

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN SEMILLA PIS-18-06
"Evaluación del sistema MASSIVE MIMO para la detección del ángulo de llegada de señales incidentes en redes de comunicación móvil"

En la ciudad de Quito D.M., a los veinticinco días del mes de abril del año dos mil veintidós, comparecen a la celebración de la presente Acta de Finalización del Proyecto de Investigación Semilla **PIS-18-06 "Evaluación del sistema MASSIVE MIMO para la detección del ángulo de llegada de señales incidentes en redes de comunicación móvil"**, por una parte, la **Ph.D. Alexandra Patricia Alvarado Cevallos** en calidad de **Vicerrectora de Investigación, Innovación y Vinculación** de la Escuela Politécnica Nacional, y por otra el **Dr. Pablo Aníbal Lupera Morillo** en calidad de **Director del Proyecto de Investigación Semilla PIS-18-06**, al tenor de lo siguiente:

1. ANTECEDENTES:

- a) El 19 de junio de 2018, el Consejo de Investigación y Proyección Social mediante Resolución R088/18, aprueba el Cronograma para la presentación de Propuestas de Proyectos de Investigación – Convocatoria 2018, y mediante Resoluciones R090/18, R096/18, R160/18 se aprobaron modificaciones al cronograma de la Convocatoria 2018.
- b) El 5 de febrero de 2019, al amparo de lo dispuesto por Consejo de Investigación y Proyección Social, mediante Resolución RCIPS-028-2019, se aprobó el "Informe Final de la Convocatoria 2018", entre los proyectos aprobados se encuentra el Proyecto Semilla denominado "*Evaluación del sistema MASSIVE MIMO para la detección del ángulo de llegada de señales incidentes en redes de comunicación móvil*", presentado por el Dr. Pablo Lupera.
- c) Mediante memorando EPN-VIPS-2019-0206-M del 8 de febrero de 2019, se notifica la aprobación del proyecto "*Evaluación del sistema MASSIVE MIMO para la detección del ángulo de llegada de señales incidentes en redes de comunicación móvil*", con código PIS-18-06.
- d) Mediante Memorando EPN-VIPS-2019-0435-M del 19 de marzo de 2019, el Vicerrectorado de Investigación y Proyección Social informa a los directores de los proyectos semilla 2018 que el inicio de los proyectos es el 1 de abril de 2019.
- e) Mediante Memorando EPN-CIIV-2020-0139-M del 10 de junio de 2020, el Consejo de Investigación, Innovación y Vinculación, notifica al Dr. Pablo Lupera, la Resolución RCIIV-118-2020 del 9 de junio de 2020, donde se aprueba la solicitud de suspensión del Proyecto Semilla PIS-18-06 desde el 9 de junio de 2020 hasta el 8 de diciembre de 2020, y se señala que se reanudarán sus actividades de investigación a partir del 9 de diciembre de 2020, hasta el 30 de marzo de 2021.
- f) Mediante Memorando EPN-CIIV-2021-0050-M del 17 de marzo de 2021, el Consejo de Investigación, Innovación y Vinculación, notifica al Dr. Pablo Lupera, la Resolución RCIIV-045-2021 del 16 de marzo de 2021, donde se aprueba prórroga técnica del Proyecto Semilla PIS-18-06, por lo que la fecha de fin de ejecución del proyecto es el 30 de junio del 2021.

2. DATOS GENERALES DEL PROYECTO:

Código de Proyecto	PIS-18-06
Nombre del Proyecto	<i>Evaluación del sistema MASSIVE MIMO para la detección del ángulo de llegada de señales incidentes en redes de comunicación móvil</i>
Director del Proyecto	PABLO ANIBAL LUPERA MORILLO
Codirector del Proyecto	RICARDO XAVIER LLUGSI CAÑAR (del 1/4/2019 al 5/3/2021) ROBIN GERARDO ALVAREZ RUEDA (del 5/3/2021 al 30/6/2021)

Departamento	<i>Electrónica, Telecomunicaciones y Redes de Información (DETRI)</i>
Líneas de Investigación	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Comunicaciones inalámbricas</i> • <i>Propagación y antenas</i>
Objetivo	<i>Evaluar la capacidad del sistema Massive MIMO en lo que respecta a exactitud y requerimientos de recursos de hardware para la detección del ángulo de llegada de señales incidentes en redes de comunicación móvil.</i>
Duración del Proyecto	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Inicio: 1 de abril del 2019</i> • <i>Fin planificado: 30 de septiembre del 2020</i> • <i>Suspensión: desde el 9 de junio de 2020 al 8 de diciembre de 2020</i> • <i>Prórroga técnica: 3 meses, hasta el 30 de junio de 2021</i> • <i>Duración total: 21 meses</i>
Entrega del Informe Final	<i>11 de noviembre del 2021</i>
Presupuesto asignado	<i>\$ 14.991,47 USD</i>
Presupuesto ejecutado	<i>\$ 13.744,19 USD</i>

3. INFORME FINAL:

Mediante Memorando EPN-PIS-18-06-2021-0009-M del 11 de noviembre de 2021, el Dr. Pablo Lupera, Director del Proyecto PIS-18-06, presenta el Informe Final del Proyecto Semilla que dirige, esta documentación es revisada por la Dirección de Investigación, se anexa y forma parte integrante del Acta de Finalización, cuyas conclusiones y productos generados son:

CONCLUSIONES:

- a. En la propuesta del proyecto de investigación se indicó que el alcance territorial será de carácter internacional, lo cual se logró con la presentación de los resultados del proyecto mediante la participación en conferencias internacionales, ya que los resultados fueron de interés para la comunidad académica y científica.
- b. Desde el planteamiento de la propuesta de investigación se estableció como limitación la cantidad restringida de transceivers (módulos transmisores y receptores) conectados al sistema Massive MIMO, especialmente por el presupuesto económico que significa la inversión en la compra de dichos módulos. Esto se trató de compensar en el proyecto mediante la aplicación del algoritmo propuesto de detección del DoA considerando pares de antenas del Sistema Massive MIMO; es decir, en el algoritmo se realiza una comparación de las señales recibidas en un par de antenas del sistema Massive MIMO para la estimación del DoA. Sin embargo, esto se puede ampliar a todo el sistema de antenas, lo cual podría ser realizado en un trabajo posterior.
- c. En la hipótesis del proyecto se planteó que es posible la estimación del DoA en 2D en una red de comunicación móvil mediante el uso de un sistema Massive MIMO con una exactitud aceptable y requerimientos reducidos de hardware; en este sentido, se logró comprobar que la exactitud en la estimación llegó a ser de $0,6^\circ$ y que la cantidad de recursos utilizados en la FPGA empleada para la implementación del algoritmo es de 2266 LUTs y 1023 Flip-Flops.
- d. Con el estudio realizado se logró establecer las características principales de las señales en el canal inalámbrico de una red de comunicaciones móviles y se estableció como principal factor de influencia la propagación de múltiples trayectorias. Queda aún por estudiar la influencia de la velocidad de movimiento de los terminales para la estimación del DoA considerando estas últimas condiciones.
- e. Se procesaron las señales recibidas en los elementos del sistema de antenas en el dominio del tiempo y de la frecuencia. En el dominio del tiempo las características de las señales se analizaron considerando los algoritmos MUSIC y ESPRIT, en donde en base al tratamiento matricial de las muestras se logra estimar el DoA. En cambio, en este proyecto se propuso un algoritmo en el dominio de la frecuencia, en donde mediante el procesamiento de las muestras y en base al cálculo del espectro complejo de las señales recibidas en cada uno de los elementos del sistema de antenas se estima el retardo de las señales y su consecuente relación con el DoA.

- f. Se diseñaron, simularon y construyeron diferentes tipos de arreglos de antenas conformadas por elementos de diferentes geometrías, entre ellos se pueden mencionar: antena fractal basada en la alfombra de Sierpinski, parche rectangular, parche en forma de E y parche circular. Mediante simulación utilizando el software ADS se analizaron las características de los elementos radiantes cuando forman parte de una agrupación o arreglo de antenas del tipo Massive MIMO y se comprobó que una de las características principales que pueden influir en la estimación del DoA es el acoplamiento mutuo entre elementos, se llegó a determinar que una de las agrupaciones más adecuadas podría ser la conformada por elementos en forma de E distribuidos linealmente con un intercambio consecutivo de polarización.

PRODUCTOS:

- Artículo aprobado para revisión: "Implementación en Hardware de un sistema para la estimación del DoA mediante un algoritmo ejecutado en el dominio de la frecuencia"; Pablo Lupera Morillo, Robin Álvarez, Viviana Cristina Parraga Villamar, Leonardo Guarquila; *Ingeniare* (Indexada Scopus, Q4); ISSN: 07183291, 07183305; julio 2021.
- Artículo: "Antena UHF Multifuncional del tipo Fractal Microstrip basada en la Alfombra de Sierpinski"; Pablo Lupera Morillo, Gary Flores, Amanda Montaluisa; *RITI Journal* (Revista de Investigación en Tecnologías de la Información) (Indexada Latindex); ISSN: 2387-0893; enero 2021.
- Artículo en conferencia indexada Scopus: "Estimación del Ángulo DoA en 3D y Detección de la Concentración de Fuentes de Señal en un Ambiente Multitrayectoria usando los Algoritmos Root MUSIC, ESPRIT y K-means"; Olmos B., Lupera Morillo P, Llugsi R., Jaramillo E. S.; presentado como ponencia en la "1st International Conference on Information Systems and Software Technologies, ICIST 2019"; Quito, Ecuador; publicado en el Libro de Memorias de la conferencia; noviembre 2019.
- Artículo en conferencia indexada Scopus: "A Ray-Tracing Simulator for Predicting UHF Signals Propagation in Tunnels (Case Study Metro of Quito)"; Pablo Lupera Morillo, Evelyn R. Parra; presentado como ponencia en la "2020 IEEE Andean Conference Technology and Innovation - Andescon"; Quito, Ecuador; publicado en el Libro de Memorias de la conferencia; octubre 2020.
- Workshop: "Antena UHF Multifuncional del tipo Fractal Microstrip basada en la Alfombra de Sierpinski"; Pablo Lupera Morillo, Gary Flores, Amanda Montaluisa; AWCA 2020 Andean Wireless Communications & Applications Workshop; Quito, Ecuador; diciembre 2020.
- Proyecto de titulación de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones: "Simulación de la detección del DoA para un único terminal usando un algoritmo en el dominio de la frecuencia"; Hidalgo Fernández Erick Bladimir; URL: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/20589>; diciembre 2019.
- Proyecto de titulación de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones: "Diseño y construcción de una antena fractal monopolo alfombra de Sierpinski para la banda UHF"; Montaluisa Montaluisa Amanda Michelleir; URL: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/20451?locale=en>; agosto 2019.
- Proyecto de titulación de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones: "Comparación de dos arreglos de antenas tipo Mimo Masivo usando Advanced Design System(ADS)"; Hidalgo Yáñez Jorge Fabricio; URL: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/21260>; diciembre 2020.
- Proyecto de titulación de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones: "Implementación de las etapas de procesamiento e interfaz gráfica de un analizador de espectros de 10Mhz a 3Ghz en

base al algoritmo Split-Radix asimétrico de 2048 puntos"; Guarquila Guarquila Leonardo Ricardo; URL: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/21542>; marzo 2021.

- Proyecto de titulación de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones: "Diseño, simulación y construcción de 3 arreglos de antenas cada uno con 3 elementos iguales tipo parche rectangular, parche circular y parche tipo E como parte constitutiva de un sistema para el cálculo del DoA a la frecuencia de 1,85 GHz"; Quishpe Colimba Alexis Fabricio; URL: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/21898>; noviembre 2021.

4. LIQUIDACIÓN ECONÓMICA:

El monto asignado al Proyecto Semilla PIS-18-06 fue de \$ 14.991,47 USD (catorce mil novecientos noventa y un dólares americanos, con 47/100), y se ejecutaron \$ 13.744,19 USD (trece mil setecientos cuarenta y cuatro dólares americanos, con 19/100), conforme al detalle emitido por la Unidad de Gestión de Investigación y Proyección Social del Vicerrectorado de Investigación, Innovación y Vinculación, que se adjunta a la presente Acta y forma parte integrante de la misma.

5. FINALIZACIÓN:

Con la presente Acta se declara finalizado y cerrado el Proyecto Semilla PIS-18-06 "Evaluación del sistema MASSIVE MIMO para la detección del ángulo de llegada de señales incidentes en redes de comunicación móvil".

Para constancia de lo ejecutado y por estar de acuerdo con el contenido de la presente Acta, las partes libre y voluntariamente suscriben la misma, en tres ejemplares de igual contenido, tenor y valor legal.

Dado en la ciudad de Quito, D.M. a los veinticinco días del mes de abril del año dos mil veintiuno.

Ph.D. Alexandra Alvarado
Vicerrectora de Investigación,
Innovación y Vinculación

Dr. Pablo Lupera
Director del Proyecto
PIS-18-06

sp/cr