

Interfaz Planta-Computadora

Propuesta de proyecto de servicio social

*Departamento de Matemáticas Aplicadas y Sistemas
División de Ciencias Naturales e Ingeniería
Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Cuajimalpa*

Nombre del proyecto

Apoyo en el desarrollo de una interfaz Planta-Computadora.

Justificación

Este proyecto de servicio social se enmarca dentro del proyecto divisional Interfaz Planta-Computadora, el cual se divide en dos metas relacionadas:

1. Análisis de los patrones de comportamiento de las plantas, en particular, a partir de sus señales eléctricas, para desarrollar sensores biológicos o para controlar dispositivos electrónicos.
2. Estudiar la red de regulación genética para entender las interacciones que rigen los procesos fisiológicos de las plantas, como por ejemplo, su germinación, floración, regeneración o respuestas al estrés.

A continuación se presentará una breve descripción de ambas metas así como la manera en que se relacionan entre sí.

Las plantas son seres vivos capaces de manifestar funciones de cómputo complejas, como el metabolismo, el crecimiento, la autorreproducción y la adaptación a la estimulación externa (ambiental) e interna (fisiológica) [1]. Las plantas responden a alteraciones en el ambiente, particularmente con respecto a la disponibilidad de nutrientes [2, 3], así como a diversos estímulos, incluyendo luz, temperatura, humedad, estrés osmótico, irrigación, gravistimulación, heridas causadas por herbívoros y estimulación mecánica [4, 5, 6, 7, 8].

Internamente la planta realiza mecanismos a nivel molecular para procesar estímulos de entrada y producir la respuesta adecuada. Cabe destacar que estos estímulos están coordinados con la regulación molecular a través de las señales eléctricas, entre otros. Por ejemplo, en organismos vegetales como *Arabidopsis thaliana* se ha observado que ante daño mecánico o por herbívoros, se desencadenan pulsos eléctricos que inducen rápidos cambios en la expresión génica [9, 10]. Las señales eléctricas surgen cerca del sitio del daño y en cuestión de segundos se expanden a los órganos vecinos. Tales cambios son necesarios para que la planta inicie la respuesta sistémica de defensa mediada por

jasmonatos, un tipo de hormona vegetal clave en la interacción planta-herbívoro. Además de esta hormona, se han identificado proteínas similares a receptores de glutamato (GLR, por sus siglas en inglés), que son necesarias para iniciar estos pulsos eléctricos [9]. Tales proteínas GLR parecen tener homólogos en vertebrados, en donde participan en la transmisión sináptica excitatoria, lo cual sugiere que el ancestro de las plantas y los animales ya presentaba moléculas que les permitían responder ante situaciones de alerta [11]. A pesar de estos fundamentales descubrimientos, aún quedan preguntas abiertas sobre la relación existente entre señales eléctricas y hormonales, con otras señales fisiológicas, como la señalización por calcio o por especies reactivas de oxígeno, por ejemplo. Es por ello que el estudio de la regulación genética como intermediaria entre las señales eléctricas y la respuesta sistémica, es fundamental para comprender cómo las plantas emiten una respuesta específica ante un determinado estímulo ambiental. Pese a que la información disponible en organismos vegetales es limitada, con los métodos de aprendizaje automático recientemente implementados en datos genómicos, es posible reconstruir un modelo de la regulación genética complementando la información en plantas con datos disponibles en animales [12].

De cara a este panorama, estamos interesados en explorar dos líneas de investigación entrelazadas. Por un lado, el uso de los patrones de comportamiento de las plantas para desarrollar sensores biológicos o para controlar dispositivos electrónicos. En particular, a partir de las señales eléctricas de las plantas, se pueden generar interfaces electrónicas para utilizar sus capacidades intrínsecas como dispositivos de sensado, es decir biosensores. Estos biosensores pueden detectar, por ejemplo, cambios en un sistema biológico para el monitoreo de electroquímica atmosférica, lluvia ácida, pesticidas, luz y contaminantes [13]. En la misma dirección, las interfaces electrónicas pueden servir para disparar o controlar actuadores [14]. A este tipo de mecanismo le llamamos interfaz planta-computadora. Por otro lado, también queremos descifrar los procesos moleculares que gobiernan los mecanismos de estímulo-respuesta de las plantas. En este caso, conocer la red de regulación genética o parte de ella nos permitirá entender las interacciones que rigen los procesos fisiológicos de las plantas, como por ejemplo, su germinación, floración, regeneración o respuestas al estrés. Actualmente se han reportado varios estudios están enfocados en una sola especie de planta (*Arabidopsis thaliana*) o se concentran en alguno de sus procesos específicos (e.g., floración). En contraste, en este proyecto estamos interesados en ciertas especies (e.g., lavanda) y, principalmente, en los mecanismos de respuesta al estrés abiótico. Estas dos líneas de investigación están estrechamente ligadas. Por un lado, para inferir la red de regulación es necesario usar información disponible en bases de datos de genomas y transcriptomas de plantas (e.g. bases de datos Genome y Gene Expression Omnibus, de NCBI), y sobre todo, necesitamos datos obtenidos al estimular las plantas con las que experimentemos.

En correspondencia, las redes de regulación genética que generemos las podemos aprovechar para desarrollar interfaces planta-computadora de la siguiente manera. Además del comportamiento adquirido de manera empírica, contaremos con indicios de mecanismos estímulo-respuesta equivalentes o incluso nuevos de las plantas. Asimismo, tendremos fundamentos sólidos que expliquen los mecanismos estímulo-respuesta de la planta, lo cual permitirá diseñar interfaces planta-computadora más confiables.

Objetivos

Objetivo General

Que el alumno comprenda los patrones de comportamiento de las plantas en cuanto a los sistemas de procesamiento de información para desarrollar una Interfaz Planta-Computadora.

Objetivos Específicos

1. Desarrollar sistemas para estimular a las plantas con el objetivo de disparar sus comportamientos inherentes.
2. Desarrollar sistemas para utilizar a las plantas como sensores.
3. Desarrollar sistemas para adquirir y analizar y detectar los potenciales bioeléctricos generados por una planta.
4. Desarrollar herramientas bioinformáticas para identificar perfiles de expresión génica asociados a las señales eléctricas en plantas.
5. Inferir una red de regulación genética con los perfiles de expresión, para entender el mecanismo molecular que permite coordinar un pulso eléctrico con una respuesta sistémica en la planta.
6. Con ayuda de la red de regulación genética, determinar el tipo de señal eléctrica requerido para que la planta emita una respuesta específica.

Tipo de proyecto

Multidisciplinario.

Alcance del proyecto

Local.

Antecedentes en el Consejo Divisional

Este proyecto de servicio social está asociado al Proyecto Divisional titulado “Interfaces Planta-Computadora”, el cual fue aprobado en la Sesión DCNI.CD.62.20 del Consejo Académico, bajo el Acuerdo DCNI-07-189-20 con fecha 29 de junio del 2020 por un año.

Responsables del proyecto de servicio social

Dra. Alicia Montserrat Alvarado González Profesora visitante adscrita al Departamento de Matemáticas Aplicadas y Sistemas. Actualmente asesora los siguientes proyectos terminales en la UAM-Cuajimalpa:

- *Control de un brazo robótico.* Proyecto terminal de la alumna María de Jesús Sánchez Zepeda (Ingeniería en Computación). Codirección: Dr. Carlos Rivero.
- *Simulador de una mano robótica.* Proyecto terminal de la alumna Ana Paula Trujillo Hernández (Ingeniería en Computación). Codirección: Dr. Roberto Bernal.
- *Interfaz Planta-Robot.* Proyecto terminal del alumno Edwin Bryan Salas López (Ingeniería en Computación). Codirección: Dr. Juan Manuel Romero Sanpedro.
- *Diseño de enjambres de robots miniatura para realizar tareas colectivas usando programación genética.* Proyecto terminal del alumno José Masri (Ingeniería en Computación). Codirección: Dr. Antonio López Jaimes.

Dr. Juan Manuel Romero Sanpedro Profesor investigador Asociado adscrito al Departamento de Matemáticas Aplicadas y Sistemas.

- *Interfaz Planta-Robot*. Proyecto terminal del alumno Edwin Bryan Salas López (Ingeniería en Computación). Codirección: Dra. Alicia Montserrat Alvarado González.

Etapas y cronograma del proyecto

A continuación se muestra una lista de actividades a llevar a cabo durante el proyecto en un periodo de un año.

	1	2	3	4	5	6
Alumno 1						
Desarrollar sistemas para estimular a las plantas con el objetivo de disparar sus comportamientos inherentes.						
Desarrollar sistemas para utilizar a las plantas como sensores.						
Desarrollar sistemas para adquirir y analizar la señal eléctrica de las plantas.						
Generar documentación						
Alumno 2						
Desarrollo de la interfaz que le permita al usuario indicar la página web de donde se debería extraer la información.						
Desarrollo del sistema para extraer datos automáticamente de las tablas HTML de las páginas Web indicadas en la interfaz.						
Generación de la base de datos.						
Desarrollo de un programa para visualizar gráficamente los resultados del análisis.						
Generar documentación.						
Alumno 3						
Consulta de artículos y bases de datos para recopilar datos de expresión asociados a diferentes estímulos ambientales en organismos vegetales.						
Integrar información sobre estímulos ambientales, señales eléctricas y perfiles de expresión en una base de datos.						
Obtener secuencias promotoras de los genes cuya expresión cambia cuando la planta es sometida a un estímulo ambiental.						
Colaborar en el desarrollo o adecuación de un algoritmo para identificar sitios de unión de los factores de transcripción en las regiones promotoras de los genes regulados.						

Vigencia del proyecto

La vigencia del proyecto es de un año. No es necesario que las actividades de los alumnos se hagan en paralelo.

Recursos necesarios para la ejecución del proyecto

El desarrollo del hardware podrá llevarse a cabo en el Laboratorio de Innovación Tecnológica, ubicado en el primer piso del estacionamiento de la Unidad. Por otro lado, el equipo con el que se cuenta es el siguiente:

- Clúster de computadoras del DMAS para ejecutar programas en paralelo.

- Una estación de trabajo con 16 núcleos.
- Equipo de cómputo de 7 núcleos.
- Sensor de Humedad YL-69 3.3V
- 2 Módulos YL-38
- 5 Arduino Uno
- 5 ADS1115 Convertidor Analógico/Digital de 4 entradas y 16 bits
- Gel para electrocardiograma
- Sensor FC-37: detector de lluvia
- Bomba de agua de 9v
- Electrodo de oro
- 5 protoboards
- 1 cautín
- 1 nodo sensor para la detección de COVs, CO y CO2

Número de alumnos requeridos

Se requieren tres alumnos de la licenciatura de Ingeniería en Computación, o uno de la Licenciatura en Biología Molecular y dos de Ingeniería en Computación.

Descripción de actividades por parte del alumno

Cada etapa descrita anteriormente se llevará a cabo por un alumno de forma independiente, sin embargo, algunas actividades se llevarán a cabo de manera paralela. Las actividades son las siguientes:

Alumno 1

Los circuitos y el software que serán implementados por este alumno fueron desarrollados por otros grupos de investigación y están documentados y disponibles para su reproducción.

- Auxiliar en el desarrollo de un circuito de bajo costo para estimular a la planta eléctricamente.
- Ayudar en el desarrollo de un circuito de bajo costo para la detección de señales eléctricas de las plantas.
- Apoyar en la construcción de un sistema de riego automático.
- Apoyar en la generación de la documentación y los manuales correspondientes a la construcción de los circuitos.

Alumno 2

Es importante mencionar que no se tiene trabajo previo del software que será desarrollado por el alumno.

- Apoyar en el desarrollo de una interfaz que le permita al usuario indicar la página web de donde se deberá extraer la información, así como el tipo de búsqueda que requiera.
- Ayudar en el desarrollo de un sistema que permita extraer datos automáticamente de las tablas HTML de las páginas Web indicadas en la interfaz.
- Auxiliar en la generación de una base de datos para almacenar los datos extraídos.

- Ayudar en el desarrollo de un programa que permita visualizar en forma gráfica los resultados obtenidos en el análisis.
- Generar la documentación y los manuales correspondientes al desarrollo del software.

Alumno 3

- Colaborar en la consulta de artículos y bases de datos para recopilar datos de expresión asociados a diferentes estímulos ambientales (daño mecánico o herbivoría) en organismos vegetales (e.g. *Arabidopsis*, jitomate, haba, cebada).
- Ayudar en la integración de la información sobre estímulos ambientales, señales eléctricas y perfiles de expresión en una base de datos.
- Apoyar en la obtención de secuencias promotoras de los genes cuya expresión cambia cuando la planta es sometida a un estímulo ambiental.
- Colaborar en el desarrollo o adecuación de un algoritmo para identificar sitios de unión de los factores de transcripción en las regiones promotoras de los genes regulados.

Apoyo para los alumnos

Los alumnos recibirán cursos para el entendimiento de las señales eléctricas de las plantas y de su fisiología. Además de capacitación para el uso del software y hardware requerido para la adquisición de señales eléctricas de las plantas.

Lugar y horario

Los alumnos podrán llevar a cabo estas actividades en sus domicilios por seguridad, y reportar avances por videoconferencia. Cuando las condiciones se presten para una actividad presencial, el proyecto se llevará a cabo en el Laboratorio (Interdivisional) de Innovación Tecnológica ubicado en la UAM Cuajimalpa en el horario que mejor convenga a los estudiantes, previo acuerdo con el responsable del proyecto.

Criterios de evaluación

Con el fin de evaluar este proyecto, se tienen contemplados los siguientes criterios:

- Bitácora de actividades. Cada viernes se registrarán las actividades realizadas por el alumno durante la semana.
- Informe trimestral. Contendrá el avance del proyecto en los primeros tres meses.
- Informe final de servicio social. Incluirá toda la documentación generada durante el desarrollo del proyecto.

Referencias

- [1] S. Nichele, S. Risi, G. Tufte, and L. Beloff, "Towards a plant biomachine," in 2017 IEEE Symposium Series on Computational Intelligence (SSCI), pp. 1–8, IEEE, 2017.
- [2] H. Reynolds and C. D'antonio, "The ecological significance of plasticity in root weight ratio in response to nitrogen: opinion," *Plant and soil*, vol. 185, no. 1, pp. 75–97, 1996.

- [3] J. Roy, Response of plants to multiple stresses. Academic Press, 2012.
- [4] E. Hartmann, "Influence of light on the bioelectric potential of the bean (*Phaseolus vulgaris*) hypocotyl hook," *Physiologia Plantarum*, vol. 33, no. 4, pp. 266–275, 1975.
- [5] K. Imagawa, K. Toko, S. Ezaki, K. Hayashi, and K. Yamafuji, "Electrical potentials during gravitropism in bean epicotyls," *Plant physiology*, vol. 97, no. 1, pp. 193–196, 1991.
- [6] B. Stankovic and E. Davies, "Intercellular communication in plants: electrical stimulation of proteinase inhibitor gene expression in tomato," *Planta*, vol. 202, no. 4, pp. 402–406, 1997.
- [7] H. Ishikawa, S. Abou, E. Ohta, and M. Sakata, "Effects of periodic and transient-osmotic stress on electric potentials in bean roots," *Plant and cell physiology*, vol. 24, no. 6, pp. 1129–1135, 1983.
- [8] K. Kalovrektis, C. Lykas, and E. Fountas, "Identification of high salinity stress in ornamental plant by biosignal process," in 4th Balkan Conference in Informatics, Thessaloniki, GREECE, September 17th-19th, 2009.
- [9] S. A. Mousavi, A. Chauvin, F. Pascaud, S. Kellenberger, and E. E. Farmer, "Glutamate receptor-like genes mediate leaf-to-leaf wound signalling," *Nature*, vol. 500, no. 7463, pp. 422–426, 2013.
- [10] A. Kurenda, C. T. Nguyen, A. Chételat, S. Stolz, and E. E. Farmer, "Insect-damaged arabidopsis moves like wounded mimosa pudica," *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 116, no. 51, pp. 26066–26071, 2019.
- [11] A. Christmann and E. Grill, "Plant biology: electric defence," *Nature*, vol. 500, no. 7463, pp. 404–405, 2013.
- [12] G. Eraslan, Ž. Avsec, J. Gagneur, and F. J. Theis, "Deep learning: new computational modelling techniques for genomics," *Nature Reviews Genetics*, vol. 20, no. 7, pp. 389–403, 2019.
- [13] A. G. Volkov and D. R. A. Ranatunga, "Plants as environmental biosensors," *Plant signaling & behavior*, vol. 1, no. 3, pp. 105–115, 2006.
- [14] A. G. Volkov, "Biosensors, memristors and actuators in electrical networks of plants," *International Journal of Parallel, Emergent and Distributed Systems*, vol. 32, no. 1, pp. 44–55, 2017.
- [15] F. Andrés and G. Coupland, "The genetic basis of flowering responses to seasonal cues," *Nature reviews. Genetics*, vol. 13, pp. 627–39, 08 2012.
- [16] C. R. Wils and K. Kaufmann, "Gene-regulatory networks controlling inflorescence and flower development in arabidopsis thaliana," *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Gene Regulatory Mechanisms*, vol. 1860, no. 1, pp. 95 – 105, 2017. *Plant Gene Regulatory Mechanisms and Networks*.
- [17] N. J. Provart, J. Alonso, S. M. Assmann, D. Bergmann, S. M. Brady, J. Brkljacic, J. Browse, C. Chapple, V. Colot, S. Cutler, J. Dangel, D. Ehrhardt, J. D. Friesner, W. B. Frommer, E. Grotewold, E. Meyerowitz, J. Nemhauser, M. Nordborg, C. Pikaard, J. Shanklin, C. Somerville, M. Stitt, K. U. Torii, J. Waese, D. Wagner, and P. McCourt, "50 years of arabidopsis research: highlights and future directions," *New Phytologist*, vol. 209, no. 3, pp. 921–944, 2015.

Atentamente, los responsables:




Dra. Alicia Montserrat Alvarado González

Dr. Juan Manuel Romero Sanpedro

Depto. de Matemáticas Aplicadas y Sistemas (DMAS)

División de Ciencias Naturales e Ingeniería

Universidad Autónoma Metropolitana (UAM)

Unidad Cuajimalpa

Vo. Bo. Dr. Julián Fresán Figueroa, Jefe del DMAS