

Modelado del Physarum Polycephalum con autómatas celulares para el enrutado de robots mensajeros

Trabajo Terminal No. ———-———

Alumnos: *Martínez Coronel Brayan Yosafat, Sánchez Méndez Edmundo Josué, Ramírez Olvera Guillermo

Directores: Juárez Martínez Genaro, Oliva Moreno Luz Noé

*e-mail: yosafat_martinez21@hotmail.com

Resumen – El trabajo terminal propone usar el modelado de redes inspirado en el organismo (bacteria) conocido como “Physarum Polycephalum” (bio algoritmos). Para que trabaje como un proveedor de rutas dinámicas, que además puede ser utilizado en un robot mensajero con el fin de mover paquetes entre dos puntos, una aplicación esperada será utilizarlo en el edificio de gobierno de la Escuela Superior de Cómputo del Instituto Politécnico Nacional. A través de esta investigación se plantea un avance en el marco teórico sobre las aplicaciones del modelado del Physarum Polycephalum en sistemas de tiempo real utilizando funciones con relación isotrópica con un modelo basado en autómatas celulares de dos dimensiones.

Palabras clave – Academia de Ciencias de la Computación, Autómatas celulares, Instrumentación, Sistemas Digitales.

1. Introducción

El Physarum Polycephalum ha sido motivo de estudio en diversas investigaciones, por su parte, la comunidad científica se pregunta cómo es que un organismo unicelular gigante puede realizar tareas consideradas complejas en el ramo de la computación, dado su gran tamaño, la complejidad de su flujo interno y su comportamiento motor-sensorial, el mayor de los intereses se haya en sus propiedades computacionales complejas que exhibe en su forrajeo, crecimiento y adaptación. Este organismo no solo encuentra rutas óptimas en los tres procesos mencionados, sino que también lo hace encontrando su comida y evadiendo peligros para su supervivencia [1].

Diversas investigaciones han utilizado al Physarum para encontrar rutas de cómo se mueven poblaciones por sus vías del país [2], por ejemplo, de ciudades grandes de África, Australia, Bélgica, Brasil, Canadá, China, Alemania, Iberia, Italia, Malasia, México, Reino Unido, Países bajos [3], o para ver las rutas de migración en Estados Unidos [4]. Ambos manejan un simulado con objetos tangibles, es decir, imprimen un mapa a escala de la zona de estudio o tienen papel con la forma de la región, ponen el organismo en los puntos donde se conoce que comienzan la distribución, por ejemplo, en la fronte con México y esperan a que cubra la superficie aproximadamente 5 días. Ambas investigaciones han arrojado resultados esperados con respecto a la realidad. Por ejemplo, en [4] los autores notan que en Chicago se forma un punto más aglomerado que el resto, haciendo que concuerde con lo que pasa actualmente.

El presente trabajo tiene como principal objetivo modelar el comportamiento del Physarum Polycephalum con autómatas celulares con la finalidad de explorar su uso como proveedor de rutas a un robot mensajero, la expansión de nuestro conocimiento acerca de nuestros intentos por imitar la naturaleza, y en especial a este organismo, son motivo suficiente para calificar de relevante en el marco actual, considerando que pertenecemos a una institución donde predominan las ciencias exactas, y para ser concretos, una rama de las ciencias de la computación, en este caso, la computación no convencional.

Un trabajo desde el que podemos tomar una base sólida, lo podemos encontrar en la tesis de nuestro compañero Edgar Marín, Modelado del Physarum Polycephalum implementado en robot basado en autómatas celulares [5], donde podemos encontrar un acercamiento al modelado que deseamos, sin embargo, cabe resaltar que la configuración que usa está planeada para espacios muy ideales y el robot solo fue probado en espacios considerablemente más pequeños que el que se pretende abarcar en este trabajo terminal. Resulta conveniente analizar a fondo las diferencias existentes entre lo que se pretende con nuestro trabajo y lo que se realizó. Además de, denotar las partes que nos resultan útiles.

Aspecto	Tesis realizada	Trabajo actual
Zona de pruebas	Se realizan mapas de aproximadamente medio metro por lado, el robot nunca sale y todos los caminos son muy cuadrados.	Se propone usar un espacio mucho más grande, tan solo el segundo piso del edificio de gobierno podría considerarse grande.
Hardware en el robot	Se utilizó el microcontrolador MSP430G2 de Texas Instruments.	Se pretende utilizar una tarjeta Raspberry Pi 4, esta es considerada un SoC (System on Chip) lo que lo

		convierte en un sistema embebido [6].
Diseño del robot	El robot mide aproximadamente 15 centímetros de lado.	El diseño del robot debe medir medio metro de lado y 30 de ancho.
Técnicas de envío	Para enviar la ruta, se utiliza un módulo de Bluetooth.	Se pretende que se pueda calcular desde la Raspberry o mediante un envío de internet,
Paredes del ambiente	Como se diseñaron los mapas, las paredes no presentan porosidad, lo cual es importante, porque los sensores que usa no funcionarían con algunas paredes del edificio.	En el diseño del robot debemos implementar más sensores y de diferente propósito para poder determinar si hay una pared o algún obstáculo en frente o no.
Vecindad en el autómata	Como los mapas en los que se definió probar el robot eran muy cuadrados, se usó la vecindad Neumann.	Como necesitamos más control del espacio, pretendemos utilizar la vecindad de Moore.

Tabla 1. Comparativa de trabajo realizado por Yair y objetivos del nuestro. Elaboración propia.

Las diferencias son bastante notables cuando se contrastan ambos trabajos en la tabla, sin embargo, podemos apoyarnos de su investigación en la parte del modelado del organismo, ya que se basa en el trabajo de Jones [1], el número de estados también nos resulta útil, aunque está escrito en C++, un lenguaje al que ninguno de nosotros está acostumbrado. Podría decirse que es una extensión parcial sobre el trabajo ya existente, muchas partes acerca del robot no nos funcionarían, pero en la parte del modelado podemos guiarnos en cómo lo hace. Sin embargo, en términos de uso en el edificio de gobierno, tenemos muchos retos muy distintos a los que se enfrentó nuestro compañero.

2. Objetivo

Modelar el comportamiento del organismo *Physarum Polycephalum* usando autómatas celulares para otorgar rutas alternas a un robot mensajero dentro del edificio de gobierno de la Escuela Superior de Cómputo del Instituto Politécnico Nacional; con la finalidad de enviar paquetes menores a 5 kilogramos entre las personas que laboran en ese edificio.

Objetivos específicos:

- Explorar las configuraciones del autómata celular en su forma bidimensional del *Physarum Polycephalum*.
- Diseñar un robot que pueda mover paquetes menores a 5 kilogramos entre dos puntos.
- Enviar paquetes en el edificio de gobierno de la Escuela Superior de Cómputo del Instituto Politécnico Nacional usando el robot desarrollado.

3. Justificación

El modelado de la naturaleza es históricamente antiguo a la par que interesante, partamos del punto de si se trata de ciencia o ingeniería: un científico se guía por la curiosidad y un ingeniero por la necesidad, el primero preguntaría cómo se formó un valle y el segundo cómo cruzarlo. Algo que crea la ingeniería es propenso a que exista algo mejor, una ley que describe la ciencia es más seguro a que perdure mucho más. En perspectiva, un algoritmo resulta caer en la primera categoría (puede existir uno mejor), sin embargo, en este caso es creado por la curiosidad más que la necesidad. Y si lo analizamos, es natural el uso de algoritmos, pues tienen un lenguaje rico y expresivo: el nuestro. Una hoja, por ejemplo, se maneja por el 'software' de la naturaleza, por ello profesionales de la computación observan a la naturaleza como algo complejo y cada vez menos ajeno a su área de estudio. El motivo recae en que, si se logra modelar un organismo, se obtienen ciertas ventajas del organismo, y se sabe, que el *Physarum* es muy bueno obteniendo rutas, de ahí la importancia de específicamente modelarlo y determinar qué tan bueno es el modelo para otorgar rutas [7].

El presente trabajo pretende ser un pequeño bloque en la aportación de aplicaciones conocidas del modelado del Physarum Polycephalum mediante autómatas celulares, sin embargo, resulta importante realizar una aportación, que, aunque, pequeña, pueda resultar útil en futuras investigaciones, en alcances más grandes, como lo podría ser considerar un espacio tridimensional, e incluso en otras escuelas. Creemos que tenemos un compromiso con la sociedad por todas las cosas que nos ha brindado en nuestra educación, por lo que decidimos tomar esta ruta de investigación del cómputo no convencional con autómatas celulares para agradecer por todas las oportunidades que nos ha dado nuestra alma máter.

Seguramente existirá una amplia variedad en las aplicaciones del modelado del organismo, sin embargo, en lo que concierne a este trabajo solo se enfocará en determinar qué tanto aporta como proveedor de rutas alternas al robot mensajero en el envío de mensajes en el edificio de gobierno de la Escuela Superior de Cómputo del Instituto Politécnico Nacional. No es la primera investigación sobre esta línea en nuestra institución, por lo que es nuestra obligación preservar la calidad y la aportación que realizamos en los diferentes niveles de tesis de investigación, ya que, como sabemos, existe un gran reconocimiento a nivel internacional y nacional.

Lo propuesto en este trabajo puede separarse en dos partes, que dan paso a una tercera parte para unir ambos. Resulta conveniente denotar desde ahora, que sería beneficioso combinar metodologías para su desarrollo: diseño del robot y modelado por autómatas celulares del Physarum Polycephalum. Ambas dan lugar a la última parte: comunicación entre el robot y el modelo para el envío de paquetes.

4. Productos o Resultados esperados

En la figura 1 se muestra un esbozo del funcionamiento general del producto esperado, la iconografía es solo con fines ilustrativos, además de que está simplificado con fines de entendimiento:

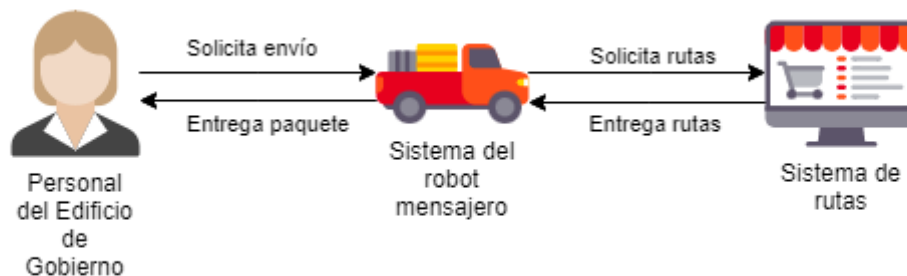


Figura 1. Arquitectura del sistema. Elaboración propia.

Productos esperados:

- El código fuente del autómata celular.
- Prototipo del sistema.
- Manuales de uso.

En este punto, cabe resaltar que por manuales de uso será para el robot y el modelado.

5. Metodología

Retomando lo comentado en la justificación, el hecho de tener, por un lado, un desarrollo de software, y, por el otro, un desarrollo de hardware nos orilla a afrontar una situación peculiar, ya que, hasta cierto punto son independientes, que serían las dos partes comentadas: modelado por autómatas celulares y diseño del robot mensajero. Una vez que estén en un punto donde podría decirse que funcionan, entonces se pasa a la última parte: comunicación entre el robot y el modelo para el envío de paquetes. Afortunadamente, en el área de diseño de sistemas digitales se nos enseña la metodología de V en el diseño de sistemas embebidos [8].

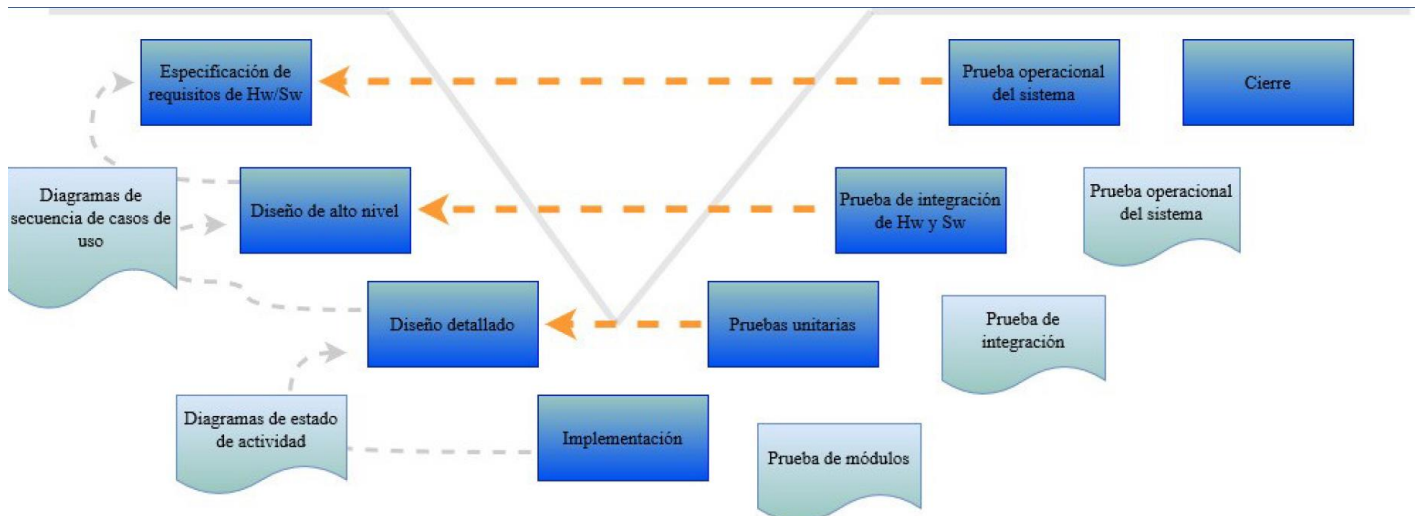


Figura 2. Metodología en V [7].

Observemos que, existe una validación y una verificación en este modelo, además de que permite el retroceso de fases para la corrección de requerimientos o, en su caso, adición o eliminación de estos. Este acercamiento resulta muy útil ya que esperamos afrontar diversos problemas que durante pandemia no podríamos localizar, por lo que debemos estar abiertos a los cambios en cualquiera de las fases del diseño del software. Este modelo, que originalmente está basado en el modelo de cascada, pero que pretende integrar aseguramiento de calidad con la parte derecha de la V [9].

Esto resulta útil, ya que la validación se asegura de que el sistema se comporte a las necesidades del ambiente, es decir, responde a la pregunta ¿estamos construyendo el sistema correcto?, mientras que la verificación se asegura de que la salida de la fase de desarrollo sea conforme a la especificación prevista como entrada de la V, en otras palabras, responde a la pregunta de ¿está construido bien el sistema? [9]. Sin embargo, el hecho de tener un sistema embebido nos hace tomar una búsqueda más amplia sobre las herramientas que podemos usar durante la fase de requerimientos, una buena herramienta se encuentra en el modelado de procesos de un sistema embebido que propone el pionero en Ingeniería de Software, Ian Sommerville en su libro [10], ya que dedica especialmente un capítulo a ello.

Por otra parte, queremos un modelado del organismo lo más pronto posible con el fin de poder atender a la mayor cantidad de cambios una vez que el ambiente de trabajo deje de ser remoto, es decir, requerimos de un proveedor de rutas lo más rápido posible, e irlo mejorando conforme a las necesidades y requerimientos que nos encontremos en el camino. Para esto resulta útil utilizar una metodología enfocada en prototipos para el software. Esto permite un enfoque evolutivo, un modelo que se itera con el tiempo y nos permite desarrollar prototipos cada vez más completos y complejos, hasta llegar al objetivo deseado [11].

6. Cronograma

A continuación, se presentan los cronogramas de actividades, uno por cada integrante y uno general.

Cronograma General

TT No.:

Título del TT: Modelado del Physarum Polycephalum con autómatas celulares para el enrutado de robots mensajeros.

ID	Actividad	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
P1	Prototipo Modelo del Physarum Polycephalum												
1	Diseño y análisis de requerimientos												
2	Desarrollo de requerimientos												
3	Pruebas												
4	Correcciones												
P2	Prototipo 1: robot viajero en espacio abierto												
5	Especificación de requerimientos												
6	Diseños: alto y bajo nivel												
7	Integración con el modelo del Physarum												
8	Implementación del prototipo actual												
9	Pruebas unitarias												
10	Pruebas del robot en ESCOM												
11	Recolección de nuevos requerimientos y corrección de antiguos requerimientos												
12	Evaluación del trabajo terminal I												
P3	Prototipo de interfaz entre usuario - robot												
13	Análisis y diseño de requerimientos												
14	Desarrollo de infraestructura												
15	Pruebas												
16	Correcciones												
P4	Prototipo 2: robot viajero entre oficinas												
17	Especificación de requerimientos												
18	Diseños: alto y bajo nivel												
19	Integración con el modelo del Physarum												
20	Implementación del prototipo actual												
21	Pruebas unitarias												
22	Pruebas del robot en ESCOM												
23	Recolección de nuevos requerimientos y corrección de antiguos requerimientos												
P5	Prototipo 3: robot mensajero entre oficinas												
24	Especificación de requerimientos												
25	Diseños: alto y bajo nivel												
26	Integración con la interfaz												
27	Pruebas unitarias												
28	Pruebas del robot en ESCOM												
29	Correcciones												

P6	Interfaz entre usuario - robot												
30	Análisis y diseño de requerimientos												
31	Integración con el robot												
32	Pruebas												
33	Correcciones												
34	Evaluación del TT II												
	Actividades Persistentes												
35	Generación del manual de usuario												
36	Generación del reporte técnico												

Martínez Coronel Brayan Yosafat

TT No.:

Título del TT: Modelado del Physarum Polycephalum con autómatas celulares para el enrutado de robots mensajeros.

ID	Actividad	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
P1	Prototipo Modelo del Physarum Polycephalum												
1	Diseño y análisis de requerimientos												
2	Desarrollo de requerimientos												
P2	Prototipo 1: robot viajero en espacio abierto												
5	Especificación de requerimientos												
6	Diseños: alto y bajo nivel												
11	Recolección de nuevos requerimientos y corrección de antiguos requerimientos												
12	Evaluación del trabajo terminal I												
P3	Prototipo de interfaz entre usuario - robot												
13	Análisis y diseño de requerimientos												
14	Desarrollo de infraestructura												
15	Pruebas												
16	Correcciones												
P4	Prototipo 2: robot viajero entre oficinas												
17	Especificación de requerimientos												
18	Diseños: alto y bajo nivel												
P5	Prototipo 3: robot mensajero entre oficinas												
24	Especificación de requerimientos												
25	Diseños: alto y bajo nivel												
P6	Interfaz entre usuario - robot												
30	Análisis y diseño de requerimientos												
32	Pruebas												
33	Correcciones												
34	Evaluación del TT II												
	Actividades Persistentes												
35	Generación del manual de usuario												
36	Generación del reporte técnico												

Ramírez Olvera Guillermo

TT No.:

Título del TT: Modelado del Physarum Polycephalum con autómatas celulares para el enrutado de robots mensajeros.

ID	Actividad	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
P1	Prototipo Modelo del Physarum Polycephalum												
3	Pruebas												
4	Correcciones												
P2	Prototipo 1: robot viajero en espacio abierto												
5	Especificación de requerimientos												
6	Diseños: alto y bajo nivel												
7	Integración con el modelo del Physarum												
10	Pruebas del robot en ESCOM												
12	Evaluación del trabajo terminal I												
P4	Prototipo 2: robot viajero entre oficinas												
19	Integración con el modelo del Physarum												
22	Pruebas del robot en ESCOM												
P5	Prototipo 3: robot mensajero entre oficinas												
24	Especificación de requerimientos												
25	Diseños: alto y bajo nivel												
28	Pruebas del robot en ESCOM												
29	Correcciones												
34	Evaluación del TT II												
	Actividades Persistentes												
35	Generación del manual de usuario												
36	Generación del reporte técnico												

Sánchez Méndez Edmundo Josué

TT No.:

Título del TT: Modelado del Physarum Polycephalum con autómatas celulares para el enrutado de robots mensajeros.

ID	Actividad	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
P1	Prototipo Modelo del Physarum Polycephalum												
3	Pruebas												
4	Correcciones												
P2	Prototipo 1: robot viajero en espacio abierto												
5	Especificación de requerimientos												
6	Diseños: alto y bajo nivel												
8	Implementación del prototipo actual												
9	Pruebas unitarias												
11	Recolección de nuevos requerimientos y corrección de antiguos requerimientos												
12	Evaluación del trabajo terminal I												
P4	Prototipo 2: robot viajero entre oficinas												
17	Especificación de requerimientos												
18	Diseños: alto y bajo nivel												
20	Implementación del prototipo actual												
21	Pruebas unitarias												
23	Recolección de nuevos requerimientos y corrección de antiguos requerimientos												
P5	Prototipo 3: robot mensajero entre oficinas												
24	Especificación de requerimientos												
25	Diseños: alto y bajo nivel												
26	Integración con la interfaz												
27	Pruebas unitarias												
28	Pruebas del robot en ESCOM												
29	Correcciones												
34	Evaluación del TT II												
	Actividades Persistentes												
35	Generación del manual de usuario												
36	Generación del reporte técnico												

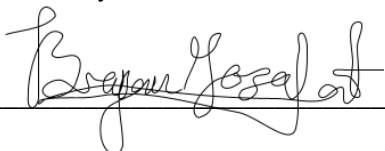
7. Referencias

- [1] J. Jones, "Introduction and Overview" in *From Pattern Formation to Material Computation*. Switzerland: Springer International Publishing, UK, 2015.
- [2] A. Adamatzky, G. J. Martínez, S. V. Chapa-Vergara, *et al.* (2011) *Approximating Mexican highways with slime mould*. [Online] Available: <https://doi.org/10.1007/s11047-011-9255-z>
- [3] A. Adamatzky, (2012) *Bioevaluation of World Transport Networks*. [Online] Available: <https://doi.org/10.1142/8482>
- [4] A. Adamatzky, G. J. Martínez "Recolonisation of USA: Slime Mould on 3D Terrains" in *Advances in Physarum Machines*. Switzerland: Springer International Publishing, UK, 2016.
- [5] E. Y. Marín Alavez, "Modelado del Physarum Polycephalum implementado en robot basado en autómatas celulares." B.S. Thesis, Escuela Superior de Cómputo, IPN, México, MX, 2018. [Online] Available: https://www.comunidad.escom.ipn.mx/genaro/Papers/Thesis_files/ThesisYairMarinAlavez2018.pdf
- [6] Raspberry Pi Foundation. Raspberry Pi 4 Tech Specs. [Online] Available: <https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-4-model-b/specifications/?fbclid=IwAR2pdO9mOOpr-JcnrywfBC-4gqGrXSk2Lqx67W110eTfdNcs1LkWy9NYUJk>
- [7] B. Chazellie, (2012) *Natural Algorithms and Influence Systems*. ACM. Vol. 55, pp 101-110. [Online] Available: <https://doi.org/10.1145/2380656.2380679>
- [8] V. H. García Ortega. Class Lecture, Topic: "Sistemas Embebidos: Tecnologías y Aplicaciones." ESCOM, IPN, 2021.
- [9] A. Mitschele-Thiel, D. Wuttke. *Digital Systems Design*. DesIRE. [Online] Available: <https://ec.europa.eu/programmes/erasmus-plus/project-result-content/9f367412-e981-4a64-b01a-1157cbc933f5/Digital%20Systems%20Design.pdf>
- [10] I. Sommerville. "Sistemas Embebidos" in *Ingeniería de Software*. México: Pearson Educación [Online] Available: https://sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2018-06-11_03-37-12144643.pdf
- [11] J. Gamboa. (2018). Evolución de las Metodologías y Modelos utilizados en el Desarrollo de Software. INNOVA Research Journal, 3(10), 20-33.

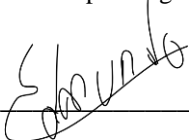
8. Alumnos y Directores

CARÁCTER: Confidencial
FUNDAMENTO LEGAL: Art. 3, fracc. II, Art. 18, fracc. II y
Art. 21, lineamiento 32, fracc. XVII de la L.F.T.A.I.P.G.
PARTES CONFIDENCIALES: No. de boleta y Teléfono.

Martínez Coronel Brayan Yosafat.- Alumno de la carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales en ESCOM, Especialidad Sistemas, Boleta: 2019630143, Tel. 5528009775, email: yosafat_martinez21@hotmail.com

Firma: 

Sánchez Méndez Edmundo Josué.- Alumno de la carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales en ESCOM, Especialidad Sistemas, Boleta: 2019630428, Tel. 5554660155, email: edmundoe1pro1@gmail.com

Firma: 

Ramírez Olvera Guillermo.- Alumno de la carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales en ESCOM, Especialidad Sistemas, Boleta: 2019630480, Tel. 5561751036, email: memo0p2@hotmail.com

Firma: 

Dr. Juárez Martínez Genaro.- Profesor de tiempo completo en ESCOM del IPN. Lic. En Matemáticas Aplicadas y Computación. (FES Acatlán), Maestría en Ciencias de la Computación. (CINVESTAV- IPN), Doctorado en Ciencias de la Computación (CINVESTAV- IPN). Áreas de Interés: Autómatas celulares, sistemas complejos, computación no convencional, ciencias de la computación, vida artificial, robótica. Tel: 5729-6000 Ext: 52067, email: gjuarezm@ipn.mx

Firma: _____

Dr. Oliva Moreno Luz Noé.- Profesor de CIIDIR Campus Hidalgo/IPN. M. en C. de la Computación (CIC-IPN). Áreas de Interés: Sistemas electrónicos, sistemas embebidos, redes neuronales, diseño de circuitos integrados (VLSI). Tel: 5514995485, email: loliva@ipn.mx

Firma: _____

TURNO PARA LA PRESENTACIÓN DEL
TRABAJO TERMINAL:

Aceptación de trabajo terminal Σ Recibidos x



Genaro Juarez Martinez <gjuarezm@ipn.mx>
para CATT, Luz, mí ▾

Hola Guillermo, Edmundo, Yosafat,

Comunico a través de este correo que seremos los directores de su trabajo terminal.

Dr. Genaro Juárez Martínez (ESCOM)
Dr. Luz Noé Oliva Moreno (CIIDIR Hidalgo)

Cualquier duda estamos a sus órdenes.

Saludos,
Genaro

--

← Re: Protocolo ESCOM Physarum Polycephalum



Luz Noe Oliva Moreno <loliva@ipn.mx>
Vie 05/11/2021 02:59 PM
Para: Usted

Buenas tardes Guillermo,

Acepto ser director del Trabajo Terminal y estoy de acuerdo con el protocolo.

Saludos

Dr. L. Noé Oliva Moreno
Jefe de la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación
Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería campus Hidalgo
[Instituto Politécnico Nacional](#)
México