

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN GRUPAL PIGR-19-06

“Seguridad en comunicaciones móviles cooperativas de 5G usando tecnologías de capa física”

En la ciudad de Quito D.M., a los tres días del mes de julio del año dos mil veintitrés, comparecen a la celebración de la presente Acta de Finalización del Proyecto de Investigación Grupal **PIGR-19-06 “Seguridad en comunicaciones móviles cooperativas de 5G usando tecnologías de capa física”**, por una parte, la **Dra. Alexandra Patricia Alvarado Cevallos** en calidad de **Vicerrectora de Investigación, Innovación y Vinculación** de la Escuela Politécnica Nacional, y por otra el **Dr. Luis Felipe Urquiza Aguiar** en calidad de **Director del Proyecto de Investigación Grupal PIGR-19-06**, al tenor de lo siguiente:

1. ANTECEDENTES:

- a) El 17 de septiembre de 2019, al amparo de lo dispuesto por Consejo de Investigación, Innovación y Vinculación - CIIV, mediante Resolución RCIPS-124-2019, se aprueba el cronograma de la Convocatoria para la presentación de Proyectos de Investigación, Vinculación y Transferencia Tecnológica del 2019. El 15 de octubre de 2019, mediante Resolución RCIPS-153-2019, se aprueba la modificación al cronograma.
- b) El 3 de marzo de 2020, al amparo de lo dispuesto por Consejo de Investigación, Innovación y Vinculación, mediante Resolución RCIIV-028-2020, se aprobó el *“Informe Final de los Proyectos de Investigación de la Convocatoria 2019”*, donde se muestran los resultados y los proyectos aprobados de la Convocatoria 2019. Entre los proyectos aprobados se encuentra el Proyecto de Investigación Grupal denominado *“Seguridad en comunicaciones móviles cooperativas de 5G usando tecnologías de capa física”*, presentado por el Dr. Luis Urquiza.
- c) Mediante Memorando EPN-VIIV-2020-0295-M del 6 de marzo del 2020, el Vicerrectorado de Investigación, Innovación y Vinculación, notifica a la Jefatura del Departamento de Electrónica, Telecomunicaciones y Redes de la Información (DETRI), la aprobación del Proyecto de Investigación Grupal PIGR-19-06 *“Seguridad en comunicaciones móviles cooperativas de 5G usando tecnologías de capa física”*, dirigido por el Dr. Luis Urquiza.
- d) Mediante Memorando EPN-VIIV-2020-0321-M del 11 de marzo de 2020, el Vicerrectorado de Investigación, Innovación y Vinculación, notifica al Dr. Luis Urquiza que se ha aprobado la propuesta de Proyecto de Investigación Grupal *“Seguridad en comunicaciones móviles cooperativas de 5G usando tecnologías de capa física”*, y que se ha asignado el código PIGR-19-06 al proyecto.
- e) Mediante Memorando EPN-VIIV-2020-0555-M del 15 de abril del 2020, el Vicerrectorado de Investigación, Innovación y Vinculación, notifica a los directores de los Proyectos de Investigación Grupales de la Convocatoria 2019, que la fecha de inicio es el 4 de mayo de 2020 y la fecha de finalización el 3 de mayo de 2022.

2. DATOS GENERALES DEL PROYECTO:

Código de Proyecto	PIGR-19-06
Nombre del Proyecto	Seguridad en comunicaciones móviles cooperativas de 5G usando tecnologías de capa física
Director del Proyecto	LUIS FELIPE URQUIZA AGUIAR
Codirector del Proyecto	DIEGO JAVIER REINOSO CHISAGUANO
Colaboradores del Proyecto	MARTHA CECILIA PAREDES PAREDES JOSE DAVID VEGA SANCHEZ ANA MARIA ZAMBRANO VIZUETE
Unidad Ejecutora	Departamento de Electrónica, Telecomunicaciones y Redes de Información (DETRI)
Líneas de Investigación	<ul style="list-style-type: none"> Comunicaciones inalámbricas Seguridad y Privacidad
Objetivo	Mejorar la seguridad de la información en redes cooperativas que usan tecnologías de 5G a través de técnicas de procesamiento de señales en capa física
Duración del Proyecto	<ul style="list-style-type: none"> Inicio: 4 de mayo del 2020 Fin: 3 de mayo de 2022 Duración total: 24 meses
Entrega del Informe Final	29 de julio de 2022
Presupuesto asignado	\$ 42.466,40 USD
Presupuesto ejecutado	\$ 35.835,95 USD

3. INFORME FINAL:

Mediante Memorando EPN-PIGR-19-06-2022-0015-M del 29 de julio de 2022, el Dr. Luis Urquiza, Director del Proyecto de Investigación Grupal PIGR-19-06, presenta el Informe Final del Proyecto Grupal que dirige, mismo que es revisado por la Dirección de Investigación, se anexa y forma parte integrante del Acta de Finalización, cuyas conclusiones y productos generados son:

CONCLUSIONES:

- En el marco del presente proyecto se realizó una revisión de la literatura científica existente referente a trabajos relacionados a seguridad de capa física para comunicaciones 5G, encontrándose que las tecnologías sobre las cuales se aplicarán técnicas de capa física de forma más probable serán comunicaciones ultra confiables de baja latencia, full dúplex que funcionarán con la ayuda de arreglos de sistemas MIMO masivo, selección de antena de transmisión y modificación del lóbulo de radiación de las antenas y superficies reflectoras inteligentes.
- Los análisis y resultados alcanzados en este proyecto fueron desarrollados sobre un escenario base de tres nodos, ampliamente utilizado en el estudio de comunicaciones con seguridad en capa física. Este escenario pudo ser adaptado a las tecnologías y técnicas de estudio, incluyendo, como ya se mencionó, sistemas MIMO masivo, superficies reflectoras y de forma muy importante el canal de comunicaciones con ondas milimétricas. Este escenario puede extenderse a múltiples usuarios; sin embargo, su utilización en comunicaciones multi-salto es un desafío si se desea obtener expresiones analíticas para más de dos saltos.

- Este proyecto generó expresiones para evaluar el desempeño de una red cooperativa entre emisor y receptor de quinta generación para evitar la escucha indebida de información por parte de un atacante. Las expresiones obtenidas para la tasa promedio de secreto y la probabilidad de corte de la comunicación segura fueron de menor complejidad que las existentes y mucho más estables. Además, basados en el algoritmo de maximización de la esperanza, se logró obtener fórmulas cerradas, de baja complejidad y buena precisión que pueden ser utilizadas en escenarios multi-salto a través de simuladores de red.
- Todos los resultados teóricos obtenidos a lo largo de este proyecto fueron contrastados con simulaciones numéricas, obteniéndose que los criterios de seguridad de capa física propuestos son adecuados para los escenarios evaluados.

PRODUCTOS:

- **Artículo publicado:** *"Survey on physical layer security for 5G wireless networks"*; Vega Sánchez José David, Urquiza Aguiar Luis, Paredes Paredes Martha Cecilia, Moya Osorio Diana Pamela; *Annales des Telecommunications/Annals of Telecommunications* (Indexado SCOPUS, Q2); ISSN: 00034347, 19589395; DOI: 10.1007/s12243-020-00799-8; abril 2021.
- **Artículo publicado:** *"Physical Layer Security of Large Reflecting Surface Aided Communications with Phase Errors"*; Vega Sánchez José David, Ramírez Espinosa Pablo, López Martínez F. Javier; *IEEE Wireless Communications Letters* (Indexado SCOPUS, Q1); ISSN: 21622345, 21622337; DOI: 10.1109/LWC.2020.3029816; febrero 2021.
- **Artículo publicado:** *"On the Secrecy Performance over N-Wave with Diffuse Power Fading Channel"*; Vega Sánchez José David, Moya Osorio Diana Pamela, López Martínez F. Javier, Paredes Paredes Martha Cecilia, Urquiza Aguiar Luis Felipe; *IEEE Transactions on Vehicular Technology* (Indexado SCOPUS, Q1); ISSN: 00189545, 19399359; DOI: 10.1109/TVT.2020.3035544; diciembre 2020.
- **Artículo publicado:** *"Information-Theoretic Security of MIMO Networks under κ - μ Shadowed Fading Channels"*; Vega Sánchez José David, Moya Osorio Diana Pamela, López Martínez F. Javier, Paredes Paredes Martha Cecilia, Urquiza Aguiar Luis Felipe; *IEEE Transactions on Vehicular Technology* (Indexado SCOPUS, Q1); ISSN: 00189545, 19399359; DOI: 10.1109/TVT.2021.3086026; julio 2021.
- **Artículo publicado:** *"Fading channel models for mm-wave communications"*; Vega Sánchez José David, Urquiza Aguiar Luis, Paredes Paredes Martha Cecilia; *Electronics (Switzerland)* (Indexado SCOPUS, Q2); ISSN: 20799292; DOI: 10.3390/electronics10070798; abril 2021.
- **Artículo publicado:** *"Expectation-Maximization Learning for Wireless Channel Modeling of Reconfigurable Intelligent Surfaces"*; Vega Sánchez José David, Urquiza Aguiar Luis, Paredes Paredes Martha Cecilia Paredes, López Martínez F. Javier; *IEEE Wireless Communications Letters* (Indexado SCOPUS, Q1); ISSN: 21622345, 21622337; DOI: 10.1109/LWC.2021.3091840; septiembre 2021.

- **Artículo publicado:** “PhySim-11p: Simulation model for IEEE 802.11p physical layer in MATLAB”; Flores Cabezas Xavier Alejandro, Paredes Paredes Martha Cecilia, Urquiza Aguiar Luis Felipe, Reinoso Chisaguano Diego Javier; SoftwareX (Indexado SCOPUS, Q2); ISSN: 23527110; DOI: 10.1016/j.softx.2020.100580; diciembre 2020.
- **Artículo publicado en conferencia:** “Secure Systems via Reconfigurable Intelligent Surfaces over Correlated Rayleigh Channels” (Indexado SCOPUS); Vega Sánchez José David, Urquiza Aguiar Luis, Paredes Paredes Martha Cecilia, López Martínez F. Javier; ETCM 2021 - 5th IEEE Ecuador Technical Chapters Meeting; ISBN: 978-166544141-4; DOI: 10.1109/ETCM53643.2021.9590635; Cuenca, Ecuador; octubre 2021.
- **Artículo publicado en conferencia:** “An Evaluation of OMNeT++-based V2X Communication Frameworks: On the Path towards 5G-V2X Simulations” (Indexado SCOPUS); Barbecho Bautista Pablo, Urquiza Aguiar Luis F., Aguilar Igartua Mónica, Reinoso Chisaguano Diego Javier, Paredes Paredes Martha Cecilia; MSWiM 2021 - Proceedings of the 24th International ACM Conference on Modeling, Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems; ISBN: 978-145039077-4; DOI: 10.1145/3479239.3485723; Alicante, España; noviembre 2021.
- **Artículo publicado en conferencia:** “STGT: SUMO-Based Traffic Mobility Generation Tool for Evaluation of Vehicular Networks” (Indexado SCOPUS); Barbecho Bautista Pablo, Urquiza Aguiar Luis F., Aguilar Igartua Mónica; PE-WASUN 2021 - Proceedings of the 18th ACM Symposium on Performance Evaluation of Wireless Ad Hoc, Sensor, and Ubiquitous Networks; ISBN: 978-145039078-1; DOI: 10.1145/3479240.3488523; Alicante, España; noviembre 2021.
- **Artículo publicado en conferencia:** “Improving the Realism of the Physical Layer of NS-3 by Considering the PAPR Problem of the IEEE 802.11p Transmitter” (Indexado SCOPUS); Reinoso Chisaguano Diego Javier, Astudillo León Juan Pablo, Paredes Paredes Martha Cecilia, Lupera Morillo Pablo Aníbal, Urquiza Aguiar Luis F.; PE-WASUN 2021 - Proceedings of the 18th ACM Symposium on Performance Evaluation of Wireless Ad Hoc, Sensor, and Ubiquitous Networks; ISBN: 978-145039078-1; DOI: 10.1145/3479240.3488509; Alicante, España; noviembre 2021.
- **Artículo publicado en conferencia:** “Implementation of MRC diversity reception over Nakagami-m fading channel for ns-3 simulator” (Indexado SCOPUS); Astudillo León Pablo, Torres Manobanda Freddy Alexander, Reinoso Chisaguano Diego Javier, Urquiza Aguiar Luis F.; IEEE Vehicular Technology Conference; ISSN: 15502252, ISBN: 978-166541368-8; DOI: 10.1109/VTC2021-Fall52928.2021.9625579; ponencia virtual; septiembre 2021.
- **Tesis de Doctorado en Ingeniería Eléctrica:** “Secure Performance of 5G and Beyond Networks under Generalized Fading Conditions”; Vega Sánchez José David; URL: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/21966>; noviembre 2021.
- **Proyecto de titulación de Ingeniera en Electrónica y Telecomunicaciones:** “Desarrollo de una página web colaborativa enfocada al estudio de redes 5G”; Montenegro Játiva Grace Estefanía; URL: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/21968>; noviembre 2021.
- **Proyecto de titulación de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones:** “Análisis del rendimiento de los canales de la capa física PDSCH y PUSCH mediante el toolbox 5g de Matlab”;

Carreño Mendoza Italo Alexander; URL: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/21760>; julio 2021.

El director del proyecto, Dr. Luis Urquiza, presenta además como producto del Proyecto de Investigación Grupal PIGR-19-06:

- **Presentación a la comunidad politécnica:** "*Seguridad de la Información para Redes de Próxima Generación*"; José David Vega Sánchez (colaborador); Ciclo de seminarios DETRI 2021: "*Avances en las Tecnologías de Radiocomunicación*", Escuela Politécnica Nacional; Quito, Ecuador; abril 2021.

4. LIQUIDACIÓN ECONÓMICA:

El monto asignado al Proyecto de Investigación Grupal PIGR-19-08 fue de \$ 42.466,40 USD (*cuarentaidós mil cuatrocientos sesentaiséis dólares americanos, con 40/100*), y se ejecutaron \$35.835,95 USD (*treintaicinco mil ochocientos treintaicinco dólares americanos, con 95/100*), 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 íntegra de la misma.

5. FINALIZACIÓN:

Con la presente Acta se declara finalizado y cerrado el Proyecto de Investigación Grupal PIGR-19-06 "*Seguridad en comunicaciones móviles cooperativas de 5G usando tecnologías de capa física*".

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 tres días del mes de julio del año dos mil veintitrés.

Dra. Alexandra Alvarado
Vicerrectora de Investigación,
Innovación y Vinculación

Dr. Luis Urquiza
Director del Proyecto
PIGR-19-06

sp/cc