

IGEM UMA 2022: LA EXPERIENCIA DE LA UMA EN LA COMPETICIÓN MUNDIAL EN BIOLOGÍA SINTÉTICA.

por MOLINA-CALVO A.^{1,2}, ZARZA-HERRERO P.^{1,2,4}, MORALES P.^{1,3}, VALVERDE-GUILLÉN P.^{1,2,4},
BERNAL M.^{1,2,*}, RODRÍGUEZ-CASO C.^{1,2,*}

¹UNIVERSIDAD DE MÁLAGA, ANDALUCÍA TECH, FACULTAD DE CIENCIAS, DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA MOLECULAR Y BIOQUÍMICA, 29071 MÁLAGA, ESPAÑA.

²INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN BIOMÉDICA DE MÁLAGA Y PLATAFORMA EN NANOMEDICINA (IBIMA PLATAFORMA BIONAND), 29010, MÁLAGA, ESPAÑA.

³UNIVERSIDAD POMPEU FABRA, DEPARTAMENTO DE MEDICINA Y CIENCIAS DE LA VIDA, PARC DE RECERCA BIOMÈDICA DE BARCELONA, 08003, BARCELONA, ESPAÑA.

⁴UNIVERSIDAD DE MÁLAGA, ANDALUCÍA TECH, FACULTAD DE CIENCIAS, DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA CELULAR, GENÉTICA Y FISIOLÓGICA, ÁREA DE BIOLOGÍA CELULAR, 29071 MÁLAGA, ESPAÑA.

MBERNAL@UMA.ES; CARLOS.RODRIGUEZ@UMA.ES

Palabras clave: iGEM, biología sintética, liderazgo, innovación, emprendimiento.

Resumen: En Andalucía se producen más de 8 millones de toneladas de residuos vegetales al año. Los agricultores deben sopesar el gasto que les produce la eliminación de estos productos, por ello muchos optan por quemar estos desechos, produciendo a su vez subproductos contaminantes de la combustión. Así, el equipo *iGEM_UMA 2022* con el proyecto *StarchSTEM* pretende dar una segunda vida a estos residuos vegetales convirtiéndolos en un producto de valor añadido, el almidón.

Para hacer frente a esta competición, el equipo *iGEM_UMA* ha creado un novedoso sistema de organización orgánica en la competición iGEM que permite una visión global y multidisciplinar del problema a la vez que se trabaja en un ambiente sano y comunicativo en el que el sistema de líderes rotatorios fue muy apreciado por iGEM y también en la sección de jueces.

La participación en la competición iGEM supone un impulso para el desarrollo de herramientas biotecnológicas orientadas a la investigación y la innovación educativa, permitiendo a los estudiantes experimentar el proceso de ejecución de un proyecto de investigación a la vez que se forman en biología sintética. Además, el sistema orgánico de organización fue destacado por el grupo de jueces como sobresaliente siendo marcado como una innovación nunca antes vista.

Introducción:

La “*International Genetically Engineered Machine*” (iGEM) es la mayor competición mundial de biología sintética organizada por el “*Massachusetts Institute of Technology*” (MIT) (Millett *et al.*, 2019; Warmbrod *et al.*, 2020; Gill *et al.*, 2022; Morales *et al.*, 2022). Randy Rettberg es el fundador y director de la competición, que como parte del MIT, fundó en 2012 la Fundación iGEM. Esta se escindió como una organización independiente sin ánimo de lucro con sede en Cambridge, Massachusetts, Estados Unidos. El objetivo de la competición es el avance de la biología sintética (Benner and Sismour, 2005; Cameron *et al.*, 2014; Tang *et al.*, 2021) y la educación, a la vez que promueve el desarrollo de una comunidad abierta, colaborativa y cooperativa en constante expansión en todo el mundo (Willinsky, 2006; Laakso *et al.*, 2011; Suber, 2012; Severin *et al.*, 2018).

La primera competición fue organizada en 2003

y 2004 por proyectos de estudiantes durante los “Periodos de Actividades Independientes” del MIT, y sólo participaron 5 equipos de distintas escuelas de Estados Unidos. Sólo un año después, equipos de fuera del país participaron en la competición. Durante los 15 años siguientes, el número de participantes ha crecido considerablemente, hasta alcanzar los 353 equipos en 2019. Después, durante la pandemia de COVID-19, el número disminuyó, pero en 2022 se superó a sí mismo, presentándose 356 proyectos de todo el mundo (Figura 1) (Morales *et al.*, 2022).

El objetivo principal de esta competición es resolver problemas cotidianos que tengan un impacto en el ámbito local dentro del marco de la economía circular. Para ello, los equipos son libres de proponer un proyecto en el que, utilizando la biología sintética, puedan dar respuesta a estos problemas. Como resultado, iGEM se ha convertido en una incubadora para nuevas ideas. Otro de los objetivos de esta competición es que esta tecnología se desarrolle en todo el mundo, no sólo en las grandes empresas. Y,

de este modo, crear soluciones reales que beneficien localmente a sus comunidades.

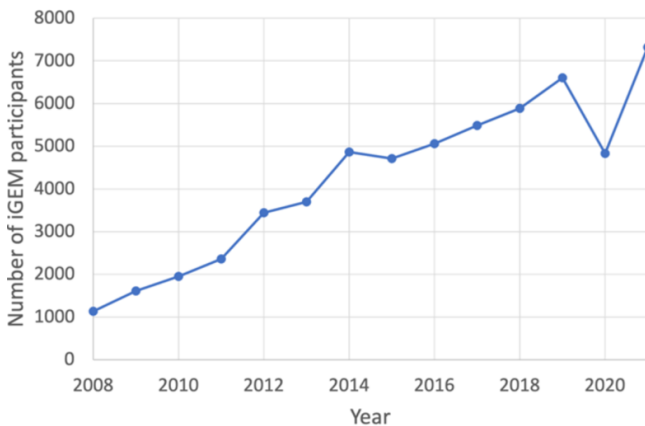


Figura 1. La participación en iGEM ha aumentado en todo el mundo en la última década. Número total de participantes registrados en competencias iGEM. Extraído de Morales *et al.*, 2022.

La primera década de iGEM se basó en la creación de un registro de partes biológicas estándar en Boston, Estados Unidos (Canton *et al.*, 2008; Peccoud *et al.*, 2008; Galdzicki *et al.*, 2011; Ham *et al.*, 2012; de Lorenzo and Schmidt, 2018). Bajo la filosofía de “*Get, Give & Share*” los equipos contribuyeron con sus muestras de partes de ADN (Willinsky, 2006; Ham *et al.*, 2012; Severin *et al.*, 2018). Durante los siguientes 10 años, no solo se intercambiaron muestras, sino también información, cuyo valor es mayor debido a que con eso un especialista en biología sintética puede diseñar todo un dispositivo biológico. En esta tercera década que se avecina, las principales tecnologías que podrían ser esenciales son la inteligencia artificial, el aprendizaje automático, la bioeconomía abierta, las biofundiciones y sistemas libres de células (Balyen and Peto, 2019; Sultan *et al.*, 2020; Woschank *et al.* 2020; Aggarwal *et al.*, 2022).

Además de la construcción de sistemas biológicos, iGEM tiene otras vías como *Art & Design, Community Labs, Entrepreneurship, Measurement, Policy & Practice*, y *Software*. Incluye amplios objetivos como promover el desarrollo abierto y transparente de herramientas para la ingeniería biológica y construir una sociedad que pueda aplicar la biología de forma productiva y segura. Esta iniciativa ha fomentado el interés de los estudiantes por la biología sintética y ha contribuido a desarrollar su capacidad de aprendizaje autónomo mediante la autoorganización y la manipulación del material genético proporcionado por el concurso.

Con el paso de los años, el sistema que propone iGEM para organizar los equipos se basa en líderes que se reparten el trabajo y se convierten en la cara del proyecto (Morales *et al.*, 2022). Además, un requisito obligatorio para completar en la competición

es registrar a uno o dos miembros del equipo como líder en la página web del equipo. Sin embargo, ¿coincide esta jerarquía con la filosofía de colaboración, cooperatividad, unidad y comunidad de la que se enorgullece iGEM? (Jiang *et al.*, 2019; Qamari *et al.*, 2020; Strode *et al.*, 2022).

StarchSTEM: el equipo iGEM UMA de 2022:

Con la filosofía de la competición en mente, desde la Universidad de Málaga desarrollamos el proyecto StarchSTEM. El objetivo del proyecto buscó explorar una segunda vida a los residuos vegetales. En concreto nos referimos a aquel material orgánico vegetal que se abandona tras ser cosechado, procesado o consumido. Cáscaras de frutas y vegetales, tallos, hojas y otros componentes de las plantas que no se utilizan para comer directamente son sólo algunos ejemplos de los materiales que componen estos residuos. Aunque los residuos vegetales son el resultado de la actividad humana y de los métodos agrícolas, su gestión es difícil y se ha convertido recientemente en una preocupación crítica. Esta cuestión tiene varias consecuencias para el medio ambiente, la bioeconomía y la sociedad. El análisis riguroso del problema, como parte de las tareas evaluables en la competición nos dieron los siguientes elementos que se presentan en tres grandes ejes:

Efectos medioambientales:

Desbordamiento de los vertederos: cuando los residuos vegetales se eliminan de forma inadecuada, suelen acumularse en los vertederos, lo que agrava el problema de la escasez de espacio para vertederos. Al liberar gases de efecto invernadero, como el metano (Ritchie *et al.*, 2020; Lamb *et al.*, 2021; Rippin *et al.*, 2021; Ritchie and Roser, 2023), se contribuye a aumentar la contaminación ambiental (Hsiang *et al.*, 2019; Jargin, 2021; Petrović and Fiket, 2022) y el cambio climático (Hobbie and Grimm, 2020; Abbass *et al.*, 2022; Parmensan *et al.*, 2022).

Contaminación: los residuos vegetales pueden contaminar el suelo y reducir su fertilidad cuando no se manipulan correctamente, lo que provoca la degradación del suelo. Grandes cantidades de residuos orgánicos vertidos en vertederos o a los que se deja degradarse de forma inadecuada pueden producir lixiviados, líquidos que se filtran en el suelo y contaminan las fuentes de agua, dañando los ecosistemas (Hsiang *et al.*, 2019; Jargin, 2021; Petrović and Fiket, 2022).

Emisiones de gases de efecto invernadero: los residuos vegetales producen una cantidad considerable de metano, un potente gas de efecto invernadero (Ritchie *et al.*, 2020; Lamb *et al.*, 2021; Rippin *et al.*, 2021; Ritchie and Roser, 2023), cuando se descomponen en condiciones anaeróbicas, como las que se dan en los vertederos. El metano acelera el cambio climático y sus efectos medioambientales relacionados al provocar el calentamiento global (Hobbie and Grimm, 2020; Abbass *et al.*, 2022; Parmensan *et al.*, 2022).

Repercusiones económicas:

Potencial agrícola perdido: cuando los residuos vegetales se manipulan de forma inadecuada se pierde un recurso vital (Sims and Wolf, 1994; Obi *et al.*, 2016; Duque-Acevedo *et al.*, 2020; Jena y Singh, 2022). Estos residuos pueden compostarse o utilizarse para la digestión anaeróbica, que genera energía.

Costes asociados: la gestión de residuos ha aumentado como consecuencia de la ineficacia de los métodos de eliminación de residuos vegetales. Esto requiere el aporte de grandes recursos para su transporte, almacenamiento y tratamiento, lo que eleva los gastos de gestión de residuos para empresas y comunidades.

Oportunidades perdidas para el crecimiento económico: la gestión adecuada de los residuos vegetales ofrece oportunidades para impulsar el empleo y la economía. Iniciativas como la generación de biogás, las centrales eléctricas de biomasa y las instalaciones de compostaje pueden proporcionar puestos de trabajo y apoyar una economía más sostenible y circular (Melece, 2016; D'amato and Korhonen, 2021; Khan *et al.*, 2022).

Consecuencias sociales:

Seguridad alimentaria y hambre: A pesar de los enormes volúmenes de residuos vegetales que se tiran, la inseguridad alimentaria y el hambre siguen existiendo en muchas zonas. Mediante la implantación de sistemas eficaces de gestión de residuos, estos desechos podrían utilizarse para compostar y generar alimentos asequibles, lo que permitiría el cultivo de cosechas densas en nutrientes y reduciría la escasez de alimentos (Tian *et al.*, 2021; Van Dijk *et al.*, 2021; Zhao *et al.*, 2021).

Preocupación por la salud pública: Las comunidades corren el riesgo de sufrir problemas de salud a causa de plagas como ratones e insectos que se ven atraídos por los residuos vegetales eliminados

de forma inadecuada. El proceso de descomposición puede producir olores desagradables y atraer insectos portadores de enfermedades, reduciendo la calidad de vida (Campbell-Lendrum and Prüss-Ustün, 2019; González *et al.*, 2021; Rippin *et al.*, 2021).

La implicación y la concienciación de la comunidad son necesarias para abordar el problema de los residuos vegetales. Promover la educación local sobre la reducción de residuos, el compostaje y las prácticas sostenibles anima a la gente a implicarse en sus comunidades y contribuir a las soluciones de gestión de residuos.

El problema de los residuos vegetales plantea graves dificultades medioambientales, económicas y sociales (Van Dijk *et al.*, 2021; Parmensan *et al.*, 2022; Ritchie and Roser, 2023). Promover estrategias de gestión sostenible de los residuos que den prioridad al compostaje, el reciclaje y la producción de energía es esencial para abordar estos problemas (Melece, 2016; D'amato and Korhonen, 2021; Khan *et al.*, 2022). Podemos avanzar hacia un futuro más sostenible minimizando la degradación medioambiental, abriendo oportunidades económicas y abordando los problemas sociales relacionados con esta cuestión urgente percibiendo los residuos vegetales como recursos útiles y no como materiales desechables. El análisis nos permitió valorar la necesidad de plantearnos una solución biotecnológica que permitirá dar una segunda vida a todos esos millones de toneladas de residuos que se desperdician (Sims y Wolf, 1994; Obi *et al.*, 2016; Duque-Acevedo *et al.*, 2020; Jena and Singh, 2022).

En el contexto de la competición, nuestra aproximación debe fundamentarse en una solución biotecnológica que permita la ingeniería de células a través de las bases y herramientas de la biología sintética. En este sentido *StarchSTEM* se centró en el diseño de un circuito genético sintético usando una célula bacteriana que tuviera la capacidad de inducir la expresión de una forma autónoma a partir de la detección de los estímulos adecuados de celulosa y glucosa. Para dicha célula la producción de una celulasa debería propiciar, en presencia de celulosa, la producción de sus monómeros elementales: la glucosa. Esta glucosa debería ser sentido por el circuito genético para desencadenar la expresión de las enzimas productoras de almidón a partir de la propia glucosa detectada. En este sentido, nuestra solución biotecnológica nos permite entender la célula como una unidad replicable que tienen la capacidad de producir almidón (molécula fácilmente asimilable para animales y bacterias) a partir de celulosa (molécula difícilmente digerible y asimilable).

El proyecto permitió la identificación de un pro-

blema en el sector agrario para proponer una solución biotecnológica basada en el diseño de un circuito genético que le proporcionaba a una célula modificada genéticamente una que previamente no existía en la naturaleza. Cabe indicar que dicha funcionalidad no es tanto la expresión de unas enzimas sino el cómo y el cuándo deben expresarse. Esto implicó el diseño de un sistema autoregurable basado en una lógica de activación y represión de promotores bacterianos.

Además, el desarrollo del proyecto se basó en la autoorganización del equipo en un concepto del

novedoso sistema de liderazgo presentado en iGEM, ya que *UMA_MALAGA 2022* sirvió como prueba piloto de su posible implementación en la competición. Dicho sistema desde el punto de vista educativo y formador permitió que una gran parte del equipo tuviera la experiencia de coordinar un proyecto, multidisciplinar y multienfoque. Tal aproximación se aleja de las estructuras tradicionales de los grupos de investigación buscando un encaje más próximo al desarrollo de productos de ingeniería en el que el trabajo está compartimentalizado.

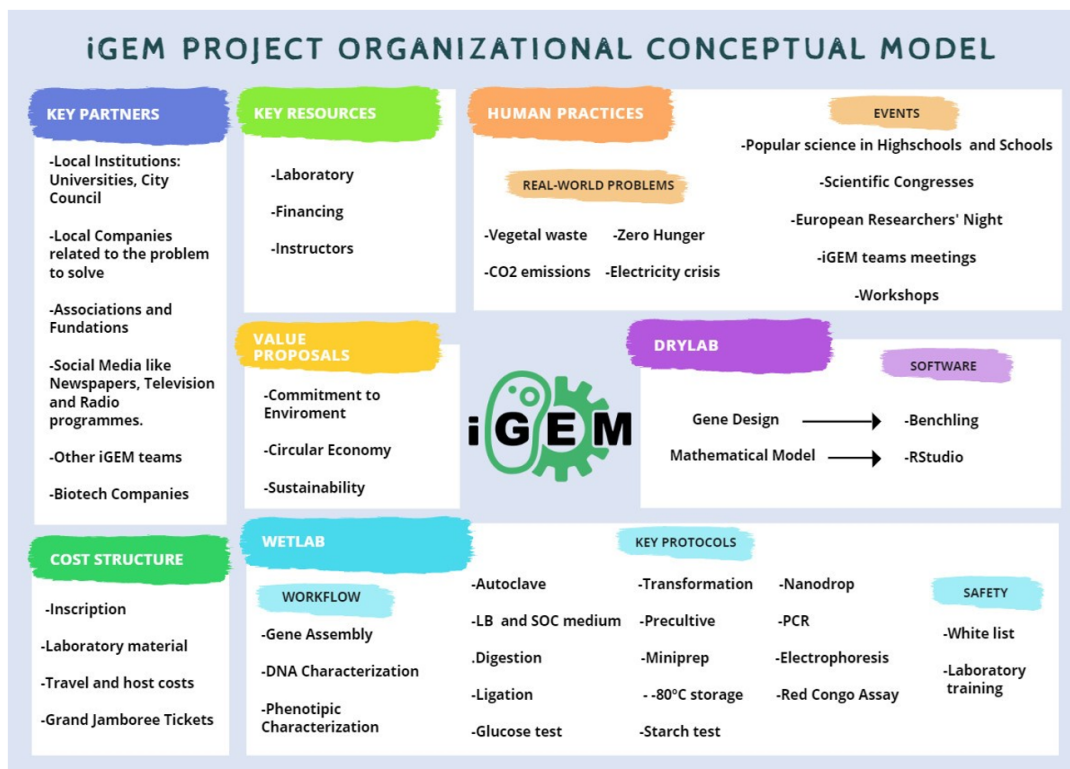


Figura 2. Modelo organizativo y conceptual para desarrollar un equipo coordinado siguiendo las bases de la competición internacional iGEM basado en un modelo Canvas

El modelo de trabajo del equipo: La Jerarquía orgánica

Durante la duración del proyecto, se animó a los miembros a adquirir y perfeccionar habilidades para organizar, dirigir, procesar y ejecutar de forma autónoma las diferentes líneas de trabajo (Hartikainen *et al.*, 2019; Lopera *et al.*, 2022). De un número de unos 20 estudiantes (todo ellos siempre menores de 24 años según la normativa del concurso) de los grados de Bioquímica y Biología principalmente pero también de grados como el de Publicidad y Relaciones Públicas se estableció una estructura de trabajo. El proyecto se estructuró en diferentes módulos según muestra la Figura 2. En él se establecieron grupos de trabajo para abordar cualquier posible problema. Se formaron equipos multidisciplinares tal como sugie-

re para este tipo de metodologías diferentes autores (Hero and Lindfors, 2019; El-Atm, 2023).

Cada grupo de trabajo estuvo compuesto por un número determinado de participantes idealmente 3-4 integrantes, uno de los cuales actúa como jefe de subgrupo y depende directamente de uno de los jefes de equipo generales. Es importante garantizar una cadena de comunicación clara dentro de cada grupo para maximizar la eficacia. Dada la diversidad de grados y horarios, la organización y la comunicación se estructuró en plataformas como la denominada Slack. Este tipo de plataformas permiten la organización por temáticas lo que modulariza la gestión de las tareas. Otras plataformas de gestión de trabajo como Trello fueron testadas. Tanto reuniones presenciales, pero mucho más de carácter telemático permitieron la agilidad de un equipo con grandes restricciones de horarios y tiempo disponible.

Liderazgo rotativo

Como alternativa a la forma convencional y anticuada de organizar los equipos en competición, se llevó a cabo una prueba piloto utilizando un método

de liderazgo rotativo. La implantación de este método pretendía mejorar el rendimiento general y fomentar un entorno de trabajo más colaborativo. Este sistema permitía a todos los miembros del equipo formar parte del equipo de liderazgo, rotando estas dos plazas cada dos meses (Figura 3).

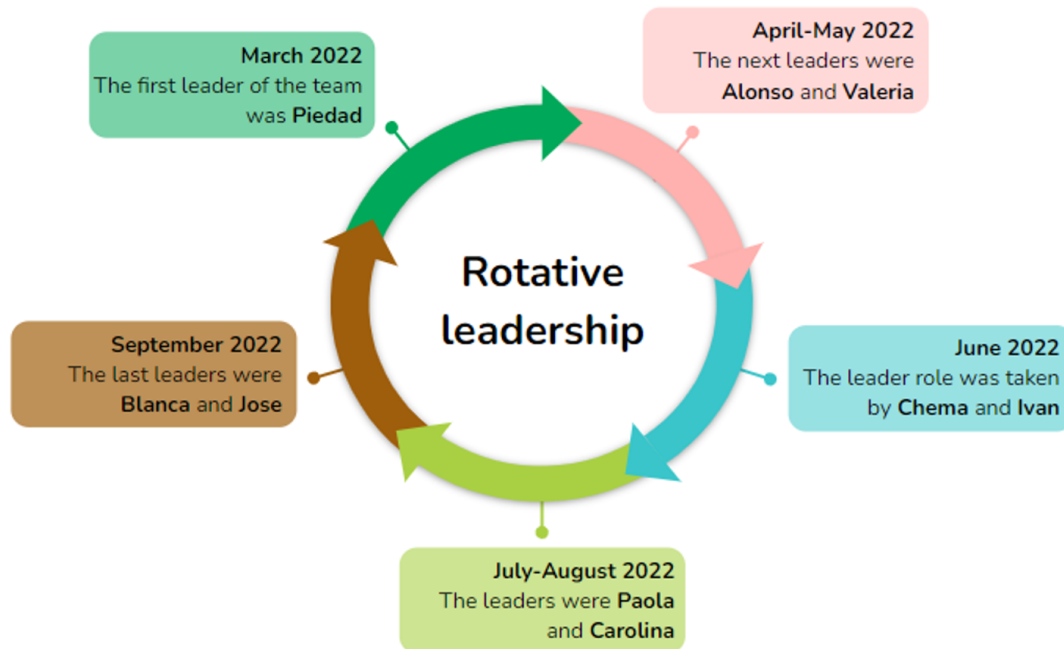


Figura 3. Flujo organizativo y conceptual del sistema de líderes rotativos durante el ciclo de un año de la competición iGEM. Los nombres que aparecen en la figura corresponden a miembros del equipo.

El sistema de organización permitió aumentar la productividad y la eficacia del trabajo, además de mejorar la comunicación entre los miembros del equipo. Los miembros estaban más implicados, lo que permitió la aparición de funciones y subfunciones naturales. Por el contrario, el sistema de liderazgo rotatorio resultó más eficaz que la alternativa, ya que la carga de trabajo se distribuyó a lo largo del tiempo. Los miembros notaron su agotamiento y la abrumadora carga de trabajo hacia el final de su periodo de liderazgo. El cambio de liderazgo fue liberador y mantuvo el trabajo al 100 % mientras una persona con más energía tomaba el relevo.

Resultados del aprendizaje:

El trabajo realizado durante la competición permitió identificar los elementos mencionados acerca del problema de los residuos vegetales. A su vez permitió la interacción con diversos agentes y empresas del sector. Este es un elemento muy relevante, y evaluado en la competición en la obtención de una retroalimentación por parte de quien padece la problemática.

El proyecto permitió enfrentar al equipo de estudiantes en la búsqueda de fuentes de financiación alternativa como fue la generación de una campaña

de crowdfunding. Tal campaña se acompañó de una estrategia en redes sociales de difusión y visibilización del proyecto, creación de la marca y logo y una serie de actividades de divulgación en colegios e institutos para comunicar a los más pequeños la que es la ciencia. La experiencia a su vez permitió que los estudiantes interaccionaran con las administraciones públicas como el ayuntamiento de Málaga que culminó en una celebración en el propio ayuntamiento con la presencia miembros del equipo del rectorado y decanato de la facultad de ciencias.

La participación en la competición fue posible gracias en gran medida a la financiación obtenida de la iniciativa K-project en su cuarta convocatoria. Esta iniciativa es una apuesta de innovación educativa en la que se fomenta el aprendizaje mediante la inmersión de los y las estudiantes en el problema, preferiblemente dentro de una entrono de competición. Este tipo de iniciativas permite dotar al estudiantes de herramientas y habilidades que van más allá de lo que ofrecen los itinerarios académicos oficiales.

El método de organización pareció inicialmente innovador y eficaz. Sin embargo, al principio dio lugar a errores de comunicación, ya que difería de las prácticas convencionales. A lo largo del proyecto, los miembros mejoraron y optimizaron el método, lo que

resultó en una metodología de gestión de proyectos notable. Los estudiantes reconocieron que la carga de trabajo del líder era excesiva, lo que lo hacía inviable durante un tiempo prolongado. Asimismo, la integración de este sistema con el enfoque SCRUM (Morandini *et al.*, 2021; Hron y Obwegeser, 2022) para la gestión de proyectos mejoró significativamente la eficacia organizativa del proyecto.

El proyecto se presentó y defendió en octubre de 2022 en París junto con las universidades más importantes del mundo en una gran celebración en la que participaron más de 5000 participantes y 30 países. En su defensa se cumplieron los objetivos para obtener la denominación de bronce. Su trabajo tuvo una difusión mediática en diferentes medios locales y un valor de aprendizaje incalculable para todos aquellos que participamos en aquella experiencia.

Declaraciones:

Intereses competitivos

Los autores declaran no tener intereses contrapuestos.

Contribuciones de los autores

El modelo de líderes rotativos se implementó gracias a todos los autores y fue supervisado por CRC y MB. AMC redactó el manuscrito, PZH realizó modificaciones y MB lo revisó. Todos los autores han revisado y aprobado el manuscrito final.

Financiación

Este trabajo ha contado con el apoyo de Link by UMA a través del Proyecto K (“iGEM_UMA: The international Genetically Engineered Machine Competition 2022”), iniciativa promovida por el Vicerrectorado de Innovación Social y Emprendimiento de la Universidad de Málaga. Cabe destacar la ayuda del Área de Educación, Juventud y Empleo del Ayuntamiento de Málaga, el Departamento de Biología Molecular y Bioquímica de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Málaga, la Cooperativa Agrícola Andaluza Nuestra Señora del Carmen y Málaga Natural. M.B. cuenta con el apoyo del Ministerio de Ciencia e Innovación (España) a través del “Programa Juan de la Cierva - Incorporación”(IJC2018-037657-I).

Reconocimientos

Queremos dar las gracias a todos los miembros del grupo iGEM_UMA 2022 y a los profesores CRC, MB y ABM, sin cuyo apoyo no hubiéramos podido llevar a cabo el proyecto. A los asesores Dr. Miguel Ángel Medina Torres, Dr. Antonio Heredia Bayona y Dr. Juan Antonio García Ranea. A aquellas empresas de nuestro entorno que nos dieron su apoyo. Por último, a la Fundación iGEM, ya que sin la existencia de su concurso este grupo nunca se hubiera formado.

Bibliografía:

- Abbass, K., Qasim, M. Z., Song, H., Murshed, M., Mahmood, H., & Younis, I. (2022). A review of the global climate change impacts, adaptation, and sustainable mitigation measures. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(28), 42539–42559. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-19718-6>
- Abuajah, C. I., Ogbonna, A. C., Chukeze, E. J., Ikpeme, C. A., & Asogwa, K. K. (2022). A glucose oxidase peroxidase-coupled continuous assay protocol for the determination of cellulase activity in the laboratory: the Abuajah method. *Analytical Biochemistry*, 647, 114649. <https://doi.org/10.1016/j.ab.2022.114649>
- Aggarwal, K., Mijwil, M. M., Al-Mistarehi, A.-H., Alomari, S., Gök, M., Alaabdin, A. M. Z., & Abdurhman, S. H. (2022). Has the future started? The current growth of artificial intelligence, machine learning, and deep learning. *Iraqi Journal for Computer Science and Mathematics*, 3(1), 115–123. <https://doi.org/10.52866/ijcsm.2022.01.01>
- Balyen, L., & Peto, T. (2019). Promising Artificial Intelligence-Machine Learning-Deep Learning Algorithms in Ophthalmology. *Asia-Pacific Journal of Ophthalmology*, 8(3), 264–272. <https://doi.org/10.22608/APO.2018479>
- Benner, S. A., & Sismour, A. M. (2005). Synthetic biology. *Nature Reviews. Genetics*, 6(7), 533–543. <https://doi.org/10.1038/nrg1637>
- Cameron, D. E., Bashor, C. J., & Collins, J. J. (2014). A brief history of synthetic biology. *Nature Reviews. Microbiology*, 12(5), 381–390. <https://doi.org/10.1038/nrmicro3239>
- Campbell-Lendrum, D., & Prüss-Ustün, A. (2019). Climate change, air pollution and noncommunicable diseases. *Bulletin of the World Health Organization*, 97(2), 160–161. <https://doi.org/10.2471/BLT.18.224295>
- Canton, B., Labno, A., & Endy, D. (2008). Refinement and standardization of synthetic biological parts and devices. *Nature Biotechnology*, 26(7), 787–793. <https://doi.org/10.1038/nbt1413>
- D’amato, D., & Korhonen, J. (2021). Integrating the green economy, circular economy and bioeconomy in a strategic sustainability framework. *Ecological Economics*, 188, 107143. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2021.107143>
- de Lorenzo, V., & Schmidt, M. (2018). Biological standards for the Knowledge-Based BioEconomy: What is at stake. *New Biotechnology*, 40(Pt A), 170–180. <https://doi.org/10.1016/j.nbt.2017.05.001>
- Duque-Acevedo, M., Belmonte-Ureña, L. J., Cortés-García, F. J., & Camacho, F. (2020). Agricultural waste: Review of the evolution, approaches and perspectives on alternative uses. *Global Ecology and Conservation*, 22, 1–23. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e00902>

- El-Atm, S. (2023). The future is multidisciplinary: Are you ready? *LSJ: Law Society Journal*, 4, 84–89. <https://search.informit.org/doi/pdf/10.3316/informit.182051408410056>
- Galdzicki, M., Rodriguez, C., Chandran, D., Sauro, H. M., & Gennari, J. H. (2011). Standard biological parts knowledgebase. *PLoS One*, 6(2), e17005. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0017005>
- Gill, H., Ahsan, M., Khalil, Y., Feng, V., Pearce, J., Sharma, T., Radwan, M., Boucinha, A., & Kærn, M. (2022). The BioExperience Research and Entrepreneurship Challenge: An iGEM-inspired applied research program for BIOSTEM talent and skills development. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 10, 1046723. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2022.1046723>
- Gohel, H. R., Contractor, C. N., Ghosh, S. K., & Braganza, V. J. (2014). A comparative study of various staining techniques for determination of extra cellular cellulase activity on Carboxy Methyl Cellulose (CMC) agar plates. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 3(5), 261–266.
- González, C. A., Bonet, C., de Pablo, M., Sanchez, M. J., Salamanca-Fernandez, E., Dorronsoro, M., Amiano, P., Huerta, J. M., Chirlaque, M. D., & Ardanaz, E. (2021). Greenhouse gases emissions from the diet and risk of death and chronic diseases in the EPIC-Spain cohort. *European Journal of Public Health*, 31(1), 130–135. <https://doi.org/10.1093/eurpub/ckaa167>
- Ham, T. S., Dmytriv, Z., Plahar, H., Chen, J., Hillson, N. J., & Keasling, J. D. (2012). Design, implementation and practice of JBEI-ICE: an open source biological part registry platform and tools. *Nucleic Acids Research*, 40(18), e141. <https://doi.org/10.1093/nar/gks531>
- Hartikainen, S., Rintala, H., Pylväs, L., & Nokelainen, P. (2019). The Concept of Active Learning and the Measurement of Learning Outcomes: A Review of Research in Engineering Higher Education. *Education Sciences*, 9(4), 276. <https://doi.org/10.3390/educsci9040276>
- Hero, L. M., & Lindfors, E. (2019). Students' learning experience in a multidisciplinary innovation project. *Education + Training*, 61(4), 500–522. <https://doi.org/10.1108/ET-06-2018-0138>
- Hobbie, S. E., & Grimm, N. B. (2020). Nature-based approaches to managing climate change impacts in cities. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 375(1794), 20190124. <https://doi.org/10.1098/rstb.2019.0124>
- Hron, M., & Obwegeser, N. (2022). Why and how is Scrum being adapted in practice: A systematic review. *Journal of Systems and Software*, 183, 111110. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2021.111110>
- Hsiang, S., Oliva, P., & Walker, R. (2019). The Distribution of Environmental Damages. *Review of Environmental Economics and Policy*, 13(1), 1–165. <https://doi.org/10.1093/reep/rey024>
- Jargin, S. V. (2021). Environmental damage and overpopulation: demographic aspects. *Journal of Environmental Studies*, 7(1), 4.
- Jena, S., & Singh, R. (2022). Agricultural crop waste materials—A potential reservoir of molecules. *Environmental Research*, 206, 112284. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.112284>
- Jiang, J. J., Klein, G., & Chang, J. Y. T. (2019). Teamwork behaviors in implementing enterprise systems with multiple projects: Results from Chinese firms. *The Journal of Systems and Software*, 157, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2019.110392>
- Khan, S. A. R., Umar, M., Asadov, A., Tanveer, M., & Yu, Z. (2022). Technological revolution and circular economy practices: a mechanism of green economy. *Sustainability*, 14(8), 4524. <https://doi.org/10.3390/su14084524>
- Laakso, M., Welling, P., Bukvova, H., Nyman, L., Björk, B. C., & Hedlund, T. (2011). The development of open access journal publishing from 1993 to 2009. *PLoS One*, 6(6), e20961. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0020961>
- Lamb, W. F., Wiedmann, T., Pongratz, J., Andrew, R., Crippa, M., Olivier, J. G., Wiedenhofer, D., Mattioli, G., Al Khouradajie, A., & House, J. (2021). A review of trends and drivers of greenhouse gas emissions by sector from 1990 to 2018. *Environmental Research Letters*, 16(7), 073005. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abee4e>
- Lopera, H. A. C., Gutiérrez-Velásquez, E., & Ballesteros, N. (2022). Bridging the gap between theory and active learning: a case study of project-based learning in introduction to materials science and engineering. *IEEE Revista Iberoamericana de Tecnologías Del Aprendizaje*, 17(2), 160–169. <https://doi.org/10.1109/RITA.2022.3166862>
- Melece, L. (2016). Challenges and opportunities of circular economy and green economy. *Engineering for Rural Development*, 25, 1162–1169.
- Millett, P., Binz, T., Evans, S. W., Kuiken, T., Oye, K., Palmer, M. J., van der Vlugt, C., Yambao, K., & Yu, S. (2019). Developing a Comprehensive, Adaptive, and International Biosafety and Biosecurity Program for Advanced Biotechnology: The iGEM Experience. *Applied Biosafety: Journal of the American Biological Safety Association*, 24(2), 64–71. <https://doi.org/10.1177/1535676019838075>
- Morales, L. G., Savelkoul, N. H., Robaey, Z., Claassens, N. J., Staals, R. H., & Smith, R. W. (2022). Ten simple rules for building an enthusiastic iGEM team. *PLOS Computational Biology*. <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1009916>
- Morandini, M., Coletti, T. A., Oliveira Jr, E., & Corrêa, P. L. P. (2021). Considerations about the efficiency and sufficiency of the utilization of the Scrum methodology: A survey for analyzing results for development teams. *Computer Science Review*, 39, 100314. <https://doi.org/10.1016/j.cosrev.2020.100314>
- Obi, F. O., Ugwuishigu, B. O., & Nwakaire, J. N. (2016). Agricultural waste concept, generation, utilization and management. *Nigerian Journal of Technology*, 35(4), 957–964. <https://doi.org/10.4314/njt.v35i4.34>
- Parmesan, C., Morecroft, M. D., & Trisurat, Y. (2022). *Climate change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability* [Tesis doctoral, GIEC]. <https://hal.science/hal-03774939/document>
- Peccoud, J., Blauvelt, M. F., Cai, Y., Cooper, K. L., Crasta, O., DeLalla, E. C., Evans, C., Folkerts, O., Lyons, B. M., Mane, S. P., Shelton, R., Sweede, M. A., & Waldon, S. A. (2008). Targeted development of registries of biological parts. *PLoS One*, 3(7), e2671. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0002671>
- Petrović, M., & Fiket, Ž. (2022). Environmental damage caused by coal combustion residue disposal: A critical review of risk assessment methodologies. *Chemosphere*, 299, 134410. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.134410>
- Qamari, I. N., Ferdinand, A. T., Dwiatmadja, C., & Yuniawan, A. (2020). Transformative interaction capability: the mediating role between quality of work life and teamwork performance. *International Journal of Quality and Service Sciences*, 12(2), 133–148. <https://doi.org/10.1108/IJQSS-01-2019-0008>

- Rippin, H. L., Cade, J. E., Berrang-Ford, L., Benton, T. G., Hancock, N., & Greenwood, D. C. (2021). Variations in greenhouse gas emissions of individual diets: Associations between the greenhouse gas emissions and nutrient intake in the United Kingdom. *Plos One*, *16*(11), 1–12. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0259418>
- Ritchie, H., & Roser, M. (2023). Sector by sector: where do global greenhouse gas emissions come from? *Our World in Data*. <https://ourworldindata.org/ghg-emissions-by-sector>
- Ritchie, H., Roser, M., & Rosado, P. (2020). CO₂ and greenhouse gas emissions. *Our World in Data*. <https://ourworldindata.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions>
- Severin, A., Egger, M., Eve, M. P., & Hürlimann, D. (2018). Discipline-specific open access publishing practices and barriers to change: an evidence-based review. *F1000Research*, *7*, 1925. <https://doi.org/10.12688/f1000research.17328.2>
- Sims, J. T., & Wolf, D. C. (1994). Poultry Waste Management: Agricultural and Environmental Issues. *Advances in Agronomy*, *52*, 1–83.
- Smith, A. M., & Zeeman, S. C. (2006). Quantification of starch in plant tissues. *Nature Protocols*, *1*(3), 1342–1345. <https://doi.org/10.1038/nprot.2006.232>
- Strode, D., Dingsøyr, T., & Lindsjorn, Y. (2022). A teamwork effectiveness model for agile software development. *Empirical Software Engineering*, *27*(2), 56. <https://doi.org/10.1007/s10664-021-10115-0>
- Suber, P. (2012). *Open Access*. The MIT Press.
- Sultan, A. S., Elgharib, M. A., Tavares, T., Jessri, M., & Basile, J. R. (2020). The use of artificial intelligence, machine learning and deep learning in oncologic histopathology. *Journal of Oral Pathology & Medicine*, *49*(9), 849–856. <https://doi.org/10.1111/jop.13042>
- Tang, T. C., An, B., Huang, Y., Vasikaran, S., Wang, Y., Jiang, X., Lu, T. K., & Zhong, C. (2021). Materials design by synthetic biology. *Nature Reviews Materials*, *6*, 332–350. <https://doi.org/10.1038/s41578-020-00265-w>
- Tian, X., Engel, B. A., Qian, H., Hua, E., Sun, S., & Wang, Y. (2021). Will reaching the maximum achievable yield potential meet future global food demand? *Journal of Cleaner Production*, *294*, 126285. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126285>
- Van Dijk, M., Morley, T., Rau, M. L., & Sanghai, Y. (2021). A meta-analysis of projected global food demand and population at risk of hunger for the period 2010–2050. *Nature Food*, *2*(7), 494–501. <https://doi.org/10.1038/s43016-021-00322-9>
- Warmbrod, K. L., Trotochaud, M., & Gronvall, G. K. (2020). iGEM and the Biotechnology Workforce of the Future. *Health Security*, *18*(4), 303–309. <https://doi.org/10.1089/hs.2020.0017>
- Willinsky, J. (2006). *The Case for Open Access to Research and Scholarship*. The MIT Press.
- Woschank, M., Rauch, E., & Zsifkovits, H. (2020). A review of further directions for artificial intelligence, machine learning, and deep learning in smart logistics. *Sustainability*, *12*(9), 3760. <https://doi.org/10.3390/su12093760>
- Zhao, H., Chang, J., Havlik, P., van Dijk, M., Valin, H., Janssens, C., Ma, L., Bai, Z., Herrero, M., & Smith, P. (2021). The environmental challenge and trade implications of China's future food demand. <https://doi.org/10.22022/ibf/08-2021.126>
-
-