciudadana en las diferentes etapas. Lo cual plantea un gran desafío práctico a la hora de pensar las formas de gobernar los conocimientos y las tecnologías sin inhibir su desarrollo con la generación de mecanismos que promuevan la participación del público en su orientación y regulación, sin ser un enfoque prohibicionista (Christou y Sanes, 2012; Comisión Europea, 2009; Kuhlmann *et al*, 2019; Todt y Plaza, 2005).

En los últimos años la definición de gobernanza se ha puesto de moda y ha irrumpido en el ámbito académico, político y de gestión pública, políticos, académicos y analistas lo asumen como vocablo -como ocurrió con el concepto de globalización- para reflexionar los límites y las capacidades de las estructuras estatales, la generación de nuevas estrategias para administrar las relaciones públicas y privadas, y principalmente la relación del Estado con la sociedad civil (Muñoz, 2005; Natera, 2004).

Sus raíces teóricas están en las ciencias políticas y la administración pública de la escuela norteamericana, donde se utilizó el concepto de gobernanza democrática, así como en las relaciones internacionales donde los análisis sobre desarrollo y la economía institucional lo utilizan desde la década de los ochenta en Europa con cierta recurrencia y es promovido principalmente por organismos internacionales como el Banco Mundial (BM), la organización de las Naciones Unidas (ONU), el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y diferentes proyectos para los países en vías de desarrollo (Brower, 2006; Del Pilar, 2013; Muñoz, 2005; Natera, 2004).

Se caracteriza por generar una gran ambigüedad por su doble condición, primero como perspectiva analítica y segundo, como un paquete de sugerencias normativas como ideal de la relación del Estado con la sociedad. Esto ha generado que en A.L. tome nuevas dimensiones e importantes debates, por el quebrantamiento del orden democrático con las dictaduras del siglo XX, sustituyendo el concepto por el de gobernabilidad y gobierno ante las imprecisiones

conceptuales del cual es objeto y la falta de desarrollo de una metodología precisa para la gobernanza que contemple las diferentes realidades (Del Pilar, 2013; Galeano, 2009; Graña, 2005; 2005c; Hufty, 2010; Mayorga y Córdoba, 2007).

Por ese motivo, en A.L. la producción teórica del concepto es escasa en comparación a otros términos, no existiendo una abundante bibliografía sobre sus usos, síntesis o sistematización que brinde una reflexión sistemática de la noción, salvo los escritos publicados por el World Development Report de 1991 y Governance and Development, a pesar de ello en fechas recientes la región empezó a generar debates sobre quién gobierna, cómo y con qué se gobierna, quiénes toman las decisiones y participan, permitiendo incluir y visualizar la participación de actores relegados en la toma de decisiones (Brower, 2006; Del Pilar, 2013; Graña, 2005b; Mayorga y Córdoba, 2007).

2.3.1 Modos de gobernanza, alcances y limitaciones

La gobernanza es una forma de caracterizar las relaciones del Estado y la sociedad como parte de las transformaciones de las últimas cuatro décadas donde se menciona una triple crisis vinculada a la representación, participación y legitimidad del modelo estatal basado en los fundamentos de democracia y sus representantes políticos, funge como un nuevo dispositivo y principio de autorregulación que aumenta o disminuye la cohesión social que traspasa las formas de gobierno actual, se presenta como guía de gestión para los países en vías de desarrollo, proponiendo la reestructuración del Estado y su política económica, ante la inclusión, interacción e intervención tanto de actores públicos como privados en las gestiones estatales (Del Pilar, 2013; Galeano, 2009; Graña, 2005c; Natera, 2004; Ocman, 2008).

Cabe aclarar que dependiendo de las particularidades de cada sociedad, gobiernos o Estado se dan a su vez las formas de gobernanza, las normas, restricciones, vías de participación, instituciones, tomas de decisión y los mecanismos de resolución de conflictos, sin perder de vista que se requiere no sólo una intervención externa, sino la inclusión de otros niveles de gobierno -regionales y locales- a pesar de sus escasas competencias por su poca capacidad de incidir en la toma de decisión por limitaciones económicas (Del Pilar, 2013; Domínguez, 2011; Hufty, 2010).

Por consiguiente, se habla de múltiples niveles de intervención de actores gubernamentales, empresas, organizaciones de la sociedad civil, organismos financieros internacionales para la gestión de los problemas. Su aparición modifica el ejercicio de las

relaciones de poder y la toma de decisiones abriendo la reflexión de quién participa, quién tiene la toma de decisiones, qué tipo de participación tienen, en qué nivel, quiénes delegan poder y cuál es su impacto real en los asuntos de gobierno (Chauvet, 2009; Dieter, 2010; Domínguez, 2011).

El concepto hizo su aparición en 1985 con el artículo *The Governance of the American Economy: The Role of Markets, Clans, Hierarchies, and Associative Behaviour* de J. R. Hollingsworth y L.N. Lindberg, estudio que tenía la intención de analizar las actividades realizadas por los gobiernos en el modelaje de las estructuras como los procedimientos socioeconómicos, pero fue hasta finales de la década que se utilizó por primera vez en un reporte del BM como una modalidad horizontal para gestionar el poder ante la crisis de *governance* que se vivía en África.

A inicios de los noventa el concepto de gobernanza comenzó a popularizarse en múltiples documentos de organismos internacionales como la ONU dentro del marco de desarrollo sustentable, aludiendo a las formas de poder existentes sin cuestionar la legitimidad de las autoridades, representando un punto de inflexión en la percepción del Estado, que parcialmente deja de tener el monopolio del conocimiento y de los mecanismos que se desprenden del uso, desarrollo, integración e intercambio de éste como de la utilización de los recursos económicos y el control de las instituciones (Aguilar, 2010; Canto, 2014; Galeano, 2009; Graña, 2005:2005b:2005c; Mayntz, 2000; Natera, 2004).

Representa un cambio político en su configuración ante la inclusión de la ciudadanía que busca intervenir en las formas de gobierno y las decisiones, donde el Estado deja de estar en la cima de la pirámide por la aparición e influencia de nuevos actores descentralizados ante al crecimiento de la participación pública, busca un papel más cooperativo que impositivo, lo que genera una gran confusión entre las fronteras tan difusas de lo público y privado, privilegiando instrumentos donde no se requiera la autoridad estatal así como permitiendo una estructura de interacción entre los participantes de forma renovada (Canto, 2014; Graña, 2005; Herrera, 2019; Natera, 2004).

Por consiguiente, el Estado reduce su injerencia, capacidad y autonomía en la definición de los problemas, agendas, prioridades y políticas públicas, donde no depende de su tamaño y grado de presencia para solucionar los conflictos, se basa en la generación de capacidades de articulación como negociación para lidiar con el entorno, a la par permite la

intervención de múltiples agentes en asuntos públicos muchas veces vinculados con el mercado (Chauvet, 2009; Natera, 2004).

La idea de un Estado proveedor y estructurado de forma vertical, caro y con carga administrativa, ineficaz e intervencionista, no se adapta al nuevo contexto. Se propone la gobernanza como modelo de gestión de los asuntos de gobierno que convoca pero a la par permite la participación de autoridades locales y regionales, actores privados como públicos bajo un marco de cooperación y coordinación en donde las reglas de participación se negocian constantemente para tomar la gestión del poder, aunque el Estado sigue ejerciendo la función de legitimación y de apoyo a las formas de autogobierno donde los actores controlan los instrumentos de intervención (Graña, 2005:2005b; Mayntz, 2000).

Tanto la economía como principalmente las ciencias políticas hacen uso del concepto muchas veces delimitado por el objeto de estudio y los actores que participan en la formulación de políticas públicas, normas nacionales e internacionales así como programas, aunque comúnmente participan actores con intereses contrapuestos que se aprovechan de la situación para influir en las reglas de participación y así cumplir sus objetivos e intereses, siendo los grupos más poderosos los que acaparan los espacios de toma de poder dejando de lado a los grupos minoritarios con mayores dificultades de acceder a ellos y con menores posibilidades de éxito (Chauvet, 2009; Graña, 2005c; Hufty, 2010).

A pesar de ello, el concepto de gobernanza puede ser utilizado de forma indiscriminada aplicándose en distintos niveles de participación, aunque existen propuestas que puede ser aplicadas en diferentes momentos de la historia el término no se limita a nuestros tiempos ante la necesidad de toma de decisiones y la conformación de un sistema que medie en el proceso con la elaboración de reglas, no ha sido el único para analizar los problemas de eficacia y las directivas de gobierno de igual forma se utiliza el término de gobernabilidad, los dos términos son enfoques con utilidad práctica que se vinculan al análisis de la acción de los gobiernos poniendo el énfasis a las problemáticas que se generan en las capacidades como las directrices, pero se diferencian por los planteamientos de los problemas y las soluciones que proponen (Aguilar, 2010; Hufty, 2010).

Los dos conceptos son perspectivas complementarias, enfoques dinámicos donde la gobernabilidad analiza el cómo se gobierna poniendo atención a los elementos de estabilidad política, que a su vez es una condición para la dirección social y tiene una finalidad administrativa en su orientación a partir de las acciones de un gobierno legítimo que sea

competente y eficaz, donde los gobiernos son uno de los múltiples actores para la dirección de la sociedad los cuales necesitan recursos y reformas políticas que les otorguen los poderes políticos necesarios para dicha tarea (Aguilar, 2010; Domínguez, 2011; Herrera, 2019; Mayorga y Córdoba, 2007).

En cambio, la gobernanza hace referencia a una diversidad de elementos como los cambios en la relación del Estado y la sociedad que plantea una nueva dirección con mayores capacidades de decisión de los actores en la definición de los problemas ante la creación, orientación e instrumentalización de las políticas y servicios públicos, por lo cual permite determinar que actores o grupos detentan el poder, quiénes toman las decisiones, cuáles son los mecanismos de intervención, cómo se organizan y articulan las estructuras de autoridad (Arellano *et al*, 2014; Domínguez, 2011).

De acuerdo con el contexto donde se aplique, el caso que se estudie y los actores que participen se puede dar una definición sobre gobernanza, algunas concepciones hacen referencia al desarrollo social y la participación democrática, la descentralización del poder y de las gestiones, el ejercicio del gobierno en la creación e implementación de una serie de reglas e instituciones que posibilitan prácticas que fijan los límites e incentivos para la intervención y el comportamiento de los actores, el apoyo de los gobiernos en distintos niveles que permitan la instauración de capacidades técnicas del Estado para hacer frente a los problemas de forma eficaz y transparente, y la generación de acciones orientadas a la sociedad civil para crear espacios donde vean incorporados sus intereses y demandas (Canto, 2014; Fawaz y Vallejos, 2008; Kuhlmann *et al*, 2019; Mayorga y Córdoba, 2007).

Eso quiere decir que el Estado no es el único actor que incentiva el desarrollo y la participación hay que considerar al mercado, la sociedad civil y los diferentes niveles de gobierno, donde el gobierno es percibido como figura de autoridad y a la par gestor de redes ante la aparición y participación de actores públicos y privados que se coordinan y articulan en un tejido con el objetivo de fungir como autoridades, ejercer los recursos así como el control para generar una mayor administración en la formulación así como en aplicación de las políticas públicas (Herrera, 2019; Mayntz, 2000; Mayorga y Córdoba, 2007; Natera, 2004).

Retomando los aportes de las ciencias políticas, se habla de una nueva modalidad de coordinación de las acciones de los actores, una forma primaria en la construcción de un orden social que se basa en nuevas prácticas en la toma de decisiones que son más colectivas

y de cooperación, no basadas en la dominación o la violencia legítima del gobierno sino en constantes negociaciones entre los diferentes participantes para la generación de consensos y decisiones más representativas. Otra mirada es la que propone la Unión Europea, que plantea que la gobernanza propone normas, procedimientos y comportamientos que afectan e influyen en el ejercicio de poder regional, una nueva cultura administrativa y de gobierno, la cual se basa en cinco principios vinculados con la apertura, participación, responsabilidad, eficacia y coherencia (Comisión Europea, 2001; Graña, 2005b:2005c; Mayntz, 2000).

En síntesis, el concepto de gobernanza menciona distintos procesos y sistemas en los que opera la sociedad, es una perspectiva entorno a la forma de gobernar que incluye nuevos actores y a la vez limita su actuar, ya que se basa en la conexión e interrelación de estructuras tanto formales como informales, en ese sentido la ONU propone tres principios rectores que permiten medir la gobernanza moderna; el primero está vinculado a un proceso de prevención para evitar la exclusión de grupos vulnerables, el segundo es el monitoreo constante del sistema de justicia para que todos puedan tener acceso a él y el tercero es la participación, creación e implementación de políticas que reduzcan los índices de pobreza (Domínguez, 2011; Herrera, 2019).

La gobernanza tiene como objetivo abrir nuevos procedimientos de decisión política con mayores alcances en su integración y responsabilidad, representa un cambio de fuerzas así como de equilibrio en la relación del Estado con una sociedad activa y articulada respecto a los sistemas de negociación, es un nuevo modelo de análisis que cuestiona la perspectiva previa en la toma de decisión que se basaba en decisiones piramidales de arriba hacia abajo criticando las formas de acción públicas de los actores políticos tradicionales (Comisión Europea, 2001; Natera, 2004).

Se caracteriza por proponer un cambio en la forma de organización, si bien no es nueva le da otro impulso a la participación de los actores pasando de una distribución vertical y jerárquica, a una vinculación en red como elemento relevante dentro de la gobernanza, esto se debe a que donde se desarrollen redes de índole políticas el gobierno pierde la centralidad en la dirección de la sociedad, pero mantiene una relación flexible con ellas facilitando procesos de consenso, negociación y aceptación (Aguilar, 2010; Farinós, 2005; Mayntz, 2001; Ocman, 2008).

El interés de la gobernanza está en el análisis de las condiciones, las capacidades de cooperación, los conflictos, prácticas, procedimientos, el comportamiento de los actores que

confluyen y el tipo de interacción que tienen para la creación e implementación de políticas públicas, modificando sus necesidades principalmente en tres formas de coordinación horizontal, formal e informal, las cuales muchas veces se autorregulan para que el sistema sea percibido como algo más legítimo (Farinós, 2005; Galeano, 2009; Hufty, 2010).

Como marco normativo busca un cambio social a partir de sistemas y redes de coordinación no jerárquicas, en algunos casos supliendo la participación del Estado ante su ausencia de forma prolongada o ante su debilidad institucional, descentralizando las actividades de gobierno por medio de articulaciones interdependientes de cooperación e inclusión que permitan nuevas propuestas, proyectos, discusiones de fondo para generar acuerdos como políticas públicas donde la gobernanza es una herramienta analítica y política de transformación de las sociedades (Herrera, 2019; Hufty, 2010).

Para que se pueda dar la perspectiva analítica y normativa de la gobernanza no sólo es necesario la participación de nuevos actores y la articulación de relaciones horizontales, también es pertinente que éstos tengan distintas habilidades políticas que les permitan incidir en la forma de gobierno, como son la conciliación, negociación, el arraigo social de los participantes, capacidades de planificación, recursos financieros y logísticos, una serie de condiciones instituciones y estructuras/técnicas previas que hagan viables los proyectos vinculados a las estructuras de poder, los sistemas de justicia así como de seguridad, el mercado y la sociedad civil donde los componentes técnicos son los sistemas de ciencia y tecnología (Aguilar, 2010; Canto, 2014; Farinós, 2005; Natera, 2004).

A pesar de las propuestas y los planteamientos que presenta la gobernanza no es ajena a una serie de críticas, problemas y desafíos. El concepto es percibido como un marco normativo amplio que plantea un ideal de cómo debe ser la relación del Estado con la sociedad, representando grandes limitaciones prácticas a la hora de analizar las dinámicas organizacionales en la definición de un problema público y su posterior solución ante la carencia de contestación de sus postulados de forma empírica.

Tampoco tiene una aplicación universal por la serie de condiciones materiales, institucionales y simbólicas previas que se requieren, no siempre es la opción más deseable o factible al no estar exenta de generar efectos no deseados como es la concentración de poder de actores económicos, mientras que los resultados muchas veces dependerán de quienes diseñen, restauren y lleven a cabo las estrategias. Por esa razón, la gobernanza es vista como un ideal de la organización política teniendo ejemplos que se acerquen a dichos

planteamientos, en contraposición a la participación de nuevos actores en las gestiones públicas no se ha implementado en la mayoría de los países por igual al no ser un proceso arraigado, esto podría traer nuevas formas de control de los grupos más poderosos sobre los demás (Arellano *et al*, 2014; Graña, 2005; Hufty, 2010).

Otra crítica es la viabilidad de la convivencia del Estado y las articulaciones en red de las formas de gobierno surgidas en la gobernanza moderna ante la distorsión de los intereses por la prevalencia de grupos de poder en la toma de decisión, ante la poca o nula participación ciudadana, concentrándose en un número reducido el proceso, así como la falta de rendición de cuentas y la confusión que supone la participación de ciertos actores en el proceso respecto a la distribución de responsabilidades ante el fracaso (Aguilar, 2010; Chauvet, 2009; Farinós, 2005).

Estas críticas se sustentan en una serie de problemáticas vinculadas a la gobernanza, como son la dificultad de articular las políticas y los intereses de los distintos grupos realmente considerando a los actores más vulnerables en la toma de decisión, ante la multiplicidad de voces tomando en cuenta las capacidades para gobernar para obtener los beneficios esperados, por eso es necesario hacer una evaluación correcta de las crisis estatales así como del verdadero alcance que tiene la participación de grupos y sus propuestas para la solución de los problemas (Galeano, 2009; Graña, 2005c).

Por consiguiente, Natera propone 4 problemas vinculados al enfoque de gobernanza: el primero son las tensiones que se generan entre los involucrados en la toma de decisión, el segundo es la difuminación de las responsabilidades ante las fronteras difusas de lo público y lo privado, el tercero son las tensiones que se generan en los procesos de intervención vinculados a la regulación de los conflictos, el cual son las dificultades organizacionales de la sociedad y su posterior fracaso ante la falta de acuerdos comunes, otros problemas están relacionados a la confusión que generan los diagnósticos con el pronóstico ante la utilización de la gobernanza como perspectiva con validez universal aplicable a toda realidad así como al Estado moderno, ante las restricciones implementadas en los países en vías de desarrollo y los constantes planteamientos de una crisis de legitimidad en éstos (Graña, 2005; Natera, 2004).

Los desafíos que presenta es incluir a la mayoría de las voces en la toma de decisión, no excluyendo a los actores más desfavorecidos para que se vean reflejados sus intereses en la búsqueda de soluciones viables por la multiplicidad de grupos que participan, como desarrollar un proceso horizontal en la relación con el Estado ante las mayores capacidades

que tienen los actores económicos para influenciar los procesos de toma de decisiones, evitando una nueva concentración del poder, también generar análisis que no confundan el diagnóstico y las crisis estatales, así como mecanismos e infraestructura de participación en la gestión de los asuntos públicos basados en 5 principios como la apertura a la comunicación, la participación de los ciudadanos todo lo que sea posible, la distribución de responsabilidades, la eficacia para lograr las metas y objetivos, así como la articulación de las instituciones y las políticas para su implementación (Comisión Europea, 2009).

2.3.2 Gobernanza de la ciencia, tecnología e innovación

La gobernanza es un modo de gestión del poder estatal basado en un trabajo colaborativo y de coordinación, una nueva forma de hacer política para tratar los asuntos públicos con injerencia y participación de los diferentes niveles de gobierno como son los actores no gubernamentales que incluye una amplia gama de procesos de control, gestión dentro y entre las autoridades, e implica fijar metas, seleccionar medios así como abarcar estructuras legales (Chubb, 2018; Orozco, 2011).

En la ciencia, tecnología e innovación trascienden dichos planteamientos tomando en cuenta a los afectados por el uso y aplicación de los conocimientos disciplinares y nuevas tecnologías que suelen surgir en un vacío institucional, este fenómeno abarca a toda la actividad científica partiendo de la construcción de marcos teóricos, el planteamiento del problema, la investigación y experimentación, el desarrollo tecnológico hasta llegar al proceso de innovación, aunque su avance tiene la capacidad de palidecer el proceso de gobernanza ante el avance constante del conocimiento científico y tecnológico. Lo anterior, dada la falta de capacidad tanto de los gobiernos como de la sociedad en prever las consecuencias y cómo reaccionar de la mejor manera (Comisión Europea, 2009).

La capacidad innovativa de los países trasciende los aspectos científicos y tecnológicos para considerar los aspectos sociales, económicos, culturales, de percepción y estructurales que promueven la creación de capacidades para la producción, difusión y uso de los conocimientos, donde la ciencia no sólo es una vía para comprender e interpretar a la sociedad (Comisión Europea, 2009; Pedroza y Ortiz, 2015).

En el caso de la gobernanza aplicada a la ciencia, tecnología e innovación, tendrá que ser una práctica a la hora del diseño, implementación, gestión y evaluación de las políticas nacionales de cada país con el fin de solucionar los problemas implementando instrumentos

para solucionarlos, reflexionando sobre los controles que se quieren implementar pero a la vez el control que estos elementos ejercen dentro y sobre la sociedad, donde la pluralidad de voces busca la definición de problemas compartidos que minimicen los riesgos así como las controversias, discutiendo y generando consensos sobre los impedimentos, barreras, beneficios y riesgos aceptables. Este proceso a su vez legitima los conocimientos sociales generando una cultura científica crítica que permita superar los conflictos sociales que de ella se desprenden como son las controversias científicas (Aguilar, 2010; Comisión Europea, 2009; Fernández *et al*, 2008; Sepúlveda, 2014; Todt y Plaza, 2005).

La gobernanza de la ciencia, tecnología e innovación impulsa el diseño e implementación de nuevos mecanismos para la relación de los actores públicos y privados, fortalece los procesos de creación de consensos como las relaciones de confianza entre ellos e impulsa el papel de las oficinas de transferencia tecnológica, las cuales tienen un lugar privilegiado por estar en la interfaz de los procesos regulatorios y de las investigaciones. Esto se debe a ciertas características de los sistemas científicos como son su automatización, el aumento en la desconfianza y el cuestionamiento de la ciudadanía sobre sus posibles beneficios así como riesgos y la participación de los expertos en la temática (Christou y Sanes, 2012; Estévez, 2005; Graña, 2005; Herrera, 2019; Kuhlmann *et al*, 2019).

Es un reto práctico la realización de cambios en las formas de hacer políticas científicas por la presencia y participación de la ciudadanía en la generación, diseño e implementación, así como en la orientación que deben seguir algunos conocimientos disciplinares y tecnologías a partir de la apertura al debate, sobre en todo el proceso de investigación, considerando a todas las voces y actores implicados, donde la toma de decisión se vuelve demasiado compleja para lograr los objetivos que se propone la gobernanza en un principio (Fernández *et al*, 2008; Kuhlmann *et al*, 2019).

La gobernanza busca fortalecer una investigación responsable, inclusiva y transparente, de calidad y que sea legítima a la hora del proceso de toma de decisión ante el fortalecimiento de la relación entre los hacedores de las políticas, los científicos y la sociedad civil con la formulación de nuevos estándares de aceptación de la ciencia y la tecnología a través de la comprensión de quién, cómo, por qué y para quién se crea el conocimiento y se implementan los nuevos avances tecnológicos (Comisión Europea, 2009; Estévez, 2005; Paic y Viros, 2018).

Cabe aclarar que la gobernanza para el presente caso no sólo incluye un proceso de reglamentación a partir de la formulación de políticas públicas, leyes, decretos o marcos de bioseguridad, tiene un significado más amplio que los procesos de regulación y las formas de hacerlo, aunque cuestiona en principio los códigos de autorregulación que proponen los científicos por los límites difusos y posibles abusos de poder. Valora la necesidad de una mayor participación de la sociedad en la toma de decisión que legitime los desarrollos científicos y tecnológicos, para que estos a su vez garanticen que los resultados buscados son respuesta a las necesidades de la gente, basados en un mayor control social y una nueva dirección de los riesgos (Comisión Europea, 2009; Fernández *et al*, 2008; Foladori, 2009).

La gobernanza busca que los productos derivados de los conocimientos científicos, tecnológicos y sus repercusiones sean analizados desde distintas miradas que sean independientes ante la existencia de múltiples niveles de riesgo y la coexistencia de estructuras organizacionales en distintos ámbitos, busca que se incluya un sistema multivariable de participación e intercambio entre las redes de los actores implicados, basado en el diálogo pero que enfatice los intereses de los afectados directos en la toma de decisión (Fernández *et al*, 2008; Estévez, 2005).

Para cumplir con estas propuestas es necesario la integración, participación y articulación de distintas estructuras científicas que trabajen en un esquema multifuncional dentro de la esfera pública, no sólo se destaca la relevancia e importancia de mantener una sociedad informada en estos temas o invitándolos a participar y expresar sus inquietudes sobre los futuros desarrollos, también es pertinente intervenir en la generación así como en la aplicación de estrategias para la búsqueda de soluciones prácticas que garanticen tanto beneficios mutuos como la distribución de los riesgos (Fernández *et al*, 2008; Estévez, 2005).

Esto se deriva de los cuestionamientos, debates y resistencias a los conocimientos, así como a las nuevas tecnologías, lo cual no es algo nuevo dentro del desarrollo social, al menos se remonta a la década de los sesenta del siglo pasado con la energía nuclear y las bases de lo que posteriormente sería conocida como ingeniería genética, donde algunos actores empezaron a reclamar un rol más activo en la orientación de la ciencia y la tecnología.

Esto trajo una serie de cambios en la perspectiva que se tenía al respecto del aumento de los conflictos sociales, la pérdida de confianza de los procesos de control y regulación, el cuestionamiento del conocimiento experto en la toma de decisiones, la duda de la independencia de éstos a la hora de proponer proyectos de investigación así como soluciones,

los intereses económicos y políticos que orientaban sus trabajos, la gestión de los riesgos y la aplicación de los mecanismos de participación donde el modelo lineal ya no es aceptado (Chauvet, 2009; Comisión Europea, 2009; Estévez, 2005; Todt y Plaza, 2005).

Estos elementos plantean la necesidad de construir y aplicar nuevos modelos de gobernanza que se ajusten a las características de las sociedades modernas y los avances actuales, dentro de un marco de modernidad reflexiva y vinculado a los riesgos socialmente aceptados, precauciones, incertidumbres y un proceso de innovación vinculada a la participación de los usuarios como consumidores (Comisión Europea, 2009; Muñoz, 2005).

Es decir, la gobernanza se concentra en la interacción de la ciencia, política y sociedad con el objetivo de revisar las condiciones en que se introducen nuevos conocimientos así como nuevas tecnologías a partir de un análisis de sus consecuencias, posibles riesgos y beneficios, analizando los debates, los procesos de toma de decisión, la creación de nuevas leyes y reglamentaciones, marcos de bioseguridad y regulación, los arreglos institucionales, modos de coordinación, el papel que juegan los actores y grupos involucrados, su percepción sobre el riesgo, entre otros temas, donde los gobiernos deberán elegir entre los diferentes desarrollos así como entre los actores que participan, afectado a las otras partes interesadas sin saber a ciencia cierta las consecuencias muchas de las cuales siguen siendo inciertas (Antal, 2008; Gadaleta, 2019; Kuhlmann *et al*, 2019).

Dentro de la ciencia y la tecnología, uno de los temas que más preocupa son las ciencias de la vida y principalmente los nuevos desarrollos disciplinares que se centran en el uso de los recursos genéticos que permiten nuevas formas de control y poder al exacerbar las desigualdades, reduciendo las opciones de los países en vías de desarrollo de acceder a los conocimientos y las tecnologías, amplificado las brechas y desigualdades existentes.

Por lo estos países se ven en la necesidad de importar los conocimientos, las promesas tecnológicas y los modelos de gobernanza. con la salvedad de que es necesario conocer el estado actual de los países y que no es posible extrapolarlos miméticamente ante la falta de distribución de los beneficios asociados y los paradigmas tecno económicos que fijan las pautas de investigación, uso y producción de conocimiento (Comisión Europea, 2009; Fernández *et al*, 2008; Herrera, 2019).

Esto influye en la toma de decisión al no haber consenso sobre lo que se debe regular, a la par que son procedimientos lentos, controvertidos y muy costosos que podrían generar múltiples inconvenientes. La mayoría de los análisis se centran en dirigir y promover las

innovaciones en una dirección en particular, en vez de hacer una evaluación de riesgos para reflexionar sobre las capacidades que se tienen para la contención de los efectos no deseados (Chubb, 2018; Comisión Europea, 2009; Gadaleta, 2019; Paic y Viros, 2018).

De forma institucional no existen las condiciones y la infraestructura en muchos países para generar una coordinación estratégica con perspectiva de largo plazo ante la ambigüedad en las responsabilidades de ciertas instituciones y actores, lo cual requiere distintas fases de articulación así como la coordinación en diferentes dimensiones entre los sectores gubernamentales, las disciplinas de investigación y un aumento en la cooperación internacional para su operación (Paic y Viros, 2018; Sepúlveda, 2014).

Los diferentes tipos de participación que respondan a situaciones controversiales y conflictivas, de manera informal o sistemática, abarcan todos los enfoques que siguen los procedimientos para recopilar e intercambiar opiniones, donde una característica de la gobernanza es que puede ser interna y externa dentro de las instituciones científicas, lo cual genera una serie de conflictos entre los actores ante la renuencia de la comunidad científica de ceder ante la injerencia de actores no expertos en el quehacer científico (Comisión Europea, 2009; Estévez, 2005).

Para llevar a cabo la gobernanza de la ciencia, tecnología e innovación, se requieren una serie de factores que se pueden enumerar de la siguiente forma: compromiso de los más altos niveles de gobierno, participación de la sociedad civil y el sector privado, fortalecimiento de los vínculos de la investigación pública y el sector privado, una definición política orientada bajo la perspectiva de gobernanza, una evaluación constante para mejorar el proceso, flexibilidad en el establecimiento de prioridades y armonización de los programas, políticas y proyectos disponibles, con estos elementos se busca generar estrategias nacionales que abarquen la investigación y la innovación a partir de una amplia consulta con los interesados, donde su diseño e implementación sea llevada a cabo por profesionales con el fin de evitar los conflictos de intereses y un proceso continuo de evaluación para suplir tanto las deficiencias como disminuir los riesgos (Paic y Viros, 2018).

En este sentido, el grupo coordinado por Peter Healey propone seis tipos de gobernanza de la ciencia, tecnología e innovación: la discrecional, que implica la formulación de políticas sin interacción explícita y continua con la sociedad; la corporativa, donde las diferencias entre las partes son los insumos para el proceso de negociación; la educativa, donde se asume que los conflictos y tensiones son por falta de conocimiento de la sociedad; la

de mercado, donde la ciencia y la tecnología se pueden gobernar por medio de los mecanismos de oferta y demanda; la agnóstica, que tiene lugar en las confrontaciones donde las posiciones son totalmente opuestas; y la deliberativa, que propone que la gobernanza es la consecuencia del fuerte apoyo público derivado de un amplio debate y compromiso por la ciencia (Hagendijk *et al*, 2005).

Por lo cual, con el enfoque de gobernanza se busca analizar las fortalezas y debilidades que tienen los actores involucrados en la generación o modificación de los marcos de regulación y bioseguridad en el país, examinar qué tipo de participación tienen los actores tanto públicos como privados en la dirección y gestión de la producción científica sobre biología sintética en el país, conocer qué condiciones y capacidades tienen, qué tipo de interacción y articulación implementan en la definición de una disciplina emergente e identificar problemas y áreas de oportunidad para la generación de políticas públicas responsables en el tema, analizando las capacidades y necesidades del país en la aplicación de un proceso de gobernanza con la participación principalmente de actores no gubernamentales y/o no expertos en la temática.

CAPÍTULO 3. LA CONSTRUCCIÓN SOCIO-TÉCNICA DE LA BIOLOGÍA SINTÉTICA: DILEMAS EN LA BIOSEGURIDAD Y LA PROPIEDAD INTELECTUAL EN MÉXICO

Como pasa en la mayoría de los países en vías de desarrollo como México, hay una ausencia de investigaciones que den cuenta de cómo se adoptan y desarrollan las disciplinas emergentes dentro de las ciencias ya consolidadas, muchas disciplinas se están desarrollando sin saber con certeza por parte de las autoridades gubernamentales, qué se está haciendo, quiénes trabajan el tema, en qué condiciones y qué instituciones o universidades. En el caso de la biología sintética, en el país un número reducido de investigadores y estudiantes que participaron en el International Genetically Engineered Machine (iGEM) conocen al respecto, lo que posiciona a la disciplina como una historia poco conocida, explicada y analizada para el público en general, a pesar de sus consecuencias en la apropiación de los recursos genéticos así como su información y el desafío que provoca para el reconocimiento de los conocimientos tradicionales a partir del uso de éstos.

Países como México son considerados como parte del panorama científico a nivel mundial de la biología sintética, pero como una economía emergente, lo que supone problemas, desigualdades y brechas en el acceso, generación, circulación y apropiación de los conocimientos y desarrollos tecnológicos que se desprenden de la disciplina, donde las estructuras científicas nacionales no cambian a la misma velocidad en la que se generan los avances tecnológicos. Generándose una descoordinación entre las secretarías responsables de la ejecución y monitoreo de las políticas de bioseguridad, ante la falta de una coordinación estratégica que se materialice en políticas de innovación en ciencia y tecnología, así como nuevos marcos de bioseguridad para el país. Esto se debe a la percepción y valoración que se tiene respecto a las actividades científicas, tecnológicas y de innovación, la cual suele ser baja en comparación con otras ciencias ya consolidadas como la física o la química, donde el cambio tecnológico basado en los procesos de investigación no suele ser visto como el motor de peso para el mejoramiento y desarrollo de la economía (Bianco *et al*, 2002; Dutrénit *et al*, 2010; Oldham *et al*, 2012; Sepúlveda, 2014).

Si se cumplen las promesas, objetivos y programas de investigación que propone la biología sintética, tendrá el potencial de replantear los modos de producción de conocimiento, modificando las relaciones de poder y distribución de la riqueza, aumentando las desigualdades y brechas existentes entre los países, dado que las economías desarrolladas tienen el control sobre las tecnologías más avanzadas y concentran la actividad de innovación

a partir de una red a nivel global de investigación, en contraste con los países en vías de desarrollo, los cuales carecen de capacidades tecnológicas ante la ausencia de políticas de innovación, carencia de infraestructura científica y de apoyo económico (Echeverría, 2003).

En el caso de la biología sintética para México, ante su condición de economía en desarrollo, podría contribuir a extender el poder y dominación de los países desarrollados a través del uso de los conocimientos y las tecnologías asociadas a la disciplina, ya que se busca la supremacía técnica y el establecimiento de ciertos valores que privilegian la visión de la propiedad intelectual sobre otras formas de apropiación, lo que genera una serie de tensiones en el desarrollo y uso de los conocimientos (Echeverría, 2003; Feenberg, 2005:2012; Marcuse, 1954).

A nivel mundial, la biología sintética se está desarrollando con poca regulación y control de sus consecuencias, sin un debate amplio e incluyente sobre las implicaciones y la trascendencia de sus posibles impactos, con un fuerte impulso por parte de empresas transnacionales, donde los debates deberán incorporar discusiones acerca de quién controla y es dueño del conocimiento, así como sobre las tecnologías que se usan, y debatir si dicha disciplina a pesar de las promesas y áreas de oportunidad, es socialmente aceptable o deseable para algunos países ante los posibles efectos negativos sobre su biodiversidad, como es el caso de México (Friends of the earth *et al*, 2012; Patricia *et al*, 2013).

La falta de análisis del impacto potencial de la biología sintética, aumenta sus riesgos y estimula los debates locales e internacionales referentes al establecimiento de una política de bioseguridad enfocada en organismos sintéticos, que regule los mecanismos, las formas de acceso a los recursos genéticos, los procedimientos, técnicas, los desarrollos o sus derivados, generando tensiones jurídicas para la creación de una política de bioseguridad y las dinámicas de apropiación de los conocimientos tradicionales, dadas las distintas miradas que sobre los marcos regulatorios tienen los actores relevantes. Aún no existiendo un consenso sobre qué y cómo regular, al no existir hasta el momento algún instrumento regulatorio, jurídico o protocolo de evaluación de riesgos que norme el uso de los nuevos organismos desarrollados a partir de la biología sintética (Patricia *et al*, 2013; Vercelli, 2009; Wan, 2012).

En el caso de México, es necesario discutir la creación o modificación de un marco regulatorio, que a la par de los tratados y convenios suscritos por el país, defina los mecanismos de apropiación de los recursos genéticos, sin evadir las reglas de distribución equitativa de los beneficios y que monitoree su uso dentro de las investigaciones científicas,

lo cual no será un proceso en paralelo al desarrollo de la biología sintética dada la rapidez y el alcance de sus desarrollos, pero sí debería ir articulado a las tensiones y negociaciones entre los grupos interesados en el uso y aprovechamiento de la biodiversidad (Vercelli, 2009).

También existen desafíos en torno a la propiedad intelectual vigente, al estar operando bajo distintos vacíos legales por no ser una ciencia pura, ni un tipo particular de ingeniería, no haciendo una distinción a priori entre la normativa aplicable a la investigación de las ciencias de la vida y aquella utilizada en la ingeniería por la invención de artefactos. Estas características se irán complicando en la medida que se vayan creando nuevos organismos sintéticos, ya que no existirían organismos parentales con los cuales poder evaluarlos y compararlos, ante la intención de crearlos de *novo*. De ahí surge la importancia de adecuar o generar nuevos protocolos, metodologías de riesgos, normativas y marcos de bioseguridad que garanticen la seguridad tanto de los experimentos, como de las aplicaciones (González, 2004; Grupo de trabajo internacional de la sociedad civil sobre biología sintética, 2011).

Es por ello que se plantea la necesidad de realizar un análisis más detallado de la adopción de la biología sintética en México, ante la falta de controles de riesgo y regulación en el país que dé cuenta de las implicaciones, a partir de los nuevos retos tecnológicos que supone con respecto al acceso de los recursos genéticos y la distribución de los beneficios, así como los retos legales con respecto a los derechos de propiedad intelectual.

Por consiguiente, en el primer apartado se privilegia la construcción histórica del proceso de adopción y desenvolvimiento de la biología sintética en México, se divide en tres etapas: adopción (2006-2009), expansión (2010-2014) y desarrollo (2015-2019). En el segundo apartado se discuten las implicaciones de la biología sintética respecto al acceso a los recursos genéticos y la participación de beneficios a partir de las propuestas del CDB, así como los retos que trae consigo la información digital de secuencias. Por último, en el tercer apartado se ponen a consideración los efectos de los derechos de propiedad intelectual, retomando principalmente el papel de las patentes que se pueden expedir a partir de la biología sintética y su impacto en el acceso a los recursos genéticos de México, resaltando las consecuencias negativas con respecto a la distribución de beneficios.

3.1 Trayectoria socio-técnica de la biología sintética en México

Como pasa en la mayoría de los países en vías de desarrollo ante la adopción de un nuevo conocimiento disciplinar, se generan múltiples trayectorias y México no está siendo la

excepción. En el caso de la biología sintética, se han desarrollado distintas trayectorias por la participación de una multiplicidad de actores no estatales que plantean distintos caminos en el uso y apropiación del conocimiento, las diferencias en las percepciones sobre su importancia y utilidad, las condiciones materiales, de financiamiento y de insumos en las cuales se dio participación en el iGEM. Su desarrollo no tuvo una evolución lineal y menos uniforme, estuvo sujeta a las condiciones técnicas, económicas, políticas y de capacidades científicas del país, lo que permite plantear que no existe un patrón común entre los participantes respecto al camino que siguieron en la adopción, desarrollo, uso y aplicación de los conocimientos en biología sintética que sea común entre ellos, dadas las diferencias preexistentes.

Por lo tanto, se han desarrollado múltiples trayectorias en paralelo que son divergentes y que contrastan entre sí por los actores e instituciones que participan, los objetivos que buscan y las percepciones que tienen sobre la biología sintética como parte del proceso innovativo, donde sus trayectos se han visto afectados por factores políticos, económicos y principalmente de infraestructura a nivel nacional. Así sucedió a nivel mundial, la biología sintética no evolucionó de manera lineal o clásica en el sentido tradicional de una disciplina.

En México, desde la etapa de adopción la biología sintética generó múltiples problemas a nivel académico, donde la estructura estándar de la creación de una materia, departamento o laboratorio no funcionó totalmente, generando fricciones con otras disciplinas ya consolidadas, que se traducen en una falta de aceptación como conocimiento disciplinar emergente dentro de las ciencias biológicas en el país al ser una disciplina convergente y transdisciplinar. Este debate aún sigue vigente, a pesar que han pasado quince años de su adopción dentro de las ciencias biológicas del país (Olivares, 2019; Paz, 2019).

A causa de ello, el éxito o fracaso en la generación de una agenda de innovación en biología sintética en el país dependió en gran medida de la capacidad de reclutar nuevos aliados a las redes de conocimiento y no así a la creación de nuevas capacidades técnicas. Estos aliados son los que discuten cómo negocian los significados de la biología sintética, orientan su desarrollo y determinan su funcionamiento. Dicha actividad tendrá vigencia a partir de que se logre incorporar el enfoque socio-técnico dentro del análisis de la tesis construyendo una realidad híbrida al combinar elementos sociales, técnicos y políticos para explicar cómo se han ido desarrollando el proceso histórico de su adopción (Bravo, 2018).

Esto se debe al carácter periférico de México dentro de la circulación de los conocimientos en relación con los centros donde se desarrollan, en la mayoría de los casos,

generando una serie de problemas en la producción, distribución, acceso y apropiación del conocimiento científico así como de las tecnologías, acrecentando tanto las brechas tecnológicas entre los países como generando distintas trayectorias en ciencia y tecnología, donde la biología sintética, no es ajena a las consecuencias de estas desigualdades, desequilibrios y brechas en la generación de una agenda para el país.

Donde las naciones desarrolladas concentran las bases del conocimiento, la infraestructura y los fondos de inversión que sustentan el desenvolvimiento de nuevas disciplinas emergentes, centralizando las actividades innovativas con la creación de una red global de investigación que permite plantear que la dominación asume modalidades no solamente económicas, sino de conocimiento, principalmente vinculadas a las formas de apropiación privada de éste, donde una característica que prevalece en los países en vías de desarrollo es su escasa o en muchos casos, nula adquisición de los conocimientos generados por los actores, redes o comunidades científicas (Criscuolo y Patel, 2007; ETC, 2003:2004:2004b; Kreimer, 2010).

Muchas disciplinas que se adoptan en los países subdesarrollados se generan a partir de una agenda exógena, propuestas principalmente por instituciones internacionales de cooperación que tienden a mimetizarse dentro de las comunidades y redes locales de conocimiento, en algunos casos no dando cuenta de las problemáticas regionales en un contexto de fricciones ante la adecuación de agendas políticas y de investigación a partir de la reproducción de los conocimientos y no así de la creación de éstos. Lo anterior genera nuevos así como múltiples problemas que dejan entrever las deficiencias para el aprovechamiento de las investigaciones para mejorar las condiciones sociales de la gente, al poner de manifiesto las dinámicas de las nuevas disciplinas, la construcción de conocimientos y tecnologías, por la ausencia de acercamientos adecuados para su inserción o aplicación en estos países (Acevedo *et al*, 2005; Juárez y Castañeda, 2017).

Por esa razón, en México actualmente se sigue negociando qué es la biología sintética, su función y funcionamiento dentro de la biología, desarrollándose una serie de controversias aún no clausuradas entre diversos actores -principalmente académicos- sobre su posición dentro de la biotecnología y las ciencias biológicas en general. Esto se debe a las incertidumbres como característica inherente a estos nuevos conocimientos en los contextos donde se adoptan, transfieren o se implementan, resultando en cuestionamientos y cambios de percepción sobre sus conocimientos, como las tecnologías asociadas ante la falta de

entendimiento, utilidad práctica, efectos adversos y consecuencias no deseadas principalmente sobre la biodiversidad (Cooling *et al*, 2005; González, 2018; Hernández, 2015).

La adopción y desarrollo de la biología sintética en México se divide en tres cortes temporales: el primero aborda la etapa de adopción o introducción del paradigma y abarca del 2006 hasta el 2009, destacando la participación de estudiantes de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) en el concurso International Genetically Engineered Machine (iGEM) al concentrar la mayoría de los esfuerzos organizativos, siendo la vanguardia en la creación de equipos en colaboración y alianza con otros actores. El segundo corte se desenvuelve del 2010 al 2014, caracterizándose por ser un momento de expansión no sólo en la competencia de el iGEM, sino en actividades de promoción relacionadas con la biología sintética e iniciativas de enrolamiento de nuevos actores dentro de una red que la difundió y promocionó.

Esta etapa estuvo caracterizada como una fase de estabilización ante el creciente número de equipos y acciones donde aparecen nuevas propuestas organizativas vinculadas al movimiento DIY en México, que plantea otra forma de uso y apropiación del conocimiento vinculada a la perspectiva Open de la biología sintética. Por último, el tercer periodo recorre del 2015 al 2019, una fase de desarrollo ante la creación de una iniciativa gubernamental enfocada a temas de bioseguridad a partir de los lineamientos del CDB, así como la conformación o consolidación de distintos laboratorios especializados en biología sintética en distintas partes del país, la apertura de diferentes empresas y la consolidación del Tec de Monterrey como actor central en la conformación de equipos para el iGEM durante los últimos cinco años.

3.1.1 Etapa de adopción (2006-2009)

Siguiendo a Kreimer, el desenvolvimiento de una disciplina es reconocida por medio de instancias externas a través de la creación de nuevas instituciones, institutos, cátedras, líneas de investigación y modalidades de enrolamiento a partir de la formación escolar no sólo en licenciatura sino también a nivel posgrado, la formación de docentes, el desarrollo de carreras, así como de espacios de articulación e interacción por medio de eventos como congresos, simposios, la publicación de revistas y la conformación de asociaciones, como parte de las estrategias que se utilizan para diferenciarse de otras disciplinas, grupos o disciplinas (Kreimer, 2010).

La biología sintética a nivel mundial no siguió una trayectoria clásica con el desarrollo de conocimientos teóricos previos, sino se basó en el iGEM que estimuló la creatividad entre los estudiantes y procesos innovativos en algunos países, previo a desarrollar un cuerpo de conocimiento teórico para su posterior experimentación o aplicación. A pesar de ello, a nivel internacional no se pueden conocer las trayectorias de la biología sintética por las particularidades de cada país al no compartir patrones de comportamiento entre los países. En el caso de México, su desarrollo estuvo directamente vinculado con la participación de equipos provenientes de universidades públicas, privadas y centros de investigación en la competición iGEM, algunos de los cuales ganaron medallas de oro, plata y bronce en los diferentes concursos que se han desarrollado a lo largo de estos años (Castro, 2011; Fuentes 2013; Luna, 2017).

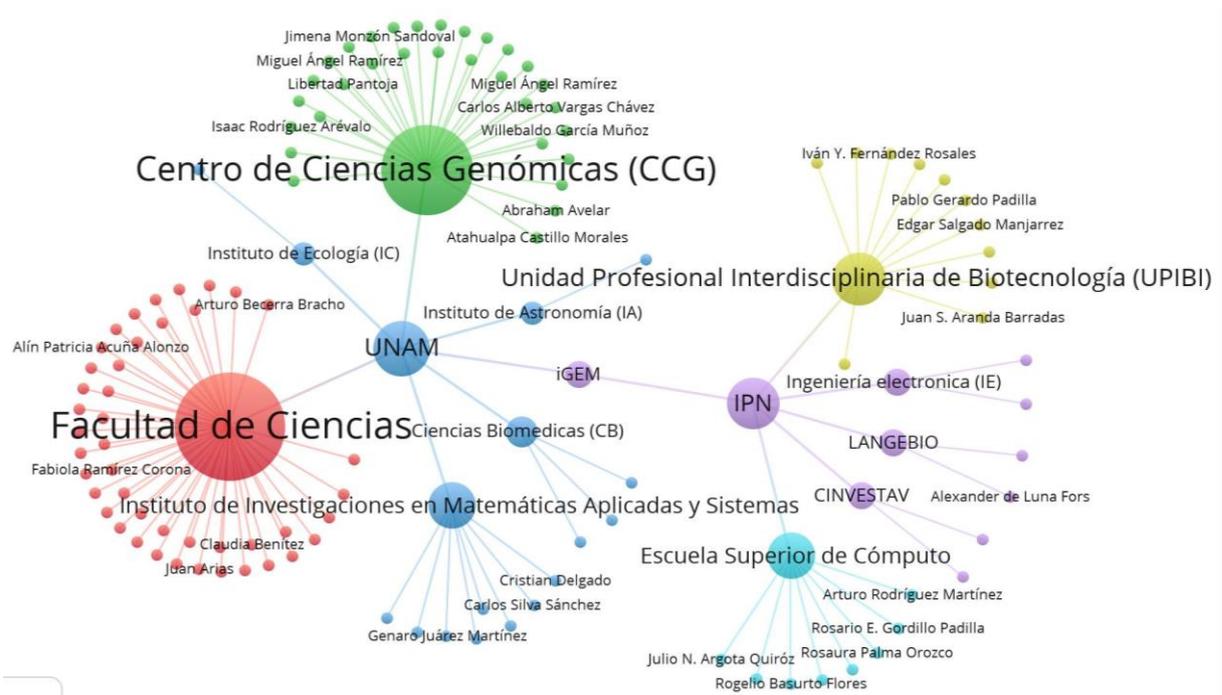
Esto dificulta situar en una línea cronológica quién o quiénes introdujeron el tema al país, qué intereses los motivaron, los medios y los fines que buscaron. Sin embargo, desde el 2005 se tiene la primera referencia de la conexión de un mexicano con la biología sintética, por el financiamiento de 15 millones de dólares del empresario Alfonso Romo Garza para la creación de la compañía Synthetic Genomics por el Dr. Craig Venter, la cual buscó crear microbios sintéticos para la producción de combustibles a través de la transformación de la caña de maíz en etanol (Palacios, 2020; Ruiz, 2008).

Son pocos los trabajos que hablan del proceso de adopción de la biología sintética y que se asocian de forma directa al concepto en su versión moderna en México. A pesar de ello, la primera participación de un equipo mexicano en el iGEM dio las pautas para el inicio de la biología sintética oficialmente y los primeros intentos en conformar una comunidad de masa crítica en el tema. Su antecedente se remonta al primer equipo conformado por estudiantes de la UNAM y el IPN a través del Laboratorio Transdisciplinar de Investigación en Sistemas Evolutivos de la Escuela Superior de Cómputo (ESCOM) en el año 2006, siendo la primera nación latinoamericana en participar (Bulletin iGEM MÉXICO, 2006; Castro, 2011; Fuentes 2013; Luna, 2017; Paz, 2018; Pérez, 2012; Soto, 2012).

Como pasó con el desarrollo de la biotecnología moderna convencional, la biología sintética siguió un camino vinculado a las instituciones de educación pública, generándose una tendencia muy marcada al ser la UNAM la que lideró los equipos en los primeros años a través de sus centros, institutos y facultades. En aquel momento no se tenía ningún control o regulación que permitiera un proceso de análisis de la situación al ser un enfoque nuevo, a

pesar de que desde el principio se plantearon en el primer equipo, de manera interna, las primeras reflexiones y cuestionamientos sobre las consecuencias no deseadas, los efectos en la biodiversidad y los potenciales usos negativos. A pesar de ello, se siguió con la implementación de una serie de protocolos de bioseguridad ya conocidos ante los riesgos inherentes de la técnica y el criterio de no utilización de bacterias patógenas en los experimentos (Ramírez, 2019).

Imagen 4. Equipos iGEM (2006-2009)



Fuente: Elaboración propia a partir de <https://igem.org/Team>, Paz, 2019; Ramírez, 2019¹².

En la primera etapa resalta la participación de los alumnos de la Facultad de Ciencias (FC) y del Centro de Ciencias Genómicas (CCG) de la UNAM que lideró los equipos en los primeros años a través de sus centros e institutos como se muestra en la red (Ver la imagen 4.). Esto le da un papel destacado en el proceso, aunque no fue la única universidad del país en participar en los primeros años, ya que el IPN, a través de sus escuelas y centros de investigación tuvo una contribución tangencial durante la primera fase, concentrándose la mayor parte de sus estudiantes en el primer equipo que compitió por México en el 2006,

¹²Las redes presentadas en las tres etapas están elaboradas principalmente con información de la página <https://igem.org/Team>, donde se puede consultar los equipos por año y país, así como los investigadores, instructores y estudiantes inscritos. Una segunda fuente de información fueron los wikis de los equipos participantes con los cuales se contrastó la información obtenida previamente. A partir de estas fuentes se realizó una base de datos en Excel para poder sistematizar, codificar y generar gráficas de las redes, universidades y estudiantes asistentes a la competencia.

mientras que en años posteriores fue más limitada su injerencia, resaltando la participación de la Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería- Campus Guanajuato (UPIIG) y de la ESCOM (Bulletin iGEM MÉXICO, 2006, Castro, 2011; Fuentes 2013; Pérez, 2012; Soto, 2012).

Si bien la introducción de la biología sintética en el país se dio en etapas tempranas de la disciplina, hay un desfase teórico como práctico por la carencia de insumos, infraestructura, conocimiento, así como de financiamiento en comparación con E.U. y las universidades que lideraron el proceso a nivel mundial, consecuencia directa del desequilibrio en el acceso, uso y desarrollo de conocimientos emergentes ante las brechas tecnológicas existentes, derivadas de la falta de capacidades de adopción e implementación de la biología sintética, la ausencia de un cambio en la estructura científica y la escasez de competencias para replicar las capacidades técnicas para llevar adelante algunos experimentos a pesar de contar con los conocimientos necesarios (Paz, 2019; Ramírez, 2019).

Con la introducción del paradigma de la biología sintética en México, se inició un proceso de traducción del nuevo enfoque, en articulación con los elementos y características del país, ante las controversias surgidas respecto a lo qué es y no bajo su concepción moderna, siendo los laboratorios, salones, reuniones, eventos y talleres, las instancias donde se negociaron los significados y una posible definición desde los primeros años, aunque en su praxis los interesados buscaron la diversificación de actividades, la formación de una comunidad científica y la difusión de el iGEM (Ramírez, 2019).

Esto se debió a la falta de comprensión en los primeros años sobre lo que era la biología sintética al ser una disciplina multidisciplinar emergente, al desconocerse qué pretendía, los requerimientos y las potencialidades a desarrollar por la carencia de un conocimiento previo por parte de los participantes, lo cual se fue dilucidando durante el desarrollo del proyecto por medio de charlas internas, clases entre los instructores y estudiantes para la generación de un marco común así como un lenguaje compartido a través de foros digitales, consulta de páginas y reuniones, no siendo un proceso exclusivo de México sino también por parte de los organizadores de el iGEM por la falta de literatura especializada disponible y el entendimiento de las partes biológicas presentadas por los equipos en ese momento (Kastenhofer, 2016; Ramírez, 2019).

Los problemas descritos son consecuencia de la carencia de legitimidad que algunas disciplinas como la biología sintética tuvieron al inicio de su proceso de institucionalización,

difusión o definición como disciplina, resultado de la percepción de una falta de utilidad, funcionamiento o beneficio por parte de otras comunidades ya establecidas e instituciones que les dan soporte, generando problemáticas para su profesionalización a mediano plazo ante la insuficiencia de apoyos de todo tipo, como sucedió con los equipos que competían en los primeros años, y de espacios para poder enrolar a nuevos actores ante la carencia de eventos, clases, revistas o laboratorios especializados que aglutinaran a los interesados en una comunidad (Kreimer, 2010; Olivares, 2019).

Para el 2007 se continuó con la participación en el iGEM de un equipo conformado principalmente por alumnos de la Facultad de Ciencias de la UNAM. Para ese año, en comparación al primer equipo que compitió, se tuvo un mejor entendimiento de lo que era la biología sintética gracias a la asistencia el año anterior, las charlas durante la competencia con otros participantes, el conocimiento de los proyectos presentados por otros equipos y las reuniones de retroalimentación internas que se dieron de forma constante durante la elaboración del proyecto (Ramírez, 2019).

A pesar de ello, se continuó con capacidades limitadas ante la falta de apoyo económico y de infraestructura para llevar a cabo el proyecto por parte de la UNAM. Debido a eso, los participantes implementaron una serie de estrategias con la intención de subsanar las deficiencias, como fueron los préstamos entre laboratorios de material y equipo, utilización de material común como envases de mayonesa y gerber, el uso de los presupuestos particulares o de los laboratorios donde trabajaban los instructores para conseguir los insumos de trabajo y el trueque de materiales a partir de los vínculos personales de los investigadores con otros colegas (Ramírez, 2019).

Es bajo ese contexto que se da la publicación por primera vez de un artículo sobre biología sintética en México titulado *Biological implementation of algorithms and unconventional computing*, resultado de la asistencia del primer equipo mexicano en el iGEM en 2006, que es cuando se gestan los primeros acercamientos de alumnos de licenciatura del CCG con el tema, lo que posteriormente desembocaría en la participación del primer equipo de dicho centro en la competencia. Del mismo modo, se creó la empresa *EnerAll* en la península de Yucatán por parte del empresario Alfonso Romo Garza, la cual concentró los agronegocios de la siembra de granos y las actividades relacionadas al tema sin tener vínculo directo con los equipos o instituciones participantes durante el primer periodo (Argota *et al*, 2007; Herrejón *et al*, 2007; Palacios, 2020).

Para el año 2008 la biología sintética cambió de rumbo y se incluyó un equipo del CCG a la competencia, aunque se mantuvo la participación de la FC, siendo dos representantes de la UNAM los que participaron ese año, los cuales no se conocían previamente, sino fue hasta la competencia donde coincidieron ante la falta de comunicación y articulación entre los estudiantes. Por otro lado, se publicó uno de los primeros reportajes de la UNAM donde se hace referencia a la asistencia de sus estudiantes a la competencia de iGEM. La nota fue publicada dentro del boletín informativo de la Coordinación de la Investigación Científica, reconociendo la labor de los asistentes, los proyectos presentados y los potenciales usos de la disciplina para el país (Paz, 2019; Vázquez y Zárate, 2008).

A diferencia de los primeros equipos que participaron desde la FC en 2006 y 2007, el equipo del CCG tuvo otra trayectoria al contar con el respaldo de un grupo de investigadores que tenían a su alcance mayores recursos económicos, insumos y laboratorios mejor equipados, así como el apoyo parcial de la universidad para pagar la inscripción y parte de los viáticos para asistir al evento, el préstamo de algunos espacios para hacer colectas monetarias, el fondeo del equipo a través de las actividades institucionales, así como los conocimientos previos de los procesos de la biología sintética a partir de charlar con especialistas de otras disciplinas y la consulta de revistas indexadas (Paz, 2019).

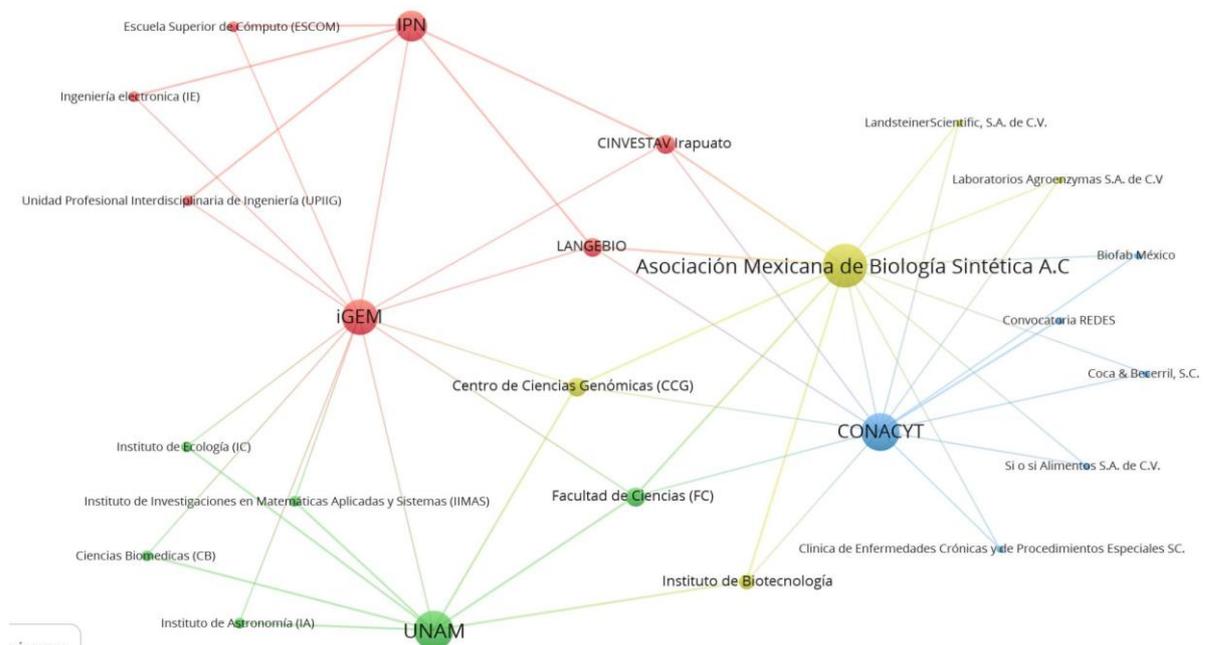
En cambio, durante el 2008 se dio el primer contacto entre la academia y un grupo de empresas como Landsteiner Scientific, Cecyope Drug Development, Agroenzymas, Coca & Becerril, S.C., Biofab México, lideradas por Sí o Sí Alimentos S.A DE C.V, que generaron novedosas capacidades de enrolamientos y la primera experiencia organizativa a través de una Asociación Civil (A.C), la cual buscó crear nuevas redes de colaboración entre el sector académico y la industria para impulsar a la biología sintética en el país (Biosintética A.C, 2011; CONACYT, 2008; Stezano, 2012).

A partir del vínculo de las dos principales instituciones de la UNAM que competían en iGEM -FC y CCG- en colaboración con el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (CINVESTAV) unidad Irapuato, el Laboratorio Nacional de Genómica para la Biodiversidad (Langebio) y el Instituto de Biotecnología de la UNAM, en conjunto con las empresas mencionadas, se participó en el proyecto de vinculación financiado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) *Alianza Estratégica y Red de Innovación para el desarrollo de la Biología Sintética en México*, registrado en la convocatoria de REDES de 2008 para la conformación de Alianzas Estratégicas y Redes de Innovación (AERI). Con este

proyecto se buscó crear redes de transferencia entre investigadores, docentes y empresas con la finalidad de promover la creación de una industria en el país, por medio del fortalecimiento y el aumento de la competitividad del sector productivo a través de iniciativas de Investigación y Desarrollo (I+D) e innovación (Biosintética A.C, 2011; CONACYT, 2008; Red Nacional de Biología Sintética, 2014; Stezano, 2012).

La articulación, coordinación y presencia de nuevos actores en el proceso de difusión durante la etapa de adopción tiene como resultado la conformación de la Asociación Mexicana de Biología Sintética A.C (Biosintética A.C) en octubre de 2009 ¹³, la cual buscó ser la primera red nacional en biología sintética que impulsara los esfuerzos de investigación y a su vez promoviera en México la biología sintética por medio de diferentes actividades como son la participación en congresos, simposios, charlas y la presentación de proyectos en CONACYT para la búsqueda de financiamiento (Domínguez, 2013; Paz, 2018; Paz, 2019; Stezano, 2012).

Imagen 5. Red de actores de la primera etapa (2006-2009)



Fuente: Elaboración propia a partir de <https://igem.org/Team>; Biosintética A.C, 2011; Domínguez, 2013; CONACYT, 2008; Stezano, 2012.

Este esfuerzo organizativo planteó una nueva visión, enfoque y orientación de lo que debía ser la biología sintética al ser la primera iniciativa de una red por medio de una estructura compleja a partir de una A.C en la conformación de la comunidad de biólogos

¹³ Algunos fundadores de la Asociación son el Dr. Agustino Martínez del CINVESTAV-Irapuato, el Dr. Alexander de Luna Fors del LANGEBIO, Gina Benítez Esquivel y el Dr. Gerónimo Villanueva Noguera de *Sí o Sí Alimentos S.A DE C.V-* Agroenzymas.

sintéticos y una industria en México, lo que aumentó las capacidades de enrolar nuevos actores en el proceso innovativo no sólo orientadas en competir en el iGEM, sino en la creación así como la fabricación de productos y servicios. Dicha iniciativa tenía una base empresarial y por lo tanto, una clara visión del uso y apropiación del conocimiento desprendido de la biología sintética de forma privada (Ver la imagen 5.).

Se puede ver en la red de la imagen 5 que la conformación de la Asociación Mexicana de Biología Sintética A.C, se basó en los vínculos previos que algunas empresas tenían con la academia, resaltando la participación del Cinvestav-Irapuato en el proceso. Si bien es más grande el número de institutos, facultades o centros de investigación que participaron durante toda la etapa de adopción, son muy pocos actores académicos que apoyaron su creación, lo que refleja las pocas capacidades con las cuales surgió desde un inicio y la falta de injerencia dentro de estas.

En un primer momento, Biosintética A.C, además de proyectos de I+D realizó un proceso de análisis sobre el mercado y coordinó acciones entre diferentes empresas así como grupos de investigación que estuvieron enfocados en el concurso de iGEM, pero su principal objetivo fue realizar un balance de negocios, la vinculación con empresas, la creación de una industria y abordar temas de propiedad intelectual como patentes, licencias y contratos que no son ámbitos de competencia de las universidades y de la academia, donde la posibilidad de imitación y uso del conocimiento por parte de esta nueva estructura organizativa estuvo mediada por las capacidades internas de comprensión y absorción de la información, la obtención de insumos, equipamiento e inversiones para llevar adelante sus objetivos a corto y mediano plazo (Biosintética A.C, 2011; Red Nacional de Biología Sintética, 2014; Stezano, 2012).

En comparación con los primeros años, para el 2009 hubo un cambio de visión dado por el acercamiento de las facultades e institutos que lideraban dentro de la UNAM la conformación de equipos, continuando con la asistencia de la FC y del CCG, pero a la par se fueron sumando nuevos actores al proceso que permitieron nuevas potencialidades a partir de nuevos apoyos tanto económicos como de infraestructura, también se dieron los primeros intercambios de retroalimentación entre los participantes; en el caso de la FC se creó el Taller de Biología Sintética en el departamento de Biología Evolutiva, el cual sigue vigente y por otro lado, en el CCG se consiguió un pequeño laboratorio para preparar la participación de los estudiantes en iGEM (Paz, 2019; Ramírez, 2019).

Una serie de elementos caracterizan la primera etapa, resaltando la asistencia de equipos mexicanos al iGEM como parte del proceso de difusión y adopción de la biología sintética, estableciendo sus cimientos para su posterior desenvolvimiento. En los primeros dos años sobresale la participación de la UNAM y en el último la Asociación Mexicana de Biología Sintética A.C como actores centrales en la construcción y orientación de la disciplina, la negociación de los significados, en las relaciones así como alianzas que se establecieron, lo que permitió la creación de redes de colaboración formales e informales entre investigadores, estudiantes y un número muy pequeño de empresas que serían los primeros esfuerzos en articular una comunidad de masa crítica en biología sintética. En el caso de Biosintética A.C, su intención era el uso, apropiación y aprovechamiento de los recursos genéticos de forma privada ante su perfil empresarial, por eso incentiva las prácticas de patentamiento como eje nodal para el desarrollo de la disciplina en el país.

Se enfatiza el rol de las universidades de educación pública superior como la UNAM y el IPN en la primera etapa, al concentrar la mayoría de los esfuerzos para participar en el iGEM, resaltando la falta de cambio de instructores en los primeros grupos, de comunicación entre los equipos e instituciones, la ausencia de apoyos y la falta de capacidades e infraestructura para que los conocimientos desarrollados en los proyectos fueran utilizados por parte de la comunidad científica del país (Paz, 2019; Ramírez, 2019).

En el primer periodo hay una carencia de lenguaje compartido entre los participantes por la falta de comprensión de lo que era la biología sintética, al ser una disciplina nueva como multidisciplinar. Además, hay una ausencia de investigadores que asumieran los procesos de orientación por falta de entendimiento, carga de trabajo, tiempo y especialización del tema, lo que desembocó en una serie de controversias disciplinares respecto a su estatus de disciplina emergente dentro de las ciencias biológicas. De igual forma, hay un proceso de construcción de significados de lo que es la disciplina a partir de los debates que se generaron sobre la utilidad tecnológica en el país y las preocupaciones constantes ante los riesgos e impactos sobre la biodiversidad principalmente por parte de los estudiantes y equipos participantes en iGEM.

Son evidentes los retos que se les presentaron a los estudiantes e investigadores, siendo éstos los que asumieron, a partir de iniciativas de personales y su entusiasmo, los procesos de retroalimentación ante el poco apoyo institucional, planteando dos trayectorias dentro de la UNAM, derivadas de los apoyos diferenciados recibidos para la compra de

insumos, reactivos, inscripción, viáticos, transporte y la infraestructura que contaron para llevar a cabo sus experimentos ante el hecho de que sus principales equipos -FC y CCG- tuvieron distintas condiciones en su participación en iGEM, lo que permite plantear que sus trayectorias no estuvieron condicionadas por cuestiones relacionadas con el conocimiento, sino a factores materiales y económicas (Paz, 2019; Ramírez, 2019).

En la primera etapa los participantes de iGEM estaban al corriente de lo que se hacía sobre biología sintética y quiénes lo realizaban, sin embargo esto tuvo un efecto limitado en su desarrollo a nivel nacional, ya que tenían una escasa capacidad de incidir y permear dentro de las instituciones de donde provenían en la orientación de la disciplina y en la apertura de espacios orientados a conformar nuevas redes. Lo anterior disminuyó su capacidad de enrolar nuevos actores a las redes de conocimiento durante los primeros años, lo cual generó un proceso de innovación con impactos limitados ante la adaptación, resignificación y copia de los conocimientos sin crear nuevos patrones de circulación y acumulación por la rotación de los estudiantes, la falta de tiempo para llevar a cabo los proyectos y la carga de trabajo de los investigadores para seguir apoyando a los equipos (Biosintética A.C, 2011; Paz, 2019; Ramírez, 2019).

Si bien la adopción de la biología sintética como disciplina emergente creó dinámicas de innovación en algunas universidades, se dio una baja intensidad de la capacidad innovativa en el país por el grado de cohesión entre las instituciones participantes, un limitado nivel de interacción interinstitucional, pocas capacidades de generar procesos de sinergia dentro de las universidades así como fuera de ellas, escasa participación de empresas en el proceso, lo que se traduce en un bajo nivel de apropiación de los proyectos realizados, muchos de los cuales quedaron en desuso, resultando en una comunidad en biología sintética pequeña donde los esfuerzos organizativos estaban focalizados en un número reducido de actores como son la UNAM y Biosintética A.C (Chaparro, 2001; Paz, 2019; Ramírez, 2019; Stezano, 2012).

Donde el proceso innovativo no es técnico ni en la generación de nuevos conocimientos que impactaron a nivel mundial, sino se basa en la creación de redes que posteriormente impulsó la conformación de una comunidad en biología sintética, consecuencia de las desigualdades en la creación y uso de los conocimientos en biología sintética entre los países, las formas desiguales de intercambio de conocimiento que condiciona la relación entre estos e impactan en las agendas de investigación de forma interna ante las brechas y limitaciones estructurales del país (Kreimer, 2010).

Por otro lado, la biología sintética se basó en un estilo socio-técnico característico de la región ante el establecimiento de patrones tecnológicos exógenos a la agenda de investigación nacional donde el Estado es principal financiador de los proyectos en Ciencia y Tecnología. A pesar de ello, la aparición de actores formales como Biosintética A.C respecto a la participación de las universidades públicas, al diferir en el modo de pensamiento donde el conocimiento es visto como forma de valor, donde el Estado mexicano no es el eje rector en la orientación de la biología sintética del país ante la participación de otros actores no estatales que fungen como centrales en el proceso.

También se percibe al final de la etapa un cambio dentro de la UNAM por el apoyo otorgado a los equipos y la creación de espacios que permitieron posteriormente un proceso de difusión interno, el surgimiento de la Asociación Mexicana de Biología Sintética A.C sentó las bases de los primeros esfuerzos en la conformación de una red formal, lo que le otorga el papel de actor estratégico en la articulación de una comunidad, que si bien no es homogénea, se adaptó al contexto socio-institucional para seguir creciendo y apoyando a los equipos que asistieron en el iGEM, fomentando la disciplina a partir de la coordinación de la academia con algunas empresas (Stezano, 2012).

3.1.2 Etapa de expansión (2010-2014)

Para el 2010 hay un cambio en el panorama de la biología sintética en México mediado por múltiples aspectos. Uno de los principales impulsores fue la medalla de oro obtenida el año anterior por parte del equipo de la FC, planteando un antes y un después al ganarle a la universidad de Harvard, la cual trajo como consecuencias positivas el interés de las autoridades de la UNAM por apoyar con financiamiento, insumos e infraestructura a los participantes en el iGEM (Ramírez, 2019).

Esto trajo un boom mediático a nivel nacional que permitió la conformación de nuevos equipos en diferentes partes del país, ya no sólo en universidades públicas sino también privadas, el crecimiento en el interés de los estudiantes por la biología sintética, el reconocimiento de la comisión de Ciencia y Tecnología del Senado de la República, la rectoría de la UNAM y la Academia Mexicana de Ciencias al equipo ganador y el desarrollo en el CINVESTAV-Irapuato a través de su departamento de Ingeniería Genética de una línea de investigación en biología sintética. Posteriormente se crearía el primer laboratorio de Biología de Sistemas y Biología Sintética en México dirigido por Dr. Dr. Agustino Martínez-

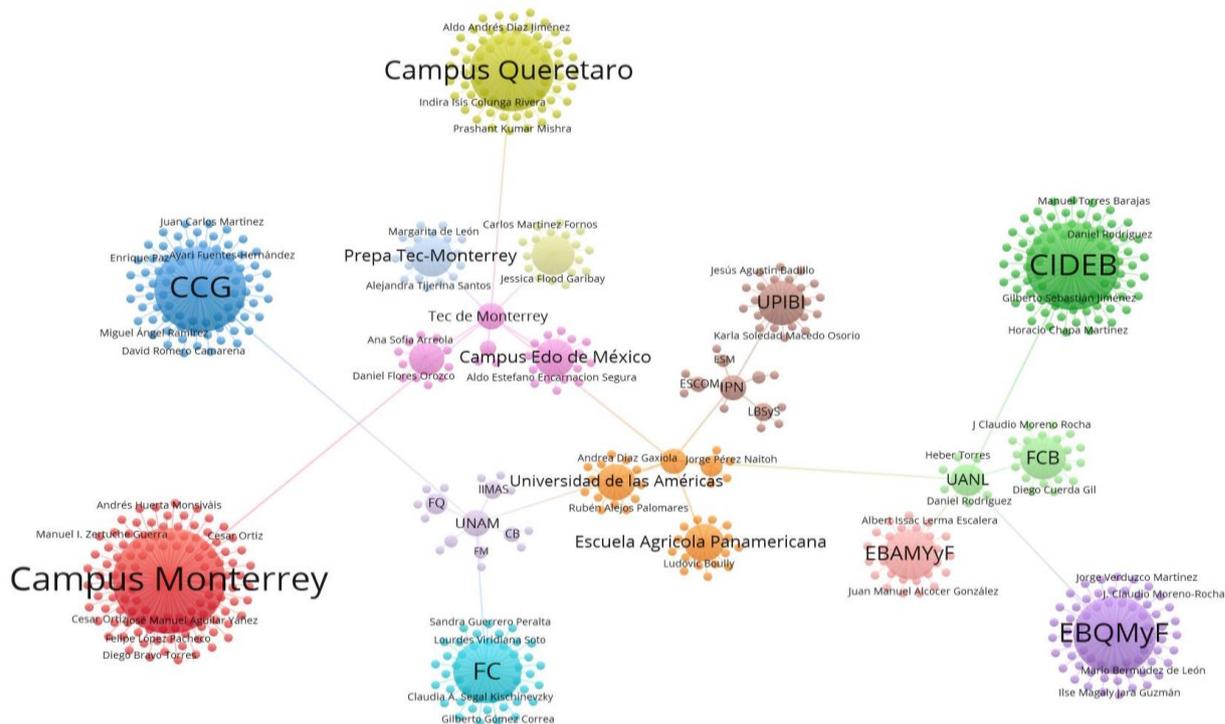
Antonio, el cual es uno de los pioneros en el tema, quien buscó conocer y analizar cómo funcionan los circuitos genéticos a partir de hacer ingeniería con piezas modulares (Cárdenas, 2015; CINVESTAV-Irapuato, 2011; Ramírez, 2019; Red Nacional de Biología Sintética, 2013; Senado de la República, 2011).

Es bajo este contexto que también se dieron los primeros acercamientos de la industria y los centros de investigación para la creación de productos por medio de diferentes proyectos de vinculación, como fue el caso del CINVESTAV-Irapuato y la empresa Agroenzymas para el desarrollo de un ácido indol butírico; la investigación se desarrolló entre los años 2010 y 2013 siendo el responsable el Dr. Agustino Martínez-Antonio. De igual forma, el proyecto *Biología Sintética: dinámica y evolución de circuitos y módulos regulatorios en E.coli* fue financiado por el CONACYT con un monto de \$2,414,000.00 pesos, el cual concluyó en 2013 siendo el encargado el Dr. Pedro Julio Collado-Vides (CINVESTAV-Irapuato, 2011).

Como en años anteriores, se continuó con la asistencia de estudiantes de la UNAM en iGEM, el cambio en el 2010 fue que se registró la primera participación del Tec de Monterrey, lo que planteó un cambio en la importancia y visión de la disciplina ante el interés de la industria en impulsar la disciplina a partir de los proyectos presentados por los estudiantes de una institución de educación privada, lo cual se tradujo en un aumento exponencial de equipos provenientes del Tec de diferentes campus del país durante toda la etapa de expansión y la conformación de un grupo de investigación en Bioprocesos y Biología Sintética, como parte de una línea de investigación en el Centro de Biotecnología FEMSA-Campus Monterrey (Chávez, 2020).

La participación del Tec de Monterrey marcó otro tipo de trayectoria respecto al uso de los conocimientos en biología sintética para el país, ya que al ser una institución privada con enfoque empresarial, su objetivo es la producción, distribución, acceso y apropiación del conocimiento de forma privada por medio del patentamiento. De igual forma, en comparación con las instituciones públicas que se caracterizan por tener problemas de financiamiento, acceso al conocimiento y de uso de infraestructura -laboratorios- para los experimentos, el Tec contaba con el acceso a especialistas, financiamiento privado tanto de empresas transnacionales como nacionales, el apoyo de la universidad para compra de insumos, reactivos, viáticos para la asistencia a iGEM, laboratorios equipados e investigadores formados en el extranjero (Ver la imagen 6.) (Chávez, 2020).

Imagen 6. Equipos iGEM (2010-2014)



Fuente: Elaboración propia a partir de <https://igem.org/Team>.

En este sentido se resalta la participación del Campus de Monterrey del Tec durante toda la etapa, como se muestra en la imagen 6, al ser un actor central para que se diera la participación de otros campus distribuidos por el país. Si bien la segunda etapa se caracteriza por la supremacía de equipos del Tec, las universidades públicas seguían jugando un papel clave aunque con capacidades reducidas, resaltando a la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL) por los esfuerzos en enviar grupos nutridos de estudiantes a competir.

Es bajo ese marco que en 2010 el equipo del CCG y el del Tec de Monterrey obtuvieron medalla de oro como reconocimiento por la calidad de sus proyectos, también se gestaron una serie de iniciativas orientadas a la generación de nuevas capacidades de enrolamiento dentro de la comunidad a través del fortalecimiento del trabajo intelectual a partir de la retroalimentación siendo la más relevante el primer Taller de Biología Sintética a nivel nacional realizado en el CINVESTAV-Irapuato, con el cual se buscó generar redes de colaboración entre los equipos que habían participado y los estudiantes interesados en competir (CINVESTAV-Irapuato, 2011; Entrevista 4; Red Nacional de Biología Sintética, 2014b).

Otra de las iniciativas realizadas importantes pero en 2011, fue la búsqueda de financiamiento público por parte de Biosintética A.C a través de las convocatorias

FINNOVA, proyectos financiados por el CONACYT y la Secretaría de Economía en los cuales participaron entre 2011 y 2013 (Ver la tabla 4.), obteniendo diferentes montos que fueron orientados a distintos fines como la elaboración del documento *Vigilancia Competitiva de las Naciones: Estrategias, Políticas y Acciones Nacionales para Biología Sintética en Países Desarrollados*, el apoyo a los equipos que competían en el iGEM y la realización de eventos de difusión para el enrolamiento de nuevos actores (Biosintética A.C, 2011; Red Nacional de Biología Sintética, 2014).

Tabla 4. Proyectos Finnova 2011-2013			
<i>Convocatoria</i>	<i>Título del proyecto</i>	<i>Monto de Apoyo</i>	<i>Monto Empresa</i>
FINNOVA 2011-06	Establecimiento de la Oficina de Vinculación y Transferencia de Conocimiento de Biología Sintética	\$591,948.00	\$253,692.00
FINNOVA 2012-01	Fortalecimiento del Ecosistema de Innovación de la Biología Sintética en México	\$791,000.00	\$339,000.00
FINNOVA 2013-01	Certificación de la Oficina de Vinculación y Transferencia de Conocimiento de Biología Sintética y Ciencias de la Vida	N/A	N/A
FINNOVA 2013-02	Pruebas finales y estrategia de protección internacional de rutas biosintéticas de relevancia para la síntesis de metabolitos de alto interés comercial	\$2,864,400.00	\$725,000.00
FINNOVA 2013-02	Transferencia de Tecnología y prueba pre-comercial de portafolio dietario para el tratamiento de síndrome metabólico desarrollado en INCMNSZ.	\$2,974,000.00	\$766,000.00

Fuente: Elaboración propia a través del padrón de beneficiarios FINNOVA 2011-2017.

Una característica de los nuevos conocimientos disciplinares que son emergentes, es su ausencia en la agenda legislativa y en la generación de políticas públicas en los países donde se adoptan. En el caso de la biología sintética en México eso se intentó cambiar durante el 2011, cuando la Asociación Mexicana de Biología Sintética A.C a través de su director ejecutivo el Dr. Gerónimo Villanueva Noguera, presentó un proyecto ante la Cámara de Diputados que buscó crear un fondo nacional para impulsarla con la intención de detonar una industria en el país, el cual se quedó en una simple propuesta no llegando ni siquiera a una discusión en comisiones o traducirse en partidas presupuestales (Cámara de Diputados, 2011).

Además, durante el 2011 se suman nuevos equipos en iGEM a los tres que en el año anterior compitieron -FC, CCG y Tec de Monterrey- provenientes de otros campus del Tec, se dio la asistencia por vez primera de la UANL y una colaboración entre universidades de índole pública y privada al participar de forma conjunta estudiantes de la UNAM y del Tec Distrito Federal. Por otro lado, se continuó con un segundo taller de biología sintética en el CINVESTAV-Irapuato, que siguió con proyectos vinculandose con empresas mexicanas, primero con la búsqueda de ácido indolbutírico con Agroenzymas y segundo en la búsqueda

de biocombustibles a partir de desechos de aguacate con técnicas de biología sintética impulsado por SI O SI Alimentos, siendo el responsable de las dos investigaciones el Dr. Agustino Martínez- Antonio (CINVESTAV-Irapuato, 2012).

La participación de nuevas universidades en el iGEM, el crecimiento de equipos y el entusiasmo de nuevos participantes trajo como resultado durante la etapa de expansión la elaboración de una serie de tesis sobre el tema, principalmente provenientes de la Facultad de Ciencias de la UNAM (Ver anexo 4.), que plantearon las primeras reflexiones sobre la biología sintética permitiendo conocer las negociaciones que se tenían en la definición, las visiones y las percepciones en ese momento, A su vez, se gestó la primera iniciativa en articular a la biología sintética con el arte a partir de la exposición *Bio-Sintetizarte: Reflexiones artísticas sobre la biología sintética* organizada por estudiantes de CCG en el estado de Morelos (Paz, 2019).

Para el 2012, con lo que respecta al iGEM, hay un aumento exponencial de equipos mexicanos que participan, siendo el año con más grupos registrados en los tres periodos analizados con un total de 12 agrupaciones, lo que reflejó el crecimiento y entusiasmo de los estudiantes por presentar proyectos que fortalecieron y expandieron la comunidad de biología sintética y los intercambios de conocimientos entre los participantes de forma local, nacional e internacional con otros equipos.

Ese año se da la conformación de un equipo sólo del IPN, ya que en años anteriores habían participado en el primer equipo con la UNAM. También se da la participación de tres equipos tanto del Tec Campus Monterrey y UANL, de igual forma se da la asistencia de un grupo de estudiantes de preparatoria provenientes del Tec Campus Monterrey así como el involucramiento del Laboratorio de Biología Sintética y Sistemas del Dr. Agustino Martínez- Antonio en la creación de un equipo en colaboración con la UNAM e IPN¹⁴.

Por otro lado, durante el 2012 se continuó con los proyectos entre Agroenzimas, SI o SI Alimentos y el CINVESTAV-Irapuato, ahora con la intención de crear un desarrollo tecnológico de ácido abscísico por biología sintética, proyecto que inició a mediados de 2012 y concluyó a finales de 2013, como se continuó con la investigación sobre la generación de biocombustibles a partir de desechos de aguacate. También se dieron colaboraciones en el marco de la competencia entre estudiantes del CCG y Más Ciencias Por México para el desarrollo de una serie de videos de divulgación, se realizó el tercer taller en el CINVESTAV

¹⁴ La información fue obtenida de <https://igem.org/Team>.

con la intención de articular, formar y retroalimentar a la comunidad de estudiantes interesados en el tema, mientras que se desarrollaron una serie de eventos enfocados a promocionar las capacidades, áreas de oportunidad y reflexionar sobre temas de bioseguridad con un perfil más empresarial, como fue la conferencia *La biología sintética: retos y oportunidades* para México el 01 de agosto, organizada por la organización Genómica y Bioeconomía, y la ponencia Magistral *Biología sintética y tecnologías emergentes* dentro del cuarto Simposio Internacional de Bioseguridad y Biocustodia por parte de la Asociación Mexicana de Bioseguridad A.C (AMEXBIO) (CINVESTAV-Irapuato, 2013; Paz, 2019; Red Nacional de Biología Sintética 2014b).

Gracias al gran potencial de aplicaciones que representaba la biología sintética durante 2012-2013, se dieron los primeros pasos dentro de algunas universidades que permiten plantear una nueva orientación por su aceptación como conocimiento disciplinar, proceso que sienta las bases de su institucionalización al menos a nivel licenciatura, lo cual permitió, en el caso de la UANL, que la disciplina se oficializara como una unidad de aprendizaje en la Facultad de Ciencias Biológicas dentro de la Licenciatura de Biotecnología Genómica y una línea de aplicación en la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM) en Cuajimalpa, dentro de la División de Ciencias Naturales e Ingenierías en el departamento de Procesos y Tecnologías (Facultad de Ciencias Biológicas, 2012; Loera, 2020; UAM, 2013).

Otros cambios importantes durante el 2013, fueron la creación en el Cinvestav-Irapuato del posgrado en Biotecnología en Plantas dentro del cual se incluyó la biología sintética como una área de investigación ante la falta de experiencias sobre el proceso de institucionalización a nivel posgrado, también se dio la conformación de la primera start-up a nivel nacional en biología sintética, llamada Biología Sintética Aplicada S.A.P.I. de C.V. (GATCorp), proyecto de emprendimiento de Guanajuato el cual fue fundado por egresados del IPN, y el establecimiento de la empresa T4Olige en Irapuato, la cual fue fundada en 2010 y es la primera empresa a nivel de A.L en crear ADN sintético (CINVESTAV-Irapuato, 2013b; Expansión 2012; Red Nacional de Biología Sintética, 2016).

No obstante, una actividad que significó un parteaguas durante la etapa de expansión fue el *1er Foro de Biología Sintética “Sintetizando el futuro”* llevado a cabo el 08 de agosto de 2013 organizado por el equipo de la Unidad Profesional Interdisciplinaria en Biotecnología (UPIBI), dentro del cual se buscó homogeneizar el concepto para tener un marco común entre los asistentes, crear redes de colaboración para incidir en las políticas públicas y las

actividades de regulación del país, conformar una industria con impacto empresarial ante una evaluación de sus necesidades, analizar los alcances, beneficios y las oportunidades competitivas para apoyar a los equipos, proyectos y la comunidad de investigadores a partir de las reflexiones así como de las historias de los estudiantes e investigadores involucrados previamente en iGEM (Red Nacional de Biología Sintética, 2013).

Si bien con anterioridad se plantearon distintas iniciativas de vinculación y articulación como fueron los tres talleres realizados en el CINVESTAV-Irapuato, no hubo un proceso de continuidad, ni la generación de una agenda de trabajo en conjunto o la conformación de una red de colaboración donde se involucraran no solamente a los estudiantes sino también los investigadores y las universidades, durante el foro se planteó la necesidad de crear una Red Nacional de Biología Sintética con la intención de articular y consolidar un nuevo espacio que permitiera desarrollar grupos donde se aglutinaran los actores involucrados de todo el país, así como difundir las investigaciones así como proyectos presentados en iGEM (Loera, 2020 ; Red Nacional de Biología Sintética, 2013).

Durante ese mismo año el Cinvestav-Irapuato continuó con el vínculo con Agroenzimas para un nuevo desarrollo tecnológico con el cual se buscó la obtención de una hormona vegetal antiestresante y un precursor a partir de biología sintética, también se registró la mayor participación de universidades públicas en el iGEM, con cuatro equipos provenientes de la UNAM, la UANL y la Universidad de Guadalajara, y se desarrolló el primer documento en el país sobre políticas públicas y bioseguridad titulado *Directrices rumbo al establecimiento de políticas públicas en materia de biología sintética en México* (CINVESTAV-Irapuato, 2014; Domínguez, 2013).

En cambio, para el 2014 se dieron tres cambios importantes dentro del iGEM con respecto a los equipos mexicanos; el primero es la ausencia del equipo de la FC de la UNAM en la competencia, siendo el referente histórico por participar y convocar de forma constante a estudiantes desde el 2006, esto se debió a los costos asociados para el desarrollo del proyecto -trámites aduanales, inscripción, viáticos, pasajes y hospedajes- y la falta de presupuesto para insumos, reactivos y equipo de laboratorio (Ramírez, 2019).

El segundo cambio fue la última participación del CCG por el cambio de director dentro de centro, lo cual afectó su asistencia en años posteriores ante la visión que traían las nuevas autoridades por la falta de utilidad de los proyectos a corto y mediano plazo, los costos asociados, peleas entre algunos estudiantes para conformar y ser parte de los equipos, el

desplome de recursos económicos y la falta de investigadores que siguieran apoyando a los interesados (Paz, 2019).

Un tercer cambio fue el inicio de una tendencia respecto a la procedencia de los equipos mexicanos ante los problemas antes mencionados, donde el Tec de Monterrey tomaría la vanguardia en la conformación de equipos con la participación de distintos equipos distribuidos en sus múltiples campus dentro del país. Sólo durante 2014, de los nueve concursantes registrados, cinco provienen de dicha institución -Querétaro, Monterrey, Guadalajara, Estado de México y prepa Tec-CDMX- lo cual deja ver la orientación que va a seguir la biología sintética en los siguientes años ante el declive de las universidades públicas en iGEM¹⁵.

En ese mismo año, el Cinvestav-Irapuato, a través del laboratorio de Biología Sintética y Biosistemas, lanzó el programa *Jóvenes Talentos en Biología Sintética* de agosto del 2014 a enero del 2015 y continuó con los proyectos de vinculación para la obtención de una hormona vegetal antiestresante en colaboración con Agronezymas. Es bajo ese contexto que las preocupaciones por los efectos, consecuencias y la bioseguridad respecto a la biología sintética permitieron por vez primera la vinculación documentada de las autoridades en México a través de la Comisión Intersecretarial de Bioseguridad de los Organismos Genéticamente Modificados (CIBIOGEM) con el tema, a partir de la ponencia del Dr. Agustino Martínez-Antonio *Biología Sintética. Beneficios y bioseguridad*, y reflexiones sobre la bioseguridad de los organismos sintéticos a través de una publicación en la Revista Mexicana de Bioseguridad (CINVESTAV-Irapuato, 2015; Red Nacional de Biología Sintética, 2014b; Revista Mexicana de Bioseguridad, 2014).

Siguiendo con el proceso de institucionalización, durante el 2014 la UAM-Cuajimalpa buscó abrir una unidad de enseñanza-aprendizaje como optativa denominada Biología de Sistemas y Biología Sintética para el trimestre 15-P. En el caso de la Licenciatura en Genómicas de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, se integró como un área de formación integral profesional con el carácter obligatorio y a nivel posgrado, se incluyó a nivel maestría en Ciencias en Biotecnología de la Universidad Politécnica del Estado de Morelos dentro del plan de estudios. En ese mismo año se dio un cambio en la práctica de la biología sintética en el país ante la creación de organizaciones y espacios vinculados a la perspectiva DIY, iniciativas enfocadas a las tecnologías libres con impacto social bajo el

¹⁵ La información fue obtenida de <https://igem.org/Team>.

enfoque Open, el acceso así como democratización de la ingeniería genética y el libre acceso a la documentación científica (Chávez, 2020; Marcos, 2019 ; Ochoa *et al* ,2016; Paz, 2019; UAM, 2015; Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, 2014; Universidad Politécnica del Estado de Morelos, 2014).

En el caso de A.L, existe un vínculo muy cercano entre las comunidad DIY y distintos concursantes de iGEM en la región. En México a partir del 2014 se dio el crecimiento del movimiento en distintas partes del país con la creación de grupos como BioHackers México (2014), IB México (2015), BioCDMX (2016), Tepache Hacklab, Gene Garage (2015), Biohackademy (2016), Pasmid Lab (2017), INSPIRO DIY-Biology (2015), Open Lab MX, Biosfera Biohackspace, Hacedores Makerspace, The Inventor´s House, Fab Lab Puebla, Fab Lab Yucatán, Clubes de Ciencias y LobbieLab, los cuales tenían como objetivos desde la democratización de la ciencia y la tecnología, el emprendimiento en biotecnología y la biología de garaje (Bardoza, 2016; De la Barrera, 2017; Marcos, 2019; Ochoa *et al*, 2016; Paz, 2019).

La segunda etapa se caracteriza por ser un periodo de expansión, estabilización y diversificación de actividades que contemplan acciones e iniciativas que van más allá de la competencia en el iGEM. Se da un proceso de continuidad de la dinámica innovativa a partir del trayecto previo en relación al enrolamiento de nuevos actores, la articulación de algunas empresas con la académica con el fin de llevar adelante proyectos basados en biología sintética, la participación de otros actores que potencializaron las redes a la par que permitieron nuevas capacidades a la comunidad para enrolar nuevos aliados y crear nuevas alianzas. De forma limitada hubo un proceso de institucionalización dentro de algunas licenciaturas y posgrados, a la par se presentaron distintas trayectorias ante la aparición de actores no estatales, como la desaparición y la conformación de nuevos equipos que durante la primera etapa fueron centrales en el proceso de orientación.

Es un periodo de crecimiento cualitativo y cuantitativo por la aparición de nuevos actores en el proceso de definición de lo que es la biología sintética. Si se toma en cuenta como indicador el número de equipos registrados en iGEM, la cantidad de eventos realizados a nivel nacional durante la presente etapa (Ver anexo 5.), las instituciones participantes, las nuevas modalidades de enrolamiento en las licenciaturas y posgrados que tuvieron una apertura en el tema, la cantidad de espacios que se abrieron, la formación de recursos humanos, las estructuras organizativas que se crearon, las actividades institucionales que se

llevaron adelante, un proceso más marcado de formación de estudiantes a nivel posgrado fuera del país en biología sintética, muchos de los cuales provenían de equipos participantes, en comparación a la primera etapa donde fue más lento y menos frecuente (Chávez, 2020; Loera, 2020; Paz, 2019; Ramírez, 2019).

Lo que representó un cambio tanto en el ritmo como en la escala de la investigación en el país, derivado de la aparición de espacios institucionales, laboratorios y proyectos desarrollados en conjunto con empresas en la búsqueda de un avance técnico, a pesar de ello no se desarrollaron las capacidades y la infraestructura de la investigación más allá de la competencia, lo que posibilitó a las universidades la fundación de nuevos laboratorios especializados, pero el vínculo con las empresas implicó un aumento de productos de investigación así como nuevas formas de organización y coordinación entre ambos, aunque de forma limitada tuvo un impacto al ser un proceso focalizado en un número reducido de empresas e instituciones (Casalet, 2012).

El proceso innovativo buscó generar nuevas capacidades técnicas, pero no se desarrollaron las condiciones para competir con las grandes potencias, sino que permitió convocar a nuevos actores, articularlos y coordinarlos en la red de conocimiento en biología sintética en el país, donde su crecimiento podría ser considerado un indicador del proceso de madurez que siguió la biología sintética durante la etapa de expansión para conocer cómo se produce, se apropia, se pone en práctica el conocimiento, sus condiciones de producción y uso (Thomas, 2008).

Durante la segunda etapa se continuó con las discusiones sobre qué es la biología sintética y la búsqueda de una definición unitaria que agrupara al conjunto de actores, donde muchas veces la definición dependía del país, empresa, universidad o incluso región. Hay una expansión de la visión de la disciplina no sólo lo que tiene que ver con el concepto, sino con sus propuestas, proyectos y programas de investigación, donde las universidades públicas ya no son el principal actor del proceso para integrar instituciones privadas, empresas y nuevas redes en la generación de una agenda de innovación así como en la orientación de la biología sintética en el país (Chávez, 2020; Marcos, 2019; Olivares, 2019).

Por lo anterior, los actores del proceso innovativo dejaron de ser sólo universidades públicas así como el Estado dejó de ser el único financiador de los proyectos ante los apoyos recibidos para iGEM por instancias privadas, en contraste con la primera etapa. En el caso de las instituciones públicas, las empresas no tuvieron un papel relevante en la trayectoria de la

biología sintética de forma interna, siguiendo con las fuentes de financiamiento tradicional como son los apoyos instituciones o actividades de crowdfunding, no así en el caso de las instituciones privadas, que jugaron un rol relevante en el apoyo de los proyectos sin conocerse con certeza el nivel de injerencia que tuvieron (Chávez, 2020; Loera 2020; Marcos 2019; Paz, 2019).

La aparición de estos actores en el desarrollo de la biología sintética en el país permiten un cambio de visión y orientación ante la creciente participación de empresas principalmente en los equipos del Tec con la capacidad de controlar cómo orientar la agenda de investigación de los proyectos y su aplicación, lo cual generó un nuevo proceso de co-construcción basada en otra lógica de apropiación del conocimiento y sus resultados, que se vincula a las formas de apropiación privada, la cual está influenciada por los nuevos modelos de economía basados en la bioeconomía (Chávez, 2020).

A diferencia de las instituciones de educación públicas como la UNAM, el IPN y la UANL, que tienen como objetivo la generación de conocimiento y su disseminación, el Tec plantea otro modelo de producción, distribución, acceso y apropiación de éste, lo que permite plantear diferentes objetivos, intereses y valores de los participantes que contrastan entre sí, tanto en su enfoque como en su planeamiento ante una nueva forma de apropiación que está vinculada a una perspectiva empresarial y de patentamiento del conocimiento.

En consecuencia, se desarrollaron nuevas trayectorias dentro de la biología sintética que son divergentes y contrarias por las instituciones que participaron en el proceso, ante el hecho de que cada equipo desarrolló una trayectoria particular, que a la par permitió la continuidad de los procesos innovativos que se venían dando desde la primera etapa, en la conformación de una comunidad y redes de conocimiento ante las nuevas dinámicas, alianzas y articulaciones, nuevos marcos colaborativos entre los equipos e instituciones y canales de comunicación entre los participantes.

Otra característica que sobresale es el inicio de la etapa de institucionalización de la biología sintética a nivel licenciatura y posgrado, principalmente en universidades públicas, el cual es lento en comparación a otros países por la falta de apoyos gubernamentales, entendimiento del tema, dudas sobre su utilidad práctica y funcionamiento, carencia de docentes o investigadores especializados, nuevos espacios institucionales como clases, cátedras, laboratorios y a la poca capacidad de colocar a los graduados de los posgrados nacionales e internacionales dentro de los cuerpos científicos o líneas de investigación ya

consolidados que permitan un proceso de apertura a las nuevas disciplinas (Castro, 2011; Chávez, 2020; Marcos, 2019; Olivaras, 2019).

A pesar de las iniciativas de articulación, formación y retroalimentación que puso en práctica la comunidad a través de las redes durante toda la etapa, el crecimiento y expansión de los equipos permitió una mayor cohesión entre éstos, la realización de múltiples eventos para enrolar nuevos actores, las principales estructuras organizativas como son Biosintética A.C y la Red Nacional de Biología Sintética que tienen una injerencia limitada dentro de las universidades ante la poca capacidad de incidir en la toma de decisión a nivel institucional, muchas de sus acciones dependían en gran medida de los intereses y voluntades individuales para llevar a cabo las actividades así como la conexión con otros actores de forma circunstancial (Loera, 2020; Marcos, 2019; Paz, 2019).

A pesar de ello, sus capacidades de enrolar nuevos actores a la comunidad en biología sintética creció en comparación a la primer etapa, por las actividades de difusión y las nuevas estrategias de comunicación, la conformación de redes internas y externas en las universidades que permitieron un proceso innovativo que trasciende los aspectos científicos y técnicos para considerar aspectos sociales como múltiples niveles de colaboración con la constitución de grupos de trabajo dentro de estas para reclutar, organizar y coordinar a los equipos de el iGEM, muchas veces con poco o limitado apoyo institucional.

Gracias a estos esfuerzos son las redes establecidas las que tomaron la batuta en la construcción, difusión y orientación de la biología sintética ante la poca o nula participación de actores gubernamentales en el proceso y la ausencia del Estado a través de sus instituciones para impulsar políticas orientadas en promover la disciplina, las organizaciones han asumido el proceso de dirección en colaboración con estudiantes e investigadores de un puñado de universidades en México, donde muchas de las actividades y proyectos realizados están vinculados al entusiasmo de los estudiantes más que a un proyecto institucional de las universidades o centros de investigación participantes (Chávez, 2020; Loera, 2020; Olivares, 2019).

Respecto a los equipos, en la segunda etapa es más visible un cambio de roles y generacional de estudiantes como investigadores, una renovación de actores donde los estudiantes que habían participado previamente pasaron a tomar puestos como asesores o instructores dentro de los nuevos equipos, en algunos casos hay un proceso de formación de los participantes posterior a la competencia a nivel posgrado nacional e internacional o la

asistencia a eventos fuera del país en representación de la comunidad de biología sintética nacional (Chávez, 2020; Loera, 2020; Marcos, 2019; Paz, 2019).

Se continúa con problemas que son recurrentes desde la primera etapa en la mayoría de los equipos, como son las dificultades burocráticas y aduanales, los costos elevados en los insumos y material de laboratorio, falta de apoyo institucional para cubrir todos los gastos en la competencia, docentes que asuman la orientación de los proyectos, la mayoría de los investigadores no están al tanto de los avances al no ser una disciplina consolidada dentro de la biología, dificultad de realizar los proyectos dentro de los plazos fijados ante la ausencia de laboratorios especializados, la falta de formación de los estudiantes, la carga de trabajo a la hora de compaginar las actividades escolares con las de investigación, los procesos de titulación, el entendimiento del ADN, la importación de material sintético, las capacidades en los equipos muchas veces dependen del entusiasmo de los estudiantes a nivel licenciatura, lo cual no termina en la generación de nuevos proyectos o publicaciones en el tema, problemas de regulación, ausencia de vinculación con investigadores dentro de los institutos, departamentos o facultades, el proceso de selección de los nuevos integrantes de los equipos, acceso a publicaciones especializadas en el tema o asociadas al concepto, migración de estudiantes por formación en posgrados, falta de transmisión de conocimiento para su aplicación práctica donde la mayoría de los proyectos no tiene un uso, ausencia de mecanismos de articulación que permita la colaboración entre universidades, disponibilidad y acceso a nuevas tecnologías, existencia de empresas mexicanas que sinteticen a bajo costo las secuencias, dependencia de reactivos y materiales del extranjero para llevar adelante los experimentos, estos elementos dificultan un proceso de estabilización de la biología sintética como disciplina dentro de las universidades tanto públicas como privadas (Chávez, 2020; Loera, 2020; Marcos, 2019; Olivares, 2019; Paz, 2019).

Por último, a pesar de la aparición de nuevas propuestas, espacios y grupos vinculados a la perspectiva DIY a partir del último año del periodo, que en principio están vinculados a las formas de apropiación social del conocimiento dentro de la biología sintética, no tienen un impacto significativo dentro de su desarrollo y orientación a nivel nacional, muchas de sus acciones se quedan en el ámbito local o regional sin representar actores de peso en el proceso de construcción como definición, a la par que son pocos grupos así como espacios que se asuman como tal (Marco, 2019).

3.1.3 Etapa de desarrollo (2015-2019)

A diferencia de las dos etapas previas donde hubo una ausencia significativa del Estado mexicano y los gobiernos federales en turno en el desarrollo e impulso de la biología sintética, en el monitoreo de la actividad científica, temas de regulación y bioseguridad, durante la tercera etapa hubo un cambio drástico, gracias a que a nivel internacional y como parte de los debates dentro del CDB que se llevaron a cabo desde el 2010, tuvo mayor impacto las implicaciones ambientales, éticas, de salud, legales y sociales dentro del marco de gobernanza de la biología sintética.

En el 2015 hubo un cambio en la posición de México a partir de la notificación 2015-013 -SCBD/BS/CG/MPM/DA/84279- del CBD, fechada el 06 de febrero de 2015, lo que permitió la conformación de un Grupo de Trabajo en Biología Sintética (GT BioS) conformado por expertos nacionales que participaron en la discusión sobre la posición del país, así como la búsqueda de una definición a partir de los lineamientos de bioseguridad nacional, el análisis e implementación de los ejes del convenio y conocer la situación a nivel de investigación. Todo esto se dio a partir de la convocatoria de la CIBIOGEM del gobierno en turno del presidente Lic. Enrique Peña Nieto (CIBIOGEM, 2016; Itzanaya, 2019; SEMARNAT, 2015b).

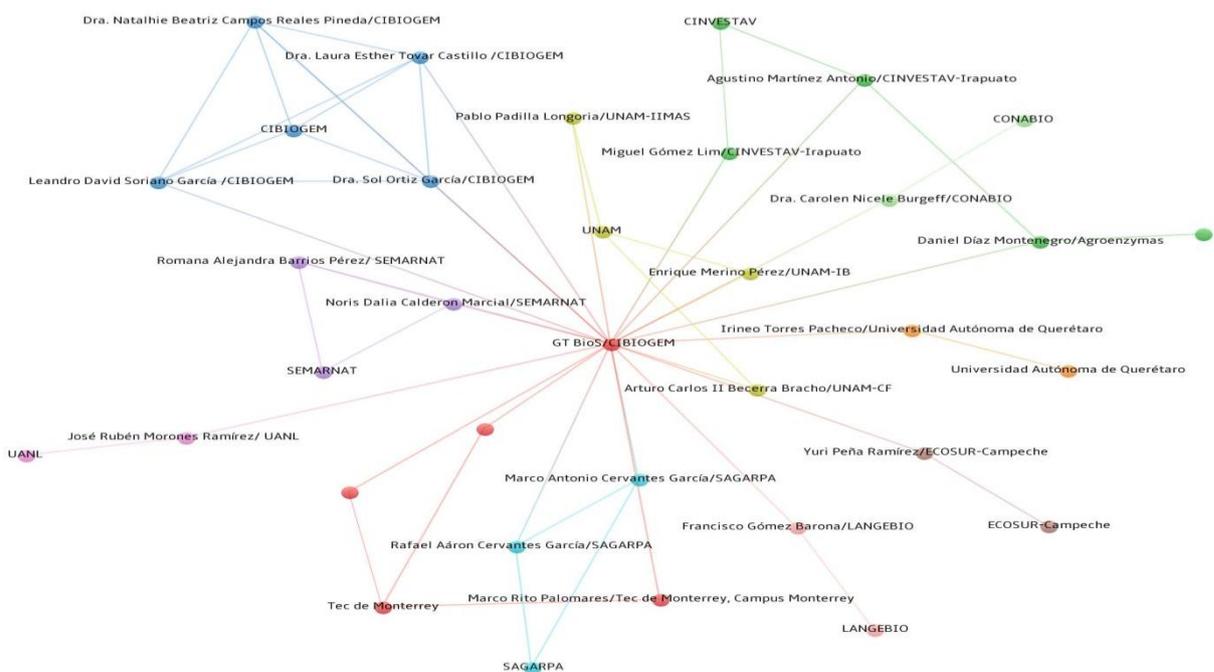
De igual forma, en ese mismo año, a partir de la notificación 2015-032 -SCBD/BS/CG/MPM/DA/84355- se dio la nominación de seis expertos de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) y la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), donde también hubo representantes de la UANL, ECOSUR, el Tec de Monterrey y Agroenzymas, en las discusiones online en apoyo al Grupo de Expertos Técnicos Ad Hoc (ATHEG, por sus siglas en inglés), del cual posteriormente sería parte la Mtra. María Andrea Orjuela Restrepo de la CONABIO (CIBIOGEM, 2015b; CIBIOGEM, 2016; Cuevas, 2020; Entrevista 2; Red Nacional de Biología Sintética, 2015; SEMARNAT, 2015b).

Para la conformación del GT BioS CIBIOGEM se convocó en una primera reunión a 22 investigadores de distintas universidades y centros de investigación del país, integrándose el grupo oficialmente el 25 de marzo del mismo año, conformado por 12 investigadores de instituciones como CINVESTAV, UANL, Tec de Monterrey, UNAM, ECOSUR, Universidad Autónoma de Querétaro y la empresa Agroenzymas (Ver anexo 6.). Este GT, tuvo como

objetivo discutir y opinar respecto a los lineamientos del CBD, así como su aplicación (CIBIOGEM, 2015b; Olivares, 2019).

Posteriormente se realizó una segunda reunión el 07 de abril del GT BioS de forma amplia (Ver la imagen 7.), en la cual participaron autoridades de la SEMARNAT, CONABIO, CIBIOGEM y de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), con el objetivo de actualizar la información técnica, discutir una definición operativa y las consecuencias de los organismos sintéticos en la diversidad biológica del país (CIBIOGEM, 2016b; Olivares, 2019).

Imagen 7. Grupo de Trabajo ampliado en Biología Sintética



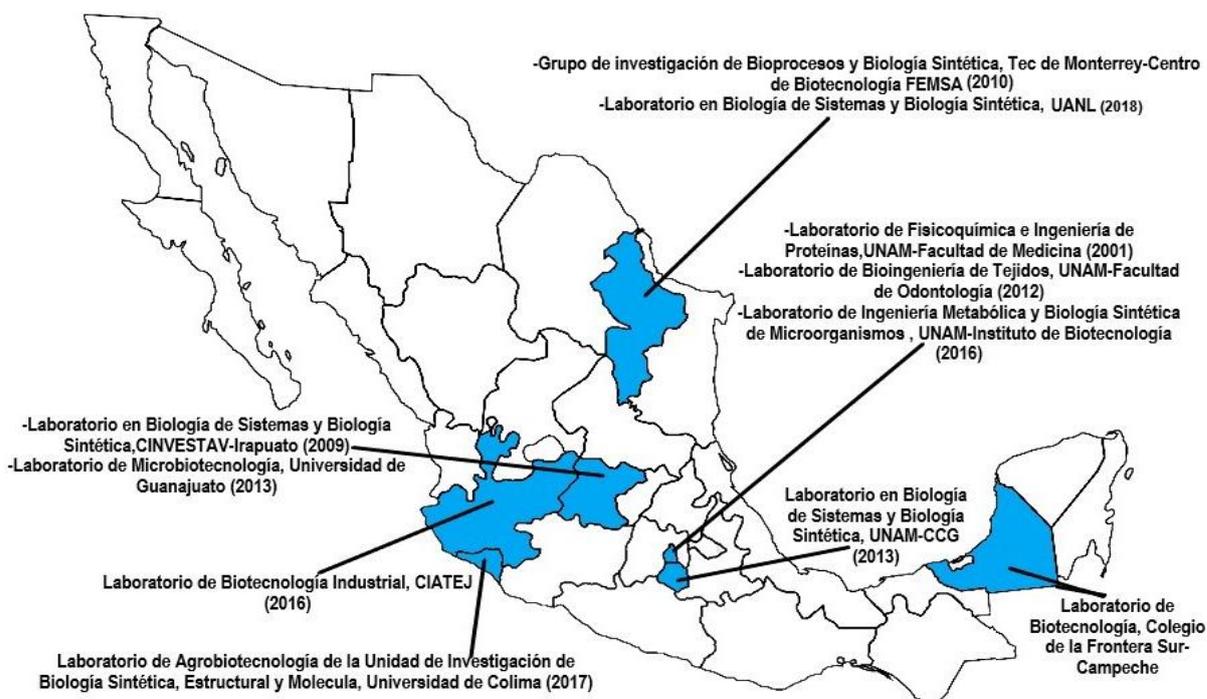
Fuente: Elaboración propia a partir de CIBIOGEM, 2015b; CIBIOGEM, 2015c.

Se siguió con la participación de equipos en el iGEM; de los ocho registrados en 2015, siete provenían del Tec de Monterrey. En el caso del equipo del Tec Campus Chihuahua, fue una colaboración con el Centro de Investigación en Materiales Avanzados (CIMAV) y la Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH), y ante las dificultades planteadas que atravesaron las universidades públicas, por primera vez se conformó un equipo en representación de la UNAM sólo de la Ciudad Universitaria que convocó y aglutinó a estudiantes de diferentes facultades e institutos¹⁶.

¹⁶ La información fue obtenida de <https://igem.org/Team>.

Durante el 2015 el CINVESTAV-Irapuato continuó con el vínculo con Agroenzymas en la búsqueda de biosíntesis de biorreguladores vegetales y biocolorantes de alimentos por medio de biología sintética, proyecto que acabó en diciembre de ese mismo año. A su vez se desarrollaron nuevas experiencias de emprendimiento a partir de la conformación de empresas como BioPhrame Technologies, que se desprendió de la participación de alumnos del Tec Campus Guadalajara en el iGEM, y Noxgen Biotech ubicada en Cuernavaca¹⁷, la cual cuenta con un laboratorio con nivel de seguridad 2¹⁸ (CINVESTAV-Irapuato, 2016; Notimex, 2015).

Imagen 8. Laboratorios de Biología Sintética en México



Fuente: Elaboración propia a partir de Bardoza, 2016; Entrevista 11; <http://132.248.76.197/index.php/es>; <https://www.ibt.unam.mx>; Red Nacional de Biología Sintética, 2021.

Hasta inicios de la tercera etapa existían de manera formal pocos laboratorios en México que de manera explícita asumían el enfoque de la biología sintética como parte de su trabajo -CCG-2013, CINVESTAV-2009 y Tec de Monterrey-2010- (Ver la imagen 8), contando en algunos casos con investigadores como el Dr. José Eleazar Barboza de la

¹⁷La información fue obtenida de <https://www.noxgenbiotech.com/>.

¹⁸El Nivel 2 de Bioseguridad (...) es adecuado para el trabajo en clínicas en las cuales, el material que se recibe incluye un amplio espectro de agentes que presentan riesgos moderados para el personal o para el ambiente (...) tienen: 1) el personal de laboratorio tiene entrenamiento específico en el manejo de agentes patógenos y está dirigido por profesionistas competentes; 2) se limita el acceso al laboratorio cuando se está desarrollando el trabajo; 3) se toman extremas precauciones con el manejo de instrumentos punzocortantes y 4) ciertos procedimientos en los cuales se generan aerosoles infecciosos o salpicaduras, se llevan a cabo en gabinetes de seguridad u otros equipos de contención física. La información fue obtenida de http://depa.fquim.unam.mx/bioseguridad/bio/bio_nivel02.html

Universidad de Guanajuato y el Dr. Yuri Peña, del Colegio de la Frontera Sur, unidad Campeche, quienes utilizaban los conocimientos y técnicas del área en otro tipo de laboratorio, o el Laboratorio de Físicoquímica e Ingeniería de Proteínas de la Facultad de Medicina/UNAM y de Bioingeniería de Tejidos de la Facultad de Odontología/UNAM¹⁹, que dentro de su descripción de enfoque, asumen la disciplina como área de interés o línea de investigación (Bardoza, 2016; Red Nacional de Biología Sintética, 2021).

Del mismo modo, durante el 2016 se continuó con la conformación de nuevos espacios empresariales con la creación de la start-up BioLex.corp²⁰ y StrainBiotech, compañías con vínculos con Langebio y Biosintética A.C²¹. En el caso del proceso de institucionalización en la Licenciatura de Ingeniería en Sistemas Biológicos de la Universidad de Guadalajara, se asume enseñanza de la biología sintética como una unidad de aprendizaje. Por otro lado, en el ámbito gubernamental se da la participación de la Mtra. María Andrea Orjuela Restrepo de la CONABIO en las discusiones del ATHEG en abril en Costa Rica y se da inicio al proyecto de investigación *Generando nuevos paradigmas dentro de la biología sintética aplicados al estudio de estresomas celulares*, financiado por el CONACYT hasta el 2019, siendo el responsable el Dr. Enrique Merino Pérez del Instituto de Biotecnología²² (CIBIOGEM, 2016b; Orjuela, 2019; Universidad de Guadalajara, 2016).

En ese mismo año se continuó con los proyectos de vinculación entre el CINVESTAV y Agroenzymas, siendo el último año en colaborar de forma conjunta, en la búsqueda de la biosíntesis de un madurador de frutos y bicolorantes. Respecto a la participación en la competencia iGEM, de los nueve equipos registrados, seis provienen del Tec de Monterrey, uno de la UNAM, otro del IPN y el último es una colaboración entre universidades públicas y privadas como el IPN, UNAM, Universidad de Guanajuato y el Tec de Querétaro²³. También se da la primera participación de algunos equipos de estudiantes de México en la competencia TecnoX, realizada en abril en el estado de Guanajuato, la cual se desarrolló como alternativa a la participación en iGEM, dados los altos costos en la inscripción, hospedaje, transporte y viáticos que implicaba participar en este concurso, donde muchos de los equipos a nivel

¹⁹La información fue obtenida de <http://132.248.76.197/index.php/es>.

²⁰La información fue obtenida de <https://www.linkedin.com/in/francisco-cruz-rodriguez-a28566b4/>.

²¹ La información fue obtenida de http://www.foroconsultivo.org.mx/forum/2017_noviembre/files/basic-html/page19.html

²² La información fue obtenida de <https://www.ibt.unam.mx/perfil/2627/dr-enrique-merino-perez>.

²³ La información fue obtenida de <https://igem.org/Team>.

Latinoamérica no podían costear estos costos de forma regular (CINVESTAV, 2017; De la Barrera, 2017; Marcos, 2019; Ochoa *et al*, 2016; Paz, 2019).

Otras actividades sobresalientes en 2016 es la creación de un programa educativo sobre biología sintética y biocombustibles dentro de los Clubes de Ciencias de México. A su vez, México fue a finales del año anfitrión de la 13 Conferencia de las Partes sobre Biodiversidad (COP13) del CDB, donde se discutió a la biología sintética como un tema transversal, donde la posición del gobierno mexicano fue impulsar el establecimiento de esquemas normativos flexibles para el desarrollo de la disciplina, así como la creación de guías de procedimientos y lineamientos técnicos como algo deseable. Respecto al tema de la bioseguridad, se proponía una aproximación del análisis caso por caso con fundamentos científicos y en consenso con las partes involucradas en el tema, a fin de establecer tanto los elementos como los criterios respecto al uso de las tecnologías así como metodologías asociadas, y los productos derivados de su aplicación (Benítez, 2016; CIBIOGEM, 2016C; Clubes de Ciencias México, 2016; Hernández, 2019; Marcos, 2019).

Rumbo a la COP 13, México propuso una definición sobre biología sintética como parte de los trabajos realizados GT previamente convocado por CIBIOGEM, siendo en última instancia adoptada la definición operativa propuesta por el CDB durante la COP13, utilizada como punto de partida para analizar y abordar el tema sin dejar de discutir o mejorar el concepto presentado y examinar sus consecuencias de la aplicación en la biodiversidad (Itzanaya, 2019; SERMARNAT, 2017).

En marzo del 2017 el gobierno de México a través de la CIBIOGEM y por medio de la notificación SCBD/SPS/DC/MW/86375, presentó un documento donde se aportaba información sobre el posicionamiento y uso de la biología sintética en el país, el cual planteaba de forma genérica dentro de la regulación de los organismos sintéticos, que estos entran dentro de los lineamientos del Protocolo de Cartagena (2003) en cuando a los criterios para su uso y liberación, ya que entraba dentro de las disposiciones respecto al movimiento transfronterizo de los OGM generados a partir de la ingeniería genética. A su vez, se presentaron datos empíricos sobre los beneficios y posibles efectos adversos de los organismos sintéticos, principalmente en el área agrícola, donde se dejó ver las deficiencias en materia de regulación para el uso de la biología sintética con el fin de poder cumplir con los objetivos del CDB, respecto a la distribución de beneficios, la falta de experiencia en la evaluación de riesgo de los productos nuevos ante la persistencia del modelo para analizar los

OGM y la ausencia a nivel nacional de algún instrumento jurídico normativo o protocolo que regule de forma específica a los organismos generados por biología sintética (CIBIOGEM, 2017; Itzanaya, 2019).

Con lo que respecta iGEM, en 2017 hubo menos equipos inscritos, sólo contando con tres grupos provenientes del Tec de Monterrey²⁴, ante el contexto de la ausencia de universidades públicas y como parte de las iniciativas DIY en el país, se realizó en marzo en Querétaro el evento BIOHACK LATAM, el cual tuvo como objetivo convocar y articular a la comunidad de biohackers no sólo de México, sino de toda A.L con la intención de generar estrategias de difusión. También se llevó a cabo la competencia TECNOx 2.0 en abril en el estado de Jalisco, la cual funcionaba como el iGEM respecto a la presentación de proyectos científicos y la asignación de premios (De la Barrera, 2017; Marcos, 2019; Paz, 2019; Red Nacional de Biología Sintética, 2018).

Por otro lado, ocurrieron cambios importantes con lo que respecta a la investigación y la especialización de los laboratorios. Uno de ello, fue la fundación del Laboratorio de Agrobiotecnología de la Unidad de Investigación de Biología Sintética, Estructural y Molecular en la Universidad de Colima, con el cual se buscó generar ciencia de frontera con conocimientos transferibles, así como la conformación de ALLBIOTECH, una iniciativa que convocó y articuló a jóvenes líderes con el fin de incidir en la industria biotecnológica de A.L, la cual tiene como objetivo el aprovechamiento de los recursos genéticos como parte del nuevo modelo económico basado en la bioeconomía²⁵ (Centeno, 2020; Marcos, 2019).

En el caso de la conformación de nuevos emprendimientos empresariales, surge la empresa Polybion, la cual se basó en un proyecto presentado en el iGEM por estudiantes del Tec de Monterrey y la creación de la Start-up Scintia, que tenía como objetivo luchar contra la dependencia tecnológica desde una perspectiva DIY, siendo un actor relevante en la última etapa de la biología sintética en el país ante el hecho de que su director es embajador de iGEM para Latinoamérica y fue parte del Consejo Consultivo Mixto de CIBIOGEM previo a la entrada del nuevo gobierno federal a finales de 2018 (Figuroa, 2020; Milenio, 2018; Red Nacional de Biología Sintética, 2018).

En cambio más relevante del 2017 fue la organización por parte de la Red Nacional de Biología Sintética del 2do Foro de Biología Sintética a nivel nacional llevado a cabo el 8 y 9

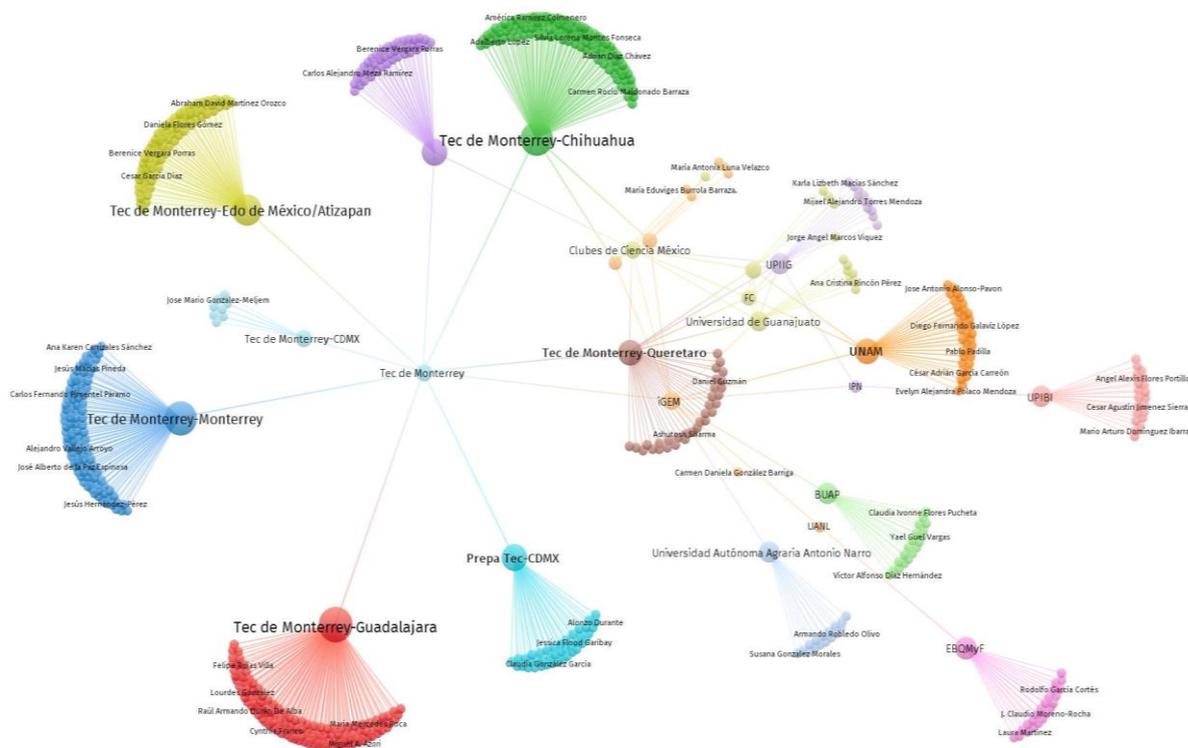
²⁴ La información fue obtenida de <https://igem.org/Team>.

²⁵ La información fue obtenida de <https://www.allbiotech.org/historia/>.

de diciembre en las instalaciones de AGROBIOTEG con apoyo del gobierno de Guanajuato, convocando a los principales investigadores del país que están trabajando a partir de los fundamentos de la biología sintética, con el objetivo de crear nuevas redes de colaboración entre los asistentes para impulsar su desarrollo tecnológico en el país. En ese momento se tenía mayor claridad de los actores que estaban utilizando los conocimientos asociados a la disciplina (Chávez, 2020; Figueroa, 2020;Loera, 2019; Marcos, 2019).

De este foro se desprende la necesidad de consolidar un nuevo núcleo organizativo que funja como grupo operativo de la Red ante la reducción de sus integrantes, por el apoyo esporádico de estudiantes nacionales e internacionales en las actividades ante la carga de trabajo, por lo que se buscó concentrar las capacidades organizativas y de toma de decisión en los docentes e investigadores nacionales pertenecientes a la Red, para darle continuidad a la promoción y difusión entre la industria y la academia, lo que planteó durante todo el 2018 una etapa de transición e inactividad (Chávez, 2020; Figueroa, 2020;Loera, 2019; Marcos, 2019).

Imagen 9. Equipos iGEM (2015-2019)



Fuente: Elaboración propia a partir de <https://igem.org/Team>.

Durante el 2018 se consolidó la relevancia del Tec de Monterrey en la conformación de equipos para el iGEM, sólo registrándose cuatro en ese año, todos provenientes de dicha institución, lo que le da el carácter de actor central durante toda la etapa de desarrollo con lo

que respecta a esta competencia, al ser la institución con mayor participación en comparación con otras instituciones (Ver la imagen 9.). Hasta ese momento la posición del gobierno mexicano en turno era considerar a la biología sintética como una de las doce tecnologías emergentes claves en el desarrollo de un nuevo modelo de producción, un sector de inversión en la economía verde, que a la par fungía como un factor de riesgo global de relevancia estratégica, donde el concepto de bioseguridad vigente en la Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados (LBOGM) con respecto a los OGM se enfoca en los organismos de primera generación, no así en otro tipo de OGM derivados de la biología sintética, la edición genética o los impulsores genéticos, por lo cual, se planteaba la necesidad de considerar una postura con enfoque precautorio para su introducción al ambiente (CESOP, 2017; 2018; 2018b; SEMARNAT, 2018).

De igual forma, durante 2018 se avanzó en la conformación de nuevos espacios de investigación especializados en biología sintética, con la creación del Laboratorio de Biología Sintética y de Sistemas en el Centro de Investigación en Biotecnología y Nanotecnología en la UANL, mientras que se incluyó dentro del mapa curricular de la Licenciatura en Ciencias Genómicas en la ENES-Juriquilla²⁶, como parte de su proceso de institucionalización (Bardoza, 2016; Red Nacional de Biología Sintética, 2021).

A finales de ese año en México se da el cambio de gobierno a nivel federal, iniciado su mandato de 6 años el presidente Lic. Andrés Manuel López Obrador, el cual va trastocar el rumbo de la investigación en el país ante los cambios en las formas de financiamiento de los proyectos científicos que plantea el nuevo gobierno y ante el retiro parcial de éste respecto a los apoyos otorgados a los investigadores, donde el Estado deja de ser el principal financiador para buscar nuevas fuentes de inversión. Otros cambios que se dieron, es la invitación al empresario Alfonso Romo para sumarse al gabinete presidencial, empresario vinculado desde el 2005 a la biología sintética y quien sigue vigente en la industria, y el cambio de política respecto a la introducción y cultivo de OGM al país que dentro de la LBOGM contempla a los organismos producto de la biología sintética (Marcos, 2019).

A pesar del nuevo enfoque del gobierno en turno, durante 2019 se continuó con el desarrollo de empresas en México orientadas a la biología sintética, como es el caso de Synbiomisc Group, el cual es un conglomerado de start-up nacionales e internacionales bajo

²⁶ La información fue obtenida de <http://liigh.unam.mx/licenciatura-en-ciencias-genomicas-enes-juriquilla/>.

la óptica de emprendimiento, que tiene vínculos comerciales con empresas como Monsanto²⁷, y la búsqueda de inversión privada en el CIATEJ A.C para la construcción de un laboratorio de Biología Sintética (CIATEJ, 2018).

En el caso del iGEM, el Tec de Monterrey siguió teniendo una participación central, ya que de los ocho equipos del 2019, cinco eran de los campus del Tec, repitiéndose el mismo patrón durante toda la etapa de desarrollo respecto a la centralidad de dicha universidad en el proceso. Por otro lado, a finales de año la Red Nacional de Biología Sintética organizó en el Tec campus Guadalajara el 3er Foro de Biología Sintética en México, llevado a cabo el 6 de diciembre bajo la nueva coordinación de la red por parte del Dr. Luis Figueroa Yáñez (Figueroa, 2020; Loera, 2019; Red Nacional de Biología Sintética, 2019).

La tercera etapa se caracteriza por una disminución considerable de equipos provenientes de universidades públicas en el iGEM, consolidándose como un actor central el Tec de Monterrey en el proceso ante la constante participación y el número de equipos participantes todos los años, lo que fijó un patrón de comportamiento que se reprodujo cada año y le da el carácter de actor relevante al menos con lo que respecta a la competencia.

Al menos en México las universidades públicas y sus laboratorios son actores esenciales y relevantes para los sistemas nacionales de innovación, al concentrar la mayoría de los procesos de institucionalización a nivel licenciatura como posgrado y los esfuerzos por crear laboratorios especializados en biología sintética, lo que posibilita nuevas redes de conocimiento, la formación de recursos humanos especializados y acrecienta su comunidad en el país (De Greiff y Maldonado, 2011).

No así la innovación comercial de productos o servicios, al contar con una participación marginal donde el proceso recae principalmente en empresas transnacionales, esto se debe a la poca vinculación entre la academia y las empresas, los bajos niveles de generación de nuevos conocimientos y desarrollos tecnológicos, la falta de redes institucionales o departamentos de transferencia tecnológica donde las universidades asuman la tutela del posicionamiento del producto o servicio, y principalmente el sector público de investigación no suele ser una fuente de información relevante para las empresas ante los altos costos y tiempos invertidos (Hernández, 2019).

²⁷ La información fue obtenida de <https://bioemprendiendo.com/podcast/synbiomics-group/>.

Si bien hay un aumento considerable en el ritmo y el tamaño de investigación hecha en el laboratorio, muchas veces ésta investigación es básica, en comparación con las etapas previas, además se da un proceso de institucionalización más amplio en diferentes niveles. A pesar de ello, las actividades de investigación están dispersas en el país y se concentran en un número reducido de laboratorios así como de investigadores, el cual es un pequeño sector académico en comparación con otras disciplinas, que cuenta con pocos instrumentos y capacidad de influir en su orientación de manera interna en las universidades o facultades, así como de generar una política pública que la promueva e incitar el interés de la industria por vincularse (Gaisser *et al*, 2009).

A diferencia de los modelos académicos extranjeros o de las disciplinas ya consolidadas en el país, donde las comunidades convergen en actividades comunes nacional e internacional, organizándose por medio de programas nacionales de financiamiento, en México apenas se está consolidando una comunidad en biología sintética a través de iniciativas como la Red Nacional de Biología Sintética. Esto no quiere decir que previamente no hubo intentos por articularse para aumentar las capacidades de enrolamiento de la comunidad, sino que los esfuerzos no fueron suficientes. Se sigue construyendo la agenda de investigación a partir de la comunidad de investigación, la cual no está definida por la multiplicidad de actores que participan y las múltiples visiones que tienen al respecto (De la Barrera, 2017; Kastenhofer, 2016; Paz, 2018).

Si bien se busca estabilizar una comunidad en biología sintética en el país, se ha visto impedido por la falta de definición como una disciplina dentro de las ciencias biológicas, no hay cambio de percepción de las disciplinas dentro de la biología porque la biología sintética no tiene resultados a corto plazo, muchos programas de investigación y laboratorios apenas es un tema tangencial, a pesar del crecimiento de los grupos vinculados a la biología sintética, hay un rezago de publicaciones nacionales como característica de los países en vías de desarrollo bajo las condiciones en que se produjeron, falta de apoyo gubernamental para abrir nuevos espacios académicos y nuevos laboratorios, hay una fuga de cerebros ante las pocas ofertas laborales, problemas de burocracia que obstruyen la innovación, la mayoría de investigadores que apoyan a los equipos o las actividades de enrolamiento eran de otras disciplinas o cuerpos académicos, en los últimos años hubo un cambio ante el relevo generacional y un creciente número de estudiantes formados en posgrado que se han formado

específicamente en biología sintética (Castro, 2011; Kastenhofer, 2016; Marcos, 2019; Olivares, 2019; Ramírez, 2019).

Si bien actualmente hay un crecimiento de empresas biotecnológicas a nivel nacional y un mayor grupo de investigaciones en áreas vinculadas a la biología sintética, no se cuenta con una industria con el poder y la capacidad de llevar adelante los desarrollos, mientras que son pocos los emprendimientos, empresas o start-ups que ofrecen un servicio especializado. Si bien se cuenta con las capacidades de conocimiento así como tecnológicas para competir de forma comercial a nivel regional, no así a nivel global por la falta de patentes, desarrollos y acceso a nuevas tecnologías (Chávez, 2020; Olivares, 2019; Paz, 2018).

Por otro lado, a pesar del surgimiento de iniciativas y organizaciones vinculadas al movimiento DIY en la biología sintética, éste no es una visión generalizada a pesar de los eventos organizados en México, al no haber un cambio en la comunidad respecto a sus prácticas en la apropiación del conocimiento, su éxito si bien está vinculado a las carencias estructurales sigue siendo un actividad costosa para el país, mientras que no se tiene un mercado consolidado para posicionar sus productos y servicios de forma aplicada (Lazos *et al*, 2013; Marcos, 2019).

Desde el principio aparecieron redes, organizaciones y actores que cubrieron parcialmente las funciones del Estado en el desarrollo e impulso de la biología sintética en el país, no fue sino hasta la última etapa donde el gobierno mexicano se interesó por el tema, principalmente lo que tiene que ver con los marcos de bioseguridad y el establecimiento de los lineamientos del CDB. En este contexto, actores como la Red Nacional de Biología Sintética juegan un papel central en la articulación, coordinación y difusión de la disciplina en el país con una visión de soberanía sobre los recursos genéticos a utilizarse para el aprovechamiento por parte de investigadores nacionales (Chávez, 2020; Figueroa, 2020; Loera, 2020).

Este cambio en el papel del Estado en la última etapa, así como del gobierno a nivel federal, no se tradujo en políticas públicas, financiamiento, apoyos monetarios, equipamiento, rutas de trabajo, que apoyen el desarrollo de la biología sintética a nivel nacional. Falta una definición y discusión amplia respecto a los impactos potenciales y consecuencias negativas para la diversidad, siendo pocos grupos los que se oponen a su uso, por los tanto, la biología sintética no está determinada por la política en Ciencia y Tecnología del país (Chávez, 2020; Figueroa, 2020; Loera, 2020).

3.2 La bioseguridad y las implicaciones de la información digital de secuencias de los recursos genéticos en México

Importantes cambios se han dado a lo largo de los últimos 50 años en las ciencias biológicas con el aumento de la infraestructura para las ciencias de la vida, lo que posteriormente sería un red global con un crecimiento exponencial en las últimas dos décadas por el desarrollo de nuevos conocimientos disciplinares que sobrepasan el entendimiento de la vida por las tecnologías de edición genética, su simple aparición genera grandes expectativas así como nuevos riesgos, aumentado los existentes y las dificultades para evaluarlos, sobrepasando la capacidad de prevención de algunos sistemas tecnológicos (Linares, 2007; Oldham, 2020).

La biología sintética tiene distintas aristas que por sí solas representan un reto para el análisis de sus componentes que sobrepasan la complejidad técnica de su práctica. Su principal característica son las incertidumbres en materia de bioseguridad, derivadas del uso y aplicación de sus conocimientos, las consecuencias no deseadas y los riesgos por el uso de tecnologías para la modificación genética, efectos que no se pueden prever y entorno a las cuales se han desarrollado una serie de discusiones que han sobrepasado los laboratorios ante el temor de que los organismos sintéticos salgan de ellos, siendo uno de los principales argumentos su liberación en el medio ambiente a nivel internacional con el cual se busca que se regule (Friends of the earth et al, 2012; Rebolledo, 2011).

A medida que se vayan diversificando los usos de la biología sintética será más urgente de nuevos marcos regulatorios o la adecuación de los existentes para que influyan en la dirección del cambio tecnológico y en sus patrones de comportamiento, que determinen los artefactos y sistemas tecnológicos, inversiones, estrategias de uso y desarrollo en las estructuras del mercado, la industria, los productos que se producen, comercializan y se ponen a disposición, así como las formas en las cuales se distribuyen los beneficios, costos y riesgos (Zwanenberg, 2013).

A pesar de que se busca que se conformen diferentes políticas de regulación a nivel internacional, estas puede que no sean homogéneas ni conciliadoras, por las negociaciones respecto a su funcionamiento, sentidos, usos y prácticas por parte de diferentes grupos sociales, las cuales podrían resultar difíciles de armonizar con las leyes al ser en algunos casos jurídicamente contradictorias con las legislaciones nacionales. Las regulaciones cambiarán las formas de crear, producir, desarrollar, distribuir y comercializar las innovaciones tecnológicas que se desprenden de la biología sintética, así como orientarán en lo político, cultural, social y económico a las sociedades a pesar de no seguir caminos lineales al discutirse dentro de un

entramado de relaciones sociales, culturales, científicas y políticas (Rebolledo, 2011; Vercelli, 2009).

Desde hace por lo menos una década la biología sintética ha estado en el centro de los debates y discusiones que se plantean respecto a las políticas sobre innovación en algunos países, tocando temas como la soberanía de los recursos genéticos, el acceso, distribución y participación de los beneficios de estos, la bioseguridad a partir del principio precautorio, cuestiones de índole ética ante el objetivo de crear organismos o secuencias genéticas nuevas o sintéticas, el uso de la información digital de las secuencias a partir de las bases de datos tanto públicas como privadas, por mencionar algunos temas (OMPI, 2019).

La biología sintética plantea el desafío de la construcción de un marco de bioseguridad que tome en consideración el contexto y las condiciones de los países donde se desarrolle, acorde a los peligros reales y necesidades de estos respecto a la regulación que vaya evolucionado con el desarrollo científico, ya que en las naciones megadiversas y en vías de desarrollo son aún mayores las incertidumbres así como los efectos de catástrofes no previstas. No solamente se requiere analizar los riesgos y efectos negativos que traería el uso de la biología sintética ante la falta de regulación que oriente su devenir científico y gestione las contingencias asociadas, sino también es necesario expandir el foco de discusión que permita darle cara a las incertidumbres y distribuir responsabilidades por todo lo que está en juego, estableciendo procedimientos transparentes en situación de duda, como las posibilidades y limitaciones de la intervención tomando en cuenta las consecuencias no deseadas ante la complejidad de los seres vivos (De Cózar, 2016; Gaviño, 2016; Moñivas, 2016).

De los aspectos bioéticos que se desprenden de la biología sintética se pueden dar las pautas así como las áreas que requieren regularse para no abusar de los conocimientos y se desarrollen armas biológicas, ya que actualmente existen en la mayoría de los países como México, vacíos legales y de información por parte de las autoridades respecto a qué conocimientos se están usando y quiénes realizan investigación científica, habiendo la posibilidad de que algunos organismos o secuencias sintéticas puedan ser introducidas sin tener una evaluación de bioseguridad por la falta de infraestructura técnica y capacidades logísticas de los países para la detección, identificación y monitoreo de estos organismos, lo que vuelve más complejos los retos ante los riesgos a la salud y en la preservación de la

biodiversidad a partir de eventos accidentales o intencionales de liberación al ambiente (ETC, 2018; Itzanaya, 2019; Rebolledo, 2011; Romeo, 2010).

Si bien los Estados a través de la generación de políticas públicas y mecanismos de bioseguridad en contubernio con un número limitado de organismos internacionales tienen el objetivo de velar, regular y proteger el acceso, uso y transferencia de los recursos genéticos, así como los conocimientos tradicionales, en la mayoría de los países están teniendo una peligrosa desatención en las agendas políticas que incluyan dentro de los debates las nuevas realidades tecnológicas que se desprenden de la biología sintética. Por lo cual, se desarrolla a partir de lagunas legales y de bioseguridad, donde los primeros esfuerzos de regulación están vinculados a las relaciones comerciales y el interés mercantil se superpone a las cuestiones de riesgo, lo que provoca una ausencia en la agenda legislativa y la falta de políticas que regulan, normen o reglamenten su desarrollo así como su aplicación (ETC, 2018b; Ramírez, 2019; Rebolledo, 2011; Tula y Vara, 2013; Vercelli, 2009).

Las principales amenazas latentes con lo que respecta a la biodiversidad, son la fusión de materiales sintéticos y organismos creados de *novo* con los sistemas vivos existentes, generando nuevos organismos que tengan como características ser híbridos y que no se puedan detectar o diferenciar con facilidad. En el caso de México, estos vacíos lo ponen ante una situación de emergencia. Los riesgos asociados a los procesos y productos derivados de la biología sintética son mayores por el hecho de ser un país de gran biodiversidad, el cual cuenta con recursos genéticos de todo tipo dispersos por todo el país, donde los lineamientos propuestos por el CDB no cubrirían en su totalidad las invenciones que se desprenden de ésta, ante el hecho de que no se requerirá el acceso físico a los recursos genéticos para que éstos puedan ser utilizados a partir del acceso virtual a la información genética a través de repositorios, bancos y bases de datos, donde su desarrollo ha superado de forma drástica las regulaciones actuales al no contemplar la transmisión de la información a través de nubes informáticas, lo que choca con los beneficios propuestos en la cultura de la investigación a partir de acceso abierto (Augusto, 2012; Bellver, 2016).

Las nuevas aplicaciones que se desprendan con la digitalización de la información genética impactarán en el uso de los recursos genéticos y en los lineamientos propuestos por el CDB con lo que respecta a su objetivo de reparto justo y equitativo de los beneficios, ya que no se tendrá la obligación de retribuir con algún tipo de beneficio a los que son los guardianes de éstos. Por consiguiente, el acceso a la información digital de las secuencias

genéticas promueve y abre nuevas ventanas de oportunidad para algunos respecto a las formas de biopiratería que puede pasar a una nueva modalidad, la biopiratería digital, la cual es más compleja porque va acompañada de la utilización de los conocimientos tradicionales con lo que respecta a su manejo y se desarrolla a partir de los vacíos jurídicos existentes, ante la falta de actualización de las nuevas realidades tecnológicas en los marcos de bioseguridad y de propiedad intelectual (ETC, 2018b; Ramírez, 2019).

Esto plantea nuevos retos y desafíos ante las limitaciones específicas que podría tener el Convenio sobre Diversidad Biológica (1992) y el Protocolo de Nagoya (2010), en tanto que la biología sintética altera y amenaza las obligaciones contraídas por los países en la conservación y uso sostenible de la biodiversidad, así también en las reglas en el acceso de los recursos genéticos y participación de los beneficios derivados de su uso, al no considerar dentro de sus postulados la transmisión digital de materiales biológicos o su información, donde los países subdesarrollados ricos en biodiversidad como México serán los más perjudicados ante la carencia, en la mayoría de los casos, de tecnologías, infraestructura e investigación para acceder y explotar de forma independiente sus recursos sin que estos sean utilizados por compañías transnacionales de forma ilegal, las cuales a su vez dependen en gran medida de estos y los protegen bajo distintos marcos legales de propiedad intelectual (Augusto, 2012; ETC, 2016b; Gadaleta, 2019; Grupo de trabajo internacional de la sociedad civil sobre biología sintética, 2011; Rebolledo, 2011).

Ante la carencia de un marco regulatorio al menos en el país que considere a la biología sintética de forma específica, su desarrollo y uso en la generación de nuevos productos, es necesario para México desarrollar nuevas disposiciones de bioseguridad por la insuficiencia que tendrían los instrumentos vigentes para comprender su alcance así como los riesgos, planteándose preguntas como ¿qué se tiene que regular?, ¿qué tipo de regulación es más factible dado los recursos genéticos con los que cuenta el país? ¿el país tiene las capacidades para verificar e inspeccionar?, ¿se tiene suficiente personal que esté capacitado para llevar adelante las actividades de detección, identificación y monitoreo?, ¿en qué momento tienen que intervenir las autoridades?, ¿se debe regular el procedimiento o el producto?, ¿son suficientes los llamados de autorregulación de los científicos para disminuir los riesgos?, ¿cómo regular la información digital de las secuencias genéticas?, ¿qué normas se requieren para evitar las transferencias digitales ilegales de información genética que hacen

una apropiación indebida los recursos genéticos del país?, entre muchas más interrogantes (ETC,2016b; Gaviño, 2016; González, 2006; Pastor y Ruiz, 2008).

3.2.1 El Convenio de Diversidad Biológica en México: acceso a los recursos genéticos y participación de los beneficios

Durante casi treinta años, se han desarrollado y entrelazado distintos mecanismos, convenios y protocolos a nivel internacional que han sistematizado y son la base de las negociaciones que norman el acceso a la biodiversidad, el intercambio de los recursos genéticos y la repartición de beneficios que muchos países como México han suscrito, los cuales parten del principio de que las naciones tienen la soberanía de los recursos genéticos que se encuentran dentro de sus fronteras (ETC, 2007; Domínguez, 2013; Gaviño, 2016).

El principal marco de referencia es el Convenio de Diversidad Biológica (CDB) elaborado en 1992, que planteó por sí mismo un antes y un después, al definir los mecanismos de control, el acceso y asignación de derechos respecto a los recursos genéticos, reconociendo a los Estados como los entes soberanos de ellos, y definiendo las reglas de acceso y la distribución justa y equitativa de beneficios derivados de su uso y aprovechamiento (ABS, por sus siglas en inglés). Posteriormente sigue en importancia el Protocolo de Cartagena sobre seguridad de la Biotecnología (2003), que regula los movimientos transfronterizos de los OGM y busca proteger de los riesgos de estos a la biodiversidad. Del CDB también se desprende el Protocolo de Nagoya e instrumentos complementarios como el Tratado Internacional sobre los Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura, las Directrices de Bonn sobre Acceso a los Recursos Genéticos y Distribución Justa y Equitativa de los Beneficios Provenientes de su Utilización, donde gran parte del interés y atención del CDB se concentra en los esfuerzos para elaborar, negociar y aplicar un régimen internacional sobre ABS (Gaviño, 2016; Grupo de trabajo internacional de la sociedad civil sobre biología sintética, 2011; OMPI, 2019; Ruiz, 2011).

Con la legislación por sí misma no se alcanzarán los objetivos de participación justa y equitativa de los beneficios que se deriven del uso de recursos genéticos, esto se debe a que en los avances tecnológicos de la biología sintética y las nuevas tecnologías de edición genética, los conocimientos avanzan más rápido que las regulaciones, lo plantea la necesidad del establecimiento, si es posible llegar a un consenso entre las partes y grupos interesados, de una política global de regulación o lineamientos nacionales para el caso de México, ante las

brechas de regulación y bioseguridad respecto al acceso así como el uso de organismos o componentes derivados de estas disciplinas (Chávez, 2019; González, 2018; Ruiz, 2011).

La evolución de la biología sintética en la última década, el crecimiento de la genómica, el desarrollo de nuevas herramientas para sintetizar químicamente genes que son cada vez más rápidas y asequibles, la disponibilidad de la información digital de las secuencias en bancos de datos de fácil acceso y muchas veces exclusivo de las empresas, universidades y centros de investigación, así como la secuenciación digital y la descarga de información por Internet para su posterior reconstrucción en los laboratorios, plantea cambios importantes que ponen entre dicho, alteran y vuelven obsoleto el tercer objetivo del CDB (Bagley, 2015; Jaimes et al, 2010).

El tercer objetivo plantea la participación justa y equitativa de los beneficios que deriven de la utilización de los recursos genéticos, debido al propio desarrollo y alcance tecnológico de la biología sintética que incorpora nuevas capacidades de secuenciación y uso de los recursos genéticos de forma digital, lo que anula los esfuerzos en la implementación del Protocolo de Nagoya sobre ABS, por el hecho de que la mayoría de los marcos jurídicos y de bioseguridad de los países no están siendo actualizados para analizar e incluir las realidades técnicas de los nuevos conocimientos (CIBIOGEM, 2019; ETC, 2018b; Grupo de trabajo internacional de la sociedad civil sobre biología sintética, 2011).

Ante los retos que se presentan con la biología sintética para el cumplimiento del CDB y el Protocolo de Nagoya en México, estos trae una oportunidad al gobierno mexicano tanto para actualizar así como modificar sus estrategias de ABS, con el objetivo de proporcionar seguridad jurídica con la elaboración de reglamentos claros y simples ante la falta de capacidades de implementar los convenios y protocolos vigentes, por la dificultad de llevarlos a cabo debido a su falta de entendimiento como es el caso del Protocolo de Nagoya, que permita la protección de los recursos genéticos e incorporen de forma sistemática las realidades científicas, tecnológicas y económicas que el uso de los conocimientos en biología sintética traen consigo (CDB, 2016c; Figueroa, 2020; Itzanaya, 2019; Sharma, 2012).

En México la mayoría de las discusiones sobre la biología sintética están vinculadas al tema de bioseguridad y principalmente los impactos sobre la biodiversidad ante el temor de los riesgos y peligrosos en el medio ambiente por eventos derivados de liberaciones accidentales. A pesar de ello, se ha quedado atrás en los debates ante los avances científicos de los últimos años ya que muy pocas secretarías y grupos sociales abordan los efectos

dañinos sobre nuestra economía en desarrollo (Domínguez, 2013; Romeo, 2010; Sharma, 2012; Villa, 2019).

En el plano ideal para México, se requeriría el desarrollo e implementación de una regulación que considere los riesgos específicos de la biología sintética que sea ejecutable y que se le pueda dar seguimiento judicialmente, que a su vez controle y reduzca las consecuencias asociadas al uso de sus conocimientos, principalmente lo que tiene que ver con la biopiratería digital por el uso de información de las secuencias, donde los riesgos sean evaluados bajo tres principios: la bioseguridad, biocontención -controles de riesgo- y la bioética. Actualmente en el plano internacional, no se cuenta con un marco de regulación de referencia, los organismos de algunas naciones vinculados a los temas de bioética y principalmente organizaciones de la sociedad civil, han elaborado distintos documentos al respecto que sirven para abordar las discusiones sobre sus consecuencias (Bellver, 2016; Friends of the earth et al, 2012; Muñoz, 2016; Murray, 2014; Rohmer, 2016).

Ante las consecuencias que podría tener la adopción así como el uso de los conocimientos de la biología sintética y sus desarrollos tecnológicos en el acceso a los recursos genéticos y la participación de los beneficios en México, sobresalen dos problemas principales, aunque no son los únicos: el primero tiene que ver con la regulación de los riesgos potenciales, lo que plantea la necesidad de desarrollar una reglamentación específica para el país, y el segundo es la cercanía con E.U., el cual no es signatario del CDB, lo que afecta los marcos regulatorios y los esfuerzos en ABS ante la posibilidad de una apropiación indebida de los recursos y la complejidad de rastreo del origen de la información por su digitalización así como su posterior uso con fines de lucro (Figuerola, 2020; Itzanaya, 2019).

El principal tema que ha causado conflictos, desacuerdos y discusiones en torno a la regulación de los recursos genéticos, es lo que tiene que ver con los mecanismos y las formas para acceder a estos como lo propone el CDB y el Protocolo de Nagoya, en las cuales se han unido de manera internacional al debate de la gobernanza de la biología sintética, el Órgano Subsidiario de Asesoramiento Científico, Técnico y Tecnológico del Convenio, ante el peligro de que los productos o servicios derivados de la biología sintética tengan una aplicación distinta a la que le fue concebida, permitiendo un uso malintencionado y un grave riesgo para la biodiversidad biológica del mundo (Hidalgo, 2016; Rebolledo, 2011; Sharma, 2012).

Si bien se cuenta con una ley de bioseguridad vigente en el país así como leyes que abordan algunos aspectos de la regulación de la biología sintética, no hay un aparato,

mecanismos o metodología de supervisión que sea exhaustiva, donde la posición del gobierno y de la comunidad científica en torno al tema plantea que el marco actual sobre bioseguridad es aplicable para la disciplina, donde los desarrollos de organismos sintéticos entran dentro del reglamento que ya se tiene sobre OGM al ser similares, lo único que cambia es la forma de abordar el diseño de nuevos entes, o en su defecto hacer una análisis de caso por caso ya que algunos procesos y productos son similares a otras áreas ya intervenidas (Chávez, 2020; Figueroa, 2020; ETC, 2012; Domínguez, 2013; Gaviño, 2016; Hernández, 2019; Itzanaya, 2019; Olivares, 2019).

A pesar de estos llamados y la posición de la comunidad en biología sintética del país que se ha pronunciado por no modificar el marco de bioseguridad actual y sólo establecer prácticas de autorregulación dada la carga administrativa que implicaría el cambio o modificación del marco legal, actualmente no se tiene la capacidad o el personal que pueda darle seguimiento a todo lo que se hace en los laboratorios, por si fuese necesario establecer sanciones o multas por el abuso en la utilización de los conocimientos ante la falta de comprensión de las secuencias sintéticas y la complejidad de los organismos vivos, ya que los investigadores adquieren la responsabilidad desde la selección del tema así como los medios que utilizan para llevar adelante los experimentos, con la salvedad de las posibles deficiencias que implica la autorregulación al no permitir el control o el seguimiento de las investigaciones, lo que disminuye la participación pública en la orientación tecnológica y reduce considerablemente los controles ante una falta de información para gestionar los accidentes dentro de los laboratorios (Chávez, 2020; Cique, 2007; ETC, 2007; Figueroa, 2020; Friends of the earth et al, 2012; Hernández, 2019; Olivares, 2019).

Algunas voces críticas al desarrollo y adopción de la biología sintética en el país cuestionan y ponen en entredicho los marcos actuales de bioseguridad ante la ausencia de una regulación efectiva, si bien los mecanismos de evaluación de riesgos y el análisis de costo beneficio pueden ser en principio aplicables y proporcionar una base para su evaluación, a mediano plazo sus avances los harán obsoletos e inadecuados para proteger el medio ambiente y en específico los recursos genéticos , así como los conocimientos tradicionales, lo cual plantea la necesidad de adaptar los métodos de evaluación vigentes o crear nuevos (ETC, 2006:2007:2012:2012b:2016; Friends of the earth et al, 2012; Grupo de trabajo internacional de la sociedad civil sobre biología sintética, 2011; Villa, 2019).

A pesar de los llamados a no regular la biología sintética sólo a nivel nacional, sino impulsar un marco internacional donde las decisiones sean tomadas a partir de la participación de la sociedad civil y los movimientos sociales con lo que respecta a su orientación, la disciplina representa una arma de doble filo, primero se requiere crear normativas que orienten los esfuerzos para una utilización responsable de los conocimientos que no sea una regulación prohibitiva ante la posibilidad de acrecentar las brechas y desigualdades tecnológicas con otros países, pero a la par que permita el uso de los conocimientos bajo un marco que no implemente muchas restricciones a la vez, que limite su desarrollo y potencial en el país (Jaimes et al, 2010; Paz, 2019; Saukshmaya y Chung, 2011).

Los retos que se le presentan al Estado mexicano para el desarrollo de un marco de bioseguridad que sea innovador, con fines socialmente deseables así como aceptados y que oriente el desarrollo de la biología sintética poniendo límites adecuados desde las primeras fases por los posibles usos y abusos en la investigación, facilitando el acceso y uso de los recursos genéticos sin renunciar a su control y monitoreando su apropiación indebida sin imponer trabas burocráticas a los investigadores, el primero tiene que ver con la apertura al debate y la participación de nuevos actores sobre las opciones de gobernanza para regular el uso malintencionado de las herramientas y conocimientos, que permita una discusión amplia donde se comenten los avances tecnológicos, los beneficios y afectaciones de su adopción para el país, se equilibren los riesgos potenciales a la biodiversidad y ponga en cuestionamiento la realización de algunos experimentos por su peligrosidad y alcance (Romeo, 2010; Ruiz, 2011; Saukshmaya y Chung, 2011; Starkbaum et al, 2015; Trump, 2017; Zwanenberg, 2013).

Con el objetivo de generar un marco de regulación integral que incluya tanto instrumentos jurídicos, perspectivas sociales y éticas, se tiene que reconocer la complejidad de la biología sintética por abarcar y cruzar distintas disciplinas, diseñando sistemas de evaluación de riesgo acorde a las necesidades del país ante la deficiencia de los que actualmente se utilizan en el análisis de los OGM, a partir de un continuo aprendizaje basado en evidencia científica, en el monitoreo del progreso de la ciencia y la tecnología, dando seguimiento a los eventuales riesgos y teniendo la voluntad política de modificarlo en función de como se vaya desarrollando la técnica (Alonso y Soto, 2014; Asociación Mexicana de Biología Sintética A.C, 2011; González, 2018; Rebolledo, 2011).

Un segundo reto que se presenta como un problema para la regulación de la biología sintética en México es su definición. Es necesario que se tenga una discusión pública amplia respecto al concepto y su alcance, que contemple los diferentes niveles de gobierno, a los investigadores, las organizaciones en contra, los pueblos y comunidades afectadas por su uso, ya que de ahí se partirá para alejarse de los marcos de bioseguridad vigentes y se establecerán los mecanismos y metodologías de monitoreo, las fases de evaluación y control de las secuencias sintéticas, así como los productos y servicios que requieran regularse. (Figueroa, 2020; Friends of the earth et al, 2012; Rebolledo, 2011).

Un tercer reto sería generar dinámicas de participación dentro de las estructuras gubernamentales en todos los niveles para reducir los riesgos y las consecuencias negativas, por la necesidad de adecuar el principio de precaución²⁸ que requiere el desarrollo de mecanismos específicos ante las características de la biología sintética por el estado actual del conocimiento, la falta de certeza y de elementos científicos que permitan determinar con exactitud el riesgo. Para ello es indispensable la coordinación entre investigadores, legisladores, autoridades, formuladores de políticas públicas, asociaciones civiles, pueblos y comunidades para aminorar los conflictos y lograr un marco de gobernanza adecuado para la biología sintética en el país, así como estructuras de asesoramiento científico y tecnológico que no sólo apoyen en esos temas sino también asesoren jurídicamente sobre el marco nacional e internacional a los interesados. Esto viene acompañado de la generación de nuevas capacidades de infraestructura y logísticas en la detección e identificación de organismos sintéticos para darles seguimiento, y la formación de los funcionarios con respecto a la vigilancia necesaria ante su desconocimiento de la ley (Friends of the earth et al, 2012; Gadaleta, 2019; Itzanaya, 2019; Romeo, 2010).

Un cuarto reto es la armonización de las leyes o normas que se pueden establecer de forma específica o complementaria para la biología sintética en México, para determinar si es aplicable bajo los parámetros legales vigentes evitando sobrerregulaciones contradictorias y que impongan carga administrativa adicional a las estructuras que se encarguen de la normatividad y vigilancia, esto se debe ante la diferencia que se establece respecto a la

²⁸ El principio de precaución surge como consecuencia de buscar la protección de la salud humana y del medio ambiente frente a ciertas actividades caracterizadas por la carencia de un conocimiento suficiente sobre sus posibles consecuencias, estos, el conocimiento científico del momento no puede establecer de forma fiable ni su inocuidad ni, al contrario, los posibles daños que puede generar. Por ello el principio de precaución se mueve en un entorno de incertidumbre científica y de sospecha, todavía no acreditada, de que la actividad sometida a evaluación puede comportar grandes daños (Friends of the earth *et al*, 2012:02).

información natural basada en reglas vinculadas tanto con la economía como con la política, en contraposición a la información digital y los principios ABS creados para la protección de los recursos genéticos, lo que plantea desafíos jurídicos que requieren de un cuerpo especializado que ayude a clarificar dichas problemáticas (Gaviño, 2016; Rebolledo, 2011; Ruiz, 2011).

El quinto reto se presenta en el acceso a los recursos genéticos y participación de los beneficios que pone trabas a la gobernanza de la biología sintética en el país, es la cercanía física principalmente con E.U., el cual no es signatario de algunos tratados, pero sí tienen injerencia en ellos a partir de terceros en las discusiones que reglamentan su uso a nivel internacional. El cual usa de forma significativa los recursos genéticos para sus investigaciones y se beneficia de la información digital contenida en los repositorios, bancos de datos y bases, donde muchas veces los investigadores de estos países desarrollados alimentan las bases de datos con nueva información sin conocer las leyes sobre la divulgación de origen de algunas naciones o los mecanismos de distribución de beneficios (Itzanaya, 2019; Villa, 2019).

Para el establecimiento de la distribución de beneficios entre dos o más partes, es necesario generar los consensos y sólo se puede llegar por medio de un acuerdo dentro del Protocolo de Nagoya, el cual determine las formas de intercambio, los recursos a intercambiar y los beneficios económicos o no de una de las partes a recibir, lo que limita en principio el alcance de los beneficios a obtener, donde las empresas principalmente del sector biotecnológico, abogan por la no aplicación de las reglas de ABS para la colocación de sus aplicaciones, productos y servicios de forma expedita (Augusto, 2012; ETC, 2016b).

Es por ello, que para México el desarrollo de la biología sintética podría tener un impacto negativo en el acceso, uso y transferencia de los recursos genéticos ante su carácter tecnológico, no por parte de la comunidad científica nacional sino por las empresas transnacionales y los investigadores de los países como E.U., por la ausencia de una repartición justa y equitativa de los beneficios derivada de una apropiación indebida, consecuencia del presente marco normativo de regulación y los instrumentos de bioseguridad vigentes que carecen de margen de maniobra para cumplir con los objetivos del CDB cabalmente, lo cual deja al país con una capacidad limitada de seguimiento donde los impactos del uso y desarrollo de la biología sintética dependerán en gran parte del marco legal que el gobierno adopte en los próximos años (Augusto, 2012; Gadaleta, 2019).

3.2.2 La información digital de secuencias en México

Desde el surgimiento del CDB hasta la actualidad pocos temas han sido tan controvertidos y discutidos dentro del mismo Convenio y las COP, con el tema a la biología sintética. Las discusiones se intensificaron desde la COP 10 (2010), donde las contrapartes y un conjunto de organizaciones comenzaron a impulsar el uso de nuevos conceptos que se aplicaran a las recientes realidades tecnológicas basadas en la I+D. Uno de ellos fue el uso de información digital de secuencias o información de secuencia digital (DSI, por sus siglas en inglés). El concepto vio su origen a partir de las discusiones del Grupo de Expertos Técnicos Ad Hoc (ATHEG, por sus siglas en inglés), el cual aún no ha alcanzado una definición, ya que se negocia la utilización de la palabra digital dado que limita su alcance, ante un análisis prospectivo que plantea que en un futuro los sistemas de información o almacenamiento no sean digitales (ETC, 2018b ; Oduardo *et al*, 2017).

Si bien la síntesis, transferencia y publicación de miles de secuencias genéticas que pueden ser compartidas entre investigadores de diferentes partes del mundo representa un adelanto tecnológico, atravesando las fronteras físicas que impone su uso, de igual forma posibilita la evasión de las reglas de bioseguridad con lo que respecta a ABS, ante las limitaciones de las normas y reglas vinculantes que México suscribió y ante los riesgos que plantea la perspectiva open respecto al uso de la información (CDB, 2016c; ETC,2016; Rebolledo, 2011).

Dentro de una visión de innovación tecnológica, ante el aumento de las tecnologías de secuenciación, síntesis, almacenamiento y transferencia de datos, es posible la extracción del material genético *in situ* y su posterior transferencia por medios electrónicos sin tener que hacer una recolección, identificación taxonómica o almacenamiento de las muestras de forma física. Esta transición en las formas de acceder y hacer uso de los recursos genéticos representaría para México un aumento de la dependencia tecnológica ante las desigualdades en el acceso a nuevas tecnologías, donde los países desarrollados serían los principales beneficiados al sólo utilizar la información de los recursos genéticos, sin requerir su utilización física para desarrollar nuevos compuestos, existiendo el riesgo de que el país no obtenga ningún beneficio a pesar de que la información que originalmente se utilizó se sitúe dentro de sus fronteras por la protección por medio de patentes que se privilegia en otras naciones (Augusto, 2012; ETC, 2007).

Sin embargo, el hecho de que la biología sintética no implique el uso físico de los recursos genéticos y de la información genética ante la digitalización, transferencia y posterior reproducción en laboratorios, rebasa las reglas de ABS del Protocolo de Nagoya, al no cubrir dentro de sus postulados los temas de transferencias digitales que mediano plazo se volverán rutinarias dentro de la disciplina, y ante los avances en la secuenciación y síntesis del ADN, el volumen masivo de datos que se pueden generar a partir de la información digital, que por su cantidad, en la mayoría de los casos sólo son analizados por países desarrollados o corporaciones transnacionales (Augusto, 2012; ETC, 2012).

Esto ha generado intensos debates en varios foros donde se discute la relevancia de las reglas de ABS, se plantean si la DSI está sujeta a las obligaciones de acceso a los recursos genéticos y participación de beneficios contemplados por el CDB y el Protocolo de Nagoya al ser una cuestión intersectorial que afecta el cumplimiento de los tres objetivos que propone el Convenio. Otros espacios en los cuales también se discute es el Tratado Internacional de los Recursos Genéticos para la Alimentación y la Agricultura (TIRFAA) de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (CDB, 2016d; ETC, 2007; Joost, 2019).

En todos estos debates sobresalen dos temas principalmente, el primero tiene que ver con la delimitación del concepto DSI para determinar su alcance respecto a si incluye la secuenciación de nucleótidos de ADN o toda la información de los recursos genético. Por la divergencia de opiniones entre lo que debería o podría caer dentro de la terminología para incluirse dentro del marco regulatorio y su uso apropiado en relación a otros términos, el segundo tema es el tratamiento de la DSI como recurso genético bajo la concepción del CDB para asegurar la distribución de beneficios y reducir los riesgos de la biopiratería digital (Brink y Van, 2021; Oldham, 2020; Sharma, 2012).

Actualmente no existe un consenso internacional sobre una definición en biología sintética y menos a nivel nacional, no se ha llegado a un acuerdo sobre qué comprende con cierta claridad y exactitud, por lo cual, la DSI es utilizado como un marcador de posición provisional para la información genética, la bioinformática, la información de las secuencias genéticas y sus datos, la secuenciación de nucleótidos o recursos genéticos. En tanto es un concepto en disputa que se busca que sea lo más expansivo posible con el fin de maximizar sus áreas de interés, desde que se colocó dentro de las discusiones del CDB, hacía referencia al intercambio de información de secuencia de ADN, a partir de ello, se ha ampliado a

múltiples interpretaciones y alternativa, así como datos de secuencias genéticas, datos de secuencias de nucleótidos y datos de secuencia de recursos genéticos con el fin de ampliar las discusiones (Brink y Van, 2021; ICC, 2019; Oldham, 2020).

La posición de la que parte el CDB respecto a la DSI es primero aclarar el concepto para poder evaluar su alcance y las condiciones de uso de la información digital bajo el marco del Convenio y el Protocolo de Nagoya, los tipos de información que podrían incluirse en principio en el término son tanto la lectura como la secuenciación de ácidos nucleicos y sus datos asociados, la información sobre el ensamblaje de las secuencias, su anotación y mapeo genético, su expresión genética, los datos sobre las macromoléculas y metabolitos celulares, relaciones ecológicas y factores abióticos del medio ambiente, función y comportamientos, estructura, datos morfológicos y fenotipo, la taxonomía y las modalidades de uso. A pesar de su amplitud, se considera que el término no es el más apropiado para dar cuenta de la información que se pueden desprender del acceso y uso de los recursos genéticos, pero es viable su utilización de forma provisional, en tanto se discuta y se avale otro (Brink y Van, 2021; CBD, 2018).

Por otro lado, con lo que respecta a la biopiratería digital algunos países industrializados y con fuerte presencia de poderosas industrias de biotecnología, como Canadá, cuestionaron si la DSI debería incluirse en los debates y acuerdos internacionales relacionados con ABS, bajo el argumento de que la creación de nuevas reglas que normen el acceso así como uso de los recursos genéticos y en específico la información digital de las secuencias, obstaculizará seriamente la investigación y desarrollo como los objetivos del CDB y el Protocolo de Nagoya, para eliminar de las discusiones la biopiratería al beneficiarse de la creación y desarrollo de repositorios, bancos de datos públicos, privados o gubernamentales, colecciones privadas y bases de nucleótidos, estructura de proteínas, genomas, expresión genética, taxonomía, metabolismo y factores de transcripción que sean de acceso libre y se encuentre de forma digital en la nube (ETC, 2016c: 2018b; ICC, 2017; Gadaleta, 2019; Joost, 2019).

Respecto al punto del acceso libre, el CDB plantea la necesidad de generar un equilibrio entre la apertura de la información de los recursos genéticos y la participación justa y equitativa de los beneficios para los países, con el fin de obtener beneficios de los resultados de las investigación a pesar de que el Convenio y el Protocolo de Nagoya no han actualizado sus enfoques de ABS para considerar la DSI, disminuyendo las consecuencias y los riesgos

para los países como México, que son proveedores de recursos por su altos niveles de biodiversidad (CDB, 2018).

Para el caso de México, si bien es un problema la existencia y creación de varios sistemas de intercambio de información donde se puede obtener de forma libre el acceso a la información digital de los recursos genéticos con los que cuenta el país, por los problemas vinculados al ABS, tendencia que crecerá en la medida que se impulse la secuenciación del material genético, se desarrollen fuentes de información y mejores capacidades de procesamiento, al ser un país en vías de desarrollo persiste el problema del acceso a las nuevas tecnologías, lo que pone al país en una desventaja competitiva con las naciones industrializadas para hacer usos de estos recursos (CDB, 2018b).

Por consiguiente, un reto para la gobernanza de la biología sintética, es la urgencia de establecer reglas que sean fáciles de entender y respetar, que permitan la investigación y el desarrollo tanto de uso comercial como no comercial ante las limitaciones del CDB y el Protocolo de Nagoya, facilitando el acceso sin imponer una regulación coercitiva que afecte a los usuarios potenciales, privilegiando la investigación nacional. Para alcanzar los objetivos, México tendría que desarrollar capacidades de monitoreo de las cuales carece, donde la posición de la instancia rectora con lo que respecta a la bioseguridad, la Comisión Intersecretarial de Bioseguridad de los Organismos Genéticamente Modificados (CIBIOGEM), es similar a la que plantea el CDB respecto a la utilización de la DSI, como medio de aproximación para discutir los procesos y consecuencias respecto al uso de los recursos genéticos, sin embargo, es necesario abordar las discusiones de una definición que contemple las diferentes aristas ante la confusión que podría generar el término digital. Actualmente como parte de los lineamientos del Protocolo de Nagoya, no se cuenta con información donde se establezca un acuerdo de repartición de beneficios a partir de la DSI a nivel nacional (Brink y Van, 2021; CIBIOGEM, 2019; ICC, 2019; Oldham, 2020).

Si bien es necesario para México el establecimiento de requisitos de ABS para la DSI por la diversidad biológica con la que cuenta y la cantidad del información que se podría desprender de ella, primero es necesario establecer una ruta de trabajo que permita el monitoreo y verificación ante la eventualidad de los costos asociados para llevar adelante dicho proyecto, lo que en principio podría impedir su ejecución ante la falta de voluntad política de generar una partida presupuestal, y segundo, es necesario clarificar los procedimientos de las reglas de ABS vigentes en Protocolo de Nagoya ante la complejidad

que supone su práctica y la dificultad de llevarse a cabo por la falta de entendimiento (Brink y Van, 2021; ICC, 2017; Oldham, 2020).

Si bien las contrapartes del CDB tienen la libertad de fijar su posición con respecto a la DSI en lo que consideren que el Convenio y el Protocolo no llegan a cubrir, y ante la ausencia de mecanismos simples y claros que normen las transferencias virtuales, es necesaria la discusión en la búsqueda alternativa de un régimen normativo el cual va ser lento, muy controvertido ante la presión que pueda ejercer el sector empresarial y costoso, donde uno de los primeros pasos sea establecer que la DSI está sujeta a ABS como parte de los requisitos de patentamiento, la equivalencia conceptual de los recursos físicos y digitales para acceder a los beneficios, la actualización de los tratados y convenios donde se hable de las reglas relacionadas con el reparto de beneficios así como el acceso a los mismos, que contemple la biología sintética y tecnologías de edición genética, y por último, la restricción a las patentes hasta saber el origen de los recursos genéticos para que se dé una implementación de los acuerdos y protocolos. Estas medidas estarían enfocadas al sistema internacional de bioprospección y a los países industrializados que no hayan suscrito los acuerdos de acceso a los recursos genéticos y participación de los beneficios, ya que de manera nacional la comunidad científica en su mayoría trabaja con los recursos locales en comparación con las empresas transnacionales (Brink y Van, 2021; CDB, 2018; ETC, 2018B; Gadaleta, 2019; Grupo de trabajo internacional de la sociedad civil sobre biología sintética, 2011).

Por último, otro reto sería determinar el grado de utilización de la secuencia sintética en el desarrollo tecnológico para poder equiparar un beneficio como lo marca el ABS, lo cual sólo se puede realizar separando todas las piezas y secuencias del producto final. En el caso de México, sería una actividad complicada de desarrollar por la falta de personal calificado en el rastreo de secuencias genéticas y no por la falta de capacidades computacionales, así como el desconocimiento muchas veces de los investigadores de la ubicación geográfica original al ser recursos transfronterizos, lo que dificulta el rastreo, trazabilidad y el establecimiento de los países de origen (Gadaleta, 2019; Medina y Mena, 2008).

Existe la complejidad en el rastreo en el origen de la información por la digitalización del material genético utilizado para generar un producto, la trazabilidad de los organismos o secuencias sintéticas parece ser una tarea complicada por la falta de herramientas, mecanismos y metodologías que permitan determinar el grado de injerencia en comparación con el material físico, lo que multiplica el riesgo de que el país no obtenga ningún beneficio

de la utilización de recursos que se encuentran dentro de sus límites territoriales por parte de naciones que no sean firmantes de los acuerdos internacionales o empresas ante el desconocimiento del CDB o el Protocolo de Nagoya (Augusto, 2012; CDB,2016; Instituto de Investigación Alexander von Humboldt, s/f; Ramírez, 2019).

3.3 Los derechos de propiedad intelectual y la biología sintética en México

Actualmente la biología sintética se desarrolla, no sólo en México, bajo diferentes tensiones jurídicas con lo que respecta a las formas de apropiarse los conocimientos y las tecnologías derivadas de su práctica a partir de los DPI, ante los dos modelos que planteando de forma paralela: el acceso libre o uso exclusivo. Estas dos formas de acceso y uso de los conocimientos y recursos genéticos que propone la biología sintética, derivan en una serie de problemáticas vinculadas al reconocimiento de los derechos de propiedad intelectual sobre el material genético, principalmente para los países en desarrollo (Ray y Boyle, 2007; Rebolledo, 2011).

Ante su carácter de disciplina convergente, dificulta establecer figuras de propiedad intelectual y decidir qué debería o no ser patentable dadas las intersecciones y articulaciones tanto de subproductos como de procedimientos, lo que plantea el problema de expedir una patente sin conocimiento del origen de los recursos que se utilizan en las investigaciones y el grado de intervención hecho, ante la dificultad de rastrear las secuencias sintéticas que le otorgan un carácter novedoso. Esto está generando problemas emergentes y desafíos en la propiedad intelectual al estar operando bajo distintos vacíos legales, donde la legalidad del patentamiento tanto de los procedimientos como de productos sintéticos dependerá en gran medida de los marcos legales nacionales al solicitar o no el origen de los recursos genéticos como requisito (Aguilar *et al*, 2012; OMPI, 2019; Ramírez, 2019; Romeo, 2010; Rebolledo, 2011).

Los derechos de propiedad intelectual vigentes, principalmente las patentes, no están pensadas para resolver los desafíos tecnológicos que plantea la biología sintética, como es el caso de la información digital de secuencias, ante el cuestionamiento de la tutela del germoplasma o la información que se encuentra en los bancos de genes de acceso abierto, ya que estos se discuten a la luz del beneficio económico que generen sin contemplar los efectos en las economías en desarrollo. Por lo tanto, lo que se considere o no patentable respecto al uso y acceso de los recursos genéticos en los países estará sujeto a la discusión de las

autoridades que contemplen las nuevas realidades tecnológicas que impulsarán las nuevas disciplinas, como la evolución de los marcos de propiedad intelectual para el otorgamiento responsable de patentes que a su vez contemple el origen de los recursos ocupados de forma lucrativa (Odek, 1994; OMPI, 2019; Rodríguez, 2010).

Cabe aclarar que, si bien los DPI en México no permiten que los genes por sí mismos sean patentables, en otras legislaciones y países sí es posible beneficiarse de este tipo protección legal, ya sea a través de las patentes o, en el caso de las actividades de investigación, por medio de los derechos de obtentor. Lo que dificulta al país los reclamos de beneficios sobre los recursos utilizados en el extranjero, donde la igualdad en el acceso a los conocimientos de forma abierta no necesariamente equivale a la distribución equitativa de beneficios entre los países, dado el patentamiento de los recursos genéticos en otras latitudes, que pueden generar grandes dividendos al conseguir el monopolio de la explotación tanto de los productos como de los procedimientos obtenidos, por lo tanto, beneficios privados sin tomar en cuenta los impactos que dicha actividad conlleva (López, 2009; Romeo, 2010; Odek, 1994; OMPI, 2019).

Estas innovaciones no sólo han abierto la intervención normativa de áreas de las cuales antes estaban excluidas, sino también tienen el potencial de modificar las dinámicas internas del sistema jurídico a nivel internacional y nacional, ante el hecho de que pueden tener una fuerza productora de reglas, normas y leyes que remueven la ordenación jurídica como la conocemos actualmente respecto a los DPI, teniendo un fuerte impacto y nuevas formas de rentabilidad en relación con aquellos bienes de consumo que se están sustituyendo por productos sintéticos, generando daños sobre las economías de subsistencia, los cultivos y las fuentes de trabajo, los cuales dependerán en gran medida de las acciones jurídicas que vayan adoptando los países en relación con el acceso a los recursos genéticos y la distribución de beneficios, ante el temor de una competencia desleal con los productos sintéticos vs naturales a través de la biopiratería digital y sin otorgar ningún beneficio a los productores de los recursos genéticos naturales (ETC, 2004: 2007:2012b; González, 2006; Rodotà, 2004).

En México ante la poca capacidad para la protección de los recursos genéticos y la falta de atención o voluntad política para la generación de nuevas regulaciones, permite de forma indirecta, formas de apropiación de forma privada por parte de las empresas transnacionales. El problema está en la creación de nuevas herramientas que permitan aminorar los riesgos de la actividad innovativa, un sistema jurídico que distribuya

responsabilidades y controle la discrecionalidad en el uso de los recursos genéticos. La cual acrecienta la posibilidad de que la distribución de beneficios no se lleve a cabo ante el posible desconocimiento del origen de los recursos genéticos y la evasión de las de las reglas acordadas bajo los protocolos vigentes de ABS de los países y empresas, como una nueva modalidad de acumulación a partir del saqueo de los recursos caracterizada por ser un proceso violento, silencioso y poco visible, amparado por el sistema internacional de los DPI y por las prácticas de bioprospección ante la apropiación indebida de los recursos (Flores, 2014; Rebolledo, 2011; Rodotá, 2004; Vercelli, 2009).

Esto se da como consecuencia del cambio de visión respecto a los conocimientos científicos en las ciencias modernas y la modificación en la percepción sobre la importancia de la investigación científica, cada vez más dominada por las lógicas del mercado en la búsqueda de beneficios, que se traduce en la idea de que el único conocimiento válido es el desarrollado en los laboratorios y que se pueda patentar, lo que induce la búsqueda de resultados en el corto o mediano plazo como la comercialización de los conocimientos, en detrimento de la visión social que promueven algunas universidades respecto al acceso público de éstos (Rodríguez, 2010; Rodotá, 2004).

Es necesario analizar los impactos y desafíos que tendrían en los derechos de propiedad intelectual desarrollos como la biología sintética en México, donde la incorporación de los conocimientos y tecnologías asociadas implicaría una adaptación de las legislaciones vigentes y los sistemas de propiedad intelectual a partir de las necesidades y problemáticas específicas del país, ya que muchas veces estos conocimientos vienen acompañados de regulaciones comerciales que no dan cuenta de los riesgos y consecuencias negativas, y permiten la concentración de poder de los países desarrollados mediante la reproducción de sus valores (Mersé, 2013; Rodríguez, 2013).

3.3.1 Los derechos de propiedad intelectual y las patentes en la biología sintética

Como pasó con la biotecnología moderna, la biología sintética es considerada un conocimiento maestro²⁹ por la cantidad de disciplinas y aplicaciones en los cuales puede

²⁹Es vista así por la variedad de campos de conocimiento de los cuales se desprenden con la posibilidad de utilizar material genético que previamente ya acreditó su funcionamiento, a través de la intervención de los mecanismos reguladores naturales que se encuentran en el ADN permite acceder a un sinfín de posibilidad tanto de los genes como de los organismos, donde la gran mayoría no hubiesen sido alcanzados de forma natural o a partir de su evolución (Landeweerd y Peter, 2016; Macia y Solé, 2011).

intervenir. Áreas como el sector médico, energético y agrícola sobresalen sobre otras, donde la mayoría de las actividades innovadoras y su posterior patentamiento se dan en países como E.U., Japón y varias naciones europeas. En el marco de lo que se denomina sociedad del conocimiento, la comercialización y competencia tecnológica es un elemento clave que determina el valor comercial de los conocimientos, donde las patentes se presentan como un indicador económico dentro de las capacidades de innovación para posicionar los productos y servicios en el mercado (García, 2016; Landeweerd y Peter, 2016; Van Doren y Koenigstein, 2013).

Cabe aclarar que, dentro de los DPI, los derechos desarrollados para los bienes inmateriales que sean resultado de un proceso inventivo e intelectual, las patentes son sólo uno de los elementos de protección de la propiedad intelectual, creadas como incentivos que permitan el mejoramiento de las investigaciones y el desarrollo de nuevos productos, existiendo otros mecanismos como los derechos de autor, de copia, licencias de uso, marcas registradas, secretos comerciales o militares, entre otros, las cuales son fruto de un proceso divergente, constructivo e interpretativo que tiene sus antecedentes en la sociedad industrial, con la capacidad de incidir y afectar los procesos de innovación, las cuales son emitidas por los gobiernos bajo sus sistemas de DPI nacionales con la intención de otorgar un monopolio temporal sobre las innovaciones y la protección del trabajo intelectual en el caso de los procesos de investigación (Augusto, 2011; García, 2016; Landeweerd y Peter, 2016; Oduardo *et al*, 2017).

A través de las leyes de propiedad intelectual que dominan en la mayoría de los países, las patentes son utilizadas con mayor frecuencia en los acuerdos comerciales derivados de la Organización Mundial del Comercio (OMC) que incluye los Acuerdos sobre los Aspectos de los Derechos de Propiedad Intelectual relacionados con el Comercio (ADPIC), las empresas transnacionales y aquellos organismos con entidad jurídica e intereses económicos en la búsqueda de la obtención de un permiso que determine la propiedad monopolística dentro de un marco temporal. A la luz, distintos organismos internacionales y principalmente organizaciones no gubernamentales discuten los impactos de las patentes y cuestionan su uso como medio de protección, ante el hecho de que los primeros buscan, por medio de distintos mecanismos jurídicos, el establecimiento de la propiedad sobre los recursos genéticos y sus conocimientos asociados en el caso de la biología sintética, sin

contemplar en las discusiones o acuerdos a los pueblos o comunidades que son los guardianes de estos.

En la biología sintética, como sucedió con las disciplinas que le antecedieron, se presentan dificultades legales que han sido una constante en los últimos 30 años, lo que tiene que ver con la asimilación de los nuevos conocimientos y tecnologías dentro de los límites conceptuales que marcan los DPI vigentes y que norman las formas de apropiación, para determinar si entran dentro de los marcos actuales y las clasificaciones del sistema de patentes o es un proceso con rezago, ante el debate en curso sobre si el material genético debería ser patentable o no, cuestionando si las alteraciones que se le pueden hacer son suficientes para considerarlo producto del ingenio humano, como parte de un proceso inventivo e intelectual (Singh, 2017; Ray y Boyle, 2007).

En el caso de la OMPI, ésta no aborda el tema de regulación en el acceso y participación de los beneficios que se derivan del uso de los recursos genéticos, discutiéndose si los DPI debería utilizarse en el tema y hasta qué medida para garantizar el cumplimiento de los acuerdos de ABS nacionales en articulación con los regímenes internacionales de propiedad intelectual. De igual forma, el CDB y la Agenda 21 propuesta por la ONU no abordan explícitamente las formas de apropiación de los recursos a partir del fitomejoramiento, donde una preocupación constante es si los DPI permiten un equilibrio entre las formas de apropiación privada y el beneficio social (Odek, 1994; OMPI, 2019; Selgelid y Evans, 2015).

La biología sintética representa un desafío bajo los marcos actuales de propiedad intelectual y principalmente lo que tiene que ver con los regímenes de patentes, ya que no se desarrolla como una ciencia en el sentido clásico ni como una ingeniería en particular, sino como una disciplina convergente y emergente dentro de la biología que agrupa y utiliza una diversidad de conocimientos científicos y tecnologías, que produce una serie de artefactos tecnológicos dentro de las ciencias de la vida que ponen en cuestionamiento la percepción que tenemos de la naturaleza, la vida, la evolución y las cosas ante su carácter ingenieril (Landeweerd y Peter, 2016).

Ante la complejidad de crear nuevos organismos de *novo* o secuencias sintéticas a partir de diferentes elementos, no sólo conceptuales sino prácticos, y ante el trabajo multidisciplinar que se requiere para llevar adelante los procesos de innovación, se complican las reivindicaciones del proceso de solicitud de una patente, ya que muchos de estos procesos

pueden ser genéricos en otras disciplinas ya consolidadas, lo que podría obstaculizar su práctica bajo la configuración actual de los DPI (García, 2016; Romeo, 2010).

En el caso de los avances o inventos donde se ocupe algún tipo de material orgánico a partir de la biología sintética, que se traduzca en un producto o servicio nuevo por medio de su intervención mediante la inserción de alguna característica diferente, a partir del modelo vigente sobre los DPI, podría generar dificultades interpretativas contraproducentes para su desarrollo. Esto se debe a la dificultad de equiparar los nuevos desarrollos con los organismos *naturales* y el entendimiento de los sistemas biológicos, por la intención de crear organismos de *novo* como si fuesen máquinas o artefactos que no tienen un símil para determinar los alcances, efectos, consecuencias o beneficios (García, 2016).

Si se otorgaran patentes de los productos, procedimientos o servicios a partir de los avances de la biología sintética que tengan una cobertura muy amplia, sin valorar las consecuencias para terceros como consumidores, investigadores o competidores en los sectores de intervención, se incentivaría un proceso abusivo con protección jurídica que limitaría el enfoque de distribución de beneficios, a pesar de que no siempre se cumple el principio de que éstas generan inventos comerciales y protegen el esfuerzo intelectual, ya que son más utilizadas como moneda de cambio dentro de las economías y los procesos de investigación por los obstáculos a su uso que imponen sobre los demás (García, 2016; Romeo, 2010).

Bajo ese contexto se han explicado una serie de preocupaciones que principalmente afectarían a países como México, ante la posibilidad de que las patentes inhiban las investigaciones básicas, a consecuencia del pago de licencias, la restricción en el acceso así como el uso de la información y la falta de transferencia tecnológica para llevar a cabo algunos experimentos, permitiendo un proceso de concentración del control y ritmo del progreso técnico a partir de los conocimientos depositados en las empresas transnacionales, centros de investigación y universidades ubicadas en los países desarrollados, lo que consolidaría su posición dentro de la generación, circulación y apropiación de los conocimientos científicos y tecnológicos a nivel mundial (García, 2016; Grupo de trabajo internacional de la sociedad civil sobre biología sintética, 2011; Odek, 1994).

El patentamiento excesivo dentro de la biología sintética, a partir de la utilización de los recursos genéticos, podría crear procesos confusos, lentos, costosos y algunas veces ineficaces, por la negociación de gran número de licencias por el temor dentro de los

proyectos de investigación que supondría la infracción de una patente, en donde una innovación se podría estancar frente a la competencia por solicitar nuevas patentes por el *descubrimiento* de nuevas funciones de los organismos y las marañas legales que esto supondría para determinar su novedad (Augusto, 2011; Selgelid y Evans, 2015).

3.3.2 Los derechos de propiedad intelectual y el acceso a los recursos genéticos

En México el principal problema que se presenta, es la controversia respecto al uso y manejo de los recursos genéticos a partir del reconocimiento de las prácticas tradicionales de los pueblos y comunidades locales, en comparación con los DPI y los regímenes de protección legales que se utilizan como la patente, ante la falta de reconocimiento de los primeros como la falta de protección normativa. Esto plantea la necesidad en el país de establecer controles jurídicos, orientando los esfuerzos en disminuir las nuevas formas de biopiratería que se daría con la biología sintética, ante los riesgos inherentes que se dan con la práctica y uso del conocimiento a partir de la apropiación indebida de los recursos y la conformación de un mercado global de estos, los más perjudicados serían los pueblos y comunidades que tienen algún conocimiento tradicional desarrollado o transmitido por generaciones (Augusto, 2012; Bellver, 2016; Instituto de Investigación Alexander von Humboldt, s/f; Odek, 1994; Singh, 2017).

El principal reto tiene que ver con la información digital de los recursos genéticos, sería un elemento fundamental para la producción y desarrollo de nuevas patentes a mediano plazo ante el aumento de su importancia con lo que respecta a subir información de nuevos organismos que no se habían investigado previamente, lo que consolida el monopolio de los países desarrollados ante naciones como México (Augusto, 2011; García, 2016; OMPI, 2019; Saukshmaya y Chung, 2011).

La participación de E.U. en la escena internacional como no signatario afecta los marcos regulatorios y el objetivo de la repartición justa y equitativa de los beneficios ante la posibilidad de una apropiación indebida de los recursos genéticos por parte de los investigadores que trabajan en sus universidades o centro de investigación, amparado y validado dentro del sistema de propiedad intelectual internacional que no cuestiona el origen de los recursos genéticos, ya que no reconoce dentro de su plano normativo las normas y leyes respecto al ABS como lo proponen el CDB y el Protocolo de Nagoya, lo cual plantea la necesidad en el plano nacional de extender los requerimientos, normativas o leyes que cubran los huecos y aminoren la evasión de las reglas suscritas por México (Grupo de trabajo

internacional de la sociedad civil sobre biología sintética, 2011; Itzanaya, 2019; Pastor y Ruiz, 2008; Villa, 2019).

A partir de las bases de datos como los repositorios que contengan información sobre los recursos genéticos, se dan dos procesos en paralelo. El primero tiene que ver con la posibilidad de que se expida una patente a partir de un examen sustantivo de su novedad por medio de la disposición de información que se encuentre en estos, siendo los países desarrollados los que podrían hacer más uso de esta herramienta. El segundo proceso es el potencial desinterés respecto al uso y manejo de forma física de los recursos en los países, ante el cambio de paradigma que propone la biología sintética por el acceso virtual de la información, que principalmente afectaría economías como la de México, por la falta de distribución de beneficios por las barreras legales que se crean con los DPI, al no contemplar el origen de estos como requisito de expedición de una patente, donde la biología sintética está llamada a ejercer un impacto directo en la diversidad biológica (Augusto, 2012; Bellver, 2016; OMPI, 2019).

El desarrollo de la biología sintética puede desdibujar paulatinamente la percepción de que la biodiversidad es una fuente de valor fundamental, donde los recursos genéticos no merezcan ser protegidos a partir de distintos convenios, tratados, leyes o protocolos ante la carencia de valor intrínseco por el cambio en las relaciones de la naturaleza y la vida que propone la biología sintética de forma sistemática, sin cuestionar los límites de injerencia de la acción humana por la intención de crear vida artificial (Bellver, 2016).

Si bien las discusiones sobre el uso de secuencias de ADN han evolucionado desde la década de los años ochenta del siglo pasado, sigue siendo una preocupación la falta de establecimiento de límites sobre el alcance de este tipo de patentes para los países como México, ante el cuestionamiento de su proceso con lo que respecta a la novedad para expedir la patente y la falta de adecuación de los DPI ante la pretensión de crear organismos desde cero, ya que la expedición de muchas patentes incentiva el surgimiento de monopolios globales, al ser procesos agresivos y amplios, que en el caso de la biología sintética pueden incluir reclamos para el otorgamiento de nuevas patentes sobre ADN sintético, RNA, aminoácidos, ribosomas, rutas metabólicas y procesos relacionados, claves para la producción de nuevos compuestos que permitan el crecimiento de las industrias (Augusto, 2011; ETC, 2012; OMPI, 2019).

A diferencia de los países desarrollados que han modificado sus DPI para incluir el ADN como un invención que pueda ser patentable, por medio del establecimiento de criterios técnicos que contemplen su aislamiento y purificación, en México sería necesario discutir si el ADN que se encuentra en los organismos y que fue aislado mediante técnicas de computación puede ser considerado como objeto de patente ante la falta de una actividad inventiva que cumpla con los criterios bajo los cuales se rigen los regímenes de patentes (Augusto, 2011).

Lo anterior es consecuencia de las perspectivas contradictorias que tienen los países respecto a la relevancia de los recursos genéticos, su acceso y la propiedad de estos, donde un número importante tanto de países como de empresas cuentan con las tecnologías y los conocimientos para adueñárselos bajo los DPI. Para el caso de México, sería necesario establecer nuevos requisitos legales como protección preventiva en contra de la biopiratería, como es la relevancia del origen geográfico de una secuencia, proceso u organismos, para el establecimiento de nuevas patentes a partir de su uso, con el cual se puede determinar la utilización de información natural y su procedencia para llevar adelante la repartición justa y equitativa tal como lo marca el CDB (Odek, 1994; Oduardo *et al*, 2017; Rodríguez, 2010).

CONCLUSIONES

A modo de conclusión se puede decir que, a pesar de que México no es parte de la vanguardia en el desarrollo de la biología sintética a nivel mundial, se le reconoce como un país donde se desarrolla de forma activa y en constante crecimiento. Así como pasó a nivel internacional, sus promotores en el país la visualizan como la mejor opción para incentivar e innovar nuevos desarrollos tecnológicos que permitan solucionar los problemas específicos del país.

A pesar de la intención que tiene la biología sintética con la utilización de algunos postulados de las ingenierías, aún no genera las capacidades y el conocimiento para re-definir el curso sobre los seres vivos y deshacerse de los fundamentos de la evolución, tal como se promueve, está lejos de alcanzar el potencial de una disciplina dentro de las ciencias biológicas, al menos en México.

Es por ello, que a mediano plazo podría representar un parteaguas para las ciencias biológicas y un avance tecnológico por la creación de nuevos paradigmas científicos ante el cambio de visión en la construcción de la vida, pero eso será cuando se tengan los conocimientos y las tecnologías necesarias, ya que actualmente no existe ninguna disciplina o ciencia con el potencial tecnológico, epistémico y las herramientas, que permitan una ruptura total con la biología a tal grado de plantear un nuevo modelo de construcción y diseño de la vida, al no sólo realizar una síntesis de los componentes químicos de las secuencias genéticas, sino una contextual del funcionamiento interno y externo del ADN.

La biología sintética aún no ha generado las capacidades tecnológicas y de conocimiento para crear vida desde cero y obtener organismos completamente sintéticos, muchas de las investigaciones no han rebasado las primeras etapas de investigación. Se basa en gran medida en las principales disciplinas de la biología, no representando una ruptura total con los modelos de explicación anteriores, pero si tiene variaciones significativas entre sí principalmente sobre su concepción de vida y la forma de abordarla.

Si bien está llamada a representar una revolución artefactual que intenta mejorar el entendimiento que tenemos sobre los mecanismos evolutivos de las especies, muchos de sus postulados siguen siendo propuestas teóricas y están en etapas de prueba de concepto, principalmente los que tienen que ver con los principios ingenieriles. Tiene una capacidad limitada respecto al conocimiento sobre el ADN y de entendimiento de las interacciones de las secuencias genéticas para predecir el comportamiento de los organismos que intenta

modificar, como una incompleta comprensión de cómo funciona la evolución, la adaptabilidad y el cambio de conducta que pueden tener los organismos.

Es un conocimiento emergente dentro de las ciencias biológicas que está en constante cuestionamiento por el pluralismo metodológico que plantea y su estatus de disciplina emergente que carece de una teoría fundacional en general, no llegando a conformarse un cuerpo de conocimiento unificado al tener la característica de conocimiento convergente. Esto tiene como consecuencia, que aún no tenga una definición avalada y consensuada que permita confrontar visiones de la biología e ingeniería, lo que imposibilita dar una definición unitaria entre las distintas ciencias ante el creciente uso del concepto en los programas de investigación a nivel mundial..

A pesar de que tiene el potencial de desarrollarse con un fuerte impacto en los sectores tecnológicos de alta especialidad mejorando sus expectativas y capacidades ante el surgimiento de nuevos procesos, productos e insumos, en el caso de México, no hay una fuerte actividad empresarial o un desarrollo tecnológico vinculado a la biología sintética. Para que se desarrolle la biología sintética, es necesario que se acepte como disciplina dentro de las ciencias biológicas, se consolide un proceso de institucionalización, se propongan rutas de trabajo y clarifique las fronteras entre artefactos y organismos ante la convergencia epistémica que propone, lo que genera tensiones entre los elementos de naturalidad asociados a la biología y artificialidad vinculada a lo sintético.

Los productos que se originan a partir de la biología sintética pueden ser más invasivos que los elaborados por la biotecnología convencional, al reescribir códigos genéticos artificialmente con la capacidad de realizar funciones asociadas a las líneas mecánicas de producción, lo cual dificulta evaluar sus comportamientos e impactos dentro de los organismos como en su contexto ecológico al ser difíciles de predecir sin importar el salto cualitativo por el hecho de que las capacidades de modificación y/o intervención de los sistemas biológicos es integral. Es necesario un balance entre los potenciales riesgos y los beneficios, al no comprender a cabalidad los principios y restricciones subyacentes en el diseño de organismos. Como generar nuevos marcos de evaluación y análisis de riesgos que permitan gestionar los desarrollos, los cuales serán más complejos en la medida en que se produzcan las secuencias sintéticas y los organismos sintéticos.

A pesar del crecimiento y el intereses por algunas empresas por invertir en biología sintética, como parte del panorama de crecimiento a nivel mundial, en el caso mexicano eso

está lejos de convertirse en una promesa viable, dado por la falta de apoyos económicos, la ausencia de un mercado para colocar los productos, el tiempo que se requiere para comercializar algún tipo de desarrollo y el tipo de investigación que se realiza en el país, la cual es de carácter básica.

En el caso del desarrollo industrial de la biología sintética, el único efecto que tendría para México, sería el aprovechamiento de terceros de la biomasa que se encuentra en el país, lo que afectaría los patrones de consumo, el modelo de apropiación de la naturaleza y las formas de producción, por medio de las formas de apropiación legal e ilegal a partir del aprovechamiento económico de los materiales orgánicos y organismos vivos.

Respecto a los productos, es pronto para vislumbrar todo el potencial que tienen y señalar un logro que pueda perdurar, en donde el rápido crecimiento de la industria, va dificultar analizar y prever los posibles efectos negativos al no existir reglamentos internacionales o nacionales para evaluarlos de forma sistemática, sin conocer hasta que punto van afectar a la biodiversidad. No hay garantías de que los organismos sintéticos no tengan afectaciones a los ecosistemas a la hora de salir de los laboratorios, aunque es pronto para saber con certeza los efectos y conocer de primera mano los compuestos que competirán con los productos naturales ante el secreto industrial, como predecir los productos y economías que se verán afectadas en el mediano plazo.

Por otro lado, la propuesta de Hernán Thomas en principio se utiliza para analizar la adopción de las tecnologías, en la presente tesis permitió examinar a la biología sintética como un espacio de interacción, lucha, controversia y conflicto muchas veces mediado por las diferentes visiones e interpretaciones. Una de las limitaciones del abordaje de trayectoria socio-técnica, basado en el análisis de varios textos, es el poco desarrollo teórico de la propuesta y la falta de investigadores que profundicen los aportes. En la mayoría de los textos revisados, se reproducía la propuesta de Hernán Thomas, sin abonar a las discusiones de los estudios CTS de forma crítica, sino sólo reproduciendo lo dicho por el autor en sus diferentes textos. Otra de las problemáticas que adolece el enfoque, a partir de su propuesta de ordenamiento de las relaciones que se establecen de forma causal entre los diferentes elementos heterogéneos en secuencias temporales, es que es muy descriptivo a la hora de hablar del proceso histórico adopción, lo cual puede ser tedioso para el lector.

A pesar de ello, su importancia radica en que es un nuevo marco conceptual que permite abordar distintas problemáticas a partir de nuevas miradas, como es la adopción de

una disciplina emergente como la biología sintética contemplando factores sociales, políticos, económicos, culturales y los actores que participan en el proceso. Donde su éxito o fracaso como conocimiento disciplinar no necesariamente se vincula a sus cualidades técnicas, ni a sus posibles usos, sino reconoce a una serie de factores como la participación de diferentes actores y grupos que permiten comprender la adopción, uso y utilidad, pasando de unidades simples a unidades complejas.

El aporte del enfoque de trayectorias, es que permitió ubicar patrones en la construcción de redes y/o construcción de la comunidad en biología sintética, lo que permitió generar un sentido de pertenencia, identidad y afiliación profesional distinguiendo los actores que participan en las diferentes etapas, ubicando a los centrales, así como las estrategias y características que implementan que permiten la evolución y orientación de las trayectorias.

En el caso del uso del concepto de sociedad del conocimiento, es un concepto situado que incorpora perspectivas de análisis globales, y principalmente hace referencia a los procesos que se dan en los países desarrollados, ya que a diferencia de ellos, en los países en vías de desarrollo se puede utilizar para describir el aumento de la brecha económica, científica y tecnológica, agudizando las desigualdades de conocimientos en tres planos de forma simultánea: en la generación, circulación y apropiación. Lo que plantea el establecimiento de formas desiguales de intercambio entre los países, que acentúan las asimetrías en ciencia y tecnología, ya que son parte de las dinámicas de concentración y acumulación de la riqueza y poder.

Respecto a la ciencia y la tecnología, permiten la consolidación de un modelo de apropiación del conocimiento privado ante la poca capacidad de algunos Estados de reaccionar, aminorar las consecuencias y prever sus efectos, como la aparición y gestión de nuevas formas de poder sustentadas en la generación de políticas públicas para impulsar o controlar las capacidades innovativas.

A pesar de la existencia de la forma de apropiación social del conocimiento, no hay mecanismos que impidan que el conocimiento desarrollado en las universidades con fondos públicos no sea un bien potencialmente privatizable, aunque es un error pensar que se transita a la sociedad del conocimiento orientando las prácticas e instituciones para su generación y así adquirir valor comercial ante los procesos de distribución desigual. Donde brechas entre los países no sólo son un distanciamiento con los centros más dinámicos respecto a los

conocimientos científicos, también involucran diferencias en el uso de las tecnologías, el control de ellas y las formas de propiedad, y también hacen referencia a las capacidades de investigar e innovar de las naciones, la distribución de los beneficios y riesgos, la generación de nuevos conocimientos, los procesos de formación y educación.

La relevancia del concepto, radica en que cuestiona el papel que juega el conocimiento científico y tecnológico experto en la toma de decisión, al poner en duda el modelo donde las decisiones se basaban en éstos de forma piramidal, ante la participación ciudadana en las diferentes etapas. Lo cual plantea un gran desafío práctico a la hora de pensar las formas de gobernar los conocimientos y las tecnologías sin inhibir su desarrollo con la generación de mecanismos que promuevan la participación del público en su orientación y regulación, sin ser un enfoque prohibicionista.

En el caso de la gobernanza, en países como México, se utiliza más así como un paquete de sugerencias normativas como ideal de la relación del Estado con la sociedad, se presenta como guía de gestión para los países en vías de desarrollo, proponiendo la reestructuración del Estado y su política económica, ante la inclusión, interacción e intervención tanto de actores públicos como privados en las gestiones estatales, representando grandes limitaciones prácticas a la hora de analizar las dinámicas organizacionales en la definición de un problema público y su posterior solución ante la carencia de contestación de sus postulados de forma empírica.

Valora la necesidad de una mayor participación de la sociedad en la toma de decisión que legitime los desarrollos científicos y tecnológicos, para que estos a su vez garanticen que los resultados buscados son respuesta a las necesidades de la gente. De forma institucional no existen las condiciones y la infraestructura en muchos países para generar una coordinación estratégica con perspectiva de largo plazo ante la ambigüedad en las responsabilidades de ciertas instituciones y actores, lo cual requiere distintas fases de articulación así como la coordinación en diferentes dimensiones entre los sectores gubernamentales.

Para llevar a cabo la gobernanza de la ciencia, tecnología e innovación, se requieren una serie de factores que se pueden enumerar de la siguiente forma: compromiso de los más altos niveles de gobierno, participación de la sociedad civil y el sector privado, fortalecimiento de los vínculos de la investigación pública y el sector privado, una definición política orientada bajo la perspectiva de gobernanza, una evaluación constante para mejorar el proceso, flexibilidad en el establecimiento de prioridades y armonización de los programas,

políticas y proyectos disponibles, con estos elementos se busca generar estrategias nacionales que abarquen la investigación y la innovación a partir de una amplia consulta con los interesados, donde su diseño e implementación sea llevada a cabo por profesionales con el fin de evitar los conflictos de intereses y un proceso continuo de evaluación para suplir tanto las deficiencias como disminuir los riesgos.

Con lo que respecta a la adopción y desarrollo de la biología sintética en México, se puede decir que el país cuenta con limitaciones estructurales para el desarrollo de la ciencia y la tecnología en general, las cuales se van agravando con el pasar del tiempo o con los cambios de gobierno a nivel federal, estas no han impedido el desenvolvimiento de la biología sintética, gracias a la participación de un número reducido de actores que han tenido un papel central, quien ante la inacción del Estado para promoverla desde su etapa de adopción, la han impulsado desde hace más de 15 años para que se adopte como una disciplina de interés dentro de las ciencias ya consolidadas y de investigación en los laboratorios, a partir de diferentes iniciativas como estrategias de enrolamiento de nuevos actores.

Si bien la biología sintética se desarrolla a nivel mundial en las fronteras de la innovación tecnológica por los objetivos que busca y los programas de investigación que publicita, en el caso de México no se puede establecer su éxito o fracaso, ya que no se conoce todo el potencial que pudiera tener ante el impacto limitado que ha tenido dentro de las ciencias biológicas en el país. Carece capacidades, infraestructura y personas para hacerle frente a los nuevos retos tecnológicos que traerían consigo su adopción y uso de forma generalizada, ante la posibilidad que a mediano plazo se instaure como una disciplina consolidada dentro de las universidades y laboratorios, ya que actualmente se toma como una actividad tangencial dentro de los programas de investigación a nivel nacional.

Como pasó con otras disciplinas, se desarrolla bajo un estilo sociotécnico característico de la región, donde los conocimientos exógenos se integran a las agendas de investigación dentro de las comunidades de conocimiento ya consolidadas. Así mismo, la biología sintética partió de un proceso imitativo principalmente de los Estados Unidos, lo que genera el temor de que sirva como mecanismo de poder y dominación que perpetúe el dominio de los países centrales sobre las naciones en vías de desarrollo.

Apenas se están dando las condiciones para que se vaya gestando una agenda de innovación propia, ante el aumento de laboratorios y el interés de ciertas universidades en adoptar a la biología sintética dentro de sus planes y programas de estudio, que vaya más allá

del objetivo de generar nuevas capacidades de enrolamiento y se traduzca en avances tecnológicos que resuelvan problemas en concreto del país, al no ser una disciplina profesionalizada e institucionalizada en México.

Hasta el momento, su adopción no ha sido un proceso generalizado dentro de las ciencias biológicas, apenas se cuenta con un número limitado de experiencias de institucionalización dentro de la academia. Esto se debe al hecho de que se siguen discutiendo los efectos, alcances, beneficios, utilidades prácticas y diferencias con otras disciplinas, lo cual complica su adopción y su consolidación como disciplina en México, lo que dificulta crear marcos comunes entre los interesados que puedan compartir visiones y relevancia de la biología sintética para impulsarla.

En México el problema de adopción de la biología sintética como conocimiento disciplinar no tiene que ver con sus características técnicas, ya que el país cuenta con los conocimientos necesarios para llevar adelante los experimentos, sino tiene que ver con las condiciones de infraestructura, las controversias, limitaciones económicas, discusión de significados e utilidades, decisiones políticas y culturales respecto a la conservación de la biodiversidad del país, lo que ha afectado su proceso de institucionalización.

Para que la biología sintética se desarrolle en el país no solamente se requiere la convergencia de los conocimientos y tecnologías, sino de una serie de insumos, materiales, equipamiento, infraestructura, creación de empresas de servicios, financiamiento, vinculación, fusión o sinergia de actores públicos como privados que estén insertos en los procesos innovativos como requisito y condición necesaria para llevar a cabo este nuevo enfoque, ante el grado de complejidad que esta articulación supone, lo cual impactaría de manera positiva en la generación de una agenda de innovación con objetivos comunes, el desarrollo de un lenguaje compartido, un cambio institucional en los sistemas de ciencia y tecnología nacional, así como la aplicación del conocimiento al orientar sus esfuerzos y recursos para solucionar problemas específicos, orientando el quehacer científico nacional.

Si realmente hay un interés por impulsar la biología sintética se requiere primero crear una estrategia o plan de trabajo a nivel nacional que marque las rutas y pautas de desarrollo, que se vincule con la creación de más laboratorios y empresas especializadas de servicios, posgrados que permitan la formación de los estudiantes y disminuya la dependencia al extranjero, estrechar los lazos con la industria nacional ante la falta de participación e injerencia en el proceso, crear de forma institucional una serie de apoyos que incentiven a la

biología sintética dentro y fuera de las universidades, crear oficinas de transferencia tecnológica en las universidades y laboratorios que reduzcan tanto la carga administrativa como legal que hay detrás del patentamiento, generar políticas públicas y otorgar partidas presupuestarias en ciencia y tecnología, ante el poco apoyo gubernamental en el desarrollo e institucionalización.

El dinamismo tanto en las investigaciones, aplicaciones y la participación de diferentes actores, no plantea un sólo sentido o trayectoria de la biología sintética por las condiciones en que se da el uso de sus conocimientos en el país. Se pueden plantear múltiples trayectorias de desarrollo, uso y generación de conocimiento en la biología sintética, las cuales se resignificarán en función de los objetivos, prioridades, necesidades, ideología política y económica, intereses y valores. Se pueden establecer múltiples trayectorias de adopción y uso de los conocimientos en la biología sintética que se resignifican constantemente a partir de los marcos colaborativos y sinérgicos de un número limitado de actores, que dependen de las condiciones de infraestructura, conocimiento, insumos, financiamiento, formación, apoyo institucional, intereses y tiempo de los participantes. No son procesos lineales en comparación con otras disciplinas, esto se debe a los diferentes procesos que han ocurrido, vinculados principalmente a los esfuerzos de crear estructuras organizativas formales e informales, así como a los actores que han participado.

Con la reconstrucción de su proceso histórico mediante en secuencias temporales se pudo analizar el crecimiento de la comunidad, la diversificación de actividades, el peso de las instancias de gobierno en la orientación y la centralidad de algunos actores en el proceso de desenvolvimiento de la biología sintética en México. A pesar de ello, sigue siendo una red muy fluctuante en sus capacidades para enrolar nuevos actores ante las condiciones bajo las que trabajan y por ser una comunidad en constante crecimiento. Actualmente se sigue en una etapa de aprendizaje y consolidación, en el que el proceso innovativo está directamente vinculado a la construcción de la comunidad y en enrolamientos de nuevos actores a partir de las alianzas, no así en la construcción de capacidades técnicas en el país ante las deficiencias estructurales, por lo cual la capacidad de crear una agenda de innovación trasciende los aspectos científicos y tecnológicos del país, dependió en gran medida de la capacidad de reclutar nuevos aliados a las redes de conocimiento.

Por otro lado, no se pudo determinar con claridad los vínculos, articulación, alianzas y negociaciones de los significados de los actores involucrados, a pesar de ser una disciplina

emergente de reciente adopción en el país ante la falta de fuentes de información y de investigaciones sobre biología sintética que den cuenta de su estado actual respecto al proceso de investigación, con las cuales se determine las etapas en las cuales van los experimentos y el grado de inserción de los conocimientos en las universidades.

A pesar de ello, las universidades públicas siguen siendo un actor central a nivel nacional en la construcción de capacidades en biología sintética, a pesar de la participación e injerencia en la orientación de las trayectorias de actores con intereses privados. Por medio de la creación de laboratorios en la última etapa, se ha aumentado el ritmo de la investigación, donde la actividad innovativa sufre de una dispersión geográfica.

Analizar las trayectorias implicó una tarea difícil a pesar de que no tiene más de 20 años. Las tres principales razones es la falta de información, referencias o bibliografía, su crecimiento se dio en un momento de transición en el uso del Internet, existiendo pocos documentos que hablen del proceso en el país, mientras que hay carencia de reflexiones por parte de sus protagonistas que se cristalicen en escritos que permitan abordar de una mejor manera el tema. Al no ser una disciplina consolidada, no se le da la importancia pertinente, aunado a la poca labor de docencia directamente vinculada a dicha disciplina. Eso plantea una serie de retos subyacentes a la hora de examinarla por los constantes cambios y evoluciones de las cuales es partícipe, como las variaciones e intermitencia de los actores, siendo la mayoría estudiantes, lo que da como resultado una rotación de forma constante, así como una participación intermitente.

Desde la adopción de la biología sintética en México se ha discutido el enfoque y orientación que debería seguir respecto al uso de los conocimientos y su forma de apropiación, ante los dos escenarios en que se pueden desenvolver: la perspectiva social o privada del conocimiento, generando una serie de controversias aún no clausuradas entre diversos actores -principalmente académicos- sobre su posición dentro de la biotecnología y las ciencias biológicas en general, así como por los impactos sobre la biodiversidad, ante las distintas visiones e importancia con lo que respecta a los recursos genéticos, y la falta de consenso sobre cuánto hay que difundir, ante las desventajas competitivas con otros laboratorios y la carencia de financiamiento de los grupos de investigación.

Si bien la participación de las universidades públicas ha sido una constante durante estos años jugando un papel central para el crecimiento de la biología sintética, a lo largo del país se han creado organizaciones vinculadas al enfoque Open y a la apropiación social del

conocimiento. A pesar de sus existencia, los actores que han tenido más peso en la orientación de la disciplina están vinculados al enfoque de apropiación privada desde la primera etapa de desenvolvimiento.

La poca incidencia de las organizaciones bajo la perspectiva Open en el proceso de adopción y desarrollo de la biología sintética, como lo que se refiere a la construcción de las agendas de investigación, se debe a que suelen tener un papel más tangencial en las redes establecidas y poca capacidad de incidencia, en el caso de la formulación de políticas públicas en temas de bioseguridad. En cambio, los actores y grupos que se articulan al enfoque de apropiación privada, tienen mayor articulación entre si, fortaleciendo las redes de conocimiento y la comunidad en biología sintética ante la falta de participación del Estado y sus estructuras gubernamentales, pero no así en el parte de bioseguridad ante la baja capacidad de estos de incidir en la toma de decisiones a nivel gubernamental.

De igual forma, es necesario una discusión amplia sobres las implicaciones y la creación de marcos regulatorios adecuados a cada país, donde los intereses y problemáticas marquen las agendas de investigación y no así los grandes conglomerados empresariales. La biología sintética tiene el potencial de minar la implementación de las obligaciones de acceso a los recursos genéticos por parte de los países, eliminado la posibilidad de una repartición de beneficios, los cuales va a depender en gran medida del marco legal y de regulación adoptados por los gobiernos para proteger sus recursos.

Genera preguntas, dudas y cuestionamientos sobre las obligaciones potenciales de la biología sintética respecto a la propiedad intelectual, el consentimiento previo e informado, el acceso y repartición de beneficios al tener el potencial de erosionar los acuerdos internacionales sobre la conservación genética y generar dificultades a la hora de las negociaciones sobre diversidad biológica. Ya que actualmente se desarrolla en México en medio de vacíos legales respecto a los marcos de bioseguridad y de propiedad intelectual, la participación del Estado mexicano será fundamental para aminorar los riesgos y el devenir científico por medio de la coordinación entre secretarías, capacitación de los funcionarios y mejores metodológicas de monitoreo.

Su principal característica son las incertidumbres en materia de bioseguridad, derivadas del uso y aplicación de sus conocimientos, las consecuencias no deseadas y los riesgos por el uso de tecnologías para la modificación genética...Las regulaciones cambiarán las formas de crear, producir, desarrollar, distribuir y comercializar las innovaciones

tecnológicas que se desprenden de la biología sintética, así como orientarán en lo político, cultural, social y económico. Plantea el desafío de la construcción de un marco de bioseguridad que tome en consideración el contexto y las condiciones de los países donde se desarrolle, acorde a los peligros reales y necesidades de estos respecto a la regulación que vaya evolucionado con el desarrollo científico México.

La biología sintética plantea la necesidad de crear e instaurar nuevas capacidades de detección, identificación y monitoreo de organismos o sus derivados, ante el problema de las técnicas actuales sean superadas por las características de los organismos sintéticos, así como las competencias reguladoras de las DSI ante las consecuencias no deseadas que su adopción de forma amplia traería podría traer. Algunos de los efectos adversos son la conservación de la biodiversidad, principalmente lo que tiene que ver con el acceso a los recursos genéticos y la participación de los beneficios derivados de su uso. Otro aspecto son, las limitantes en los marcos de bioseguridad vigentes derivados a partir del CDB, principalmente sobre la información de secuencias genéticas, lo que pone la necesidad de actualizar o crear nuevos marcos que den cuenta de la complejidad de los conocimientos.

Es necesario crear estructuras y mecanismos normativos que a la par permitan el uso y acceso de los recursos genéticos, pero permitan la participación de beneficios principalmente sobre los recursos tradicionales ante los vacíos y deficiencias específicas del CDB y el Protocolo de Nagoya, por las realidades tecnológicas que plantea la biología sintética respecto a la bioseguridad y principalmente con el uso de DSI, como formar a los investigadores ante el desconocimiento de la disciplina, el marco normativo y legal de bioseguridad, dándoles herramientas, mecanismos y metodologías de análisis claras como sencillas de entender y llevarse a la práctica.

DSI plantea algunas interrogantes sobre la propiedad de los recursos genéticos y los mecanismos de acceso y participación de los beneficios, al no contemplar la transmisión de la información a través de nubes informáticas, lo que choca con los beneficios propuestos en la cultura de la investigación a partir de acceso abierto. Por eso es necesario para México desarrollar nuevas disposiciones de bioseguridad por la insuficiencia que tendrían los instrumentos vigentes para comprender su alcance así como los riesgos.

Se requiere del desarrollo de un diagnóstico respecto a la situación de bioseguridad del país así como del proceso de investigación para determinar riesgos y consecuencias no deseadas basados en información fiable, ante el desconocimiento de la actividad académica y

principalmente de investigación que se desarrolla, ya que actualmente no se cuenta con las capacidades gubernamentales para darle seguimiento a los productos derivados de la biología sintética como para poder aminorar los efectos del uso de sus conocimientos.

Para llevar adelante estas iniciativas dentro de un marco de gobernanza de la biología sintética para el país, es necesario convocar a todos los actores interesados y crear las instancias para que se dé un debate amplio y transparente, donde se discutan tanto temas como una definición, riesgos, beneficios, consecuencias, acceso y uso de los recursos, repartición de beneficios y una nueva política de bioseguridad, como las desventajas en el caso de los bancos y bases de datos, que representaría para los recursos genéticos del país ante la falta de reconocimiento como país de origen, así como la distribución de beneficios.

Falta una política de innovación que impulse y que genere un ambiente adecuado para el desarrollo de la biología sintética, que sea núcleo del diseño e implementación de evaluación en el país que la promueva y a la par su institucionalización. Que contemple discusiones sobre los efectos de los derechos de propiedad intelectual y principalmente las patentes, para establecer mecanismos legales que impidan la evasión legal de los ABS a partir de las nuevas modalidades de biopiratería.

Si bien existen dos formas de apropiación de los conocimientos que se desarrollan en paralelo dentro de la biología sintética, como son la visión social y privada, el hecho de existir los derechos de propiedad intelectual trae consecuencias respecto al uso y acceso de los recursos genéticos locales, lo que complica una repartición justa y equitativa de los recursos por los problemas de trazabilidad que son vigentes para el presente caso.

Se requiere crear normativas que orienten los esfuerzos para una utilización responsable de los conocimientos que no sea una regulación prohibitiva ante la posibilidad de acrecentar las brechas y desigualdades tecnológicas con otros países, pero a la par que permita el uso de los conocimientos bajo un marco que no implementé muchas restricciones a la vez, que limite su desarrollo y potencial en el país.

Crear de nuevas herramientas que permitan aminorar los riesgos de la actividad innovativa, un sistema jurídico que distribuya responsabilidades y controle la discrecionalidad en el uso de los recursos genéticos, donde la incorporación de los conocimientos y tecnologías asociadas implicaría una adaptación de las legislaciones vigentes y los sistemas de propiedad intelectual a partir de las necesidades y problemáticas específicas del país. En el caso de las patentes, los avances en biología sintética son tan rápidos que pueden dejar obsoletos las patentes previas,

o en su defecto complica establecer el punto de partida en que se da la innovación, que implique un desarrollo tecnológico que requiera ser protegido ante la complejidad de los organismos que se quieren desarrollar.

ANEXOS

Anexo 1. Estancia de investigación en España-Málaga.

Como parte de las actividades que se desarrollaron durante mi estancia en el Doctorado en Sociología dentro de la línea Sociedad y Nuevas Tecnologías, se propuso la realización de una estancia de investigación a nivel internacional en coordinación con mi asesora la Dra. Arcelia González Merino y avalado por mi comité tutorial.

Por el tiempo transcurrido hasta ese momento en el Doctorado se fijó realizar una estancia corta ante los trámites administrativos que ello implicaba, los costos económicos, la carga de trabajo que se tenía y principalmente a partir de los objetivos que se propusieron con la intención de abonar a la investigación con lo que respecta al capítulo 3 desde otra óptica. En principio se propusieron distintos criterios de selección dentro de los cuales estaba un país que tuviera un desarrollo en biología sintética, una universidad o instituto que tuviera algún acercamiento con la biología sintética, ya sea como competidor de iGEM o tuviera laboratorio especializado, y un investigador que abonará a la investigación a partir de su conocimiento sobre el tema desde una perspectiva social.

Ante los criterios marcados se plantearon distintas universidades dentro de las reuniones de seguimiento de la línea de investigación y se contactaron a distintos investigadores. A partir de estos elementos, se decidió realizar la estancia de investigación en el área de Lógica y Filosofía de la Ciencia en el Departamento de Filosofía de la Universidad de Málaga-España, del del 07 de enero al 28 de febrero de 2020 con el Dr. Antonio Diéguez Lucena, el cual cuenta con años de experiencia respecto al análisis de la biología sintética, siendo un referente en el tema del transhumanismo y la filosofía de la biología.

Los objetivos que se plantearon fueron analizar otras vetas de investigación acerca de la biología sintética para incorporarlas al caso de México, analizar su desarrollo en España que nos permitiera observar similitudes y diferencias con el país, examinar información sobre su desenvolvimiento a partir de fuentes escritas y orales por medio de entrevistas, y tener reuniones de retroalimentación con especialistas de la Universidad de Málaga, principalmente con el Dr. Antonio Diéguez Lucena.

Los resultados obtenidos fueron reuniones de retroalimentación con el Dr. Antonio Diéguez Lucena quincenales durante toda mi estancia, se consultó la información disponible de las bibliotecas de varias universidades de España como revistas, memorias de eventos, tesis y publicaciones en general con el fin de fortalecer el proyecto de investigación, se examinó la información contextual a partir de la realización de ocho entrevistas con distintos especialistas de diferentes universidades de España.

Listado de entrevistas durante estancia de investigación			
	Nombre	Procedencia	Importancia
1	Dr. Javier Urchueguía Schölzel	Universidad Politécnica de Valencia	Instructor de los primeros equipos de estudiantes que participaron en iGEM de la Universidad Politécnica de Valencia.
2	Dr. Miguel Ángel Medina Torres	Director del Departamento de Biología Molecular de la	Integrante del SynbioMA, grupo de pasantes dentro de la universidad que trabajan con

		Universidad de Málaga	biología sintética.
3	Dra. Laura Nuño de la Rosa	Universidad Complutense de Madrid	Especialista en temas de biología sintética, ha publicado varios artículos al respecto.
4	Sarah García	Planetario de Pamplona	Participante de la competencia iGEM 2018-2019.
5	Dr. Andrés Moya Simarro	Universidad de Valencia	Investigadora del Instituto de Biología Integrativa de Sistemas (I2SysBio) que trabaja con biología sintética.
6	Dra. Rosario Gil García	Universidad de Valencia	Investigadora del Instituto de Biología Integrativa de Sistemas (I2SysBio) que trabaja con biología sintética.
7	Dr. Arnau Montagud	Centro Nacional de Supercomputación, Barcelona	Participante de la competencia iGEM como estudiante e instructor.
8	Dr. Enrique Viguera Mínguez.	Universidad de Málaga	Especialista en temas de biología sintética, ha publicado varios artículos al respecto.

Si bien no está integrado como parte del capítulo la información obtenida principalmente de las entrevistas, la importancia de haber realizado la estancia y la recopilación de información a partir de fuentes escritas y orales radica en que se pudo examinar la información de México a partir de las similitudes y diferencias que se encontraron con el caso de España. Lo que permitió reflexionar y analizar vetas de estudio que no se tenían contempladas previ6 a la estancia y que posteriormente fueron integradas al capítulo 3 como parte de las reflexiones de las trayectorias dentro de los marcos temporales.

Otra ventaja fue la similitud en los perfiles de los entrevistados tanto para México como España, contemplando investigadores, instructores y estudiantes que participaron en iGEM, lo que permitió comparar trayectorias, problemas, soluciones, visiones, importancia y significados respecto a la biología sintética desde su etapa de adopción. Si bien no son las mismas condiciones en las cuales se desarrolla la biología sintética, hubo muchas coincidencias que reforzaron algunos argumentos para el caso mexicano, que son significativas por la forma en que se fue abriendo camino en los dos países.

Del mismo modo, permitió tener una visión más amplia de como funcionan los centros de investigación a nivel europeo como los marcos de regulación por los cuales se rigen para el caso de la biología sintética, resaltando la importancia de contar con apoyos de todo tipo para su crecimiento de manera nacional.

Anexo 2. Listado de entrevistados			
Nombre	Cargo o institución	Justificación	
1. Itzayana (seunónimo)	Funcionaria	Integrante del grupo amplio de biología sintética de CIBIOGEM	15 de octubre de 2019
2. Mtra. María Andrea Orjuela	Funcionaria de CONABIO	Integrante del grupo de expertos sobre biología sintética del CDB	17 de octubre de 2019

Restrepo			
3. Dra. Fabiola Ramírez Corona	Profesora de la Facultad de Ciencias	Participante de 1er equipo de iGEM de la Facultad de Ciencias en 2006	27 de octubre de 2019
4. Enrique Paz Cortés	Doctorante del Instituto de Biotecnología, UNAM-Morelos	Participante del 1er equipo de iGEM-CCG, integrante de la Red Nacional de Biología Sintética y autor de la nota informativa INyTU No. 21	28 de octubre de 2019
5. Dr. Roberto Olivares Hernández	Docente-investigador de la UAM-Cuajimalpa	Instructor de equipo iGEM 2019-Tec de Monterrey	05 de noviembre de 2019
6. Dr. Rogelio Hernández López	Director MiniMOOCs	Posdoc de la University of California y coordinador del MiniMOOCs sobre biología sintética y biocombustibles	14 de noviembre de 2019
7. Mtro. Jorge Ángel Marcos Víquez	Integrante de Open LabMx	Integrante de Biohackademy e integrante de la Red Nacional de Biología Sintética	15 de noviembre de 2019
8. Verónica Villa Arias	Integrante del Grupo ETC	Análisis sobre el impacto en la diversidad y los recursos genéticos	05 de diciembre de 2019
9. Mtro. Ricardo Camilo Chávez	Scintia	Director general de Scintia, integrante de los equipos del Tec de Monterrey e instructor y representante de la Fundación iGEM para América Latina	15 y 18 de enero de 2020
10. Miguel Ángel Loera Sánchez	Doctorante del ETH Zúrich	Integrante de los equipos de la UANL y la Red Nacional de Biología Sintética	11 y 18 de febrero de 2020
11. Dr. Luis Figueroa Yáñez	Investigador del CIATEJ	Sub línea de trabajo, biología sintética y coordinador general de la Red Nacional de Biología Sintética	11 de febrero 2020

Anexo 3. Publicaciones relevantes de la primera etapa

Año	Referencia	Aporte
1999	Hartwell <i>et al</i> , L., “From molecular to modular cell biology”, <i>Nature</i> , december, núm.402, pp-47-52.	Describe algunas de las características y elementos que serían la base para el desarrollo de la biología sintética, poniendo énfasis en las funciones y evolución de los organismos.
2000	Gardner <i>et al</i> , T., (2000), “ <i>Construction of a genetic toggle switch in Escherichia coli</i> ”, <i>Nature</i> , january, núm.403, pp. 339-342.	Descripción de un dispositivo caracterizado como de conmutación genética, que demuestra que es posible modelar, diseñar y construir redes sintéticas a partir de redes moleculares.
	Elowitz <i>et al</i> , M., “A synthetic oscillatory network of transcriptional regulators”, <i>Nature</i> , january, núm.403, pp. 335-338.	Diseño de un circuito genético que produce una proteína fluorescente, generando una señal de salida cuya concentración cambia de modo oscilante.
2002	Calin <i>et al</i> , G., (2002), “Combinatorial synthesis of genetic networks”, <i>Science</i> , núm. 296, pp. 1466-1470.	Plantea la creación y análisis de redes sintéticas como parte de un modelo teórico, a partir de un enfoque combinatorio que genera una biblioteca de redes con conectividad variable.
	Weiss, Ron, y Subhayu, Basu, (2002), “The device physics of celular logic gates”, <i>First Workshop on Non-Silicon Computing</i> , Boston, E.U.	Establecieron métodos para los ingenieros para acceder a puertas lógicas basado en la transcripción. Aporta para la formalización y prácticas de la ingeniería de circuitos.
2004	You <i>et al</i> , L., (2004), “Programmed population control by cell–cell communication and regulated killing”, <i>Nature</i> , núm. 428, pp. 868-871.	Desarrollo de circuito que regula el número de bacterias que se desarrollan en un cultivo.

Isaacs., F., (2004), “Engineered riboregulators enable post-transcriptional control of gene expression”, <i>Nature</i> , pp.841-847.	Dispositivos de ARN para regulación modular de la expresión genética.
--	---

Fuente: Elaboración propia a partir de Cameron *et al*, 2014; López *et al*, 2006; Luna, 2014; Macia y Solé, 2011; Morones, 2010; Morange, 2009; Schmidt, 2010 y Wan, 2012.

Anexo 4. Tesis sobre biología sintética			
Autor	Título	Institución	Año
Federico Castro Monzón	Biología Sintética, análisis de una disciplina emergente	UNAM-Facultad de Ciencias	2011
Rosa Paulina Calvillo Medina	Construcción, clonación, expresión y caracterización de dos biopartes sintéticas (BBa_K328003 y BBa_K328004) del gen Csp A en Escherichia coli ante la respuesta a la disminución de temperatura	Universidad Autónoma de Querétaro- Facultad de Ciencias Naturales	2011
Jesús Pérez Juárez	Detección de la transferencia horizontal de genes in vivo utilizando herramientas de biología sintética	UNAM-Facultad de Ciencias	2012
Lourdes Viridiana Soto Robles	Construcción sintética de una proteína anticongelante inducida por un choque frío: Un modelo en Escherichia coli	UNAM-Facultad de Ciencias	2012
Ileana de la Fuente Colmenares	Definición de caracterización en biología sintética y propuesta de una metodología estándar para la caracterización de biopartes	UNAM-Facultad de Ciencias	2013
Daniel Ochoa Gutiérrez	Construcción sintética de una levadura criotolerante	UNAM-Facultad de Ciencias	2013
Daniel Domínguez Gómez	Directrices rumbo al establecimiento de políticas públicas en materia de biología sintética en México	IPN- UPIBI	2013
Cynthia Paola Rangel Chávez	Arquitectura natural de las unidades de transcripción de E.coli K-12 MG 1655 como fundamento de diseño en biología sintética	CINVESTAV- Irapuato- Especialidad en Biotecnología de Plantas	2014
Mariana Muñoz Argott	Caracterización de las biopartes BBa_K328000 y BBa_k328001 de un sistema de respuesta al frío en Biología Sintética	UNAM-Facultad de Ciencias	2014
Liliana Marcela Hernández Velazco	Biología sintética y la ingeniería química	UNAM-Facultad de química	2015
Andrés Ferriño Iriarte	Análisis de la sobreexpresión del activador transcripcional MarA como propuesta para la producción recombinante del péptido antimicrobiano humano LL.37 en Escherichia coli	UNAM-Facultad de Ciencias	2015
Francisco Cruz Rodríguez	Diseño de cepas bacterianas para su aplicación en biología sintética	UNAM-Centro de Ciencias Genómicas	2016
Brayan de Jesús Luna Reyes	Presentación de tectones moleculares sobre partículas tipo virus	UNAM-Facultad de Ciencias	2017
Ricardo Munguía Díaz	Desarrollo de un biosensor sintético para la detección de CO ₂ y perspectivas de biorremediación	UNAM-Facultad de Ciencias	2017
Miguel Ángel Bello González	Reducción del proteoma de Escherichia coli mediante silenciamiento de la expresión de genes usando CRISPRi y su aplicación en biología sintética	UNAM-Instituto de Biotecnología	2019

Luis Ángel Lara Pereda	Bioética e ingeniería de la vida: reflexiones filosóficas en torno al desarrollo de la biología sintética	UNAM-Facultad de Filosofía y Letras	2019
María del Carmen Sánchez Olmos	Implementación de un nuevo método para la integración cromosómica múltiple y sucesiva de elementos genéticos: un enfoque para la creación de circuitos epigenéticos en biología sintética	UNAM-Facultad de Ciencias	2020
José Pablo Alonso Alcocer	América Latina frente a la inserción de la biología sintética y la gestión de la biodiversidad: marcos jurídicos de México y la Comunidad Andina de Naciones	UNAM-Facultad de Filosofía y Letras	2020

Fuente: Elaboración propia a partir de Castro, 2011; Fuentes 2013; Luna, 2017; Paz, 2018; Pérez, 2012; Soto, 2012³⁰.

Anexo 5. Eventos de biología sintética (2010-2014)

<i>Nombre del evento</i>	<i>Fecha</i>	<i>Organizador</i>
2010		
<i>Biología Sintética</i>	03 de mayo	Tecnológico de Monterrey-Irapuato
<i>1er Taller de Biología Sintética</i>	05 al 21 de julio	CINVESTAV-Irapuato
<i>Biología Sintética</i>	26 al 29 de octubre	Escuela de Ciencias Biológicas Torreón
2011		
<i>Seminario de Biología Sintética</i>		Semana de la innovación
<i>Una perspectiva de la Biología Sintética</i>	19 al 21 de mayo	UANL-Facultad de Ciencias Biológicas
<i>2do Taller de Biología Sintética</i>	junio	CINVESTAV-Irapuato
<i>Biología Sintética: Qué es y cómo estamos impulsado su desarrollo en México</i>	26 de agosto	UNAM-Facultad de Química
<i>Desarrollo de un biosensor para la detección y destrucción de Pseudomonas aeruginosa mediante el acoplamiento de sistema de Quórum Sensing y Lysis en Escherichia coli: un enfoque de biología sintética</i>	27 al 28 de septiembre	1er Foro Juvenil de Ciencias y Tecnología y Desarrollo Social
<i>Exposición Bio-Sintetizarte</i>	30 de septiembre	CCG
<i>Impulsando la Biología Sintética en México</i>	8 de octubre	IPN-UPIIG
<i>Biología Sintética, factores para un camino exitoso en México</i>	17 al 20 de octubre	Genómica y Bioeconomía
<i>Seminario de negocios en Biología Sintética</i>	20 de octubre	Biosintética
2012		
<i>En la frontera de los organismos sintéticos</i>	21 al 23 de marzo	GDF
<i>Biología Sintética en México</i>	29 de mayo al 02 de junio	Asociación Mexicana de Bioseguridad
<i>Synthetic biology: challenges and opportunities for Mexico</i>	01 de agosto	Genómica y Bioeconomía A.C
<i>Biogénesis 2.0: Biología Sintética con Bacterias</i>	14 de septiembre	UAQ-Lic. En Microbiología
<i>Túnel de la Biología Sintética</i>	24 al 26 de septiembre	Gobierno de Nuevo León
<i>Biología Sintética: ingeniería para el aprovechamiento del residuos agroindustriales</i>	24 al 26 de octubre	VI Congreso de Biotecnología y Bioingeniería del Sureste

³⁰De igual forma, se consultó de forma digital la Biblioteca Central de la UNAM, como de forma física los acervos de sus facultades e institutos que han participado en iGEM, desgraciadamente hay un problema de actualización de su contenido como de acceso para sus plataformas, por lo cual, no se encuentran todas las tesis sobre el tema.

<i>Biología Sintética: ingeniería de nuevas funciones biológicas</i>	11 al 17 de noviembre	XXIX Congreso Nacional de Bioquímica
<i>Biología sintética</i>	5 al 7 diciembre	UAM Cuajimalpa
<i>Seminario de biología sintética</i>	10 de diciembre	Universidad Tecnológica de la Mixteca
2013		
<i>Biología sintética</i>		4to simposio de Investigación del instituto de Ciencias Biomédicas
<i>La visión futura de México en Bioeconomía</i>	14 de octubre	Congreso Internacional BioUANL
<i>Biología Sintética</i>	07 de enero	UAM Cuajimalpa
<i>La evolución como problema de la biología sintética</i>		UAM Cuajimalpa
<i>Expandiendo los alcances de la ingeniería metabólica con herramientas matemáticas de biología de sistemas y biología sintética</i>	17 de junio	UAM Cuajimalpa
<i>Construcción de una red de investigación en biología sintética en México</i>	26 de junio	Flasco
<i>1er Foro de Biología Sintética "Sintetizando el futuro"</i>	08 de agosto	IPN-UPIIG
2014		
<i>Avances tecnológicos en ciencias genómicas y biología sintética que transformarán la vida y los negocios</i>	21 de enero	ITESO
<i>Biología Sintética</i>	17 y 18 de febrero	UAM Cuajimalpa, CaramelTech, S.A. de C.V. y CIIBA-ITSON
<i>El potencial global de la biología sintética: oportunidades científicas y buen gobierno</i>	13 de mayo	Academia Mexicana de Ciencias
<i>Diplomado en Biología Sintética</i>	24, 31 de mayo y 07 de junio	Equipos IGEM
<i>Biología Sintética</i>	19 al 21 de mayo	UNAM Campus Morelos
<i>Biología Sintética</i>	24 de mayo	Tecnológico de Monterrey-Estado de México
<i>Quimeras genéticas</i>	6 de junio	UNAM
<i>EmTech México</i>	18 y 19 de junio	Tecnológico de Monterrey-Santa Fe
<i>Modelación matemática como una técnica adicional para atacar problemas biológicos</i>	04 de septiembre	Encuentro UAM de Ciencias Naturales, Física-Matemática y Aplicaciones
<i>Biología Sintética en Microorganismos</i>	10 de diciembre	CIBIOGEM

Fuente: Elaboración propia a partir de múltiples fuentes de información en Internet³¹.

Anexo 6. Integrantes del Grupo de Trabajo en Biología Sintética, sector académico

Nombre	Institución
--------	-------------

³¹Para la realización de la tabla se consultaron múltiples fuentes de información, principalmente páginas de Internet de las universidades, centros de investigación, perfiles de Facebook institucionales y personales, notas periodísticas, revistas, notas informativas, artículos, Currículum Vitae y se retomaron en algunos casos, lo dicho en las entrevistas. Lo cual complica fijar una cantidad limitada de fuentes de consulta por los eventos enlistados, cada evento tiene una fuente particular en comparación con otras tablas, se puede rastrear cada evento en Internet a partir de los datos proporcionados para su consulta.

1	Dr. Agustino Martínez Antonio	CINVESTAV-Irapuato
2	Dr. Miguel Gómez Lim	CINVESTAV-Irapuato
3	Dr. José Rubén Morones Ramírez	UANL
4	Dr. Marco Rito Palomares	Tec de Monterrey, Campus Monterrey
5	Dr. Víctor Manuel Treviño Alvarado	Tec de Monterrey, Campus Monterrey
6	Dra. María Mercedes Roca	Tec de Monterrey, Campus Guadalajara
7	Dr. Francisco Gómez Barona	CINVESTAV-IPN
8	Dr. Pablo Padilla Longoria	UNAM
9	Dr. Arturo Carlos II Becerra Bracho	UNAM
10	Dr. Irineo Torres Pacheco	Universidad Autónoma de Querétaro
11	Dr. Daniel Díaz Montenegro	Agroenzymas
12	Dr. Yuri Peña Ramírez	ECOSUR-Campeche

Fuente: Elaboración a partir de CIBIOGEM, 2015b.

BIBLIOGRAFÍA

- Acevedo *et al*, M., (2005), “Un análisis de la transferencia y apropiación del conocimiento en la investigación de Universidades Colombianas”, *Investigación y Desarrollo*, núm.01, julio, pp.128-157.
- ACS Synthetic Biology, (2016), “Toward Programmable Biology”, *ACS Synthetic Biology*, núm.06, pp.793-704.
- Aguado *et al*, E., (2008), “Redalyc: una alternativa a las asimetrías en la distribución del conocimiento científico”, *Ciencia, Docencia y Tecnología*, núm. 37, noviembre, pp. 11-30.
- Aguiar *et al*, D., (2008), “Estilos socio-técnicos de producción de tecnología conocimiento-intensivas. Análisis de una empresa de biotecnología en el campo de la salud humana en Argentina (1980-2006)”, *Cuestiones de Sociología*, núm.04, pp. 213-242.

- Aguilar, Luis, (2010), *GOBERNANZA: El nuevo proceso de gobernar*, Fundación Friedrich Naumann para la Libertad, México.
- Aguilar *et al*, D., (2012), “Biología sintética: Diseño de sistemas biológicos con piezas genéticas”, *BioTecnología*, núm. 01, pp.11-20.
- Ahumada, Jorge y Francisco, Miranda (2003), *Ciencia, Tecnología y Sociedad: algunas reflexiones*, documento preparado para la Organización de Estados Americanos, Bogotá.
- Alonso, Andoni y Carmen, Galán, (2004), *La tecnociencia y su divulgación: un enfoque transdisciplinar*, Anthropos, España.
- Alonso, C., y M., Soto, (2014), “Biología sintética: Aspectos científicos y sociales”, *ARBOR Ciencia, Pensamiento y Cultura*, núm. 148, julio-agosto, pp. 01-10.
- Álvarez, L., (2012), “Tecnócratas y Demócratas: las formas de gobernar con la ciencia y la tecnología”, *RIDAA*, núm. 60, pp. 115-123.
- Amador *et al*, C., (2016), “Algunas reflexiones sobre las implicaciones éticas de la convergencia tecnológica”, en Stezano, F., (coord.), *Perspectivas y enfoques de la Convergencia*, México, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología-Red Convergencia- Laboratorio Nacional de Informática Avanzada A.C, pp. 113-121.
- Andler *et al*, Daniel, (2008), *Converging Technologies and their impact on the Social Sciences and Humanities*, Germany, Fraunhofer Institute for Systems and Innovation Research, Alemania.
- Antal, E., (2008), “Interacción entre política, ciencia y sociedad en biotecnología. La regulación de los organismos genéticamente modificados en Canadá y México”, *NORTEAMÉRICA*, núm.01, enero-junio, pp. 11-63.
- Argota *et al*, J., “Biological implementation of algorithms and unconventional computing”, *IET Synthetic Biology*, june, pp. 59-60.
- Arellano, A., y C., Ortega, (2005), “Las redes socio-técnicas en torno a la Investigación Biotecnológica del Maíz”, *Convergencia en las Ciencias Sociales*, núm. 38, mayo-agosto, pp. 255-276.
- Arellano *et al*, D., (2014), “¿Uno o varios tipos de gobernanza? Más allá de la gobernanza de moda: la prueba del tránsito organizacional”, *Cuadernos de Gobierno y Administración Pública*, núm. 02, pp. 117-137.
- Argota *et al*, J., “Biological implementation of algorithms and unconventional computing”, *IET Synthetic Biology*, june, pp. 59-60.
- Arocena, R., y J., Sutz, (2006), “El estudio de la Innovación desde el Sur y las perspectivas de un Nuevo Desarrollo”, *Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad*, núm. 06, septiembre- diciembre, pp. 01-15.
- Arvanitis, R., y G., Dutrénit, (1997), “La investigación tecnológica básica: ¿ciencia pública o ciencia privada?”, *Revista Mexicana de Sociología*, núm. 03, julio-septiembre, pp. 83-107.
- Asebio, (2019), “Síntesis del empleo de Información Digital de Secuencias (DSI) de recursos genéticos y las posibles repercusiones de su regulación bajo el Protocolo de Nagoya”, disponible en [chrome-extension://efaidnbmnnnibpajpcglclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Ffasebio.com%2Fsites%2Fdefault%2Ffiles%2F2019-08%2FDoc%2520Posicion%2520DSI%2520%2520ASEBIO.pdf&clen=312023&chunk=true](https://efaidnbmnnnibpajpcglclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Ffasebio.com%2Fsites%2Fdefault%2Ffiles%2F2019-08%2FDoc%2520Posicion%2520DSI%2520%2520ASEBIO.pdf&clen=312023&chunk=true), consultado 18 septiembre de 2021.

- Asociación Mexicana de Biología Sintética A.C, (2011), *Vigilancia competitiva de las Naciones: Estrategias, Políticas y Acciones nacionales para biología sintética en países desarrollados*, Asociación Mexicana de Biología Sintética A.C, México.
- Augusto, C., (2011), “Patentando ADN”, *Revista la Propiedad Inmaterial*, núm.15, noviembre, pp.47-59.
- , (2012), “Consecuencias de la Biología Sintética en los Derechos de Propiedad Intelectual y Acceso a los Recursos Genéticos y Distribución de los Beneficios”, *La propiedad intelectual*, núm.16, pp-281-295.
- Ayuste *et al*, A., (2012), “Sociedad del Conocimiento. Perspectiva Pedagógica”, en García, L., (edit.), *Sociedad del Conocimiento y Educación*, Madrid, editorial Aranzadi S.A, pp. 17-40.
- Bagley, Margo, (2015), *Digital DNA: The Nagoya Protocol, Intellectual Property Treaties, and Synthetic Biology*, Wilson Center, E.U.
- Barboza, U., (2016), “¿Quién está haciendo Biología sintética en México?, disponible en <https://medium.com/biological-speculation/qui%C3%A9n-est%C3%A1-haciendo-biolog%C3%ADa-sint%C3%A9tica-en-m%C3%A9xico5f9adf9d997e#:~:text=Laboratorio%20de%20Ingenier%C3%ADa%20Biol%C3%B3gica%2D%20CINVESTAV%20Unidad%20Irapuato>, consultado 14 de abril de 2019.
- Barbieri, A., (2016), “Esta es la carne artificial que salvará el planeta (y su receta)”, disponible en <https://www.lavanguardia.com/natural/20160414/401101928741/carne-artificial-laboratorio-planeta.html>, consultado 14 de abril de 2019.
- Barrera, A., (2013), “Nuevas tecnologías y convergencia tecnológica en la agricultura”, memorias del seminario regional *Agricultura y cambio climático: nuevas tecnologías en la mitigación y adaptación de la agricultura al cambio climático*, realizado en la sede de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), en Santiago, 27 y 28 de septiembre de 2012.
- Barrio, C., (2008), “La apropiación social de la ciencia: nuevas formas”, *Revista de Ciencia, Tecnología y Sociedad*, núm. 10, pp. 2013-225.
- Barroso, C., (2012), “Sociedad del Conocimiento y el entorno digital”, en García, L., (edit.), *Sociedad del Conocimiento y Educación*, editorial Aranzadi S.A, Madrid, pp. 47-54.
- BBC News, (2019), “Cómo es el primer organismo vivo del mundo creado por científicos con un código ADN completamente sintético”, disponible en <https://www.bbc.com/mundo/noticias-48314272>, consultado 10 de junio de 2019.
- BCC Publishing, (2020) *Synthetic Biology: Global Markets*, <https://www.bccresearch.com/market-research/biotechnology/synthetic-biology-global-markets.html>, consultado 14 de abril de 2019.
- Becerra, L., y G., Santos, (2011), “La construcción socio-técnica del funcionamiento de las Unidades Productoras de Medicamentos: Un estudio de caso sobre los talleres protegidos de rehabilitación psiquiátrica de la Ciudad de Buenos Aires”, ponencia presentada en las *IX Jornadas Nacionales de Debate Interdisciplinario en Salud y Población*, del 10 al 12 de agosto, Facultad de Ciencias Sociales de la Universidad de Buenos Aires.
- Begoña, A., (2015), “La caída de los muros del conocimiento en la sociedad digital y las pedagogías emergentes”, *Education in the Knowledge Society*, núm. 01, pp. 58-68.
- Bell, Daniel, (1973), *El advenimiento de la sociedad post-industrial*, Alianza, México.
- Bellver, V., (2016), “Biología sintética: contexto jurídico y políticas públicas”, *Revista de Filosofía Moral y Política*, núm. 55, julio-diciembre, pp. 637-657.

- Benítez, Hesiquio (2016), *Introducción al Convenio sobre Diversidad Biológica*, Cop13, SEMARNAT, México.
- Bensaude, B., (2013), “Discipline building in synthetic biology. Studies in History and Philosophy of Science”, in *Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences*, pp. 122-129.
- Bensussen, A., y A, Meneses, (2013), “Biología sintética: La próxima Revolución Industrial”, *BioTecnología*, núm. 03, pp. 29-42.
- Besen, S., y L., Raskind, (1991), “An Introduction to the Law and Economics of Intellectual Property”, *Journal of Economic Perspectives*, núm. 05, pp. 03-27.
- Bianco *et al*, C., (2002), “Indicadores de la sociedad del conocimiento: aspectos conceptuales y metodologías”, *Seminario Internacionales Redes, TIC’s y Desarrollo de Políticas Públicas*, Embajada de Italia en la Argentina, del 11 al 13 de diciembre en Buenos Aires.
- Bijker, Wiebe, (1995), *Of Bicycles, Bakelites, and Bulbs*, The Mit Press, Londres.
- Bijker, W., (2008), “La construcción social de la baquelita: hacia una teoría de la invención”, en Thomas, H., y A., Buch (coord.), *Actos, actores y artefactos. Sociología de la tecnología*, Argentina, Universidad Nacional de Quilmes, pp. 63-100.
- Biosintética A.C (2011), *Vigilancia competitiva de las naciones: estrategias, políticas y acciones nacionales para Biología Sintética en países desarrollados*, CONACYT, México.
- Bortz, G., y M., Di Bello, (2015), “Investigadores, biotecnología y desnutrición infantil: una explicación de dos modelos de gestión de I+D pública para resolución de problemas sociales locales”, *Pre-Congreso Alas Desafíos y dilemas de la universidad y la ciencia en América Latina y el Caribe en el siglo XXI*, del 12 al 14 de agosto, Buenos Aires, Argentina.
- Brand, U., (2005), “El orden agrícola mundial y la sustentabilidad tecnológica”, en *¿Un mundo patentado? La privatización de la vida y del conocimiento*, Fundación Heinrich Boll, México, pp. 83-110.
- Bravo, G., (2018), “Manejo integrado de plagas en el sur del Valle Calchaquí. Controversias y desafíos para la construcción colectiva de estrategias de gestión de sanidad vegetal”, en Carrapizo *et al*, V., *Tecnología y Sociedad. Análisis de procesos de innovación y cambio tecnológico en diversos territorios rurales de Argentina*, Buenos Aires, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, pp.37-58.
- Brieva, Susana, (2006), *Dinámica socio-técnica de la producción agrícola en países periféricos: configuración y reconfiguración tecnológica en la producción de semillas de trigo y soja en Argentina, desde 1970 a la actualidad*, tesis para obtener el grado de Doctora en Ciencias Sociales, FLACSO, Argentina.
- , (2007), “Dinámica de las relaciones socio-técnicas en la agricultura argentina: trayectorias y estilos socio-técnicos de innovación y cambio tecnológico en la producción de soja, desde 1970 a la actualidad”, 1er Congreso Latinoamericano de Historia Económica, del 5 al 7 de diciembre, Montevideo.
- Brieva, S., y P., Juárez, (2018), “Tecnología y Desarrollo / Teoría y Política. Aprendiendo perspectiva socio-técnica en el Instituto Nacional de Tecnología agropecuaria”, en *Tecnología y Sociedad. Análisis de procesos de Innovación y cambio tecnológico en diversos territorios rurales de Argentina*, Argentina, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, pp. 20-33.

- Brink, M., y T., Van., (2021), “Practical consequences of digital sequence information (DSI) definitions and access and benefit-sharing scenarios from a plant genebank’s perspective”, *Plants People Planet*, pp.01-10.
- Brower, J., (2016), “En torno al sentido de gobernabilidad y gobernanza: delimitación y alcances”, *Revista Internacional de Filosofía*, núm. 67, pp. 149-162.
- Bueno, E., (2006), “Las ciencias y tecnologías convergentes (NBIC) análisis de su papel en los parques científicos como espacios y agentes de I+D+i”, *Encuentros multidisciplinares*, núm. 22, pp. 64-74.
- Bulletin iGEM MÉXICO, (2006), *iGEM México*, noviembre, pp.01.
- Büchner, J., (2005), “Aportes a un debate: la apropiación privada de la innovación social”, *Mientras tanto*, núm. 96, pp.177-122.
- Burch, S., (2005), “Sociedad de la Información / Sociedad del conocimiento”, en Ambrosi *et al*, A., (coord.), *Palabras en Juego: Enfoques Multiculturales sobre las Sociedades de la Información*, Francia, C y F Éditions, pp. 49-72.
- Busaniche, B., (2005), “Las ideas y las cosas: la riqueza de las ideas y los peligros de su monopolización”, en *¿Un mundo patentado? La privatización de la vida y del conocimiento*, Fundación Heinrich Boll, México, pp. 68-82.
- Cabero, J., (2008), “La formación en la sociedad del conocimiento”, *boletín de Estudios e Investigación INDIVISA*, Monografía X, pp. 13-48.
- Callon, M., (1987), “Society in the Making: The Study of Technology as a Tool for Sociological Analysis”, en Bijker *et al*, W., *Social Construction of Technological Systems*, Reino Unido, Cambridge University Press.
- Cámara de Diputados, (2011), *Acta de la comisión de Ciencia y Tecnología relativa a la Vigésima reunión ordinaria*, Gaceta Parlamentaria, 25 de mayo.
- Cameron *et al*, E., (2014), “A brief history of synthetic biology”, *Nature Reviews Microbiology*, pp. 381-390.
- Cantero *et al*, J., (2017), “Liderando las trayectorias socio-técnicas del sector nuclear argentino: gestión de la innovación desde el estado”, ponencia presentada en el *XVII Congreso Latino-Iberoamericano de Gestión Tecnológica*, del 16 al 18 de octubre, Ciudad de México.
- Canto, M., (2014), “Gobernanza y Sociedad. Los gobiernos locales en un mundo”, *Rendición de cuentas y Razón*, núm. 08, enero-junio, pp. 39-51.
- Cárdenas, Pablo, (2013), *Ciencia abierta y traslación científica*, los Andes University, Colombia.
- Cárdenas, G., (2015), “Modificar la vida. Avances de la biología sintética”, *Revista ¿Cómo ves?*, núm. 195, febrero, pp. 10-14.
- Cardona, H., (2010), “Intereses privados y producción actual de conocimiento en Ciencia, Tecnología e Innovación”, *Ciencia, Tecnología y Sociedad*, núm. 02, abril, pp. 41-51.
- Casalet, M., (2012), “Las relaciones de colaboración entre la Universidad y los sectores productivos: una oportunidad a construir en la política de innovación”, en *Dilemas de la innovación en México. Dinámicas sectoriales, territoriales e institucionales*, Carrillo *et al*, J., (coord.), Colegio de la Frontera Norte y Complejidad, Ciencia y Sociedad, México, pp.109-142.
- Castells, Manuel, (1996), *La era de la información. Economía, sociedad y cultura. La sociedad red*, Vol.1, Siglo XXI, México.
- , (1997), *La era de la información. Economía, sociedad y cultura. El poder de la identidad*, Vol.2, Alianza Editorial, Madrid.
- , (2006), *La Sociedad Red*, Alianza Editorial, Madrid.

- Castro, Federico, (2011), *Biología sintética, análisis de una disciplina emergente*, tesis para obtener el grado de licenciado en biología por la UNAM, México.
- Carrapizo *et al*, V., (2018), *Tecnología y Sociedad. Análisis de procesos de innovación y cambio tecnológico en diversos territorios rurales de Argentina*, Buenos Aires, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.
- Cazaux, D., (2008), “La comunicación pública de la ciencia y la tecnología en la sociedad del conocimiento”, *Razón y Palabra*, núm.65, noviembre-diciembre, pp. 01-12.
- Centeno, S., (2020), “Columna: Ciencia y futuro”, disponible en: <https://elcomentario.uco.mx/columna-ciencia-y-futuro-26/>, consultado el 05 de agosto de 2021.
- Cesop, (2017), “La economía verde: beneficios e impactos”, *Cámara de Diputados LXII Legislatura*, noviembre, pp. 01-29.
- , (2018), “Patentes, tecnologías y competitividad, los rezagos en México ante un nuevo futuro”, *Cámara de Diputados LXII Legislatura*, marzo, pp. 01-19.
- , (2018b), “Los grandes trazos hacia la instauración de la globalización económica”, *Cámara de Diputados LXII Legislatura*, octubre, pp. 01-33.
- Chaparro, F., (2001), “Conocimiento, aprendizaje y capital social como motor de desarrollo”, *Brasilía*, núm. 01, enero-abril, pp. 19-31.
- , (2006), “Apropiación social del conocimiento, aprendizajes y capital social”, disponible en: <https://durs.cayetano.edu.pe/images/Biblio/AntecedentesContexto/GestionSocialConocimiento/apropiacion-social-del-conocimiento.pdf>, consultado el 05 de agosto de 2018.
- Chauvet, M., (2009), “GATTACA vs Tlayoli: la dimensión socioeconómica y biocultural del Protocolo de Cartagena”, *Sociedad rurales, producción y medio ambiente*, núm.17, pp. 89-114.
- Chauvet, Michelle, (2015), *Biotecnología y Sociedad*, UAM, México.
- Chen, G., y Y., Feng, (2016), “Synthetic Biology in China, UK and US”, in *Synthetic and Systems Biotechnology*, núm.04, pp-03.
- Christou, C., y M., Saner, (2012), “Governance of Emerging Technologies”, *Research Report Governance*, marzo, pp. 01.84.
- Chubb *et al*, J., (2018), “A review of recent evidence on the governance of emerging science and technology”, disponible en https://wellcome.org/sites/default/files/evidence-review-governance-emerging-science-and-technology_0.pdf, consultado el 18 de septiembre de 2019.
- Church, George y Ed, Regis, (2013), *Regenesis: How Synthetic Biology Will Reinvent Nature and Ourselves*, Choice Reviews Online, Basic Books, New York.
- CIATEJ, (2018), *Informe de rendición de cuentas en conclusión de la administración 2012-2018*, CIATEJ, México.
- CIBIOGEM, (2015), Atención a la notificación Submission of Information on Synthetic Biology ref: SCBD/BS/CG/MPM/DA/84279, disponible en <https://www.conacyt.gob.mx/cibiogem/index.php/comunicacion/inf-grupos-trabajo/gt-bios/gt-bios-sesiones-trabajo/gt-bios-segunda/5029-2-atencion-a-la-notificacion-submission-of-information-on-synthetic-biology-ref-scbd-bs-cg-mpm-da-84279/file>, consultado 30 de enero de 2019.
- , (2015b), *Minuta de la primera sesión del Grupo de Trabajo en Biología Sintética*, CIBIOGEM, México.
- , (2015c), *Minuta de la primera reunión del Grupo de Trabajo ampliado en Biología Sintética de la CIBIOGEM*, CIBIOGEM, México.

- , (2016), *Informe Anual de actividades realizadas por la Secretaría Ejecutiva de la CIBIOGEM 2015*, CIBIOGEM, México.
- , (2016b), *Reporte de actividades asociadas al programa de trabajo de la CIBIOGEM 2011-2015*, CIBIOGEM, México.
- , (2016c), *Análisis sobre la integración de la bioseguridad de los organismos genéticamente modificados y el acceso a recursos genéticos en los instrumentos de política nacional, las estrategias y las actividades existentes a cargo de las instituciones con competencia en el tema*, CIBIOGEM, México.
- , (2017), *Aportación de información de uso en México/Notificación SCBD/SPS/DC/MW/86375*, CIBIOGEM, México.
- , (2019), *Contexto general de la “información digital sobre secuencias” y la biodiversidad*, CIBIOGEM, México.
- Cimoli, M., y G., Dosi, (1994), “De los paradigmas tecnológicos a los sistemas nacionales de producción e innovación”, *Comercio Exterior*, núm. 08, pp. 669-682.
- CINVESTAV-Irapuato, (2011) *Informe de productividad del Departamento de Ingeniería Genética del 2010*, pp. 01-43.
- , (2012), *Informe de productividad del Departamento de Ingeniería Genética del 2011*, pp. 01-33.
- , (2013), *Informe de productividad del Departamento de Ingeniería Genética del 2012*, pp. 01-31.
- , (2013b), *Gaceta Estudiantil*, mayo-junio, pp.01-13.
- (2014), *Informe de productividad del Departamento de Ingeniería Genética del 2013*, pp. 01-34.
- , (2015), *Informe de productividad del Departamento de Ingeniería Genética del 2014*, pp. 01-32.
- , (2016), *Informe de productividad del Departamento de Ingeniería Genética del 2015*, pp. 01-87.
- , (2017), *Informe de productividad del Departamento de Ingeniería Genética del 2016*, pp. 01-32.
- Cique, A., (2015), “Retos y desafíos de la biología sintética”, *Instituto Español de Estudios Estratégicos*, pp. 01-25.
- , (2017), “Biohacking y biohackers: amenazas y oportunidades”, *Instituto Español de Estudios Estratégicos*, pp. 01-27.
- Clubes de Ciencias México, (2016), *Verano 2016*, Clubes de Ciencias México, México.
- Coenen, C., (2016), “El discurso sobre la biología sintética y la innovación responsable: observaciones desde una perspectiva histórica”, *Revista de Filosofía Moral y Política*, núm. 55, julio-diciembre, pp.393-407.
- Colciencias, (2010), *Estrategia Nacional de Apropiación social de la Ciencia, la Tecnología y la Innovación*, Colombia, Colciencias.
- Comisión Europea, (2001), *La Gobernanza Europea. Un libro blanco*, Comisiones de las Uniones Europeas, Bruselas.
- , (2009), *Gobernanza global de la ciencia. Informe del Grupo de expertos sobre gobernanza global de la ciencia a la Dirección de Ciencia, Economía y Sociedad*, Dirección General de Investigación de la Comisión Europea, Bélgica.
- CONACYT, (2008), “Resultados aprobatorios de la Convocatoria AVANCE”, *CONACYT*, pp.01-04.
- Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB), (2012), “Informes de la Alianza CBD Alliance para la COP11”, disponible en

- https://www.forestpeoples.org/sites/default/files/news/2012/10/4_Articulo%208j_COP11.pdf, consultado 14 de marzo del 2019.
- , (2012b), “La biología sintética como asunto nuevo y emergente para el CDB”, disponible en <https://studylib.es/doc/1162970/biolog-a-sint-tica-como-asunto-nuevo-y-emergente-para-el-cdb>, consultado el 15 de febrero de 2018.
- , (2014), “Cuestiones nuevas e incipientes: biología sintética”, disponible en <https://www.cbd.int/doc/decisions/cop-11/cop-11-dec-11-es.pdf>, consultado 14 de marzo del 2019.
- , (2016), “Las ciencias biológicas en una encrucijada: la biotecnología industrial y el protocolo de Nagoya”, disponible en <https://www.cbd.int/abs/doc/protocol/factsheets/policy/ABSFactSheets-Biotech-SP-web.pdf>, consultado 14 de marzo del 2019.
- , (2016b), “La biología sintética y el Convenio sobre Diversidad Biológica (CDB)”, disponible en <https://www.etcgroup.org/es/content/la-biología-sintética-y-el-convenio-sobre-diversidad-biologica-cdb>, consultado 20 de enero del 2019.
- , (2016c), “Información digital sobre secuencias de los recursos genéticos”, disponible en <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Fwww.cbd.int%2Fdoc%2Fdecisions%2Fcop-14%2Fcop-14-dec-20-es.pdf&clen=178925>, consultado 14 de agosto del 2021.
- , (2016d), “Cuatro pasos adelante y uno atrás hacia atrás en la regulación global de la biología sintética”, disponible en <https://www.etcgroup.org/es/news/19>, consultado 26 de agosto del 2018.
- , (2017), *Lawful Avoidance of ABS: Jurisdiction Shopping and Selection of non-Genetic-Material Media for Transmission*, disponible en <https://www.cbd.int/doc/emerging-issues/SPDA-submission2017-05-en.pdf>, consultado 14 de marzo del 2019.
- , (2018), “Informe del órgano subsidiario de asesoramiento científico, técnico y tecnológico sobre su 22ª reunión”, disponible en <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Fwww.cbd.int%2Fdoc%2Fc%2F7843%2Fe0e5%2Fd0fbbf7006e280ce9d32df79%2Fsbstta-22-12-es.pdf&clen=1796312&chunk=true>, consultado 14 de septiembre del 2021.
- Cornejo, C., (2013), “La biología sintética y la conservación de la naturaleza”, disponible en https://www.researchgate.net/publication/264742088_LA_BIOLOGÍA_SINTETICA_Y_LA_CONSERVACION_DE_LA_NATURALEZA, consultado 12 de marzo de 2018.
- Cosme *et al*, Fernando, (2008), *Convergência Tecnológica*, Brasil, Centro de Gestão e Estudos Estratégicos.
- Criscuolo, P., y P., Patel, (2007), “Las grandes empresas y la internacionalización de la investigación y el desarrollo: ¿vaciando la capacidad tecnológica nacional?”, en Dutrénit *et al*, G., (coord.), *Globalización, acumulación de capacidades e innovación*, México, F.C.E, pp.60-97.
- Cuevas, Nancy, (2020), *Investigación pública y patentamiento de vacunas biotecnológicas en México 200-2019*, tesis para obtener el grado de Doctora en Estudios del Desarrollo por la Universidad de Zacatecas, México.

- Cultek, (2006), *Tecnología de ADN recombinante*, disponible en <http://www.cultek.com/inf/otros/soluciones/DNArecombinante/Tecnica%20DNA%20recombinante.pdf>, consultado 18 de noviembre de 2017.
- Cusset, P., (2015), “Aumentar las capacidades humanas. Estado actual y perspectivas tecnológicas”, *Sotavento MBA*, pp. 16-29.
- Dagnino, R., (2010), “Trayectorias de los estudios sobre Ciencia, Tecnología y Sociedad, y de la política científica y tecnológica en Ibero-América”, *Argumentos de Razón Técnica*, núm. 13, pp.57-83.
- Darat, N., y A., Maximiliano, (2016), “Desobediencia intelectual: resistencias a la privatización del conocimiento”, *POLIS*, núm. 43, pp. 01-14.
- Daza *et al*, S., (2017), “Hacia la medición del impacto de las prácticas de apropiación social de ciencia y la tecnología: propuesta de una batería de indicadores”, *História, Ciências, Saúde*, núm. 01, enero-marzo, pp. 145-164.
- De Cózar, J., (2016), “La biología sintética y sus promesas por cumplir”, *Revista de Filosofía Moral y Política*, núm. 55, julio-diciembre, pp. 485-501.
- De Greiff, A., y O., Maldonado, (2011), “Apropiación fuerte del conocimiento: una propuesta para construir políticas inclusivas de ciencia, tecnología e innovación”, en Arellano, Arellano, y Pablo, Kreimer, *Estudio Social de la Ciencia y la Tecnología desde América Latina*, Bogotá, Siglo del Hombre Editores, pp. 209-262.
- De la Barrera, J., (2017), “Biología Sintética en México”, presentación en el 2do Foro de Biología Sintética, del 0 al 9 de diciembre, Irapuato, México
- De la Cueva, J., (2013), “Innovación y conocimiento libre: cuestiones morales y políticas”, *Isegoría Revista de Filosofía Moral y Política*, núm. 48, enero-junio, pp. 5-74.
- Delgado *et al*, A., (2012), *Super-ordenadores, evolución y “la basura” de la vida: ¿Cómo pueden los estudios sociales de la ciencia contribuir a un desarrollo más reflexivo de la biología sintética y de sistemas?*, disponible en <http://www.revistacts.net/elforo/450-super-ordenadores-evolucion-y-la-basura-de-la-vida-icomopueden-los-estudios-sociales-de-la-ciencia-contribuir-a-un-desarrollo-mas-reflexivo-de-la-biologia-sintetica-y-de-sistemas>, consultado 29 de septiembre de 2017.
- Delgado, G., y E., León, (2012), “Diálogo para el avance científico y tecnológico a la nanoescala”, *Mundo Nano*, núm. 01, enero-julio, pp. 82-102.
- Delgado, R., y M., Chávez, (2016) “¡Patentad, patentad!: apuntes sobre la apropiación del trabajo científico por las grandes corporaciones multinacionales”, *DEBATE*, núm. 15, septiembre-diciembre, pp.21-28.
- Del Pilar, M., (2013), “La incorporación de la gobernanza a la agenda latinoamericana”, *Revista del Centro Andino de Estudios Internacionales*, núm.12, pp. 175-188.
- Diéguez, A., (2013), “Biología sintética, transhumanismo y ciencia bien ordenada”, *Viento Sur*, núm. 131, diciembre, pp. 71-80.
- , (2016), “La biología sintética y el imperativo del mejoramiento”, *Revista de Filosofía Moral y Política*, núm. 55, julio-diciembre, pp. 503-528.
- Dienter, E., (2010), “Gobernanza Internacional y Organizaciones no Gubernamentales”, *Revista del Centro de Estudios de Sociología del Trabajo*, núm. 02, pp. 01-32.
- Doménech, J., (2016), “Cracking the genetic code: replicating a scientific discovery”, *Science in School*, pp. 47-51.
- Domínguez, M., y F., García, (2009), “La sexta revolución tecnológica: El camino hacia la singularidad en el siglo XXI”, *El Hombre y la Máquina*, núm. 33, julio-diciembre, pp. 08-21.

- Domínguez, J., (2011), “Hacia una buena gobernanza para la gestión integral de los recursos hídricos”, *Documento temático para las Américas del grupo Buena Gobernanza*, pp. 01-48.
- Domínguez, Daniel, (2013), *Directrices rumbo al establecimiento de políticas públicas en materia de biología sintética en México*, trabajo para obtener el título de Ingeniero Biotecnólogo, IPN, México.
- Dosi, G., (1982), “Technological paradigms and technological trajectories”, *Research Policy*, pp. 147-162.
- (1988), “Sources, procedures and microeconomic effects of innovation”, *Journal of Economic Literature*, núm. 26, pp. 1120-1171.
- Drahos, P., (1999), “Biotechnology Patents, Markets and Morality”, *European Intellectual Property Review*, pp. 441-449.
- Durán, S., (2011), “Cinco preguntas sobre biología sintética”, *Encuentros en la Biología*, núm. 136, diciembre, pp. 67-68.
- Echeverría, Javier, (2003), *La revolución tecnocientífica*, F.C.E., España.
- Echeverri, R., y L., Franco, (2012), “Apropiación del conocimiento: análisis de dos lógicas desde una perspectiva sistémica”, *X Congreso latinoamericano de dinámica de sistemas*, realizado en Buenos Aires del 21 al 23 de noviembre.
- Ecoticias, (2016), “El futuro de la biología sintética”, disponible en <https://www.ecoticias.com/tecnologia-verde/168765/Futuro-biología-sintetica>, consultado 19 de marzo de 2019.
- , (2018), “Synthetic Biology: Reports from CSHA 2016 and More”, *Biotechnology Journal*, núm.13, pp-01-02.
- Erosion, Technology, Concentration Group (ETC), (2003), *La estrategia de las tecnologías convergentes: La teoría del pequeño BANG*, México, ETC.
- , (2004), *La invasión invisible del campo*, México, ETC.
- , (2004b), *La inmensidad de lo mínimo: Breve introducción a las tecnologías de nano escala*, México, ETC.
- , (2005), *Manual de bolsillo en tecnologías nanoescalares y la “teoría del little bang”*, México, ETC.
- , (2006), *Alarma sobre biología sintética*, disponible en <http://www.etcgroup.org/fr/node/6>, consultado 10 de marzo 2017.
- , (2007), *Ingeniería Genética Extrema. Una introducción a la biología sintética*, México, ETC.
- , (2012), *Biología sintética*, disponible en http://www.etcgroup.org/sites/www.etcgroup.org/files/synbio_ETC4COP11_esp_v1.pdf, consultado 28 de septiembre de 2017.
- , (2012b), *Impactos de la biología sintética en el sustento de las comunidades y el uso sostenible de la biodiversidad*, disponible en <http://www.etcgroup.org/es/content/pathways-disruption-0>, consultado 01 de junio de 2019.
- , (2013), “Biología sintética. La bioeconomía del despojo y del hambre”, disponible en http://www.etcgroup.org/sites/www.etcgroup.org/files/SYN_BIO_BIOECONOMY%20LANDLESSNESS%20%26%20HUNGER_SPANISH.pdf, consultado 14 de septiembre de 2018.
- , (2016) *La biología sintética y el Convenio sobre Diversidad Biológica (CDB). Cinco decisiones clave para la COP 13 y la COP-MOP 8*, disponible en

- <https://www.etcgroup.org/es/content/la-biología-sintética-y-el-convenio-sobre-biodiversidad-biologica-cdb>, consultado 20 de enero del 2019.
- , (2017), “2016: el año que no fue normal”, disponible en <https://www.etcgroup.org/es/content/2016-el-ano-que-no-fue-normal>, consultado 14 de septiembre de 2018.
- , (2018), *Biología sintética y biosíntesis habilitada por IA: implicaciones para la biodiversidad y la subsistencia campesina*, Informe para los delegados del CBD, Centro Africano para la Biodiversidad, ETC y Red del Tercer Mundo.
- , (2018b), *Secuencias genéticas digitales: Tema clave para el Convenio sobre Diversidad Biológica*, Informe para los delegados del CBD, Centro Africano para la Biodiversidad, ETC y Red del Tercer Mundo.
- Escobar, Alberto, (2008), *NBIC - NANO, BIO, INFO, COGNO. La convergencia de tecnologías*, Observatorio Cubano de Ciencia y Tecnología, Cuba.
- Escobar, G., y M., García, (2013), “Hallazgos iniciales sobre el estado del arte de la apropiación social del conocimiento”, *Memorias del VII Encuentro Nacional de Experiencias en la Enseñanza de la Biología y la Educación Ambiental*, Colombia, pp. 954-964.
- Escobar, J., (2012), *Transformar la tecnología. Una nueva visita a la teoría crítica*, Argentina, Universidad Nacional de Quilmes.
- , (2017), “Los orígenes del discurso de apropiación social de la ciencia y la tecnología en Colombia”, *Análisis Político*, núm. 91, septiembre-diciembre, pp. 146-163.
- , (2018), “La apropiación social de la ciencia y la tecnología como eslogan: un análisis del caso colombiano”, *Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad*, núm. 38, junio-julio, pp. 29-57.
- Estévez, B., (2005), “Sociedad civil y gobernanza de la ciencia y la tecnología en el ámbito autonómico: la comunidad autónoma de Madrid”, *ARBOR Ciencia, pensamiento y Cultura*, septiembre-octubre, pp. 363-375.
- Expansión, (2020), “La mexicana T4Oligo dispara sus ventas con las pruebas del coronavirus”, disponible en: <https://expansion.mx/empresas/2020/03/17/la-mexicana-t4oligo-dispara-sus-ventas-pruebas-coronavirus>, consultado 14 de febrero de 2021.
- Farinós, J., (2005), “Nuevas formas de gobernanza para el desarrollo sostenible del espacio relacional”, *Ería: Revista cuatrimestral de geografía*, núm. 67, pp.219-235.
- Fawaz, J., y R., Vallejos, (2008), “Construyendo participación ciudadana a nivel local. La experiencia de los pequeños productores agropecuarios de la provincia de Ñuble”, *Theoría*, núm.01, pp. 19-32.
- Feenberg, A., (2005), “Teoría crítica de la tecnología”, *Revista CTS*, núm.05, pp.109-123.
- , (2012). *Transformar la tecnología. Una nueva visita a la teoría crítica*, Argentina, Universidad Nacional de Quilmes.
- Fernández, D., (2006), “Inquietudes éticas ante la biología sintética”, *Catoblepas*, núm.54, pp.15-27.
- Fernández *et al*, M., (2008), “La Gobernanza de la política científica y tecnológica en España”, ponencia presentada en el Encuentro Nacional sobre política científica ¿Hacia dónde va la política científica (y tecnológica) en España?, 22 y 23 de mayo en Cáceres.
- Ferreiro, D., (2017), “Biología de sistemas, biología sintética, biología artificial: ¿nuevos paradigmas o refritos publicitarios?”, presentado en el *II Congreso Latinoamericano de Teoría Social y Teoría Política*, realizado en Buenos Aires, del 2 al 04 de agosto.

- Flores, R., (2014), “Biopiratería: una forma silenciosa de acumulación”, en Sánchez (coord.), G., *Reproducción, crisis, organización y resistencia*, BUA-CLACSO-FYSYP, México, pp.245-260.
- Flores, Y., y M., Tangney, (2017), “Synthetic Biology in the Driving Seat of the Bioeconomy”, in *Biotechnology*, núm.05, mayo, pp. 373-378.
- Foladori, G., (2009), “La gobernanza de las nanotecnologías”, *Sociológica*, núm.74, septiembre-diciembre, pp. 125-153.
- Fox, E., (2012), “¿Qué relación tiene la biología sintética y la biología?”, *Vida Artificial*, núm. 38, pp. 09-19.
- Franco, M., y T., Pérez, (2010), “Tensiones y convergencias en torno a una propuesta por la pluralidad de la Apropiación Social de la Ciencia y la Tecnología en Colombia”, en *Deslocalización la apropiación social de la ciencia y la tecnología en Colombia. Aportes desde prácticas diversas*, Maloka, Colombia pp.09-23.
- Freeman, Christopher, (1983), *Long waves in the World Economy*, Butterworth-Heinemann, London.
- , (1987), *Technology and Economic Performance: Lessons from Japan*, Printer, London.
- Friends of the earth *et al*, (2012), *Principios para la supervisión de la biología sintética*, CS Fund y la Fundación Appleton.
- Fuentes, Illean, (2013), *Definición de caracterización en biología sintética y propuesta de una metodología estándar para la caracterización de biopartes*, tesis para obtener el grado de licenciado en biología por la UNAM, México.
- Fundación Heinrich Boll, (2005), *¿Un mundo patentado? La privatización de la vida y del conocimiento*, Fundación Heinrich Boll, México.
- Fundación alternativas, (2010), *Realidad y expectativas de la biología sintética*, Seminarios y Jornadas 70, Madrid 27 de octubre.
- Futurizable, (2016), “Aplicando la tecnología a la agricultura podremos salvar el mundo”, disponible en <https://futurizable.com/agrotech/>, consultado 19 de marzo del 2018.
- Gadaleta, P., (2019), “Desafíos en la gobernanza de la información digital de secuencias de los recursos genéticos: el rol del asesoramiento científico”, disponible en <https://www.ingsa.org/wp-content/uploads/2019/07/Patricia-G.-Gadaleta-INGSA-LAC-Essay-2019.pdf>, consultado el 18 de septiembre de 2019.
- Gaisser *et al*, S., (2009), “Making the most of synthetic biology”, *EMBO reports*, vol.10, pp. 55-58.
- Galeano, J., (2009), “La gobernanza y la gobernabilidad ambiental: un estudio desde el modelo de geografía y desarrollo. El caso de los alimentos transgénicos”, *Revista Diálogos de Saberes*, julio-diciembre, pp. 73-91.
- Gallegos, J., (2019), “The five hottest synthetic biology job markets in the world”, disponible en <https://synbiobeta.com/international-hot-spots-for-synthetic-biology-jobs/>, consultado 20 de junio de 2019.
- García, E., (2008), “Los aprendizajes necesarios en la Sociedad del Conocimiento”, *GLOBAL*, núm. 23, pp. 66-75.
- García, F., y J., Navas, (2007), “Las capacidades tecnológicas y los resultados empresariales. Un estudio empírico en el sector biotecnológico español”, *Cuadernos de Economía y Dirección de la Empresa*, núm. 32, septiembre, pp.177-210.
- García, V., (2016), “La biología sintética en el panorama de las patentes biotecnológicas”, *Revista de Filosofía Moral y Política*, núm. 55, julio-diciembre, pp. 615-636.

- Garrido, M., (2010), “Tecnología, territorio y sociedad. Producción de biodiésel a partir de aceites usados Iconos”, *Revista de Ciencias Sociales*, núm. 37, mayo, pp. 75-86.
- Garro, G., (2016), “Biología sintética. Una nueva era genómica más allá de los transgénicos”, *Investiga TEC*, septiembre, pp. 03-04.
- Gaviño, María, (2016), *Implicaciones Jurídicas de la Biología Sintética y las Necesidades de su Regulación*, tesis para obtener el grado de doctora en derecho ambiental por la Universidad de Alicante, España.
- Gilly, A., y R., Roux, (2009), “Capitales, tecnologías y mundos de la vida: el despojo de los cuatro elementos”, *Revista Herramienta*, núm. 40, pp. 01-26.
- González, R., y L., Molina, (2003), Introducción: Redes para pensar lo social”, *Revista hispana para el análisis de redes sociales*, vol. 04, junio-julio, pp.01-05.
- González, Rosa Luz, (2004), *La biotecnología agrícola en México: efectos de la propiedad intelectual y la bioseguridad*, México, UAM.
- González de la Fe, T., (2004), “Desigualdades y propiedad privada sociedad del conocimiento”, disponible en <https://www.monografias.com/trabajos902/desigualdad-propiedad-privada/desigualdad-propiedad-privada.shtml>, consultado el 10 de septiembre de 2020.
- González, M., (2006), *Políticas de propiedad intelectual y bioseguridad en biotecnología. Una propuesta regional dentro del marco internacional*, tesis para obtener el grado de Doctora en Ciencias Políticas y Sociales, UNAM, México.
- González, Arcelia, (2006), *Políticas de propiedad intelectual y bioseguridad en biotecnología. Una propuesta regional dentro del marco internacional*, tesis para obtener el grado de Doctora en Ciencias Políticas y Sociales, UNAM, México.
- González, Rosa Inés, (2018), *Entre el Ser o no Ser OGMS: Edición genómica mediante CRISPR-cas9. Regulación y mejoramiento genético en plantas, la redefinición del concepto de organismo genéticamente modificado*, tesis para obtener el grado de doctora en Sociología por la UAM-Azcapotzalco, México.
- GRAIN, (2006), “Biología sintética: ¿el futuro de la vida en manos de los científicos?”, *Biodiversidad*, núm.48, pp.32-33.
- Gaisser *et al*, S., (2009), “Making the most of synthetic biology”, *EMBO reports*, col.10, pp. 55-58.
- Graña, F., (2005), “Los claroscuros de la gobernanza y el fin del Estado Social”, en Mazzei, E., (Comp.), *El Uruguay desde la Sociología IV. 4ª. Reunión anual de Investigadores del Departamento de Sociología*, Universidad de la República, pp. 33-46.
- , (2005b), “Globalización, gobernanza y Estado mínimo: pocas luces y muchas sombras”, *Revista de la Universidad Bolivariana Polis*, núm.12, pp.01-19.
- , (2005c), “Todos contra el Estado: Usos y abusos de la gobernanza”, *Espacio Abierto*, núm.14, octubre-diciembre, pp. 501-529.
- Greiff, A., y O., Maldonado, (2011), “Apropiación fuerte del conocimiento: una propuesta para construir políticas inclusivas de ciencia, tecnología e innovación”, en Arellano, A., y P., Kreimer, *Estudio Social de la Ciencia y la Tecnología desde América Latina*, Bogotá, Siglo del Hombre Editores, pp. 209-262.
- , (2013b), “La teoría crítica de la tecnología: una aproximación desde la ingeniería”, *Iberoamérica CTS*, núm.24, pp. 63-74.
- Grewal, D., (2017), “Before Peer Production: Infrastructure Gaps and the Architecture of Openness in Synthetic Biology”, *Stanford Law and Technology Review*, núm.20, pp.143-211.

- Grupo de trabajo internacional de la sociedad civil sobre biología sintética, (2011), *Impactos potenciales de la biología sintética en la conservación y uso sostenible de la biodiversidad*, contribución al Convenio de Diversidad Biológica.
- Guan *et al*, Z., (2013), “Biosafety Considerations of Synthetic Biology in the International Genetically Engineered Machine (iGEM) Competition”, *BioScience*, núm.01, January, pp.25-34.
- Gustavo, H., (2013), “La ingeniería como tecnología”, en Tula, F., y A., María (comp), *Riesgos, política y alternativas tecnológicas. Entre la regulación y la discusión política*, Buenos Aires, Prometeo Libros, pp. 21-58.
- Gutiérrez, M., (2015), “La economía del futuro. Un análisis de la agricultura, la industria y los servicios”, *Integración- Comercio*, núm.39, pp. 50-57.
- Guzmán *et al*, A., (2018), “Convergencia de innovación en el nuevo paradigma tecnológico de nanotecnología entre países”, *Contaduría y Administración*, núm. 63, enero-marzo, pp. 1-25.
- Guzmán, C., (2019), “De itinerarios, incidencias y otros designios. Trayectorias científicas en México”, *ArtefaCToS. Revista de estudios de la ciencia y la tecnología*, núm.02, pp.73-101.
- Han-Ho, M., (2011), “Peligros de la ingeniería genética”, disponible en <https://kudo.tips/peligros-de-la-ingenieria-genetica.html>, consultado 02 de junio de 2021.
- Hernández, Liliana, (2015), *Biología sintética y la ingeniería química*, tesis para obtener el grado de licenciado en ingeniería química por la UNAM, México.
- Herrejón *et al*, G., (2007), “Biological implementation of algorithms and unconventional computing”, *IET Synthetic Biology*, agosto, pp.59-60.
- Herrera, Víctor, (2019), “La biotecnología y los nuevos mecanismos de gobernanza global”, tesis para obtener el grado de Licenciado en Relaciones Internacionales por la UNAM, México.
- Hidalgo, M., (2016), “Las impresoras 3D: Un desafío en la lucha de la proliferación de armas de destrucción masiva”, *Instituto Español de Estudios Estratégicos*, pp. 01-07.
- Hoyos, E., (2002), La apropiación social de la ciencia y la tecnología: una urgencia para nuestra región”, *Interniciencia*, núm. 02, febrero, pp. 53.
- Hufty, M., (2010), “Gobernanza en salud pública: hacia un marco analítico”, *Revista de Salud Pública*, núm.12, pp.39-61.
- Hughes, T., (2008), “La evolución de los grandes sistemas tecnológicos”, en Thomas, H., y A., Buch (coord.), *Actos, actores y artefactos. Sociología de la tecnología*, Argentina, Universidad Nacional de Quilmes, pp. 101-146.
- Hyde, E., (2019), “Why China is primed to be the ultimate synbio market”, disponible en: <https://synbiobeta.com/why-china-is-primed-to-be-the-ultimate-synbio-market/>, consultado 10 de agosto de 2019.
- Instituto de Investigación Alexander von Humboldt, (s/f), *Biología sintética*, disponible en <https://bch.cbd.int/database/record.shtml?documentid=107975>, consultado 15 de agosto de 2017.
- International Chamber of Commerce (ICC), (2017), *Digital Sequence Information and the Nagoya Protocol*, ICC Submisión to the CDB.
- , (2019), *Digital Sequence Information and Benefit Sharing*, ICC Submisión to the CDB.
- Investigación y Ciencia, (2013), *Origen y evolución del universo*, núm.72, abril-junio, pp. 92-95.

- Isalan, M., y Y., Schaerli, (2012), “Biología sintética en busca de andamios”, *SEBBM dossier científico*, marzo, pp.16-20.
- Jaimes *et al*, C., (2010), “Biología sintética: aplicaciones y dilemas éticos”, *III Congreso Internacional de la REDBIOÉTICA UNESCO para América Latina y el Caribe*, del 24 al 26 en la Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Joly, P., y B., Raimbault., (2014), “Biología sintética y ciencias sociales, un diálogo difícil”, *Investigación y Ciencia*, núm.457, pp.60-64.
- Joost, Sipke, (2019), *Digital Sequence Information (DSI)ence Information (DSI).Options and impact of regulating access and benefit sharing – stakeho perspectives*, Centre for Genetic Resources, the Netherlands (CGN) Wageningen University & ResearchWageningen University Reseachr, Report 42, Wageningen.
- Juárez, P., y P., Becerra, (2012), “Alianzas socio-técnicas, estrategias y políticas para el desarrollo inclusivo y sustentable”, *VI Congreso Latinoamericano de Ciencia Política. La investigación política en América Latina*, del 12 al 14 de junio, Quito, Ecuador.
- Juárez, P., y Y., Castañeda, (2017), “Dinámicas de cooperación y apropiación del conocimiento. Análisis socio-técnico de agendas públicas de investigación para la soberanía alimentaria en la Argentina y México”, *Redes*, núm. 44, junio, pp.133-163.
- Kastenhofer, K., (2016), “Biología de sistemas y biología sintética como tecnociencias emergentes”, *Revista de Filosofía Moral y Política*, núm. 55, julio-diciembre, pp. 529-550.
- Katz, C., (2000), “Mercantilización y socialización de la información y del conocimiento”, *Política y Sociedad*, núm. 33, pp. 207-2016.
- Keasling, J., (2005), “The Promise of Synthetic Biology”, *The BRIDGE*, pp.18-21.
- Kreimer, P., (2007), “Estudios sociales de la ciencia y la tecnología en América Latina: ¿para qué?, ¿para quién?”, *Redes*, núm.26, diciembre, pp.55-64.
- , (2010), *Ciencia y periferia, nacimiento, muerte, resurrección de la biología molecular en la Argentina: aspectos sociales, políticos y cognitivos*, Buenos Aires, Eudeba.
- Krüger, K., (2006), “El concepto de Sociedad del Conocimiento”, *Revista Bibliográfica de Geografía y Ciencias Sociales*, núm. 683, octubre, pp. 01-09.
- Kuhlmann *et al*, S., (2019), “The tentative govenance of emerging scienc and technology-A conceptual introduction”, *Research Policy*, núm.48, pp. 1091-1097.
- Kwok, R., (2010), “Five hard truths for synthetic biology”, *Nature*, january, pp. 288-290.
- Lachance, J., (2019), “Synthetic Biology:Minimal cells, maximal knowledge”, *eLIFE*, disponible en <https://elifesciences.org/articles/45379>, consultado 25 de mayo de 2019.
- Lage, A., (2001), “Propiedad y expropiación en la economía del conocimiento”, en Núñez, J., y L., Montalvo, (coord.), *Pensar Ciencia, Tecnología y Sociedad*, Cuba, Universidad de la Habana, pp.144-169.
- Lander, E., (2001), “Los derechos de propiedad intelectual en la geopolítica del saber de la sociedad global del conocimiento”, *Revista del Centro Andino de Estudios*, núm. 02, pp. 89-88.
- Landeweerd, L., y T., Peters, (2016), “La biología sintética: cambio de juego en la propiedad intelectual”, *Revista de Filosofía Moral y Política*, núm. 55, julio-diciembre, pp. 577-593.
- Lanier, Jaron, (2014), *Contra el rebaño digital. Un manifiesto*, Debate, España.
- Lara, Beatriz, (2012), *Visión 2020+. Un futuro por construir*, BBVA, España.
- Latour, Bruno, (1992), *Ciencia en Acción. Cómo seguir a los científicos e ingenieros a través de la sociedad*, Barcelona, Editorial Labor.

- , (1999), *La esperanza de Pandora. Ensayos sobre la realidad de los estudios de la ciencia*, España, Gedisha.
- Lavarello, P., (2014), “Convergencia de paradigmas biotecnológicos y estrategias de los grupos líderes mundiales”, *Revista Problemas del Desarrollo*, núm. 45, abril-junio, pp. 09-35.
- Lazos *et al*, L., (2013), “La apropiación social del conocimiento y sus indicadores: Una reflexión desde el análisis de las prácticas epistémicas”, *Congreso de la Red de Indicadores de Ciencia y Tecnología Iberoamericana e interamericana RICYT*, Bogotá, del 9 al 11 de octubre.
- Lee *et al*, Bo, (2013), “Emerging Tools for Synthetic Genome Design”, *Mol.Cell*, núm.35, mayo, pp. 359-370.
- Lema, F., (2001), “Sociedad del Conocimiento: ¿desarrollo o dependencia?”, en Aguirre, R., y K., Battyán, (coord.), *Trabajo, género y ciudadanía en los países del cono sur*, Montevideo, Cinterfor, pp. 11-26.
- Lepratte, L., (2011), “Sociotechnical systems, innovation and development”, *Munich Personal RePEc Archive*, pp. 01-37.
- (2014), “Complejidad, análisis socio-técnico y desarrollo hacia programas de investigación convergentes entre los estudios sociales de la tecnología y la economía de la innovación y el cambio tecnológico”, *Redes*, núm. 38, pp.41-95.
- Lepratte *et al*, L., (2015), “Sistemas socio-técnicos de producción e innovación. Análisis de la dinámica del sector de producción de carne aviar en la Argentina,”, *Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad- CTS*, núm.28, pp.01-24.
- Linares, J., (2007), “Controversias tecnocientíficas y valoración global del riesgo”, *Anuario de Filosofía-Facultad Filosofía y Letras de la Universidad Nacional Autónoma de México*, pp. 61-69.
- López *et al*, Martha, (2006), “Biología sintética. Informe de vigilancia tecnológica”, *Genoma España Tendencias*, Madrid, España.
- López, M., (2009), “Guerra de patentes en el fondo marino”, disponible en https://elpais.com/diario/2009/10/20/sociedad/1255989601_850215.html, consultado 15 de agosto de 2017.
- Lorenzo, V., (2014), “Biología sintética: la ingeniería al salto de la complejidad biológica”, *ARBOR Ciencia, Pensamiento y Cultura*, núm. 149, julio-agosto, pp.01-11.
- Lozano, M., (2011), “Marcos y lineamiento para construir iniciativas de participación ciudadana en Ciencia y Tecnología”, en Lozano, M., (coord.), *Ciencia, Tecnología y Democracia: reflexiones en torno a la apropiación social del conocimiento*, Medellín, Colciencias-Universidad EAFIT, pp.169-176.
- (2018), “El nuevo contrato social sobre la ciencia: retos para la comunicación de la ciencia en América Latina”, *Razón y Palabra*, núm. 65, pp. 01- 10.
- Lozano, M., y T., Pérez, (2012), “La apropiación social de la ciencia y la tecnología en la literatura Iberoamericana. Una revisión entre 2000 y 2010”, *REDES*, núm. 35, diciembre, pp. 45-74.
- Luna, Jesús., (2017), *Presentación de tectones moleculares sobre partículas tipo virus*, tesis para obtener el grado de licenciado en biología por la UNAM, México.
- Macia, J., y R., Solé, (2011), “Presente y futuro de la Biología Sintética”, *LYCHNOS*, núm. 05, junio, pp. 56-59.
- Maiso, J., (2013), “La biotecnología sintética: desafíos éticos, políticos y socioeconómicos”, *Viento Sur*, núm. 131, diciembre, pp. 32-42.

- , (2013b), “Diseñar la biología: Retos éticos, filosóficos y políticos de la biología sintética”, *Revista Internacional de Filosofía: Suplemento 18*, pp.303-3015.
- , (2015), “¿Una ética para la biología sintética?”, *Encuentros en la Biología*, núm.153, pp.21-24.
- Maiso *et al*, J., (2016), “Presentación: Biología sintética y filosofía práctica”, *Revista de Filosofía Moral y Política*, núm. 55, julio-diciembre, pp. 391-392.
- Marcuse, Herbert, (1964), *El hombre unidimensional*, México, Planeta.
- Martín, G., y L., Becerra, (2012), “Tecnologías para la inclusión social. Trayectorias socio-técnicas de un laboratorio público productor de medicamento en Argentina”, *eä Journal*, núm. 01, julio-junio, pp. 01-36.
- Martínez *et al*, P., (2015), “Análisis de la teoría genética a la luz de la estructura de las revoluciones científicas”, *Revista de Humanidades de Valparaíso*, núm. 06, julio-diciembre, pp.29-48.
- Marrero, A., (2007), “La sociedad del conocimiento: Una revisión teórica de un modelo de desarrollo posible para América Latina”, *ARXIUS de Ciencias Sociales*, núm. 17, diciembre, pp. 63-73.
- Marquina, Lourdes, (2015), *Convergencia tecnológica para el desarrollo de ciudades del conocimiento*, Fundación para el Estudio del Pensamiento Argentino e Iberoamericano, Buenos Aires.
- Marquina, L., y K., Nájera, (2015), “Convergencia tecnológica para el desarrollo de ciudades inteligentes en México”, en Morales, A., (coord.), *Convergencia de conocimiento para beneficio de la sociedad. Tendencias, perspectivas, debates y desafíos*, México, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología-Infotec Centro de Investigación e Innovación en Tecnologías de la Información y Comunicación, pp. 239-260.
- Mayntz, R., (2000), “Nuevos desafíos de la teoría de governance”, *Instituciones y Desarrollo*, núm.07, pp. 01-10.
- , (2001), “El Estado y la sociedad civil en la gobernanza moderna”, *Revista Reforma y Democracia*, núm.21, pp.01-08.
- Mayorga, F., y E., Córdova, (2007), “Gobernabilidad y Gobernanza en América Latina”, *Working Paper NCCR Norte-Sur IP8*, no publicado.
- Medina, R., y J., Mena, (2008), “Firmas Genéticas en secuencias de ADN: Un análisis en Regiones Codificantes y no Codificantes de Proteínas”, *II Simposio Peruano de Computación Gráfica y Procesamiento de Imágenes*, SCHI, Perú.
- Meier, G., y L., Iriarte, (2009), “Trayectoria socio-técnica de las tecnologías de postcosecha en la citricultura del nordeste argentino desde 1950 en adelante”, XII Jornadas Interescuelas/Departamentos de Historia, Universidad Nacional de Comahue, San Carlos de Bariloche.
- Milenio, (2018), “Salvo a los monstruos de nuestros tiempos”, disponible en <https://www.milenio.com/negocios/salvar-a-los-monstruos-de-nuestro-tiempos>, consultado el 20 de marzo de 2021.
- Milken, M., (2005), “El control de nuestro destino biológico estará cada vez más en nuestras manos”, disponible en https://elpais.com/diario/2005/08/16/sociedad/1124143208_850215.html, consultado el 20 de marzo de 2018.
- Mersé, S., (2013), “Reflexiones y tendencias respecto al desarrollo, en Tula, F., y A., Vara (coord.), *Riesgos, políticas y alternativas tecnológicas. Entre la regulación y la discusión pública*, Prometeo, Argentina, pp. 85-112.

- Monterroza, Álvaro, *Artefactos técnicos. Un punto de vista filosófico*, Instituto Tecnológico Metropolitano, Colombia.
- Moñivas, E., (2016), “Hacia una caracterización de las prácticas artístico-científicas actuales relacionadas con la vida sintética”, *Revista de Filosofía Moral y Política*, núm. 55, julio-diciembre, pp. 665-682.
- Morales *et al*, Mario, (2015), *Convergencia de conocimiento para beneficio de la sociedad. Tendencias, perspectivas, debates y desafíos*, México, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología-Red Convergencia.
- Morange, M., (2009), “A Critical Perspective on Synthetic Biology”, in *Hyle-International Journal for Philosophy of Chemistry*, núm. 01, pp.21-30.
- Mordor Intelligence, (2018), *Synthetic Biology Market- Growth, Trends, and Forecast (2019 - 2024)*, disponible en <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/synthetic-biology-market>, consultado 25 de marzo de 2019.
- Morones, R., (2010), “Nueva tendencia en la biotecnología”, *Ciencias UANL*, núm.03, julio, pp.299-306.
- Moya, A., (2012), “Biología sintética, Gödel y el relojero ciego”, *Biological Theory*, núm.04, pp.319-322.
- , (2014), *El cálculo de la vida*, Valencia, Universidad de Valencia, España.
- Muñoz, E., (2005), “Gobernanza, Ciencia, Tecnología y Política: trayectoria y evolución”, *ARBOR Ciencia, pensamiento y Cultura*, septiembre-octubre, pp. 287-300.
- Muñoz, R., (2015), “¿Ha creado Craig Venter vida en el laboratorio?”, *Encuentros en la Biología*, núm.153, pp. 52-53.
- Muñoz, María, (2016), *Biología sintética, Curso de Biotecnología, Bioética y Sociedad*, Sucre, Bolivia.
- Muñoz *et al*, M., (2019), “Breve descripción de la biología sintética y la importancia de su relación con otras disciplinas”, *Revista Mexicana de Ingeniería Biomédica*, núm.01, enero-abril, pp.01-17.
- Murillo, S., y K., Ruiz, (2016), “La biología sintética como desafío para comprender la autonomía de lo vivo”, *Revista de Filosofía Moral y Política*, núm. 55, julio-diciembre, pp. 551-575.
- Murray, Thomas, (2014), *La ética y la biología sintética: cuatro corrientes, tres informes*, Fundación Víctor Grífols i Lucas, Barcelona, España.
- Müller, M., (2016), “Plantas luminiscentes y máquinas vivas. Hacia una crítica de la biología sintética”, *Revista de Filosofía Moral y Política*, núm. 55, julio-diciembre, pp. 465-483.
- Naidorf, J., (2005), “Privatización del conocimiento público en universidades públicas”, en Gentili, P., y B., Levy (Comp.), *Espacio público y privatización del conocimiento. Estudios sobre políticas universitarias en América Latina*, CLACSO, Buenos Aires, pp. 101-161.
- Natera, Antonio, (2004), *La noción de gobernanza como gestión pública participativa y reticular*, Universidad Carlos III De Madrid, Madrid.
- Nature Biotechnology, (2014), “iGEM 2.0—refoundations for engineering biology”, in *Nature Biotechnology*, núm.05, mayo, pp. 420-424.
- Nelson, Richard, y Sidney, Winter, (1982), *An Evolutionary Theory of Economic Change*, Harvard University Press, E.U.
- Nieto, M., y C., Pérez, (2006), “Características del conocimiento tecnológico y mecanismos de apropiación de innovaciones”, *Revista Europea de Dirección y Economía de la Empresa*, núm. 03, pp. 93-106.

- Notimex, (2015), “Ex alumnos crean empresa para desarrollar compuestos biotecnológicos”, disponible en: <https://www.20minutos.com.mx/noticia/b338168/ex-alumnos-crean-empresa-para-desarrollar-compuestos-biotecnologicos/>, consultado 25 de marzo de 2021.
- Núñez, J., (2002), “Ética, Ciencia y Tecnología: sobre la función social de la tecnociencia”, *Llull*, pp. 459-484.
- , (2006), “La democratización de la ciencia y el problema del poder”, en Duharte, E., (Comp.), *La política: Miradas Cruzadas*, La Habana, Editoriales de Ciencias Sociales, 01-16.
- , (2009), “La cuestión de la democratización de la ciencia como asunto epistemológico, ético y político”, *Revista Universidad y Sociedad*, núm. 01, enero-abril, pp. 01-15.
- Nuño, D., (2016), “Creada vida artificial más sencilla que la vida misma”, disponible en https://elpais.com/elpais/2016/03/23/ciencia/1458759034_274399.html, consultado 25 de marzo de 2019.
- Nuño, L., (2013), “¿Puede ser la vida objeto de ingeniería?”, *Viento Sur*, núm. 131, diciembre, pp. 42-51.
- Nuño, L., (2016), “¿Tiene futuro la vida sin pasado? El desdén de la evolución en biología sintética”, *Revista de Filosofía Moral y Política*, núm.55, julio-diciembre, pp. 443-463.
- Oble, Evelia, (2016), *Innovación, capital social y rentabilidad de la naranja en el norte de Veracruz, México*, tesis para obtener el grado en doctora en Problemas Económicos Agroindustriales, CIESTAAM-Chapingo, México.
- OCDE, (1996), “La innovación tecnológica: definiciones y elementos de base”, *REDES*, núm. 06, mayo, pp. 131-175.
- Ochoa, Daniel, (2013), *Construcción sintética de una levadura criotolerante*, tesis para obtener el grado de licenciado en Biología por la UNAM, México.
- Ochoa *et al*, E., (2016), “The Biohacking Landscape in Latin America”, in *BioCoder*, abril, pp. 05-12.
- Ocman, Claudia, (2008), *Gobernanza global de la propiedad intelectual de los recursos e innovaciones genéticas. Las empresas biotecnológicas y los pueblos indígenas como actores políticos*, tesis para obtener el grado de doctora en Ciencias Políticas y Sociales por la UNAM, México.
- Odek, J., (1994), “Bio-piracy: Creating Proprietary Rights in Plant Genetic Resources”, *Journal of Intellectual Property Law*, vol.02, pp. 141-181.
- Oduardo *et al*, Omar, (2017), *Lawful Avoidance of ABS: Jurisdiction Shopping and Selection of non-Genetic-Material Media for Transmission*, Propuestas de cuestiones nuevas y emergentes para SBSTTA-21 y COP14.
- Oldham *et al*, P., (2012), “Synthetic Biology: Mapping the Science Landscape”, *PLoS ONE*, núm.04, abril, pp. 01-16.
- Oldham, Paul, (2020), *Digital Sequence Information-Technical Aspects*, Comisión Europea de Medio Ambiente, Unión Europea.
- Olivé, L., (2005), “La cultura científica y tecnológica en el tránsito a la sociedad del conocimiento”, *Revista de la Educación Superior*, núm. 136, octubre-diciembre, pp. 49-63.
- , (2011), “La apropiación de la ciencia y la tecnología”, en Lozano, M., (coord.), *Ciencia, Tecnología y Democracia: reflexiones en torno a la apropiación social del conocimiento*, Medellín, Colciencias-Universidad EAFIT, pp. 113-122.

- OMPI, (2019), *Propiedad Intelectual y Recursos Genéticos*, Breve Reseña No.10, OMPI, Suiza.
- Orozco *et al*, L., (2011), “Redes e híbridos como formas organizacionales de gobernanza en la biotecnología en Colombia”, en Beltrán *et al*, A., (Comp.), memorias Encuentro Internacional de Investigadores en Administración, Universidad Externado de Colombia – Universidad del Valle, Bogotá.
- Ortiz, C., (2019), Synthetic Biology Market lifts 2020 outlook, disponible en <https://techadmirers.com/2019/11/16/synthetic-biology-market-lifts-2020-outlook/>, consultado 25 de marzo de 2019.
- Pabón, R., (2018), “Apropiación social del conocimiento: una aproximación teórica y perspectivas para Colombia”, *Educación y Humanismo*, núm. 20, enero-junio, pp. 116-139.
- Paic, A., y C., Viros, (2018), “Governance of science and technology policies”, en *OECD SIENCIA, TECHNOLOGY AND INDUSTRY*, núm. 84, pp.01-36.
- Palacio, M., (2009), “Gobernanza de la ciencia y la tecnología”, *Revista Ciencia, Tecnología y Sociedad*, núm.01, octubre, pp.01-18.
- Palacios, L., (2020), “Del cabrito a la biología sintética. Trayectoria empresarial de Alfonso Romo”, *Humanitas*, núm.47, enero-diciembre, pp. 211-247.
- Pastor, S., y M., Ruiz, (2008), *El Desarrollo de un Régimen Internacional de Acceso y Distribución de Beneficios Equitativo y Eficiente en un Contexto de Nuevos Desarrollos Tecnológicos*, Iniciativa para la prevención de la biopiratería, núm.09, mayo, 01-25.
- Paredes *et al*, M.A., (2018), “Los desafíos del diseño e implementación de proyectos tecnológicos de acceso al agua en la Puna jujeña (período 2006-2011)”, en *Tecnología y Sociedad. Análisis de procesos de Innovación y cambio tecnológico en diversos territorios rurales de Argentina*, Argentina, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, pp. 90-104.
- Patsnap, (s/f), 5 SynBio Trends to Watch Out for in 2020, disponible en <https://www.patsnap.com/blog/5-synbio-trends-to-watch-out-for-in-2020>, consultado 16 de abril de 2019.
- Patricia *et al*, C., (2013), “Biología sintética: aplicaciones y dilemas éticos”, *Memorias del III Congreso Internacional de la REDBIOÉTICA-UNESCO para América Latina y el Caribe*, Universidad Nacional de Colombia, 24 al 26 de noviembre.
- Pavone, V., (2013), ¿Hacia una naturaleza neoliberal?, *Viento Sur*, núm. 131, diciembre, pp. 61-70.
- Paz, L., (2015), “Televisión interactiva en Argentina: la trayectoria socio-técnica”, *Pre Congreso Alas Desafíos y dilemas de la universidad y la ciencia en América Latina y el Caribe en el siglo XXI*, del 12 al 14 de agosto, Buenos Aires, Argentina.
- Paz, E., (2018), “BioS: Biología sintética”, *Nota INCyTU*, núm.02, pp.01-06.
- Pérez, C., (2001), “Cambio tecnológico y oportunidades de desarrollo como blanco móvil”, *Revista de la CEPAL*, núm. 75, pp. 115-136.
- Pérez, Jesús, (2012), *Detección de la transferencia horizontal de genes in vivo utilizando herramientas de biología sintética*, tesis para obtener el grado de licenciado en biología por la UNAM, México.
- Pérez *et al*, M., (2018), “Ordenanzas, agroquímicos y transición agroecológica en tambos: el caso de Villa San José, Rafaela”, en Carrapizo *et al*, V., *Tecnología y Sociedad. Análisis de procesos de innovación y cambio tecnológico en diversos territorios*

- rurales de Argentina*, Buenos Aires, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, pp. 59-74.
- Picabea, F., y H., Thomas, (2011), “Política económica y producción de tecnología en la segunda presidencia peronista. Análisis de la trayectoria socio-técnica de la motocicleta Puma (1953-1955)”, *Redes*, núm. 32, junio, pp. 65-93.
- Pinch, T., y W., Bijker, (2008), “La construcción social de hechos y artefactos: o acerca de cómo la sociología de la ciencia y la sociología de la tecnología puede beneficiarse mutuamente”, en Thomas, H., y A., Buch (coord.), *Actos, actores y artefactos. Sociología de la tecnología*, Argentina, Universidad Nacional de Quilmes, pp. 19-62.
- Pichardo, Javier., (2016), *Las Organizaciones no Gubernamentales en contra de la siembra de maíz genéticamente modificado en Oaxaca*, tesis para obtener el grado de Maestro en Sociología por la UAM-Azcapotzalco, México.
- Poltermann, A., (2005), “La protección de los comunes, la invención del dominio público”, en *¿Un mundo patentado? La privatización de la vida y del conocimiento*, Fundación Heinrich Boll, México, pp.18-28.
- Porcar, M., y J., Paretó, (2016), “¿Quién hace biología sintética?”, *Monográfico*, núm. 163, pp. 01-02.
- Posadas *et al*, E., (1995), “Apropiación social de la ciencia y la tecnología”, *Informe de comisiones Ciencia y educación para el desarrollo*, Colciencias, Documento de la Misión Ciencia, Educación y Desarrollo t.4).
- ProMéxico, (2014), *Biotecnología*, Secretaría de Energía, México.
- Rai, A., y J., Boyle, (2007), “Synthetic Biology: Caught between Property Rights, the Public Domain, and the Commons”, *PLoS Biology*, marzo, vol. 05, pp. 389-393.
- Raimbault *et al*, B., (2016), “Mapping the Emergences of Synthetic Biology”, *PLoS ONE*, septiembre, pp.01-19.
- Ramírez, V., y J., Gutiérrez, (s/f), “Biología y desarrollo sustentable”, *Biofarmacos*, Tecnológico de Monterrey, pp. 01-34.
- Ramírez, M., (2015), “Acceso abierto y su repercusión en la Sociedad del Conocimiento. Reflexiones de casos prácticos en Latinoamérica”, *Education in the Knowledge Society*, núm. 01, pp. 103-118.
- Reboloso, R., (2008), “El conocimiento en tiempos de globalización”, *Ingenierías*, núm. 38, enero-marzo, pp. 24-32.
- Rebolledo, S., (2011), “La relación entre los riesgos, la precaución y la responsabilidad en los daños al medio ambiente por la liberación de organismos genéticamente modificados”, *Revista de Derecho Ambiental de la Universidad de Palermo*, núm. 01, mayo, pp. 189-233.
- Red Nacional de Biología Sintética, (2013), “1er Foro en Biología Sintética y las perspectivas de la Biología Sintética en México”, disponible en: <https://synbio.mx/2013/08/05/1er-foro-en-biologia-sintetica-y-las-perspectivas-de-la-biologia-sintetica-en-mexico/>, consultado el 15 de enero de 2021.
- , (2014), “Biología Sintética en México”, disponible en: <https://synbio.mx/2014/01/15/biologia-sintetica-en-mexico/>, consultado el 12 de marzo del 2018.
- , (2014b), “CINVESTAV busca jóvenes talento en Biología Sintética”, disponible en: <https://synbio.mx/2014/07/19/cinvestav-busca-jovenes-talento-en-biologia-sintetica/>, consultado el 12 de abril del 2019.

- , (2015), “Foro en línea sobre biología sintética del CBD” disponible en: <https://synbio.mx/2015/05/30/foro-en-linea-sobre-biologia-sintetica-del-cbd/>, consultado el 12 de abril del 2020.
- , (2016), “Perfil de emprendedor: GATCopr. Biotecnología y productos naturales”, disponible en: <https://synbio.mx/2016/05/17/perfil-emprendedor-gatcorp/>, consultado el 12 de abril del 2018.
- , (2017), “Boletín SYNBIOMx-Abril 2017”, disponible en <https://synbio.mx/2017/04/17/boletin-synbiomx-abril-2017/>, consultado el 10 de mayo del 2021.
- , (2018), “Perfil emprendedor: Scintia”, disponible en <https://synbio.mx/2018/03/06/perfil-emprendedor-scintia/>, consultado el 12 de abril del 2021.
- , (2019), “3er Foro de Biología Sintética en México”, disponible en <https://synbio.mx/2019/12/08/el-3er-foro-de-biologia-sintetica-en-mexico/>, consultado el 12 de agosto del 2021.y
- , (2021), “Directorio de laboratorios de Biología Sintética” disponible en: <https://synbio.mx/directorio-de-laboratorios-de-biologia-sintetica/>, consultado el 12 de abril del 2021.
- Revista Mexicana de Bioseguridad, (2014), “Estabilidad de plásmidos e identificación de partes en proyectos de biología sintética”, *AMEXBIO*, pp.25-30.
- Reyes *et al*, J., (2017), “Las patentes como instrumento metodológico para identificar procesos de convergencia tecnológica: el caso de la bio y nanotecnología”, *Entreciencias*, núm. 15, diciembre, pp. 19-32.
- Ribeiro, S., (2013), “Biología sintética, bioeconomía y justicia social”, *Viento Sur*, núm. 131, diciembre, pp. 52-60.
- , (2016), *De las compensaciones por biodiversidad a la ingeniería de ecosistemas: nuevas amenazas a comunidades y territorios*, disponible en <http://wrm.org.uy/es/articulos-del-boletin-wrm/seccion1/de-las-compensaciones-por-biodiversidad-a-la-ingenieria-de-ecosistemas-nuevas-amenazas-a-comunidades-y-territorios/>, consultado el 03 de noviembre de 2017.
- Roco, Mihail, y William, Bainbridge, (2002), *Converging technologies for improving human performance. Nanotechnology, Biotechnology, Information technology and Cognitive Science*, National Science Foundation, E.U.
- Roco *et al*, Mihail, (2013), *Converge of knowledge, technology and society: Beyond convergence of nano-bio-info-cognitive*, New York, Springer.
- Rodotá, S., (2004), “Derecho, ciencia, tecnología. Modelos y decisiones de regulación”, ponencia dictada en el *Congreso Scienza e diritto nel prisma del diritto comparato*, organizado por la Asociación Italiana de Derecho Comparado, publicadas por la editorial Giappichelli de Turín, pp. 397-412.
- Rodríguez, E., (2010), “Reflexión bioética sobre el uso de organismo genéticamente modificados”, *Revista BIOETHIKOS*, abril-junio, pp. 222-227.
- Rohmer, S., (2016), “¿Existen las máquinas vivientes? Sobre la relación entre vida y técnica”, *Revista de Filosofía Moral y Política*, núm.55, julio-diciembre, pp. 595-614.
- Romeo, Carlos, (2010), *Aspectos éticos y jurídicos de la Biología sintética*, Conselho Nacional de Ética para as Ciências da Vida de Portugal y el Comité de Bioética de España, Bilbao.

- , (2011), “Aspectos éticos y jurídicos de la Biología Sintética”, *Primera Reunión Conjunta del Conselho Nacional de Ética para as Ciências da Vida de Portugal y el Comité de Bioética de España*, realizada el 08 de noviembre en Lisboa.
- Rondald, C., (2006), “Capital Social y Estudios Sociales de la Ciencia y la Tecnología”, *Revista del Magíster en Análisis Sistemático Aplicado a la Sociedad*, núm. 15, septiembre, pp. 104-114.
- Ronny, J., (2017), “Entre el constructivismo social, las redes socio-técnicas y los estilos de conocimiento. Bases para el estudio de la historicidad del vínculo entre Ciencia, Tecnología y Sociedad”, en Ronny, J., (Comp.), *La intersección entre ambiente, ciencia, tecnología y sociedad. Aproximaciones teóricas para su estudio desde la perspectiva CTS No.2*, Costa Rica, Centro de Investigación Histórica de América Central.
- Ruiz, C., (2008), “El rol de la biología sintética en los agrocombustibles”, disponible en <https://www.biodiversidadla.org/Documentos/El-rol-de-la-biologia-sintetica-en-los-agrocombustibles>, consultado el 12 de marzo del 2019.
- Ruiz, J., y M., Álvaro, (2012), “Biología sintética: enfrentándose a la vida para comprenderla, utilizarla o extenderla”, *Revista de pensamiento contemporáneo*, núm. 38, pp. 28-37.
- Ruiz, K. y A., Moreno., (2012) “Biología sintética: comprender, utilizar y extender la vida”, *Pasajes de pensamiento contemporáneo*, núm. 38, pp.28-37.
- Ruiz, M., (2011), “Un ensayo crítico del Protocolo de Nagoya sobre acceso a los recursos genéticos: problemas de definición y de fondo”, *Anuario Andino de Derechos Intelectuales*, núm.11, pp. 373-378.
- Sánchez, A., (2019), “Vida sintética: Diseñando información genética por computadora”, disponible en <https://invdes.com.mx/los-investigadores/vida-sintetica-disenando-informacion-genetica-por-computadora/>, consultado 02 de junio de 2019.
- Sánchez, G., (2018), “Apuntes sobre el Programa Nacional para el Desarrollo y la Sustentabilidad de los Territorios del INTA”, en *Tecnología y Sociedad. Análisis de procesos de innovación y cambio tecnológico en diversos territorios rurales de Argentina*, Buenos Aires, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, pp.09-19.
- Sánchez, M., (2003), “La privatización de la ciencia y el conocimiento: el acercamiento de los bienes comunes. Las patentes en biotecnología: el caso de las secuencias genética”, *Revista de Economía Crítica*, núm. 02, diciembre, pp. 169-202.
- Saukshmaya, T., y A., Chung, (2011), “Intellectual property rights in synthetic biology: an anti-thesis to open Access to research?”, in *Synthetic Biology*, pp. 241-245.
- Schmidt, C., (2010), “La biología sintética. Las implicaciones de un nuevo campo para la salud ambiental”, in *Environmental Health Perspectives*, núm.03, mayo-junio, pp.276-287.
- Schummer, Joachim (2011) *Das Gotteshandwerk. Die künstliche Herstellung von Leben im Labo*, Suhrkamp, Frankfurt.
- Schumpeter, Joseph, (1983), *Capitalismo, socialismo y democracia*, F.C.E., México.
- SEMARNAT, (2015), “Oficio No. SGPA/DGIRA/DG/02274”, *Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental*, México.
- , (2015b), “Oficio UCAI-000218/15”, *Unidad Coordinadora de Asuntos Internacionales*, SEMARNAT, México.
- , (2017), *Libro Blanco. Conferencia de las Naciones Unidas sobre Biodiversidad, 2016*, SEMARNAT, México.

- , (2018, “Identificación de necesidades de investigación en contaminación y salud ambiental”, *Coordinación General de Contaminación y Salud Ambiental*, SEMARNAT-INECC, pp. 01-187.
- Senado de la República, (2011), *Informe de actividades de la Comisión de Ciencia y Tecnología*, Senado de la República de México.
- Sepúlveda, J., (2014), “La gobernanza en las políticas públicas de ciencia, tecnología e innovación: muy buena en la teoría, pero deficiente en la práctica”, *Technol*, núm.02, pp. 80-90.
- Shadlen, K., (2011), “Propiedad intelectual para el desarrollo en México”, en Gallagher *et al*, (Eds.), *El futuro de la política de Comercio en América del Norte: Lecciones del TLCAN*, Pardee Center Task Force Report, Universidad Autónoma de Zacatecas, Global Development and Environment Institute, Boston University Frederick S. Pardee Center y Universidad Nacional Autónoma de México, pp.67.73.
- Sharma, Y., (2012), “Retos de la biología sintética para países en desarrollo”, disponible en <https://www.scidev.net/america-latina/contaminacion/especial/retos-de-la-biolog-a-sint-tica-para-pa-ses-en-desarrollo.html>, consultado 02 de junio de 2019.
- Sierra, F., y T., Gravante, (2012), “Apropiación tecnológica y mediación. Líneas y fracturas para pensar otra comunicación posible”, en Encina, J., y M., Ávila, (coord.), *Autogestión de la vida cotidiana*, Andalucía, UNILCO, pp.130-138.
- Silva, R., (2005), “Estrategias cambiantes y combinadas para consolidar la propiedad intelectual sobre la vida y el conocimiento”, en *¿Un mundo patentado? La privatización de la vida y del conocimiento*, Fundación Heinrich Boll, México, pp. 55-67.
- Slater, D., (2008), “Re-pensando la geopolítica del conocimiento: reto a las violaciones imperiales”, *Tabula Rasa*, núm.08, enero-junio, pp.335-358.
- Songer, D., (2018), “Expert View: How China is catching up with the US in new applications of synthetic biology”, disponible en <https://biomarketinsights.com/expert-view-how-china-is-catching-up-with-the-us-in-new-applications-of-synthetic-biology/>, consultado 02 de agosto de 2019.
- Soto, Lourdes, (2012), *Construcción sintética de una proteína anticongelante inducida por un choque frío*, tesis para obtener el grado de licenciado en biología por la UNAM, México.
- Starkbaum *et al*, J., (2015), “The synthetic biology puzzle: a qualitative study on public reflections towards a governance framework”, *Systems and Synthetic Biology*, pp. 147-157.
- Stezano, F., (2012), “Transferencia de conocimientos entre ciencia e industria en el sector de biotecnología en México”, en *Dilemas de la innovación en México. Dinámicas sectoriales, territoriales e institucionales*, Carrillo *et al*, J., (coord.), Colegio de la Frontera Norte y Complejidad, Ciencia y Sociedad, México, pp.143-184.
- Stezano, F., y R., Oliver, (2015), “La colaboración entre actores como condición para el avance de procesos de convergencia de conocimiento para beneficio de la sociedad. Los vínculos ciencia-industria en México”, en Morales *et al*, A., *Convergencia de conocimiento para beneficio de la sociedad. Tendencias, perspectivas, debates y desafíos*, México, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología-Red Convergencia, pp. 13-42.
- (2017), “Convergencia Tecnológica: supuestos y conceptos”, *Newsletter: edición especial Red de Convergencia de Conocimiento para Beneficio de la Sociedad*, Laboratorio Nacional de Informática Avanzada A.C, pp. 01-08.

- Starkbaum *et al.*, J., (2015), “The synthetic biology puzzle: a qualitative study on public reflections towards a governance framework”, *Systems and Synthetic Biology*, pp. 147-157.
- SynbioBeta, (2019), “The top 10 skills synthetic biologists will need for 2019”, disponible en <https://synbiobeta.com/the-top-10-skills-synthetic-biologists-will-need-for-2019/>, consultado 20 de junio de 2019.
- Tavares, Renata, (2008), *Convergência nbic & ontologias emergentes: os fluxos informacionais como agentes da unidade do conhecimento*, tesis para obtener el Grau de Mestre em Engenharia e Gestão do Conhecimento, Florianópolis, Brasil.
- The Wilson Center, (2014), *Tracking the Growth of Synthetic Biology: Findings for 2013*, Synthetic Biology Project, E.U.
- , (2015), *The Synthetic Biology Project at the Wilson Center: eight years of Engagement and Analysis*, Synthetic Biology Project, E.U.
- Thomas *et al.*, H., (2005), “Desarrollando tecnologías conocimiento-intensivas. Análisis de la trayectoria socio-técnica de una empresa productora y exportadora de biotecnología”, *IV Jornadas de Sociología de la UNLP*, realizado del 23 al 25 de noviembre, La Plata, Argentina.
- Thomas, H., y C., Gianella, (2006), “Trayectorias de aprendizaje y dinámicas de resolución de problemas en instituciones latinoamericanas de generación y transferencia de conocimientos científicos y tecnológicos. Análisis de una experiencia de desarrollo de un polo tecnológico (PTC-Argentina)”, *Espacios*, núm.02, pp. 01-08.
- Thomas, Hernán, (1999), *Dinâmicas de inovação na Argentina (1970 – 1995): abertura comercial, crise sistêmica e rearticulação*, tesis para obtener el grado de Doctor por la Universidade Estadual de Campinas- São Paulo.
- , (2007), “Dinámicas de innovación y cambio tecnológico en el MERCOSUR. Procesos socio-técnicos de construcción de condiciones periféricas”, *XXVI Congreso de la Asociación Latinoamericana de Sociología (ALAS)*, realizado del 13 al 18 de agosto en Guadalajara, México.
- , (2008), “Estructuras cerradas vs proceso dinámicos: trayectorias y estilos de innovación y cambio tecnológico”, en Thomas, H., y A., Buch (coord.), *Actos, actores y artefactos. Sociología de la tecnología*, Argentina, Universidad Nacional de Quilmes, pp. 217-290.
- , (2010), “Tecnologías para la inclusión social y políticas públicas en América Latina”, disponible en: <http://www.redtisa.org/Hernan-Thomas-Tecnologias-para-la-inclusion-social-y-politicas-publicas-en-America-Latina.pdf>, consultado el 25 de octubre de 2018.
- , (2013), “Las Tecnologías para la Inclusión y los Estudios Sociales de la Ciencia y la Tecnología”, presentación para *Estudos Sociais da Ciência & Tecnologia e Produção do Conhecimento na Universidade*, 22 de agosto de 2012, Brasil.
- Thomas, J., (2013), “Kickstarter, biología sintética y biohackers”, disponible en <http://www.etcgroup.org/es/content/kickstarterbiolog%C3%ADasint%C3%A9tica-y-biohackers>, consultado 28 de septiembre de 2017.
- Thomas, Jim, y Verónica, Villa., (2016), *La biología sintética y la destrucción de la economía campesina*, documento inédito.
- Toboso, M., (2008), “Cultura científica y participación de las personas con discapacidad en materia de ciencia y tecnología”, en López, J., y F., Gómez, (coord.), *Apropiación social de la ciencia*, Madrid, Biblioteca Nueva-OEI, pp. 237-252.

- Todt, O., y M., Plaza, (2005), “La gobernanza de la seguridad alimentaria”, *ARBOR Ciencia, pensamiento y Cultura*, septiembre-octubre, pp. 403-416.
- Trump, B., (2017), “Synthetic biology regulation and governance: Lessons from TAPIC for the United States, European Union, and Singapore”, *Health Policy* 121, pp. 1139-1146.
- Tula, Fernando, y Ana, Vara (2013), *Riesgos, políticas y alternativas tecnológicas. Entre la regulación y la discusión pública*, Prometeo, Argentina.
- Twistbioscience, (2017), “Top 10 Moments in Synthetic Biology 2017”, disponible en <https://twistbioscience.com/company/blog/twistbiosciencesynbio2017>, consultado 25 de mayo de 2019.
- , (2018), “Top 10 Moments in Synthetic Biology 2018”, disponible en <https://twistbioscience.com/company/blog/Top10MomentsinSyntheticBiology2018>, consultado el 20 de junio de 2019.
- UANL, (2012), *Plan de Plan de estudio de la Licenciatura de Biotecnología Genómica*, Facultad de Ciencias Biológicas, México.
- UNESCO, (2005), *Hacia las sociedades del conocimiento*, Informe Mundial, París, UNESCO.
- Universidad de Antioquía, (2013), “Apropiación social y uso del conocimiento”, disponible en: <http://www.udea.edu.co/wps/wcm/connect/udea/f72e5077-5465-45a6-a999-6a1b8c9c2de6/TEMA5-Portal.pdf?MOD=AJPERES>, consultado el 12 de agosto de 2018.
- Universidad Autónoma Metropolitana, (2013), *Informe de actividades 2012*, UAM-Cuajimalpa, México.
- , (2015), *Informe de actividades 2014*, UAM-Cuajimalpa, México.
- Universidad de Guadalajara, (2016), *Dictamen de creación del Programa Educativo de Ingeniería en Sistemas Biológicos*, Universidad de Guadalajara, México.
- Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, (2014), *Plan de estudios de la Licenciatura en Genómica*, División Académica Multidisciplinar, México.
- Universidad Politécnica del Estado de Morelos, (2014), *presentación de la Maestría en Ciencias en Biotecnología*, Universidad Politécnica del Estado de Morelos, México.
- Universitam, (2016), “Investigadores del MIT crean células sintéticas para aislar circuitos genéticos”, disponible en <https://universitam.com/academicos/noticias/investigadores-del-mit-crean-celulas-sinteticas-para-aislar-circuitos-geneticos/>, consultado 25 de abril de 2019.
- University the berkeley, (2019), “Scientists chart course toward a new world of synthetic biology”, disponible en <https://phys.org/news/2019-06-scientists-world-synthetic-biology.html>, consultado 25 de abril de 2019.
- Van Doren, D., y S., Koenigstein, (2013), “The developmente of synthetic biology: a patent analys”, *Systems and Synthetic Biology*, august, pp. 209-220.
- Vázquez, S., y Y., Zárate, (2008), “Biología Sintética”, en *Boletín Informativo de la Coordinación de la Investigación Científica*, núm.83, febrero, pp.08-09.
- Vázquez *et al*, Y., (2017), “Evaluación de la bioingeniería y la nanotecnología: desde la biofísica hasta la convergencia científico-tecnológica (NBIC)”, *Ingeciencia*, núm. 01, pp. 77- 87.
- Vega, J., (2001), “Ciencia privada, conocimiento público”, *Isegoría Revista de Filosofía Moral y Política*, núm. 25, pp. 247-261.
- Vera, G., y M.A., Vera, (2013), “La trayectoria tecnológica de la industria textil mexicana”, *Frontera Norte*, núm.50, julio-diciembre, pp.155-186.

- Vercelli, Ariel, (2009), *Repensando los bienes intelectuales comunes. Análisis sociotécnico sobre el proceso de co-construcción entre las regulaciones de derecho de autor y derecho de copia y las tecnologías digitales para su gestión*, tesis para obtener el grado de Doctora Ciencias Sociales y Humanas, Universidad Nacional de Quilmes, Argentina.
- Vercelli, A., (2010), “Second Life y la reinención de la propiedad privada para los entornos digitales. Análisis de los procesos de co-construcción entre regulaciones de derechos de autor y tecnologías digitales”, en Vessuri *et al*, H., (edit.), *Producción y reflexión sobre Ciencia, Tecnología e Innovación en Iberoamérica*, Caracas, UNESCO, pp. 385-405.
- Vercelli., A., y H., Thomas, (2006), “La co-construcción de tecnologías y regulaciones: análisis socio-técnico de un artefacto anti-copia de Sony-BMG”, trabajo preliminar como becaria del CONICET, pp.01-25.
- Vercellone, C., (2016), “Capitalismo cognitivo y economía del conocimiento. Una perspectiva histórica y teórica”, en Sierra, F., y F., Maniglio (coord.), *Capitalismo Financiero y Comunicación*, Educador, CIESPAL, pp. 17-50.
- Verre *et al*, V., (2017), “Estrategias de apropiación en contextos de colaboración público-privada en la biotecnología argentina”, *Economía, Teoría y Práctica*, núm.47, julio-diciembre, pp.31-64.
- Viales, R., (2017), “Entre el constructivismo social, las redes socio-técnicas y los estilos de conocimiento. Bases para el estudio de la historicidad del vínculo entre Ciencia, Tecnología y Sociedad”, en *La intersección entre ambiente, ciencia, tecnología y sociedad. Aproximaciones teóricas para su estudio desde la perspectiva CTS*, Costa Rica, Centro de Investigaciones Históricas de América Central, pp.39-54.
- Viguera *et al*, E., (2015), “Biología sintética: legitimación social y apoyo público”, *Encuentros en la Biología*, núm.153, pp.14-16.
- Villa, V., (2016)., “Biología sintética: usurpar los sustentos campesinos”, *Revista Biodiversidad*, abril, pp.11-15.
- , (2018), “¿Qué es la biología sintética?”, *La Jornada del Campo No.133*, octubre, suplemento informativo de La Jornada.
- Villatoro, F., (2014), “Breve historia de la biotecnología sintética”, disponible en <https://francis.naukas.com/2014/05/08/historia-de-la-biología-sintetica/>, consultado 30 de enero de 2019.
- Wan, M., (2013), “Biología sintética: ¿debemos tener miedo?”, disponible en http://www.biodiversidadla.org/Documentos/Biología_sintetica_debemos_tener_miedo, consultado 15 de abril de 2018.
- Wang *et al*, H., (2013), “Applications of Engineered Synthetic Ecosystems”, *Elsevier*, pp. 317-325.
- Wang, F., y W., Zhang, (2019), “Synthetic Biology: Recent progress, biosafety and biosecurity concerns, and possible solutions”, in *Journal of Biosafety and Biosecurity*, núm.01, pp.22-30.
- Xinhua, (2016), “Científicos chinos dan un nuevo paso hacia la creación de vida sintética”, disponible en <https://lifestyle.americaeconomia.com/articulos/cientificos-chinos-dan-un-nuevo-paso-hacia-la-creacion-de-vida-sintetica>, consultado 25 de abril de 2019.
- , (2019), “China establecerá comité profesional de biología sintética”, disponible en http://spanish.xinhuanet.com/2018-11/14/c_137606205.htm, consultado el 27 de julio de 2019.

- Yves, P., (2012), “Capacidades humanas. Estado actual y perspectiva tecnológica”, *Especial Futuribles*, núm. 310, pp.16-29.
- Zamora, J., (2015), “Biología sintética: en la intersección entre sociedad y naturaleza”, *Encuentros en la Biología*, núm.153, pp. 17-20.
- Zwanenberg, P., (2013), “La regulación de la biotecnología agrícola y la política de selección tecnológica”, en Tula, F., y A., Vara (coord.), *Riesgos, políticas y alternativas tecnológicas. Entre la regulación y la discusión pública*, Prometeo, Argentina, pp. 141-174.