



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**(INDUCCIÓN DE LA BIOLOGÍA SINTÉTICA EN  
MÉXICO)**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**BIOLOGÍA**

**P R E S E N T A:**

**(ALEJANDRO GUZMÁN VENDRELL)**



**DIRECTOR DE TESIS:  
M. EN BIOÉTICA JOSÉ ANTONIO ALONSO  
PAVÓN  
2023**

**CIUDAD UNIVERSITARIA, CD. MX., 2023**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## Resumen

El estudio y desarrollo de la biología ha tenido varios cambios a través de la historia. Nuevas áreas van surgiendo conforme avanza la tecnología y se desarrollan nuevas teorías. La biología sintética surge a finales del siglo XX y se empieza a extender por el mundo a inicios del siglo XXI. Esta expansión se da por diversos factores pero uno de ellos es la existencia del concurso iGEM que sirvió para promover la biología sintética en diferentes países. Un estudio sobre la historia de la biología sintética es necesario ya que nos permite establecer las condiciones que se requirieron para su introducción en el país. En este trabajo se describe cómo el surgimiento de la biología sintética en el país se dió por el concurso iGEM, en el cual estudiantes de varias universidades fueron participando. Este concurso sirvió para que la gente tomara interés en el área y posteriormente se formara académicamente en el área. Así mismo, en el trabajo ilustro como los equipos que participaban en iGEM se enfrentaban a dificultades similares que afectaron el cómo se podía desarrollar el área en el país. Se relata cómo la misma gente que había participado en iGEM en los primeros años fueron de los pioneros en incorporarse a centros de investigación dedicados a la investigación, así como las alternativas que fueron surgiendo por el estado del área en el país.

## Agradecimientos

Quisiera agradecer, en primer lugar a mi padre Alejandro Guzman que me ha brindado apoyo en toda mi carrera universitaria, desde que entré a la prepa en la ENP 1. Hasta este momento y pasando por todos los cambios que hubo.

A mi tutor Jose Antonio Alonso por haberme aguantado durante esta tesis, depresiones, problemas de TDA, muchas muchas muchas faltas de ortografía, gramática y otras cosas que hacen que sea una sorpresa que ahora me dedique a escribir. Muchas gracias por haberme acompañado y no dejarlo a la deriva pese a todo.

A mis sinodales y en particular al Dr. Pablo Padilla, el cual me apoyó durante toda mi carrera y mis ideas de biología sintética. Tanto con los apoyos de becas como con el apoyo para los proyectos y esta misma tesis.

A Jocelyn, cotesista que entramos juntos al posgrado y que me has acompañado en muchos malos momentos y también en otros buenos. Gracias por estar ahí y saber que nos apoyamos mutuamente para salir adelante. A Xrysw, de mis mejores amigas, gracias por las partidas de rol y por escucharme en todo el proceso de trabajo, en toda la carrera y lo que me pasaba.

A mis amigos de la vida aka el pueblo, Sergio, Daniel, Chucho, César y a Gil. Gracias por haber hecho llevadero todo este proceso, aguantarnos una carrera y aun así seguirnos viendo. A los axolotes de axostories por no haberme corrido por todas las veces que tuve que atrasarme para entregar esto.

A LE, gracias por haberme acompañado desde la prepa, toda la carrera y un cachito más.

Tu sabes lo que se hizo y gracias por haber estado de una forma u otra.

Finalmente a mis gatas que me han acompañado. Runa que ya no vio esta tesis terminada pero que estuvo ahí en todo el proceso de escritura, en noches largas y durmiendo a mi lado. Nyu, mi bola de oscuridad que entró conmigo a la carrera y ahí sigue, estando presente todo el tiempo en mi vida y cuidando que siempre le ponga comida.

# Índice

<b>Resumen</b>	2
<b>Agradecimientos</b>	3
<b>Índice</b>	5
<b>Introducción.</b>	7
<b>Antecedentes de la Biología Sintética</b>	13
Limitantes de la ingeniería genética, el surgimiento de herramientas computacionales y aparición de la biología de sistemas	14
¿Qué es biología sintética?	15
International Genetically Engineered Machines (iGEM)	17
<b>Llegada de la Biología Sintética a México (2005-2010)</b>	20
Surgimiento de los primeros equipos iGEM.	20
Equipo conjunto IPN-UNAM.	21
Equipos subsecuentes.	23
Colaboraciones UNAM-IPN: proyectos realizados, problemáticas y retos.	23
Surgimiento del equipo de la LCG: proyectos realizados, problemáticas y retos.	24

Interés por parte de la industria privada	26
Popularización de la biología sintética en el país.	27
Interés en universidades privadas.	28
<b>Periodo de expansión (2011-2013)</b>	<b>30</b>
Boom de los equipos iGEM	30
Biología sintética en escuelas públicas: el caso de la UANL.	30
Otros equipos del IPN.	33
Consolidación de los equipos del ITESM: expansión de equipos del ITESM, motivación, retos y problemas.	35
Crecimiento exponencial, reducción de costos, extensión del conocimiento e interés por la tecnología	36
<b>Desilusión de los equipos iGEM y Consolidación de los primeros grupos de investigación en Biología Sintética.</b>	<b>39</b>
Equipos, problemas que enfrentan y proyectos realizados.	40
Equipos del ITESM	42
Colaboraciones internacionales	43
Disminución del interés en iGEM	45
<b>Consecuencias de la Introducción de la Biología Sintética</b>	<b>48</b>

Foros alternativos: TecnoX y alternativas al desarrollo.	48
Surgimiento y desarrollo de los espacios de biohacking	49
Adopción temprana de la Biología Sintética en Instituciones Mexicanas.	50
<b>Conclusiones.</b>	53
<b>Referencias</b>	57

## Introducción.

La biología sintética es una rama interdisciplinaria de la biología que involucra elementos técnicos de las técnicas de ADN recombinante y el análisis teórico de la biología de sistemas, además de un enfoque creativo que adquiere de la ingeniería. Esta disciplina inicia como consecuencia de la automatización y mejora de la secuenciación del ADN a mediados de los 90s, lo que permite tener genomas microbianos completos y técnicas de medición de concentración proteínas, lípidos y otros metabolitos dentro de la célula, lo cual permitió tener una biblioteca de componentes biológicos lo suficientemente completa para emprender modelaje computacional. Con esto se abre la posibilidad de realizar modificaciones a mayor escala teniendo los modelos generales y usando un enfoque integrativo donde se buscaba comprender las distintas “partes” y sus interacciones.

La biología sintética tiene varios momentos claves en su historia. El primero es el surgimiento de la biotecnología moderna usando técnicas moleculares avanzadas como lo son PCR, secuenciación y síntesis de ADN, así como las metodologías para insertar estos genes en las células tanto del organismo al que pertenecen como a organismos nuevos, técnicas ya empleadas durante el desarrollo de la tecnología del ADN recombinante, que le da fundamento a la Biología sintética.

El intercambio de conocimiento a través de las fronteras internacionales ha sido un elemento importante para el desarrollo científico entre los diferentes países. Este

intercambio de conocimiento y elementos de cultura científica entre distintos países ha sido estudiado desde la historia de la ciencia dentro de una perspectiva que se conoce como ciencia transnacional (Turchetti et al., 2012). La ciencia transnacional es el enfoque de la historia de la ciencia en el cual se propone analizar el intercambio de personas, artefactos, conocimiento y prácticas científicas mediante redes colaborativas de grupos de investigación en distintas latitudes. Esta perspectiva permite observar diversos beneficios para los países como lo son el crecimiento en las instituciones y personas involucradas en la investigación y la generación de colaboraciones horizontales (Turchetti et al., 2012). De igual forma, el estudio desde la perspectiva de la ciencia transnacional busca rescatar el intercambio de información y elementos de cultura científica entre los países como iguales, colaborando y buscando crecer mutuamente. Este proceso permite a la ciencia local desarrollarse y fomenta un intercambio de conocimiento en ambas vías que beneficia a ambos países, lo que ha promovido el desarrollo de nuevas áreas en países en vías de desarrollo. Este fenómeno sucede de múltiples formas, mediante programas de intercambios, colaboraciones internacionales o cuando los estudiantes cursan sus posgrados en el extranjero y regresan buscando implementar ideas nuevas en el país. Esta vía de intercambio de conocimiento ha fomentado el surgimiento de nuevas áreas de investigación científica en países en vías de desarrollo.

El establecimiento de la biología sintética en México sigue este patrón aunque hay pocos estudios sobre su introducción en el país. Un estudio de corte histórico bajo esta perspectiva nos permite conocer cuáles fueron los elementos que la trajeron al país y cómo se desarrollaron los primeros proyectos en el área, así como a la gente que ha

trabajado en el área en sus primeros años. En México la introducción de la biología sintética está ligada a los equipos iGEM de licenciatura y a la repatriación de algunos investigadores jóvenes que aprendieron las técnicas durante sus estancias posdoctorales en el extranjero. Los equipos iGEM fueron fundamentales para promocionar la biología sintética entre los estudiantes de licenciatura que empezaron a formar equipos para participar. Al buscar apoyo institucional se fue promocionando el área. Así mismo los participantes de los primeros concursos eventualmente hicieron posgrados en el área. Estos participantes al volver al país apoyaron la institucionalización de la misma en los centros de investigación.

Para llevar a cabo este trabajo, la metodología empleada fue mediante una investigación bibliográfica de los momentos importantes en el país, artículos y revisiones de trabajo en el área. Esta indagación documental incluyó una revisión periódica de la página web de iGEM.com de cada año en que ha estado abierta la competencia y con la información recabada se contactó a las personas involucradas. Estas personas componen un grupo de estudiantes, profesores e investigadores que estuvieron en cada etapa del desarrollo de la biología sintética. Las entrevistas se realizaron durante un periodo de 1 año en diferentes partes de México y se grabaron para poderlas referenciar. Durante las entrevistas fue surgiendo nueva información sobre organizaciones y laboratorios que se procedió a contactar para incluir en el trabajo.

Las personas contactadas para el trabajo fueron estudiantes del IPN, UNAM, ITESM así como investigadores de estas instituciones, y personas involucradas en organizaciones civiles afines al área. La mayor parte de los entrevistados son de nacionalidad mexicana

con algunas personas de Honduras relevantes para las colaboraciones entre equipos de dicho país con México. Este trabajo se limita hasta el año 2017 por el periodo en el que se trabajó y contacto a la gente involucrada.

Este trabajo está dividido en cinco capítulos. En el primer capítulo llamado “**Antecedentes de la biología sintética**” hablo de la ingeniería genética y la biología de sistemas, pues son considerados los antecedentes directos de la biología sintética. Así mismo, hablo de cómo estos dan lugar al surgimiento de la biología sintética y la organización del primer concurso iGEM. En el segundo capítulo titulado “**Llegada de la Biología Sintética a México (2005-2010)**” expongo cómo surgieron los primeros equipos para participar en iGEM, los investigadores relacionados a este surgimiento así como los efectos de estos primeros equipos.

En el tercer capítulo, “**Periodo de expansión (2011-2013)**”, expongo cómo se dio la expansión de equipos iGEM en el país. Hablo de los diferentes equipos en universidades privadas y públicas, los retos que se enfrentaron y cómo el trabajo de años anteriores permitió esta expansión. En el cuarto capítulo, “**Desilusión de los equipos iGEM y Consolidación de los primeros grupos de investigación en Biología Sintética**”, expongo las experiencias de los equipos en estos años, las colaboraciones internacionales que empiezan a surgir. En el quinto capítulo, “**Consecuencias de la Introducción de la Biología Sintética**”, hablo de la institucionalización en los centros de investigación, el surgimiento de espacios de biohacking por parte de la gente que había participado y se exponen como fueron surgiendo alternativas para iGEM así como comparo el desarrollo con el ciclo de gartner. Finalmente en la última sección correspondiente a las “**Conclusiones**”, se analiza

la importancia de iGEM para su introducción al país así como el panorama laboral y el destino de la gente que participó.

## Capítulo 1. Antecedentes de la Biología Sintética

La biología sintética utiliza herramientas desarrolladas por la ingeniería genética y por la biología de sistemas, por lo que para poder hablar del surgimiento y enfoque de la biología sintética, es necesario examinar disciplinas y herramientas como la ingeniería genética y la biología de sistemas (Cameron, 2014).

Durante el siglo XX se desarrolla la ingeniería genética como parte de la biotecnología. La ingeniería genética se presentó como una herramienta que permitía extraer el ADN de un organismo e integrarlo en otro usando la complementariedad de las bases nitrogenadas. Esto permitía integrar genes con funciones específicas de un organismo a otro (Micklos, 1990). Una de las aplicaciones de esta técnica permitió una producción controlada en fermentadores de ciertos compuestos de interés, como lo fue la producción de insulina humana en la bacteria *E. coli*. También dio origen a los organismos genéticamente modificados y a los fundamentos de la terapia génica, entre otras aplicaciones. La ingeniería genética mantiene una visión reduccionista gracias a la posibilidad de mover un componente genético de un organismo a otro para transferir ciertas funciones, y así conferir nuevas características al organismo receptor. La ingeniería genética considera de forma mayoritaria los efectos que se desean incorporar de un organismo a otro tras la transferencia de material genético, ignorando en algunas ocasiones las posibles interacciones que pudieran surgir dentro de la fisiología y del metabolismo del organismo receptor (Goeddel, 1979).

## Limitantes de la ingeniería genética, el surgimiento de herramientas computacionales y aparición de la biología de sistemas

La visión reduccionista de la ingeniería genética se mantuvo durante varios años en las prácticas biotecnológicas, hasta que el desarrollo de las técnicas computacionales en los 90s mejoraron lo suficiente para poder hacer modelos de interacciones génicas, de redes de regulación y de redes de complejidad. La avanzada capacidad computacional permitió que simulaciones que anteriormente requerían días se pudieran realizar en horas (Trewavas, 2006). Estos modelos involucran las interacciones de varios elementos celulares, buscando una versión más integrativa de la información que se tenía al momento. Este enfoque integrativo permitió observar los fenómenos como sistemas complejos y poder realizar mejores predicciones y evaluaciones de estos (Ideker, 2001).

Esta tecnología, aunada a las limitaciones que presentaba la ingeniería genética, propiciaron el surgimiento de una nueva área de investigación que fue llamada biología de sistemas. El abordaje de la biología de sistemas era diferente puesto que en lugar de ver a elementos individuales se buscaba entender todo el sistema biológico que estuviera estudiando, particularmente a nivel celular. Esta área se benefició de los avances computacionales que en ese momento permitían simulaciones con múltiples elementos y sus interacciones, donde se podía tomar en cuenta cada elemento biológico individual que permitía hacer simulaciones de modelos matemáticas de varios componentes (Westerhoff, 2004).

## ¿Qué es biología sintética?

La biología sintética es una rama interdisciplinaria de la biología que nace del intento de aplicar un enfoque de ingeniería en la biología; esto conlleva usar un enfoque integrador contrario al reduccionismo que se había estado utilizando en años anteriores con la ingeniería genética (Trewavas, 2006). Se diferencia de la ingeniería genética clásica en que en lugar de tener una visión de integrar un solo gen en las secuencias genéticas del organismo receptor con la esperanza de replicar las funciones que tenía en el organismo original, la biología sintética busca producir circuitos completos tomando en cuenta las posibles interacciones entre los elementos del mismo. En la biología sintética no solo se busca integrar genes que realicen una función específica, si no además modificar la expresión génica orientándola hacia el establecimiento de una función específica (Cameron, 2014).

A finales del siglo XX se empezó a trabajar en el desarrollo de circuitos genéticos. Estos son secuencias de genes con sus zonas de inicio, regiones de control y de inhibición. El desarrollo de los circuitos genéticos es uno de los antecedentes más importantes para la biología sintética ya que estos permiten modelar un comportamiento genético usando modelos matemáticos. Esto otorgaba una forma de observar las interacciones entre los genes y predecir de forma estable el comportamiento final de dicho circuito genético. (McAdams, 1995).

Otro elemento clave para el surgimiento de la biología sintética fue la automatización y mejora de la secuenciación del ADN a mediados de los 90s, lo que permitió tener genomas

microbianos completos, así como las técnicas de medición de proteínas, lípidos y otros metabolitos. Estos son elementos que permiten generar una biblioteca de componentes biológicos de cada organismo que otorga suficiente información para poder hacer el modelaje computacional de los circuitos genéticos (Cameron, 2014).

El primer paso en la mayoría de los proyectos de biología sintética es el diseño de las biopartes. Una bioparte es una secuencia genética que cumple una función específica, la cual puede ser producir un metabolito secundario, regular la expresión de otro gen, o alterar el comportamiento de un organismo. La bioparte debe contener secuencias que sirvan para iniciar transcripción, algún modo de regulación o activación, y un gen reportero que permita saber cuando se está expresando. El diseño de las biopartes se realiza mediante herramientas computacionales, buscando secuencias de genes y modificando las secuencias según convenga, ya sea agregando secciones o reguladores, entre otras opciones, con la finalidad de crear una bioparte nueva. Este diseño es posteriormente sintetizado e insertado en un organismo llamado comúnmente “chasis”. Posteriormente se aísla nuevamente y se verifica que se esté expresando correctamente para poder pasar a analizar su actividad. Estas técnicas representan costos elevados en el siglo XX, pero recientemente han bajado sus costos haciendo posible la realización de proyectos a niveles universitarios (Cameron, 2014).

Una vez creada la bioparte esta se tiene que estandarizar para su uso en el organismo. El proceso de estandarización busca generar biopartes que puedan reproducirse fácilmente y que sean compatibles entre ellas así como el uso de un chasis común en E.coli. Entre los requerimientos de estandarización está que no deben contener sitios de

restricción de endonucleasas, que no debe estar flanqueados los sitios en el extremo 5', que los biobricks deben estar en plásmidos compatibles con el registro. El propósito de la estandarización es que los usuarios que acceden a los biobancos de las biopartes puedan tener constancia de que son funcionales, y compatibles con sus propios organismos. Como parte del proceso de estandarización se debe demostrar que la bioparte funciona una vez estandarizada y preparada para ser agregada al registro. (Müller & Arndt, 2012)

### International Genetically Engineered Machines (iGEM)

En 2003, un grupo de investigadores del Massachusetts Institute of Technology (MIT) realizaron un curso de un mes sobre circuitos biológicos. Este curso derivó en un concurso al año siguiente, donde participaron 5 equipos conformados por estudiantes de diferentes universidades estadounidenses. Este concurso fue llamado International Genetically Engineered Machines, o iGEM. El concurso iGEM fue creciendo y para 2006 tuvo participantes internacionales por primera vez. El objetivo del concurso era fomentar la biología sintética, así como el registro y estandarización de biopartes. Con este fin se creó el "Biopart Registry" donde todos los participantes de este concurso debían mandar las biopartes que utilizaran, estas deben ser compatibles con *E. coli* y con plásmidos y enzimas de restricción específicas. El concurso iGEM ocasionó que los equipos crecieran y se diera difusión en diversas instituciones lo cual llevó a un crecimiento exponencial en varios países. (About - Igem.Org, 2017)

iGEM busca promover la biología sintética en la población estudiantil. Para ello, realiza un concurso en el que los grupos estudiantiles se inscriben y tienen un año para avanzar en sus proyectos. Estos pueden ser en diferentes categorías como lo es alimentación, salud, políticas públicas, medio ambiente, manufactura, procesamiento de información, emprendimiento, arte y diseño, y ciencia básica. Los proyectos involucran, en la mayoría de las categorías, utilizar un organismo que será el chasis sobre el cual trabajaran y la caracterización de las biopartes del organismo relevantes para su proyecto. Al inscribirse, los estudiantes tienen acceso al catálogo de biopartes de años pasados así como la posibilidad de sintetizar nuevas biopartes. Al término de su proyecto deben preparar una página en línea llamada “wiki” con la información del mismo para posteriormente presentarse en el congreso organizado en Boston llamado “Jamboree”. Durante el Jamboree, los participantes realizan una presentación del proyecto y una sesión de pósters donde son evaluados los diferentes aspectos de lo que trabajaron. La competencia fomenta prácticas de comunicación de la ciencia o de involucramiento social del proyecto, en un requisito del concurso que se denomina Human Practices. Al término del Jamboree se dan medallas con base a cuántos objetivos cumplieron los equipos de los requerimientos establecidos previamente por iGEM. Los equipos que completan la parte básica del concurso (es decir, la descripción del proyecto, las atribuciones de los participantes del equipos, la presentación del proyecto y la contribución específica que iGEM tome en cuenta) reciben medalla de bronce. Los equipos que cumplen con los requerimientos de bronce y además colaboraron con otros equipos, realizaron Human Practices, y propusieron una implementación final del proyecto reciben medalla de plata.

Un equipo que cumpla con todos los requerimientos anteriores y además cumpla con al menos tres requerimientos extras que son hacer una extensión de sus human practices, mejorar una bioparque anterior, mostrar el modelado del proyecto, mostrar una prueba de concepto experimental, colaborar con otro equipo, o hacer un proyecto de educación, son acreedores a una medalla de oro. Este sistema permite que varios equipos puedan ganar las diferentes medallas. Además, al final del Jamboree se realiza una premiación a los mejores proyectos en diferentes categorías (*Judging/Medals - 2021.Igem.Org, 2021*).

## Capítulo 2. Llegada de la Biología Sintética a México (2005-2010)

En México, los primeros indicios de biología sintética surgen por el interés de alumnos universitarios de diferentes escuelas por participar en la competencia iGEM. En esta etapa, el interés estuvo concentrado en estudiantes de instituciones de educación superior públicas que empezaron a participar en el concurso con el apoyo de investigadores del área de matemáticas y de biología molecular. A continuación, se relatarán los eventos que permitieron la introducción de la biología sintética en el país.

### Surgimiento de los primeros equipos iGEM.

El primer acercamiento que tuvo la biología sintética en México fue de la mano del Dr. Genaro Juárez Martínez del IPN. En 2006 el Dr. Juárez recibe información de que el concurso iGEM se abriría internacionalmente. El Dr. Juárez contactó al Dr. Randy Rettberg, director de iGEM en ese momento, y empezó una correspondencia donde se explicó lo que se esperaba de los alumnos y qué se necesitaba. Con esta información, el Dr. Juárez llamó a otros investigadores del país que pudieran estar interesados en apoyar un equipo local (G. Juárez Martínez, personal communication, 2017). A este llamado respondió el Dr. Pablo Padilla Longoria del Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y en Sistemas (IIMAS) de la UNAM. En conjunto, empezaron a organizar una propuesta de equipo, pero necesitaban alumnos de licenciatura. La idea que surgió para motivar a los alumnos y para darle difusión al proyecto fue invitar a la

Dra. Megan Lizarazo, encargada de promoción del concurso iGEM. El viaje fue financiado con recursos del programa PAPIIT de la UNAM, y de esta forma lograron que viniera a México a dar dos pláticas. La visita tuvo lugar los días 7, 8 y 9 de Julio del 2006 en las instalaciones de la UNAM en el Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y Sistemas (IIMAS) y en la Facultad de Ciencias, posteriormente se realizó en las instalaciones del IPN en la Unidad Profesional de Ingeniería y Biotecnología (UPIBI) y en la escuela Nacional de Medicina y Homeopatía (ENMyH) (*IPN UNAM 2006 - 2006.Igem.Org*, 2006). Esta plática trató sobre lo que se había hecho en iGEM en sus primeras ediciones y lo que se hacía de biología sintética de manera profesional. Esto derivó en el primer equipo mexicano que participó en iGEM, que fue un equipo conjunto conformado por estudiantes pertenecientes al IPN y la UNAM. (P. Padilla Longoria, personal communication, 2017)

### **Equipo conjunto IPN-UNAM.**

Este primer equipo estuvo conformado por jóvenes de la carrera de ingeniería en computación del IPN y en un grupo mixto de matemáticos y biólogos de la Facultad de Ciencias. Los jóvenes eran estudiantes del Dr. Pablo Padilla y del Dr. Genaro Juárez. Quienes participaron por parte de la Facultad de Ciencias eran estudiantes que estaban en sus últimos semestres o realizando la tesis en temas de biología matemática, biología computacional o análisis de sistemas complejos. Hubo un interés entre jóvenes de semestres más tempranos, pero por la experiencia que se necesitaba se les permitió participar en actividades de apoyo (P. Padilla Longoria, personal communication, 2017; R.

Peña, personal communication, 2017). Por otro lado, la parte del equipo del IPN se conformó por estudiantes del área de ingeniería en computación quienes enfocaron sus esfuerzos en los modelos computacionales y el diseño teórico del proyecto (G. Juarez Martinez, personal communication, 2017)

El proyecto de este primer equipo consistió en realizar un autómata celular basado en la teoría de los sistemas dinámicos, propia de las matemáticas y de la computación. El modelo buscaba simular una máquina de Turing y se realizó usando una cascada de señalización para producir proteína verde fluorescente que esperaban insertar en la bacteria *E. coli*. A partir de la simulación de esta cascada de señalización se hizo un modelo de difusión para crear un patrón que se pudiera analizar. (*IPN UNAM 2006 - 2006.Igem.Org*, 2006)

Al inicio el equipo enfrentó varios problemas que tuvieron que solucionar conforme la marcha. Primero, no tenían espacio propio para trabajar al no ser parte de ningún proyecto de investigación de cualquiera de las instituciones. Eventualmente se involucraron más investigadores por el tipo de proyecto que se gestaba y el interés en un área nueva (R. Peña, personal communication, 2017). En el caso de la Facultad de Ciencias se consiguió un espacio con el Dr. Arturo Becerra Bracho y con la Dra. Claudia Segal Kischinevzky. Esto permitió avanzar en la parte de biología molecular del proyecto y así poder presentar resultados. Gracias a esto, el equipo pudo aislar sus genes iniciales, generando los datos que faltaban para el modelo (R. Peña, personal communication, 2017).

Otro problema al que también se enfrentaron fue el de los recursos económicos, pues no era fácil conseguir el financiamiento para el viaje y la estancia en Boston. Esto derivó en problemas al interior del equipo sobre quiénes debían asistir a representar el equipo, considerando tanto los puntos importantes del mismo y las habilidades para exponerlos (P. Padilla Longoria, personal communication, 2017). Finalmente se consiguió financiamiento para un solo estudiante, Rafael Peña Miller, quien fuera estudiante de Pablo Padilla, y quien se quedó a dormir en el aeropuerto por la noche. Aun con estas adversidades se consiguió generar un buen resultado el cual fue una mención honorífica en el área de “Foundational Advance”, equivalente a uno de los premios en aquel entonces (R. Peña, personal communication, 2017).

### **Equipos subsecuentes.**

*Colaboraciones UNAM-IPN: proyectos realizados, problemáticas y retos.*

El equipo conjunto se mantuvo durante varios años, trabajando durante 2007, 2008 y 2009 en un circuito de sensado usando *quorum sensing* para mostrar patrones de emergencia que se modelaron con un autómata celular. Este proyecto fue presentado exitosamente y fue una continuación del trabajo de 2006 (P. Padilla Longoria, personal communication, 2017; *Team:Mexico-UNAM-IPN - 2008.Igem.Org*, 2008).

Durante este periodo algunas problemáticas que habían estado presentes cuando el primer equipo participó se mantuvieron y algunas otras se acentuaron. El acceso a los espacios de trabajo estaba condicionado a que el proyecto fuera de interés para los investigadores que dirigían los laboratorios, y carecer de un espacio propio limitaba la

creatividad de los proyectos en algunos puntos. El presupuesto fue una limitante constante al tener que solventar los gastos no solo del proyecto sino también de asistir al evento y los viáticos de los participantes que asistieron al concurso. El apoyo en esta primera etapa fue creciendo institucionalmente pero dependía totalmente de las autoridades de cada institución. Estos problemas fueron parcialmente resueltos al implementarse un taller de biología sintética en la Facultad de Ciencias a cargo del Dr. Arturo Becerra, lo cual permitió tener un laboratorio estable, aunque permaneció el problema de la falta de dinero para el desarrollo del proyecto (P. Padilla Longoria, personal communication, 2017).

Durante 2010 el proyecto cambió a usar *E.coli* para producir proteínas anticongelantes que le permitieran a la bacteria sobrevivir a temperaturas muy bajas (P. Padilla Longoria, personal communication, 2017; *Team:Mexico-UNAM-CINVESTAV - 2010.Igem.Org*, 2010). No obstante, eventualmente las colaboraciones entre UNAM e IPN terminaron debido a la falta de tiempo de los investigadores involucrados así como de no poder dar continuidad o resultados evaluables a nivel institucional con lo que se veía como un gasto innecesario. (P. Padilla Longoria, personal communication, 2017)

#### *Surgimiento del equipo de la LCG: proyectos realizados, problemáticas y retos.*

En 2007 en el Centro de Ciencias Genómicas (CCG) había varios investigadores del área de biología de sistemas y de biología molecular que habían regresado a México de posgrados en el extranjero: el Dr. Osbaldo Reséndiz Antonio para el área de biología de sistemas y el Dr. Miguel Ángel Ramírez en el área de biología molecular. Un grupo de

estudiantes de la licenciatura en Ciencias Genómicas se interesaron en participar en el concurso iGEM, y así fue como se empezaron a involucrar con los investigadores previamente mencionados derivando en la creación del primer equipo de la LCG quienes participaron en 2008 por primera vez. (O. Resendis Antonio, personal communication, 2017). El proyecto buscaba hacer que una bacteria “cantara”, y para lograrlo buscaron modificar la resistividad del medio donde crecía la bacteria *E. coli* usando la regulación de RcnA. Esto permitiría a la bacteria activar y apagar un recambiador de níquel, que a su vez alteraría las concentraciones del metal en el medio. Una vez implementado el sistema se mediría la resistividad del medio mediante un aparato externo, lo cual simulara la “canción” generada por las bacterias. (*Team:LCG-UNAM-Mexico - 2009.Igem.Org*, 2009)

Este equipo se volvió una constante participando durante varios años. Sus mecánicas de integración eran de equipos rotativos de una generación diferente con unos cuantos participantes de los equipos pasados para guiar. Al ser todos de la misma carrera tenían una ventaja de cohesión y estandarización del conocimiento que no tenían los otros equipos de México en su momento. Además, a diferencia de otros equipos, los problemas iniciales de financiamiento no fueron tan graves gracias a que el entonces coordinador de la carrera el Dr. Rafael Palacios facilitó la obtención de gran parte de los recursos económicos para que llevaran a cabo su participación. (J. A. Alonso Pavon, personal communication, 2017; H. Medina, personal communication, 2017). El equipo contaba con apoyo institucional de forma que se podría realizar de forma anual la participación

mientras hubiera interés estudiantil en el proyecto. (D. R. Romero Camarena, personal communication, 2017)

### Interés por parte de la industria privada

En la industria privada los desarrollos de la biología sintética, por muy incipientes que fueran, no pasaron desapercibidos; varias empresas locales que tenían interés en el área empezaron a aliarse con las universidades para observar el estatus del área. El primero de estos estudios fue realizado en 2009 y consistió en un análisis del estado de la técnica y su aplicabilidad para la industria productora de químicos que ya se había beneficiado en el pasado de avances en la biotecnología para producir algún subproducto de interés (J. De la Barrera, personal communication, 2017). Sin embargo, este interés no derivó en ninguna inversión a corto plazo debido a la falta de confianza en la técnica y en que los resultados al momento eran únicamente a nivel académico y por estudiantes de nivel licenciatura, lo cual no generaba confianza a los posibles inversionistas. (A. Dominguez Ibarra, personal communication, 2017) .

No obstante, debido al interés de los alumnos por promocionar sus proyectos y buscar apoyos, algunas empresas decidieron invertir en los proyectos y eventualmente comprarlos. Esto sucedió en el IPN en dos ocasiones. Para su realización se generó un convenio de apoyo a los proyectos donde se les apoyaría en las fases iniciales, después de un periodo de avance pasarían a la empresa y los estudiantes que trabajaron en el proyecto quedarían de autores de la patente cuando se publicara. Actualmente los

proyectos<sup>1</sup> se encuentran en manos de las empresas y no se ha llegado a un producto comercial (A. Dominguez Ibarra, personal communication, 2017).

## Popularización de la biología sintética en el país.

Una nota periodística importante para entender la popularización, crecimiento y expansión de la biología sintética fue aquella publicada por el periódico El Universal el 12 de marzo de 2010. Esta nota corta hablaba sobre el desempeño de los jóvenes del equipo de IPN-UNAM en el concurso de 2009, y en ella se informa que este equipo había obtenido una medalla de oro “ganándole” a universidades estadounidenses como Harvard y MIT (Renata Sanchez, 2010). Su importancia radica en que ayudó a darle difusión al trabajo que se realizaba de iGEM en las universidades, lo cual motivó a varias instituciones a participar en el concurso. Entre las instituciones que esta noticia motivó están el Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM) Campus Monterrey, la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL), el ITESM Campus Querétaro y el ITESM Campus Irapuato, entre otros.

El impacto de la nota no solo se vio reflejado el siguiente año con el surgimiento de varios equipos; a través de los años la nota ha vuelto a surgir en repetidas ocasiones en diferentes medios electrónicos y redes sociales, y su viralidad motivó a grupos de estudiantes a buscar la manera de participar si su universidad o centro de estudios no tenía equipo en ese momento, como fue el caso del equipo de 2012 del Unidad

---

<sup>1</sup> La naturaleza de los proyectos, hasta la fecha, se desconoce puesto que quienes participaron en los mismos no compartieron esa información al estar bajo un acuerdo de confidencialidad y no diseminación.

Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería (UPIG) del IPN que trabajó su proyecto en el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (CINVESTAV) Unidad Irapuato (U. E. Barboza Perez, personal communication, 2017; Y. M. Castellanos Morales, personal communication, 2017; R. C. Chavez Martinez, personal communication, 2017).

La nota de El Universal sirvió para promover la idea de iGEM entre la población estudiantil. Sin embargo, la noticia tenía varios errores en cómo comunica la información y datos incorrectos sobre el funcionamiento de iGEM. La nota está escrita como si fuera una competencia con un solo ganador para la medalla de oro de forma que solo el equipo de la UNAM había ganado sobre otras universidades como Harvard, lo cual es incorrecto porque las medallas de iGEM se otorgan por cumplir requerimientos y no por superar a otras universidades. (*Judging/Medals - 2021.Igem.Org*, 2021; Renata Sanchez, 2010) .

### **Interés en universidades privadas.**

A raíz de la popularización del concurso iGEM en parte por la viralización de la nota periodística, varias universidades privadas decidieron que no querían quedarse atrás y decidieron participar. El ITESM Monterrey empezó a organizar un equipo para participar en iGEM a inicios de 2010, después del lanzamiento de la nota (R. C. Chavez Martinez, personal communication, 2017). Esta iniciativa empezó por varios estudiantes de la carrera de Ingeniería en Biotecnología encabezados por José Argüelles Piña. Ellos vieron la noticia de El Universal y se pusieron a investigar más a fondo en qué consistía el concurso, cuáles eran las implicaciones y requerimientos para poder participar y qué se esperaba obtener. Uno de los investigadores iniciales que los apoyó fue el Dr. Mario

Moises Álvarez que les ayudó a conseguir el apoyo del Dr. Manuel Zertuche Guerra del departamento de biotecnología del ITESM Monterrey (R. C. Chavez Martinez, personal communication, 2017).

Al ser una idea novedosa, no tuvieron problemas iniciales en convencer a las autoridades de apoyo económico para la inscripción, pero tuvieron que buscar financiamiento externo para el proyecto. Esto llevó a problemas internos de los equipos debido a que los equipos no podían enfocarse al trabajo por estar buscando presupuesto. Obtuvieron buenos resultados al ganar medalla de oro, lo cual consiguió cimentar que se les concediera un espacio y pasar la idea a otras sedes del ITESM (R. C. Chavez Martinez, personal communication, 2017). El proyecto con el que participaron consistía en un usar *E.coli* como biosensor de concentraciones presentes en un medio. El biosensor medía la concentración de proteína verde fluorescente y lo reportaba mediante proteína fluorescente amarilla y roja. El proyecto fue desarrollado como prueba de concepto que esperaba que en el futuro se pudiera aplicar para detectar concentraciones de contaminantes metálicos en el suelo. (*Team:Tec-Monterrey - 2010.Igem.Org*, 2010)

## Capítulo 3. Periodo de expansión (2011-2013)

En el periodo de 2011 a 2013 la idea de participar en iGEM ya se había establecido en varias escuelas e instituciones educativas y comienzan a surgir nuevos proyectos en otras universidades. El que existiera interés en la biología sintética, dado por iGEM o la nota periodística, motivó a que más gente entrara al área y empezara a buscar cómo desarrollar proyectos en sus universidades locales. Universidades públicas como la Universidad Autónoma de Nuevo León empezaron a participar tanto a nivel licenciatura como a nivel preparatoria, una ramificación del concurso principal de iGEM que se implementó en 2011. Las universidades privadas que más participaron fueron los diferentes campus del ITESM. El aumento de participación de equipos nacionales y de la región de latinoamérica en iGEM derivó en que se hiciera un concurso local previo a la final en Boston.

### Boom de los equipos iGEM

#### **Biología sintética en escuelas públicas: el caso de la UANL.**

Después del equipo IPN-UNAM empezó a surgir interés en otras universidades públicas como fue el caso de la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL), las cuales empezaron a generar sus propios equipos en 2010 y participando en 2011 y años subsecuentes. En este periodo se dio un incremento exponencial de todos los equipos iGEM, llegando a existir hasta 12 equipos de diferentes instituciones tanto públicas como

privadas tan solo en México. El alto número de equipos en la región, que coincidió con un aumento en la popularidad a nivel mundial de la biología sintética y de iGEM, derivó en que hubiera una etapa regional para Latinoamérica. Esta etapa regional de iGEM aumentó el interés y la competitividad entre los equipos participantes, los cuales buscaban eventualmente presentarse en Boston en la reunión mundial.

El equipo de la UANL inició, al igual que otros equipos, al ver la noticia de El Universal sobre el equipo de la UNAM y el IPN. Inspirados por ese trabajo y con ganas de desarrollarse decidieron participar por su cuenta en el concurso del año 2011. Los estudiantes de la UANL se empezaron a organizar con el apoyo del Maestro Claudio Moreno Rocha, quien aceptó participar y asesorarlos. Buscaron el apoyo del director del de la carrera de biotecnología con lo que pudieron proceder a consolidar el equipo para inicios de 2011. Al principio, el equipo estaba conformado únicamente por estudiantes de la carrera de Biotecnología Genómica, lo que conllevó a descuidar en el primer año de participación el área matemática, de diseño y de relaciones públicas. Estos errores fueron corregidos para el proyecto del año 2012 (H. Torres Cordero, personal communication, 2017). El proyecto que desarrollaron consistió en generar puertas lógicas entre tres bacterias *E.coli* que se comunicaban con un sistema de luz. Para ello, se enfocaron en construir el circuito de las tres bacterias interconectadas mediante sensores de proteínas (*Team:UANL Mty-Mexico - 2011.Igem.Org, 2011*).

En el laboratorio donde trabajaban los estudiantes del equipo de la UANL se encontraba la Dra. Yanet Salinas Hernandez, quien daba clases en el sistema de bachillerato de la

UANL. Como parte del Año Internacional de la Química en 2011, la Dra. Salinas invitó al equipo a dar una plática sobre el enfoque químico del proyecto a sus estudiantes. En la plática se les habló sobre la parte de bioquímica del proyecto y al final de la misma se les comentó que se acababa de abrir la categoría de bachillerato en el concurso iGEM. Afortunadamente, hubo dos circunstancias que se juntaron en beneficio de los estudiantes de bachillerato presentes e interesados. Primero, en la plática que ofrecieron se encontraba presente el director del sistema de bachillerato y otros miembros del programa de bachillerato internacional, lo cual fomentó que los maestros mostraran interés en participar en la edición de bachillerato de iGEM. La segunda es que en ese momento se estaba dando una inversión fuerte para nuevos edificios de la preparatoria UANL, por lo que tenían un poco de presupuesto sobrante que se decidió invertir en los requerimientos del equipo como es el material de biología molecular, reactivos y gastos corrientes del proyecto (H. Torres Cordero, personal communication, 2017) .

El equipo de licenciatura de la UANL tuvo buenos resultados ese año, asegurando así el financiamiento para los siguientes años (*Jamborees - 2012.Igem.Org*, 2012). El equipo de bachillerato que participó ese año se coronó con un tercer lugar a nivel internacional siendo el primer equipo mexicano en llegar a ese punto (*Main Page - 2012hs.Igem.Org*, 2012). Esto consiguió que el apoyo para el proyecto se mantuviera, pero se volvió difícil poder igualar el alcance que habían tenido este año en futuras ediciones (H. Torres Cordero, personal communication, 2017).

## **Otros equipos del IPN.**

Al mismo tiempo, en el IPN empezaron a surgir otros equipos. Uno de ellos surgió en UPIBI, dado que ya existía el antecedente del primer equipo del IPN-UNAM y por la noticia de El Universal. Esto inspiró a un grupo de alumnos a investigar a fondo y acercarse a los equipos que ya existían para intercambiar información respecto a qué se necesitaba para participar. Esto derivó en que varios estudiantes del IPN participaran en el taller de biología sintética que organizaba el Dr. Agustino Martínez Antonio en el CINVESTAV Unidad Irapuato. Ahí se organizó un equipo multidisciplinario que buscó acercarse a los equipos de la UNAM y a los antecesores del equipo del IPN.

El equipo estaba conformado por estudiantes de las carreras de Ingeniería en Biotecnología, Matemáticas, Química Farmacobiológica, Ingeniería en Sistemas Computacionales, Física y Diseño. Sin embargo, los intentos de colaboración institucional no fueron fructíferos debido a que los directivos del IPN ya no consideraban que era una inversión eficiente participar en iGEM, principalmente debido a los costos que involucraba (A. Dominguez Ibarra, personal communication, 2017). Una de las condiciones que la administración del IPN impuso al equipo para poder recibir apoyo económico fue que de los resultados del proyecto se sacara una patente, la cual no se obtuvo ya que los productos del proyecto no eran patentables (D. Dominguez Gomez, personal communication, 2017).

Por ello, el equipo decidió que para la parte de extensión del proyecto se apoyarían de la organización civil llamada BIOSINTÉTICA (G. Villanueva Noguera, personal communication, 2017). BIOSINTÉTICA, fundada en 2011, fue una asociación civil que

buscó financiamiento de entidades públicas y privadas como FINNOVA, Conacyt y la Secretaría de Economía para el desarrollo de la biología sintética en el país. Esta asociación civil apoyó a algunos equipos iGEM con acercamiento a actores públicos, financiamiento para participar en iGEM y con la organización de eventos de difusión (G. Villanueva Noguera, personal communication, 2017).

El proyecto que desarrolló este equipo buscaba aislar dos mecanismos de regulación que la bacteria *Rhodobacter sphaeroides* usa en sus mecanismos de fotosíntesis. El primero de ellos es el sistema PrrA/PrrB que únicamente depende de oxígeno y se activa cuando el oxígeno en el ambiente es bajo. El segundo de ellos, el mecanismo AppA/PpsB, depende de luz y oxígeno activándose en presencia de luz y en condiciones anaerobias. El mecanismo fue probado en *R. palustris* donde usaron reporteros de GFP para evaluar la expresión del mecanismo de fotosíntesis. La perspectiva a futuro del proyecto era que usando estos mecanismos de control se podrían controlar otros sistemas de producción de metabolitos para la industria química como butanol y biodiesel con señales sencillas (Team: CINVESTAV-IPN-UNAM MX - 2012.igem.org, 2012).

En el equipo había integrantes que ya habían estado en estancias de biología molecular dentro del IPN, lo cual ayudó a que los resultados del laboratorio fueran más robustos y que tomaran una menor curva de aprendizaje. El acceso al laboratorio, recursos y reactivos vino de mano del Dr. Martínez Antonio, quien les dio el apoyo técnico que necesitaban. Una de las cosas que lamentan los participantes de este equipo es la falta de alguien con experiencia previa en iGEM que les pudiera orientar, así como la falta de apoyo para el modelado matemático. Los integrantes de este equipo mantuvieron su

trabajo en biología sintética por unos años algunos llegando a ser parte del comité organizativo de TecnoX varios años después (D. Dominguez Gomez, personal communication, 2017).

**Consolidación de los equipos del ITESM: expansión de equipos del ITESM, motivación, retos y problemas.**

Después del primer equipo del ITESM Monterrey en 2010, así como de la viralidad de la noticia de El Universal, la participación en iGEM se fue concretando en otras sedes del ITESM. En 2011, participaron los campus del ITESM de Querétaro y Monterrey. Estos dos equipos se mantuvieron hasta 2014 cuando surge el equipo de campus Ciudad de México, campus Guadalajara y campus Estado de México. (A. S. Arreola Hernandez, personal communication, 2017; R. C. Chavez Martinez, personal communication, 2017; D. Floras Gomez, personal communication, 2017).

Estos equipos se enfrentaron a una baja comunicación entre las sedes lo cual limitó el apoyo que tenían y podían pedir a la institución al hacerlo en solicitudes diferentes. Así mismo, tanto la distancia como el individualismo de los equipos ocasionaron que hubiera más competencia que colaboración entre ellos, llegando a un caso extremo en el ITESM campus Monterrey donde surgieron dos equipos en 2013 pero solo uno recibió apoyo institucional, lo que fomentó la discordia y el enfrentamiento contra el otro equipo (R. C. Chavez Martinez, personal communication, 2017).

En su trayectoria se enfrentaron a los mismos problemas que los equipos de universidades públicas, tal como es la falta de apoyo institucional, escasa confianza de los

investigadores del plantel así como discusiones por el presupuesto y la manera de obtenerlo. Al final los estudiantes buscaron cada uno pagar por sus medios los requerimientos económicos para el viaje. (Y. M. Castellanos Morales, personal communication, 2017; R. C. Chavez Martinez, personal communication, 2017)

### Crecimiento exponencial, reducción de costos, extensión del conocimiento e interés por la tecnología

En 2012 se da un fenómeno de expansión masiva en el país de participación de equipos en el concurso iGEM. En 2011 participaron 5 equipos mexicanos mientras que en 2012 fueron 12, aunque el número se redujo a 6 en 2013 por los costos del Jamboree regional. En 2012 fue cuando hubo más variedad de equipos en la competencia existiendo simultáneamente equipos del IPN, Cinvestav, ITESM, UNAM, y UANL. Esto permitió un primer surgimiento de alianzas y miras a colaborar tanto nacional como internacionalmente (R. C. Chavez Martinez, personal communication, 2017). Surgen varios equipos en múltiples universidades y también hay un renovado interés de la industria privada. Los factores que impulsan este hecho son la reducción de los costos necesarios para realizar biología molecular en el país así como una serie de resultados de proyectos anteriores en el que los estudiantes habían proseguido a posgrados en el extranjero (P. Padilla Longoria, personal communication, 2017)

En este periodo había varias empresas de la industria privada interesadas en reducir los costos de producción de ciertos compuestos metabólicos secundarios de interés

comercial y buscaron opciones en la investigación mexicana. Esto derivó en que se propusieran varios proyectos de biología sintética enfocados mayormente en ingeniería metabólica para producción de metabolitos y de interés para la industria. Durante este periodo empezaron a haber artículos escritos sobre biología sintética a nivel institucional todos ellos con un enfoque de ingeniería de proteínas (Galán-Vásquez et al., 2011; Rosales-Colunga & Martínez-Antonio, 2014). Muchos de estos artículos no fueron clasificados como biología sintética si no como ingeniería genética e ingeniería de proteínas, esto debido a que el término biología sintética aún no era común entre la comunidad científica mexicana (M. Loera Sanchez, personal communication, 2017).

En este momento la biología sintética contaba con más aceptación y se empezaba a hablar de ella en círculos serios, lo cual se puede apreciar en los apoyos que empiezan a recibir los equipos para trabajar en sus proyectos. La industria privada empieza a tomar un rol más activo buscando proyectos de su interés, mientras que las universidades responden haciendo colaboraciones por la propiedad intelectual (A. Dominguez Ibarra, personal communication, 2017). Estas colaboraciones atendían necesidades específicas de las empresas contratantes y buscaban optimizar procesos (A. Martinez Antonio, personal communication, 2017).

No obstante, también es en este momento cuando se empiezan a dar promesas del potencial sin tener la capacidad de cumplirlas, puesto que se promete a las empresas que pueden tener su problema resuelto en cuestión de meses y se les da a entender que los procesos toman poco tiempo. Esto lleva a un exceso de confianza de parte de las

empresas, lo que ocasiona que al no cumplirse las expectativas se inicie un periodo de desconfianza y falta de seguridad (A. Martinez Antonio, personal communication, 2017). Este periodo de desconfianza ocasionó que nuevos proyectos se vieran afectados, los financiamientos se volvieran escasos y las universidades ya no buscaran apoyar a los equipos. En los campus del ITESM se mantuvo el apoyo institucional aun durante este periodo, pero se pedían resultados claros así como una convocatoria estandarizada (D. Floras Gomez, personal communication, 2017).

En estos años también surgen organizaciones de la sociedad civil que buscaban fomentar la biología sintética. Inicialmente estas organizaciones eran formadas por miembros que habían pertenecido a equipos iGEM y buscaban encontrar soluciones para evitar los problemas que ellos habían tenido en el pasado. Compuestas por miembros que se encontraban trabajando ya en sus posgrados o en la industria, estas organizaciones buscan promover el interés y atraer a la gente del área.

La primera de ellas es BIOSINTÉTICA, de la que ya se habló con anterioridad dada la relación estrecha que tuvo con el equipo del IPN. La segunda organización de la sociedad civil de relevancia es la Red Nacional de Biología Sintética, que buscaba agrupar a varios participantes de iGEM quienes esperaban generar una red de colaboración nacional para trabajar en temas de biología sintética, buscar recursos para apoyar los equipos iGEM y obtener una plataforma para la parte de *Human Practices* del concurso. El plan de la red era crecer mediante la gente que participaba en iGEM y se iban integrando a la industria y a la academia (G. Villanueva Noguera, personal communication, 2017).

## Capítulo 4. Desilusión de los equipos iGEM y Consolidación de los primeros grupos de investigación en Biología Sintética.

Después del crecimiento que hubo entre 2011-2013, el número de equipos participantes en iGEM comenzó a disminuir como consecuencia de la falta de apoyo económico de las universidades así como por la búsqueda de competencias alternativas a iGEM. Los costos para participar en iGEM continúan aumentando, aun cuando los costos de investigación habían disminuido en términos prácticos. Por ello, el problema del financiamiento empezó a hacer incosteable la participación de algunas instituciones. Por otro lado, los alcances de dichos proyectos comenzaron a ser cuestionados y el interés en el área comenzó a disminuir, especialmente en la industria privada. Como consecuencia, el apoyo institucional a iGEM disminuyó y junto con él la cantidad de equipos participantes.

No obstante, a nivel institucional la biología sintética fue ganando terreno académico gracias al establecimiento de los primeros laboratorios de investigación en el área en el país. Con esto, los proyectos comenzaron a gozar de un nuevo estatus de validación al tiempo que se circunscribe a los intereses particulares de cada laboratorio. Los actores clave en el establecimiento de estos laboratorios fueron investigadores con experiencia previa en equipos iGEM y posgrados en biología sintética obtenidos en instituciones nacionales y extranjeras.

## Equipos, problemas que enfrentan y proyectos realizados.

En la UNAM Campus Ciudad Universitaria, el último equipo que participó en el concurso iGEM fue en 2013 con estudiantes de la Facultad de Ciencias. El 2014 marcó el primer año que este equipo pionero en el concurso interrumpió su participación en el concurso. En agosto de 2014, Alejandro Guzmán Vendrell, estudiante de la carrera de Biología, junto con Alejandro Rodríguez Gama, estudiante de la carrera de Investigación Biológica Básica, tomando en cuenta los resultados de años pasados y viendo que no había un equipo al cual integrarse, decidieron crear su propio equipo para participar ese año. La organización inicial se dio con la búsqueda de ideas de proyectos a desarrollar y creando un protocolo inicial. El proyecto elegido fue la prueba de concepto de una alternativa para el tratamiento de la Diabetes Tipo 1, aquella en la cual los pacientes son incapaces de producir insulina por cuenta propia. Empezaron buscando investigadores interesados en apoyar el proyecto, tanto en la dirección y asesoramiento del mismo como en espacio en laboratorio para poder trabajar. Encontraron apoyo con el Dr. Padilla, quien había sido de los primeros en apoyar el área en el país para apoyo general en la UNAM y la organización; del Dr. Eduardo Rodríguez Bustamante y del Dr. Roberto Arreguin Espinosa de los Monteros para el espacio en el laboratorio; del Dr. Marco Arieli Herrera Valdez para la parte de modelado matemático; y del M en B. José Antonio Alonso Pavón para la parte de asuntos éticos y sociales, divulgación y organización del equipo. (J. A. Alonso Pavon, personal communication, 2017; P. Padilla Longoria, personal communication, 2017)

El equipo inicial fue sólido ya que los miembros fueron invitados por sus capacidades anteriores y eran de antecedentes diversos habiendo entre ellos estudiantes de Medicina,

Química Farmacobiológica, Investigación Biomédica Básica, Ingeniería Mecánica y Biología, todos de Ciudad Universitaria. El proyecto avanzó con buen tiempo y se fueron obteniendo recursos económicos gracias a InnovaUNAM, que concedió acceso a recursos de innovación. De acuerdo con la Dra. Gloria Soberón Chávez, directora de InnovaUNAM en ese momento, el apoyo se facilitó debido a que el Dr. José Narro Robles, rector en 2010 cuando participó el equipo de la nota viral, había estipulado que se apoyaran los proyectos de biología sintética en el futuro<sup>2</sup>. El proyecto se presentó en septiembre de 2015 obteniendo medalla de plata. El proyecto buscaba hacer una prueba de concepto de un sensor artificial de insulina que permitiera auxiliar en el tratamiento de diabetes tipo 1. Para ello se usó un chasis de *E.coli* que pudiera medir las concentraciones de glucosa en el medio (sangre) y posteriormente producir insulina localmente (*Team:UNAM-CU - 2015.Igem.Org*, n.d.).

Un año después, el equipo abrió una convocatoria pública con la que se integraron un mayor número de personas. Esta vez se tendría acceso a un laboratorio en el Instituto de Química, lo que facilitaría el trabajo de laboratorio. Se buscaron diversas colaboraciones para la parte de Human Practices. El proyecto avanzó pero se enfrentó a problemas económicos debido a reducciones en el presupuesto, esto aunado a problemas internos derivó en que no se obtuvieron los mismos resultados del año anterior. El proyecto en 2016 consistía en buscar la producción de un biocombustible utilizando algas, para ello se buscaba usar un chasis de *Chlorella vulgaris* que pudiera aumentar la producción de aceites capaces de ser usados como precursores de bioturbosina. Para ello se buscó

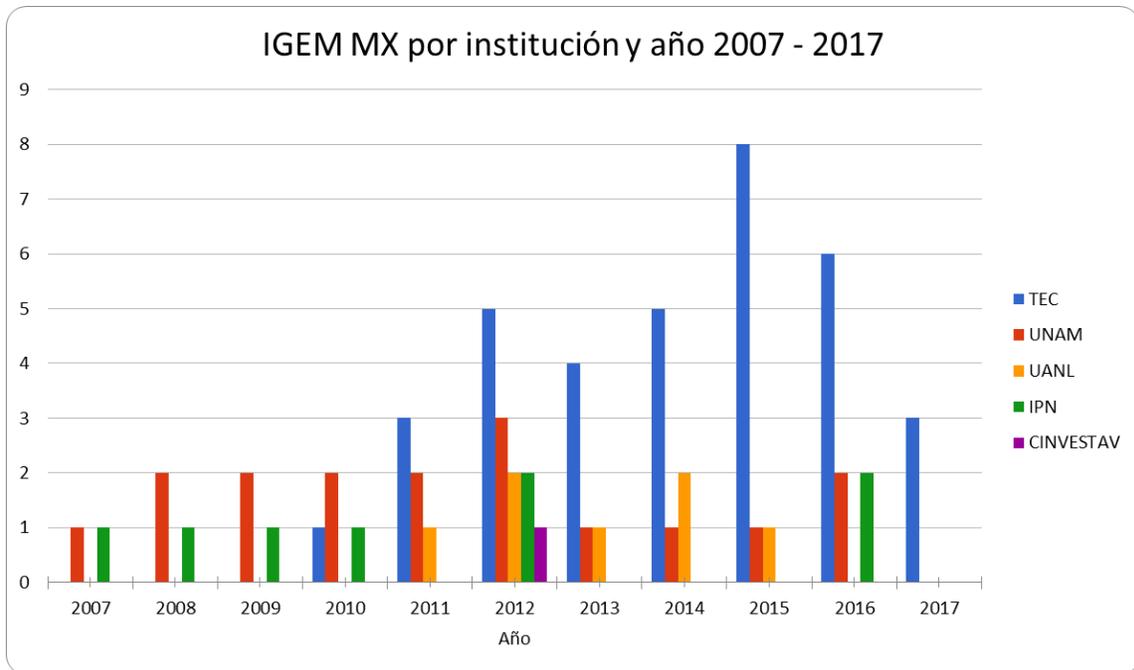
---

<sup>2</sup> La información se obtuvo de primera mano al estar yo presente

silenciar genes relacionados a la síntesis de la Acetilcolina de modo que la producción de aceites aumentará a niveles útiles para la industria. (*Team:Pumas Mexico - 2016.Igem.Org, 2016*)

## Equipos del ITESM

Desde el 2012 en los campus del ITESM se organizaban equipos iGEM por los estudiantes de las carreras de Ingeniería en Biotecnología. Esto le permitía a los equipos del ITESM tener colaboraciones entre ellos así como compartir información y sus experiencias (U. E. Barboza Perez, personal communication, 2017; Y. M. Castellanos Morales, personal communication, 2017; R. C. Chavez Martinez, personal communication, 2017). En la gráfica 1 podemos ver como el ITESM es la institución que más equipos mandaba a iGEM sobrepasando los de otras escuelas públicas. Sin embargo esto no representaba que tuvieran todo el apoyo institucional para poder realizar el viaje a Boston a presentar. Esto orillaba a los equipos a buscar financiamiento de ex alumnos de la universidad, organizaciones privadas e instituciones públicas de cada estado. (A. S. Arreola Hernandez, personal communication, 2017; D. Floras Gomez, personal communication, 2017).



Gráfica 1. Equipos iGEM de México por institución y año, ( Alejandro Guzmán en colaboración con Joel de la Barrera,2017)

## Colaboraciones internacionales

En este periodo es cuando empiezan a buscar apoyo otros equipos de la región de Latinoamérica, los cuáles vieron en México un punto de acercamiento para poderse desarrollar por haber sido uno de los primeros países de la región en participar. Estas colaboraciones surgen inicialmente por la Universidad de Zamorano de Honduras con el IPN en México. Este acercamiento surge de la mano de los estudiantes que encuentran un intermediario en la Dra. María Mercedes Roca, quien busca apoyarlos y ser el canal para esta colaboración (M. M. Roca, personal communication, 2017). El plan original consistía en un equipo colaborativo de IPN y Zamorano donde ambos equipos colaboraran en diseño, ejecución y en el presupuesto (A. Dominguez Ibarra, personal communication, 2017; E. Fuentes Campos, personal communication, 2017). Los

problemas empezaron a surgir cuando llegó el momento de pagar la inscripción, puesto que hubo discusiones sobre la cantidad y el modo de pagarlas. La Dra. Roca fungió como intermediaria en estas discusiones, donde no hubo una solución satisfactoria y provocó que la relación cambiara y que cayera la colaboración, decidiendo que cada equipo participará por su propia cuenta (A. Dominguez Ibarra, personal communication, 2017). Esto representó un atraso en los planes de ambos equipos ya que contaban con tener el apoyo mutuo que no se dió, lo que sentó un precedente para futuras colaboraciones.

La siguiente colaboración fuerte con Honduras se dio en 2015 cuando el equipo de la Universidad Nacional Autónoma de Honduras (UNAH) asistió al evento “Meetup” organizado por el equipo del ITESM de ese año. Durante el meetup, salió la oportunidad de una colaboración entre algunos equipos de México y el de Honduras. Esta colaboración se vio reflejada de dos formas. La primera es que una porción del equipo vendría a la ciudad de México y estaría un mes con el equipo de la UNAM con la finalidad de apoyarlos tanto con su modelo como con técnicas básicas de laboratorio en las que no tenían experiencia. Esta colaboración se desarrolló durante el mes de junio de 2015. Durante este tiempo, asistieron a una capacitación en cuestiones éticas en el Centro de Ciencias Genómicas. Posteriormente durante el mes de julio una integrante del equipo de ITESM campus Monterrey, Minerva Castellanos, fue a Honduras a apoyarlos en el laboratorio. (Y. M. Castellanos Morales, personal communication, 2017).

Esta colaboración permitió mejorar el nivel del proyecto que tenían los jóvenes de la UNAH ya que además de las prácticas de laboratorio, pudieron hablar con investigadores sobre su proyecto y recibir retroalimentación del mismo. Desafortunadamente por falta

de presupuesto el equipo de Honduras no consiguió llevar a término su proyecto lo cual afectó negativamente al equipo de UNAM que contaban con esa colaboración para cumplir uno de los criterios de las medallas de ese año<sup>3</sup>.

### Disminución del interés en iGEM

A partir de 2014 se comienza a apreciar una disminución en el número de equipos mexicanos que participan en iGEM. El IPN deja de participar, mientras que los equipos de la UNAM y de la UANL comienzan a participar de manera esporádica e interrumpida. Por su parte, los equipos participantes de México se vuelven casi exclusivamente de los campus del ITESM, el cual pasó de tener 5 equipos participantes en 2014 a 8 en 2015 y posteriormente solo 3 equipos en 2017. Una de las principales causas de esta disminución fue el costo de participar en iGEM que en 2014 fue de 4000 USD y fue incrementándose con los años hasta llegar a 5000 USD en 2017, aunado a las variaciones en el tipo de cambio entre el peso y el dólar estadounidense. A pesar del abaratamiento de las técnicas de biología molecular para desarrollar trabajo de investigación que se mencionó previamente, el encarecimiento de las cuotas de inscripción al concurso limitó el presupuesto disponible para las secciones experimentales de los proyectos de cada equipo. Lo anterior generó una búsqueda de concursos alternativos como TecnoX o el uso del presupuesto inicial para generar proyectos más desarrollados (R. C. Chavez Martinez, personal communication, 2017; D. Dominguez Gomez, personal communication, 2017; G. Villanueva Noguera, personal communication, 2017).

---

<sup>3</sup> La información se obtuvo de primera mano puesto que formé parte de ese equipo.

En los últimos años, el área se vio afectada por la falta de interés de estudiantes y la falta de apoyos institucionales. Los laboratorios que se establecieron se enfrentan a la falta de presupuesto y escasez de recursos para la biotecnología. A esto se le suma la reglamentación de OGMs. Pese a la reducción de los costos en la tecnología, la importación de la misma a México, acceso a cepas, y a los materiales necesarios continua limitando su alcance y potencial.

El desencanto por la biología sintética por parte de diferentes sectores se puede asociar al ciclo de Gartner, el cual es una herramienta utilizada para describir el desarrollo de las expectativas que se depositan en distintas tecnologías (Ver Imagen 1).

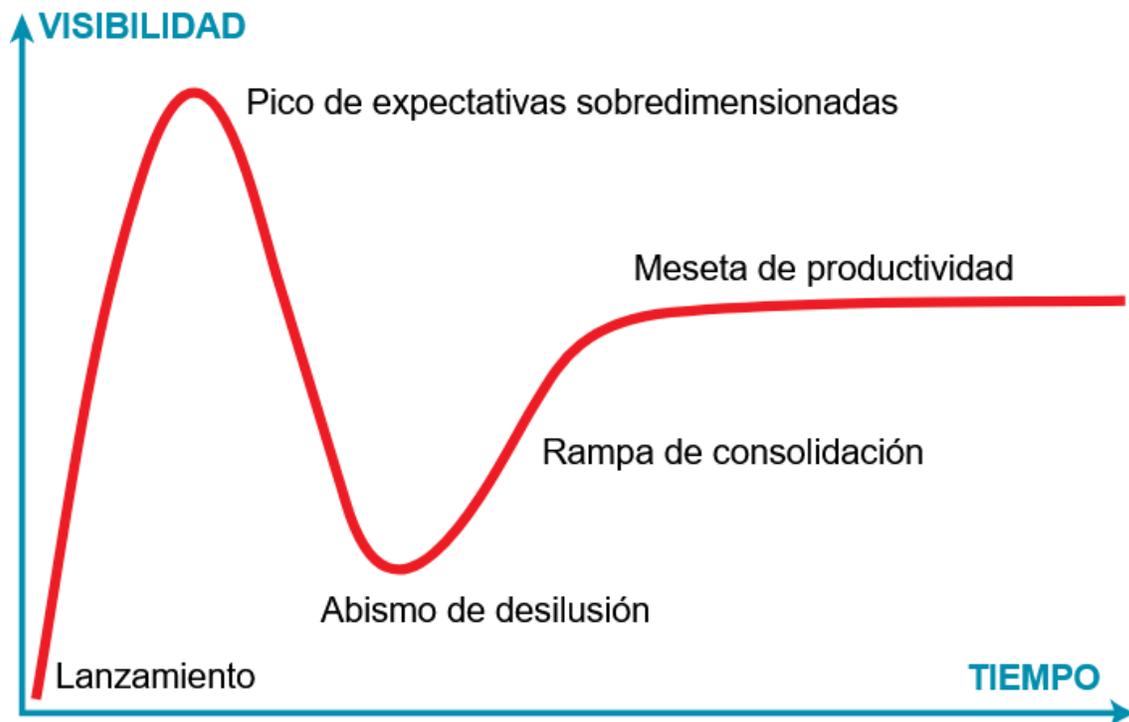


Imagen 1. Representación gráfica del ciclo de Gartner.

En el ciclo de Gartner podemos ubicar distintos puntos de la gráfica en el tiempo. La primera fase de lanzamiento corresponde al periodo de los primeros equipos y termina en 2010 con la nota periodística que dio origen a una serie de equipos, cuando empezó el "Pico de expectativas sobredimensionadas" esto se observa con el aumento exponencial de equipos mexicanos y el apoyo que reciben así como el surgimiento de varias organizaciones privadas para el apoyo. Sin embargo, este crecimiento no era sostenible por los costos y porque hubo una sobrevaloración de los alcances de la biología sintética, por lo que se cae en el "Abismo de desilusión" donde vemos una reducción de los equipos al no participar en iGEM e incluso una reducción del interés de varios de los grupos que apoyaban el área originalmente. Sin embargo en fechas recientes se va viendo una consolidación con varios grupos de investigación estableciéndose en las diferentes instituciones y un aumento en el número de *startups* en el área.

## Capítulo 5. Consecuencias de la Introducción de la Biología Sintética

### Foros alternativos: TecnoX y alternativas al desarrollo.

Al tiempo que los costos de iGEM subían a niveles inalcanzables para la mayoría de los equipos, en Latinoamérica se dieron discusiones sobre alternativas para el concurso. Esto comenzó porque el aumento de los costos de participación en iGEM no solo afectó a México sino a los otros equipos participantes de Latinoamérica. Con esto en mente, y considerando la experiencia de la edición regional de iGEM en 2012 celebrada en Bogotá, surge la idea de hacer un concurso local equivalente para la región de mano de personas que habían participado en años anteriores. Este concurso se llamó “TecnoX” y su primera edición fue en Chile en 2016, contando con la participación de 9 equipos de distintos países como México, Chile, Brasil y Argentina. El concurso se volvió a realizar en 2017 en Guadalajara, con una participación de 17 equipos. En este concurso se buscó expandir a proyectos profesionales en sus primeras fases de desarrollo con visión a volver a México un foco local para el desarrollo de biotecnología (A. S. Arreola Hernandez, personal communication, 2017). Este concurso tuvo éxito acercando a la comunidad latinoamericana entre sí y generando nuevas relaciones entre ellos. Varios de los proyectos presentados se habían presentado anteriormente en iGEM o se iban a presentar en el concurso de ese año.

## Surgimiento y desarrollo de los espacios de biohacking

Los altos costos asociados al desarrollo de la biología molecular y biología sintética ocasionaron que las personas que tenían un interés en estas áreas buscaran alternativas, lo cual se hilaba a la idea de ciencia pública. Esto conllevó a una alianza con el movimiento “Maker” en México, el cual buscaba una democratización de la ciencia y mejorar el alcance de esta tecnología en el país. Entre sus primeros logros fue fundar el grupo de “DIYBIO México” en el cual participan investigadores, alumnos, profesionistas y entusiastas de la biología. Este grupo fue formado en 2014 por Joel de la Barrera luego de que surgió su interés por la biología sintética en un curso que tomó dentro del Cinvestav Irapuato de manos del Dr. Agustino Martínez Antonio (J. De la Barrera, personal communication, 2017).

Al mismo tiempo fueron surgiendo movimientos similares en el país de manos de gente que había participado en iGEM o que tomó uno de los cursos que organizaban los distintos equipos. Entre los grupos destacan “Gene Garaje” creado por Sofía Arreola con sede en Guadalajara que tiene un enfoque educativo y de apoyo de negocios para gente dentro del área de biotecnología, “Biohackers México” con sede en Guanajuato cuyo enfoque es la de creación de equipos y alternativas para el trabajo experimental y “Biohackademy” en la ciudad de México que se enfoca en educación y creación de equipos (A. S. Arreola Hernández, personal communication, 2017; U. E. Barboza Pérez, personal communication, 2017). Estos grupos de biohacking se conformaron principalmente por gente que participó en iGEM durante su carrera académica o que estuvo en laboratorios asociados a biología sintética. Al no existir suficientes oportunidades para su desarrollo

académico buscaron alternativas externas a la academia llegando a proyectos de ciencia ciudadana donde buscaron involucrarse con la industria.

Los logros del movimiento a este momento han sido variados, desde el desarrollo de hardware hecho con materiales de bajo costo y la organización de foros de discusión. Actualmente el proyecto más grande que se tiene es el primer foro nacional de biología sintética, en el cual se aliaron con agrupaciones con intereses similares como son la Red Nacional de Biología Sintética y los distintos grupos de biohacking del país. (M. Loera Sanchez, personal communication, 2017)

### Adopción temprana de la Biología Sintética en Instituciones Mexicanas.

Uno de los efectos más importantes de la introducción de la biología sintética en el país es que sentó las bases para que se conformaran los primeros grupos de investigación en el área. En la UNAM, los laboratorios que tenían áreas de biología de sistemas y de ingeniería genética tratan de mantenerse a la vanguardia por lo que buscan formas de extender sus áreas. Mediante artículos científicos que se publicaban sobre el tema, los investigadores, si bien no tenían líneas de biología sintética, estaban actualizados de los avances que existían en el área. Inicialmente ningún laboratorio tenía líneas de investigación de biología sintética y aunque había un interés hacia el área, al ser investigadores establecidos no tenían como prioridad ampliar sus líneas. (D. R. Romero Camarena, personal communication, 2017)

Debido a esto y por los avances que había en el área, se buscó crear un laboratorio de biología sintética en el Centro de Ciencias Genómicas (CCG) de la UNAM. El momento en

que ocurre era un momento de cambio de director del CCG y se planteó una discusión sobre líneas nuevas para el centro. Entre las propuestas había temas como metagenómica y biología sintética. Posteriormente se planteó que fuera uno de los ejes para el plan del trabajo del nuevo director del CCG, no hubo una oposición de parte de investigadores en el centro al considerarlo dentro de las áreas de interés del centro. Esto motivó a que en 2017 se diera una búsqueda de nuevos investigadores dentro de estas áreas. El proceso de selección fue una convocatoria abierta para biología sintética y de sistemas, hubo 40 solicitudes, la mayoría nacionales. Se seleccionó con base en las presentaciones y propuestas de proyecto de quienes solicitaron. Los aplicantes eran en su mayoría mexicanos con experiencias posdoctorales en el extranjero. La experiencia de biología sintética había sido por sus experiencias en el extranjero como Inglaterra o Estados Unidos. El objetivo del laboratorio es ser un área pujante para biología sintética y referente nacional para el área (R. Peña, personal communication, 2017; D. R. Romero Camarena, personal communication, 2017). De esta convocatoria, sobresalieron dos investigadores: el Dr. Rafael Peña Miller y el Dr. José Utrilla Carreri.

Rafael Peña Miller, mencionado previamente, fue participante del primer equipo de biología sintética de la UNAM en 2006, realizó su doctorado en Imperial College London y un posdoctorado en Exeter. Mantuvo durante todo este tiempo la línea de biología de sistemas y fue instructor del primer equipo iGEM de Exeter. Al término de este posdoctorado, vio la convocatoria que sacó el CCG para una plaza de investigación en el área de Biología Sintética y solicitó el puesto presentando un proyecto sobre surgimiento de resistencias antibióticos y comunidades bacterianas sintéticas. Por otro lado, José

Utrilla Carreri realizó su maestría y doctorado en el Instituto de Biotecnología (IBT) de la UNAM y un posdoctorado en la Universidad de California en San Diego. Al término del posdoctorado, buscando opciones de carrera, vio la convocatoria del CCG y solicitó el puesto con un proyecto sobre desarrollo y análisis de bacterias con fines biotecnológicos.(J. Utrilla Carreri, personal communication, 2017).

En el CINVESTAV Unidad Irapuato, el Dr. Agustino Martínez tenía un laboratorio de ingeniería de proteínas. Además de todo el apoyo y asesorías que ha ofrecido a varios equipos de iGEM a lo largo de los años, ha incursionado en líneas de investigación sobre biología sintética. En 2011 fue contactado por Gerónimo Villanueva para trabajar en un proyecto de biología sintética, este primer proyecto fue de producción de butanol a partir de semilla de Aguacate el proyecto eventualmente se detuvo por volverse inviable económicamente por la caída de los precios del petróleo. Si bien el resultado no fue satisfactorio a partir del proyecto se desarrolló un sustrato bacteriano a partir de la semilla de aguacate. Se hicieron otros desarrollos usando biología sintética, todo se mantenía con un enfoque aplicado y de bioeconomía. Actualmente se dedican al diseño de circuitos genéticos para producción de metabolitos y reutilización de materiales orgánicos (A. Martinez Antonio, personal communication, 2017; G. Villanueva Noguera, personal communication, 2017).

## Conclusiones.

En este trabajo se exploró cómo la participación en un concurso internacional como es iGEM, el intercambio de conocimiento entre los equipos, así como los posgrados de los participantes incluyeron en el asentamiento de la biología sintética en el país. A lo largo de estas páginas, he buscado mostrar con esta cronología cómo la causa principal de la introducción de la biología sintética en México fue el interés de alumnos universitarios por participar en el concurso iGEM. La existencia de un concurso como lo fue iGEM fomentó el interés de los estudiantes de nivel licenciatura lo cual impulsó el área a expandirse y crecer. Muchos de los estudiantes iniciales continuaron sus estudios académicos y se encuentran en el posgrado o ya dirigiendo laboratorios con un enfoque de biología sintética en el país. A partir del interés de estos estudiantes por participar en el concurso, se fue desarrollando un interés académico que se concretó en su aún incipiente consolidación en algunos centros académicos del país.

Desde su surgimiento en México en 2006 hasta la época actual, la biología sintética se ha enfrentado a varios problemas para su implementación y seguimiento, siendo el principal de ellos la falta de presupuesto y confianza de parte de instituciones académicas para los proyectos. Al inicio se tuvo apoyo por novedad, pero la falta de difusión que existía evitó que se pudieran llevar a cabo proyectos largos. Eventualmente se masificó en el país, pero esto no evitó que se tuviera desconfianza de la técnica debido a sus altos costos para el desarrollo de proyectos. Otra de las limitantes para su extensión fue la falta de resultados tangibles para las instituciones; como el primer empuje fue mayoritariamente por

estudiantes no había un compromiso a largo plazo lo cual evitó que saliera suficiente producción académica sobre los proyectos ni suficiente propiedad intelectual.

Una de las etapas históricas incluye experiencia personal al haber sido parte del equipo iGEM de la UNAM en el periodo de 2015 a 2016 por lo que la información de esa época sobre el equipo de la UNAM, así como las colaboraciones y problemas que hubo incluyen mi experiencia pasada. No obstante, dicha experiencia también fue complementada con la narración de otros actores durante esa época.

Una de las limitaciones de este trabajo es que el periodo de tiempo que abarca se corta en 2017, año durante el cual se realizaron las entrevistas y se comenzó la indagación documental. Por ello, parte de la historia que aquí se relata incluye también la limitación de las redes de actores que se contactaron durante la realización de este trabajo. Estudios como el Pichardo Servin (Pichardo Servín, 2022) y Federico Castro (Castro Monzon, n.d.) se han enfocado en las colaboraciones con industria así como los aspectos éticos, sociales y legales de la biología sintética en el país, mientras que el mio se enfoca solo en cómo se generó el interés dentro en la comunidad estudiantil y de ahí las primeras instancias de introducción a la academia.

Las entrevistas realizadas pueden presentar sesgos de información al ser historias orales y que dependen de la experiencia de cada entrevistado.(Nunkoosing, 2005). Esto puede demeritar el trabajo si se toman todas las entrevistas directamente como única fuente de información (Müller-Hill, 2001). Para prevenir eso en este trabajo se revisó la información contra las otras entrevistas y se iban revisando tanto los wikis de los equipos iGEM, como las convocatorias públicas e información de periódicos cuando ésta estaba presente.

Futuros proyectos podrían explorar la relación del acceso a recursos con su institucionalización o los intercambios que sucedieron con gente que participó en iGEM y posteriormente se establecieron en la academia en el país o en otros países. Así mismo hay otras escuelas que participaron solamente un año en iGEM y que no pudieron ser contactadas, explorar cuál fue su experiencia y porque solo se hizo una vez podría complementar futuros trabajos.

Actualmente, la biología sintética se enfrenta a varios problemas adicionales a los ya mencionados. La falta de presupuesto es uno de los principales problemas que tiene la biología sintética en el país y que no se ha podido resolver. Este problema podría resolverse con una mayor inversión pública y privada si se consigue generar confianza en el área y acercar la industria más directamente con los desarrollos. La bioseguridad y manejo legal también es un impedimento para el área, esto por la falta de una reglamentación clara al entrar en varias y que los proyectos terminados tengan regulaciones diferentes dependiendo el área en lugar de seguir un proceso estandarizado.

El panorama laboral a nivel nacional para aquellos interesados en el área es escaso al existir pocas posiciones académicas y no haber una industria establecida que use biología sintética directamente. Los intentos de emprendimientos de índole tecnológica han tenido el problema de la falta de inversión necesaria para establecerse. Internacionalmente el panorama se vuelve más alentador al haber variedad de oportunidades en academia y en industria. Sin embargo, al entrar en competencia internacional las personas se enfrentan a diferentes retos y compiten con gente de otros países.

Después de más de 10 años de gente participando en concursos de biología sintética, de nuevos laboratorios de investigación y de promoción en iniciativa privada se tiene una masa crítica de gente que se ha involucrado en el área. Desgraciadamente la falta de oportunidades laborales, espacios académicos y las limitaciones de la academia en el país han obligado a la gran mayoría de los involucrados a buscar otras fuentes de ingreso o pivotar a biotecnología clásica.

El surgimiento de esta área en el país está ligada intrínsecamente al intercambio internacional y el interés de los estudiantes. Su asentamiento en el país es por el interés de nuevos investigadores que estuvieron en etapas tempranas. Por lo que podemos concluir que en el futuro el intercambio de conocimiento a nivel nacional e internacional seguirá siendo uno de los puntos clave en el desarrollo de la biología sintética y otras áreas de la ciencia en México.

## Referencias

Lista de entrevistados		
Nombre	Cargo o institución al momento de la entrevista	Justificación
M. en B. Alonso Pavon Jose Antonio	Facultad de Ciencias, UNAM	Asesor de múltiples equipos iGEM de la LCG y de la FC.
Ing en B. Arreola Hernandez Ana Sofia	Consultora del gobierno de Guadalajara	Integrante del equipo iGEM del ITESM Guadalajara en 2014.
M. en SB. Barboza Perez Uriel Eleazar	Doctorante en la universidad de Edimburgo	Integrante del equipo iGEM de ITESM Querétaro en 2014-2015
Ing en B. Castellanos Morales Yamile Minerva	Mentora de iGEM ITESM campus Monterrey	Integrante de equipos iGEM del ITESM Monterrey de 2011-2016 y posteriormente mentora de los equipos de esa institución
M en SB. Chavez Martinez Ricardo Camilo	Mentor de iGEM ITESM Monterrey	Integrante de equipos iGEM del ITESM Monterrey de 2011-2014 y posteriormente mentor de los

		equipos de esa institución.
Ing en B. De la Barrera Benavides Oscar Joel	Miembro de Biosintetica	Miembro de Biosintetica que buscó apoyos gubernamentales e industriales para biología sintética en Guanajuato
Ing en B. Dominguez Gomez Daniel	Consultor de Biotecnología	Integrante de equipos iGEM del IPN de 2012-2013 y posteriormente mentor de los equipos de esa institución
Ing en B. Dominguez Ibarra Mario Arturo	Estudiante deUPIBI del IPN	Integrante de equipos iGEM del IPN de 2013-2015.
Ing en B. Flores Gomez Daniela	Mentora del equipo iGEM ITESM CEM	Integrante de equipos iGEM del ITESM Monterrey de 2014-2016 y posteriormente mentora de los equipos de esa institución
M en C. Fuentes Campos Ediner	Consultor de Biotecnología	Miembro de equipos iGEM de Honduras de 2014-2016 con el que equipos locales hicieron

		colaboraciones.
Dr. Juarez Martinez Genaro	ESCOM IPN	Investigador que, junto con el Dr. Pablo Padilla Longoria, apoyo el primer equipo iGEM en México
Dr. Miguel Angel Loera Sanchez	Doctorante en ETH Zurich	Estudiante de la LCG que fue parte de los equipos iGEM en esa institución.
Dr. Martinez Antonio Agustino	CINVESTAV IPN	Investigador del CINVESTAV Irapuato que apoyó equipos iGEM de esa institución.
Dr. Medina Abarca Hector	Doctorante en Harvard	Estudiante de la LCG que fue parte de los equipos iGEM en esa institución.
Dr. Padilla Longoria Pablo	IIMAS UNAM	Investigador que, junto con el Dr. Genaro Juarez Martinez, apoyó el primer equipo iGEM en México y posteriormente fue mentor de múltiples equipos de la FC
Dr. Penia Miller	CCG UNAM	Miembro del equipo iGEM de 2006

Rafael		y posteriormente investigador de Biología Sintética en México
Dr. Resendis Antonio Osbaldo	INMEGEN	Mentor de equipos iGEM de la LCG
Dr. Mercedes Roca Maria Mercedes	Consultora de bioseguridad	Mentora de equipos iGEM del ITESM Guadalajara y de equipos de Honduras con los que se buscó colaborar.
Dr. Romero Camarena David Rene	CCG UNAM	Investigador del CCG y mentor de equipos iGEM de la LCG
Ing en B. Sanchez Montesinos Olivia Angelica	Mentora del equipo iGEM ITESM CEM	Integrante de equipos iGEM del ITESM Monterrey de 2014-2016 y posteriormente mentora de los equipos de esa institución
Lic. Sifuentes Infante Ana Paola	Head of design at iGEM	Integrante de equipos iGEM del ITESM Monterrey de 2011 y posteriormente miembro de iGEM en Boston

Dr. Torres Cordero Heber Miguel	UANL	Mentor de equipos de la UANL desde 2011
Dr Utrilla Carreri Jose	CCG UNAM	Investigador de Biología Sintética en México
Ing en B. Villanueva Noguera Geronimo	Miembro de Biosintetica	Fundador de Biosintética y agente de industria para biotecnología y biología sintética.

*About—Igem.org.* (2017). <https://old.igem.org/About>

Cameron, J. J., D. E. ,. Bashor, C. J. ,. & Collins. (2014). A brief history of synthetic biology. *Nature Reviews Microbiology*, 12(5), 381-390.

Castro Monzon, F. (n.d.). *Biología Sintética Análisis de una Disciplina Emergente*.

Retrieved August 1, 2023, from <http://repositorio.unam.mx>

Galán-Vásquez, E., Luna, B., & Martínez-Antonio, A. (2011). The Regulatory Network of *Pseudomonas aeruginosa*. *Microbial Informatics and Experimentation*, 1(1), 3.

<https://doi.org/10.1186/2042-5783-1-3>

*IPN UNAM 2006—2006.igem.org.* (2006).

[https://2006.igem.org/wiki/index.php/IPN\\_UNAM\\_2006](https://2006.igem.org/wiki/index.php/IPN_UNAM_2006)

*Jamborees—2012.igem.org.* (2012). <https://2012.igem.org/Jamborees>

*Judging/Medals—2021.igem.org.* (2021). <https://2021.igem.org/Judging/Medals>

Loera Sanchez, M. (2017). *Miguel Loera Sanchez Historia de la biología sintética en*

*México* (Alejandro Guzman Vendrell, Interviewer) [Personal communication].

*Main Page—2012hs.igem.org.* (2012). [https://2012hs.igem.org/Main\\_Page](https://2012hs.igem.org/Main_Page)

Martinez Antonio, A. (2017). *Agustino Martinez Antonio , Historia de la biología sintética en Mexico* (Alejandro Guzman Vendrell, Interviewer) [Personal communication].

Medina, H. (2017). *Hector Medina Abarba Historia de la biología sintética en Mexico*

(Alejandro Guzman Vendrell, Interviewer) [Personal communication].

Müller, K. M., & Arndt, K. M. (2012). Standardization in synthetic biology. *Methods in Molecular Biology (Clifton, N.J.)*, 813, 23–43. [https://doi.org/10.1007/978-1-61779-412-4\\_2](https://doi.org/10.1007/978-1-61779-412-4_2)

Müller-Hill, B. (2001). Reflections on the Use of Interviews in the History of Science: Who Will Write the History of Science? *History and Philosophy of the Life Sciences*, 23(1), 105–116.

Nunokoosing, K. (2005). The Problems With Interviews. *Qualitative Health Research*, 15(5), 698–706. <https://doi.org/10.1177/1049732304273903>

Pichardo Servín, J. (2022). *La construcción socio-técnica de la biología sintética en México: Entre la apropiación privada y social del conocimiento*. <https://doi.org/10.24275/uama.4390.8892>

Renata Sanchez. (2010). UNAM-IPN derrotan a Harvard en concurso. *El Universal*.

Rosales-Colunga, L. M., & Martínez-Antonio, A. (2014). Engineering Escherichia coli K12 MG1655 to use starch. *Microbial Cell Factories*, 13, 74. <https://doi.org/10.1186/1475-2859-13-74>

*Team:CINVESTAV-IPN-UNAM MX - 2012.igem.org.* (2012).

[https://2012.igem.org/Team:CINVESTAV-IPN-UNAM\\_MX](https://2012.igem.org/Team:CINVESTAV-IPN-UNAM_MX)

*Team:LCG-UNAM-Mexico—2009.igem.org.* (2009). <https://2009.igem.org/Team:LCG-UNAM-Mexico>

*Team:Mexico-UNAM-CINVESTAV - 2010.igem.org.* (2010).

<https://2010.igem.org/Team:Mexico-UNAM-CINVESTAV>

*Team:Mexico-UNAM-IPN - 2008.igem.org.* (2008). <https://2008.igem.org/Team:Mexico->

UNAM-IPN

*Team:Pumas Mexico—2016.igem.org.* (2016).

[https://2016.igem.org/Team:Pumas\\_Mexico](https://2016.igem.org/Team:Pumas_Mexico)

*Team:Tec-Monterrey—2010.igem.org.* (2010). <https://2010.igem.org/Team:Tec-Monterrey>

*Team:UANL Mty-Mexico—2011.igem.org.* (2011).

[https://2011.igem.org/Team:UANL\\_Mty-Mexico](https://2011.igem.org/Team:UANL_Mty-Mexico)

*Team:UNAM-CU - 2015.igem.org.* (n.d.). Retrieved November 5, 2022, from

<https://2015.igem.org/Team:UNAM-CU>

Trewavas, A. (2006). A Brief History of Systems Biology “Every object that biology studies is a system of systems.” Francois Jacob (1974). *The Plant Cell*, 18, no. 10 2420-2430.

Turchetti, S., Herran, N., & Boudia, S. (2012). Introduction: Have we ever been ‘transnational’? Towards a history of science across and beyond borders. *The British Journal for the History of Science*, 45(3), 319–336.

<https://doi.org/10.1017/S0007087412000349>