



## PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Proyecto Interno  Proyecto Semilla  Proyecto Junior  Proyecto Multi e Inter Disciplinario

Investigación Básica  Investigación Aplicada  Investigación Pedagógica  Innovación

**DEPARTAMENTO(S):**

1. Electrónica, Telecomunicaciones y Redes de Información (DETRI)

**LINEA(S) DE INVESTIGACIÓN:**

1. Comunicaciones Inalámbricas

### 1 Proyecto de Investigación

**Título:**

**Evaluación de la técnica OPS-SAP para la reducción de la PAPR en escenarios VANETs**

**Resumen del proyecto (máximo 200 palabras)**

Actualmente se demanda de mecanismos efectivos para la reducción y manejo de accidentes de tráfico, disminución de la congestión vehicular y para proporcionar información de emergencia. En este contexto, surgen las redes vehiculares (VANETs - *Vehicular Ad-hoc NETWORKS*) que permiten el intercambio de mensajes entre vehículos.

El estándar IEEE 802.11p se encarga de definir las características y funcionamiento de la subcapa de control de acceso al medio (MAC) y de la capa física para redes VANETs.

La capa PHY de estándar IEEE 802.11p se fundamenta en una transmisión OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*), debido a sus grandes ventajas. Sin embargo, la señal OFDM presenta ocasionalmente picos de potencia elevados, este problema se conoce como el problema de la PAPR (*Peak-to-Average Power Ratio*). Cuando la señal OFDM con picos altos pasa por un HPA (*High Power Amplifier*), la señal sufre distorsiones que reducen la eficiencia del sistema. Existen varias técnicas de reducción de la PAPR; no obstante, la mayoría de estos esquemas han sido evaluados en escenarios genéricos y sin considerar todos los componentes de capa física de un sistema de comunicación.

Por lo que este proyecto propone evaluar la técnica de reducción de la PAPR OPS-SAP (*Simple Amplitude Predistortion aided by Orthogonal Pilot Sequences*), una de esquemas más prometedores en las comunicaciones inalámbricas, dentro de un escenario de capa física completo para redes VANETs.

**Palabras clave (4-6):**

VANETs, OFDM, PAPR, OPS-SAP

### 2 Datos personales y académicos del Director del Proyecto

Apellidos: PAREDES PAREDES

Nombres: MARTHA CECILIA



**5 Objetivos, relevancia, productos y resultados esperados de esta propuesta de investigación**

**5.1 Objetivos**

**5.1.1 Objetivo General**

- Evaluar el rendimiento del algoritmo de reducción de la PAPR OPS-SAP bajo un escenario completo de capa física en ambientes VANETs

**5.1.2 Objetivos Específicos**

- a) Revisar los bloques de una transmisión a nivel de capa física del estándar IEEE 802.11p, subrayando la técnica de transmisión multiportadora OFDM.
- b) Revisar el estado del arte la técnica OPS-SAP (*Simple Amplitude Predistortion aided by Orthogonal Pilot Sequences*).
- c) Implementar mediante MATLAB la capa física del estándar IEEE 802.11p y el algoritmo OPS-SAP.
- d) Evaluar las prestaciones de la técnica OPS-SAP dentro de un escenario completo de capa física del estándar IEEE 802.11p a través de simulaciones
- e) Presentar los resultados de evaluación de OPS-SAP en un artículo científico.

**5.2 Relevancia de esta propuesta de investigación y su relación con la(s) Línea(s) de investigación asociadas.**

Una de las líneas de investigación del DETRI (Departamento de Electrónica Telecomunicaciones y Redes de Información) es la de "Comunicaciones Inalámbricas". Las diferentes temáticas a abordarse en el proyecto, como son: el estándar IEEE 802.11p para redes VANETs, los algoritmos de reducción de PAPR para sistemas OFDM y la evaluación del esquema OPS-SAP están directamente relacionadas con las actividades de investigación del DETRI y las dos carreras que están a su cargo.

Los objetivos planteados en el proyecto son alcanzables ya que existen factores a contribuir al éxito del proyecto, por ejemplo se dispone de bibliografía inicial sobre el estándar IEEE 802.11p y de la técnica OPS-SAP. Además, el director del proyecto ha participado como miembro investigador en proyectos I+D (Investigación y Desarrollo) en la Universidad Carlos III de Madrid (España), donde se ha trabajado en temas de reducción de la PAPR. Además, se ha presentado una publicación en un congreso internacional:

M. C. Paredes Paredes, M. J. Fernández-Getino García, "Performance evaluation of OPS-SAP PAPR reduction technique in OFDM systems in a wireless vehicular context", *In Proceedings of the 12th ACM Symposium on Performance Evaluation of Wireless Ad Hoc, Sensor, & Ubiquitous Networks*, ACM, 2015, pp. 49-54. Cancún – México.

A partir de dicha publicación se deriva el presente proyecto como una ampliación del estudio presentado.

El impacto del proyecto propuesto se lo puede apreciar en varias dimensiones ya que el resultado final será contar con una publicación científica internacional que resalte la investigación que se lleva a cabo dentro del DETRI.



### 5.3 Productos esperados

Los productos esperados con este proyecto son los siguientes:

- a. Publicaciones científicas (obligatorio);
- b. Disertación a la Comunidad Politécnica;
- c. Proyecto de Titulación;
- d. Tesis de Grado (maestría o doctorado);
- e. Aplicación tecnológica construida o implementada;
- f. Patente presentada;
- g. Perfil de proyecto de mayor impacto científico, técnico, pedagógico o de innovación.

### 5.4 Detalle de los resultados esperados (con relación a los objetivos)

Los resultados esperados son los siguientes:

- a) Estado del arte, que incluirá la revisión de la capa física del estándar IEEE 802.11p y de las técnicas de reducción de la PAPR, en particular el esquema OPS-SAP.
- b) Análisis teórico de las técnicas de reducción de la PAPR, particularmente OPS-SAP y de las métricas de evaluación de un algoritmo de reducción de la PAPR.
- c) Implementación mediante MATLAB, de un sistema completo a nivel de capa física del estándar IEEE 802.11p y del algoritmo OPS-SAP.
- d) Resultados de evaluación de OPS-SAP en términos de CCDF (*Complementary cumulative distribution function*), PSD (*Power Spectrum Density*), BER (*Bit Error Rate*) y PER (*Packet Error Rate*).
- e) Presentación de resultados en un artículo científico.



**6 Descripción, metodología y cronograma de trabajo**

**6.1 Descripción, metodología y diseño del proyecto (Máximo dos carillas)**

A lo largo de la historia, las necesidades y demandas de la humanidad ha impulsado el progreso de nuevas tecnologías con velocidades cada vez más altas, mejores características y mejor desempeño; siendo la transmisión inalámbrica uno de los campos más explotados en la actualidad, y de la mano con el desarrollo de la industria automotriz han permitido el avance de redes vehiculares [1], cuyo propósito es el permitir diferentes servicios como por ejemplo, el intercambio de mensajes con el fin de reducir la congestión del tráfico vehicular, reducir el número de accidentes de tránsito, informar sobre rutas alternativas, asistencia en caso de accidentes, etc. [1] y [2]. Para llevar a cabo dichas tareas se han definido las redes Ad-Hoc Vehiculares (*VANET - Vehicular Ad Hoc Networks*), dentro de estas redes se cuenta con el estándar IEEE 802.11p [3], el cual define la capa física (PHY) y la subcapa MAC para escenarios VANETs.

La implementación de los servicios mencionados en ambiente vehiculares requiere que el desempeño de la PHY sea satisfactorio a fin de garantizar que las comunicaciones entre vehículos sean confiable. La PHY del estándar IEEE 802.11p se fundamenta en la técnica de transmisión multiportadora OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) [3], debido a las grandes ventajas que presenta como por ejemplo, resistencia al desvanecimiento multitrayectoria, alta eficiencia espectral y una estructura simple en su ecualizador. Sin embargo, uno de los mayores problemas que presenta la señal OFDM en el lado del transmisor es la elevada PAPR (*Peak-to-Average Power Ratio*). Cuando la señal OFDM con picos elevados pasa a través de un HPA (*High Power Amplifier*), la señal sufre distorsiones dentro y fuera de bando debido a que los HPAs son dispositivos muy sensibles a las variaciones de la señal; lo que resulta en una eficiencia baja del HPA [4].

Se han desarrollado varias técnicas de reducción de la PAPR con el propósito de tratar el problema de los picos elevados en los sistemas OFDM, una revisión de estos esquemas se puede observar en [5, 6]. De las técnicas de reducción de la PAPR, el conjunto de técnicas CE (*Constellation Extension*) son una de las más prometedoras en las comunicaciones inalámbricas ya presentan algunas ventajas con respecto a otras técnicas como por ejemplo: no hay pérdidas en la tasa de transmisión, no existe degradación de la BER (*Bit Error Rate*) y no se necesita transmitir información adicional hacia el receptor. La clave de las técnicas CE es mover ciertos puntos de la constelación de la señal OFDM en el dominio de la frecuencia de tal manera que se reduzca la PAPR de la señal OFDM en el dominio del tiempo.

Técnicas de tipo CE son: ACE (*Active Constellation Extension*) [7]; técnicas CE que tienen su base en la optimización convexa [8, 9]; en la programación entera [10]; en la optimización no-lineal mixta entera [10] y técnicas CE que se fundamentan en el cálculo de métricas [11, 12]. Recientemente, se ha propuesto un esquema CE embebido con símbolos piloto [13, 14], esto significa que SAP (*Simple Amplitude Predistortion*) [11] es ayudada por OPS (*Orthogonal Pilot Sequences*) [15] con el propósito de reducir la complejidad de las versiones anteriores y a su vez mejorar el rendimiento. Esta combinación deja tres posibles arquitecturas las cuales dependen del orden de uso de los algoritmos. Dos de los tres esquemas son arquitecturas de dos pasos, llamados OPS-SAP y SAP-OPS, respectivamente, y la tercera es una arquitectura que lleva a cabo los dos algoritmos de forma simultánea. Además, en [14] se demuestra que OPS-SAP es la técnica más adecuada ya que encuentra una compensación entre rendimiento y complejidad. No obstante, estos esquemas se analizan en un escenario OFDM genérico, es decir que solamente consideran símbolos OFDM con un determinado número de subportadoras sin identificar cuáles son de datos, ni pilotos, ni el prefijo cíclico.



En [16], el rendimiento de OPS-SAP se evalúa bajo un escenario IEEE 802.11p. Sin embargo, el trabajo es muy limitado ya que solamente se considera pocas características de la PHY del estándar; así, considerando el diagrama de bloques de la Fig. 1, [16] solamente toma en cuenta el bloque de la modulación, el ensamblado de la trama OFDM y el bloque OFDM (incluido la inserción del prefijo cíclico). Además, la mayoría de estudios encontrados en la literatura para la reducción de la PAPR solamente fundamentan su análisis un bloque OFDM genérico, es decir que sólo consideran el bloque de transmisión OFDM, por lo que está ausente una caracterización completa de la PHY, a pesar que en las comunicaciones inalámbricas normalmente se incluyen otros bloques de transmisión como la codificación de canal, *scrambling*, *interliving*, etc.

Por tanto en este proyecto se pretende presentar el análisis del rendimiento de la técnica de reducción de la PAPR OPS-SAP bajo un escenario completo a nivel de capa física para el estándar IEEE 802.11p para ambientes VANETs, como se observa en el diagrama de bloques de la Fig. 1, se incluye en el estudio el bloque de codificación, en el cual está formado por el *scrambling*, códigos convolucionales, *interleaving* y *puncturing*. Además, se añade el preámbulo que consta de 10 repeticiones de una secuencia corta de entrenamiento y 2 repeticiones de una secuencia larga de entrenamiento precedido por un intervalo de guarda a fin de combatir la ISI (*Intersymbol Interference*). Es decir que la caracterización de la PHY será completa tal como lo indica el estándar IEEE 802.11p [3].

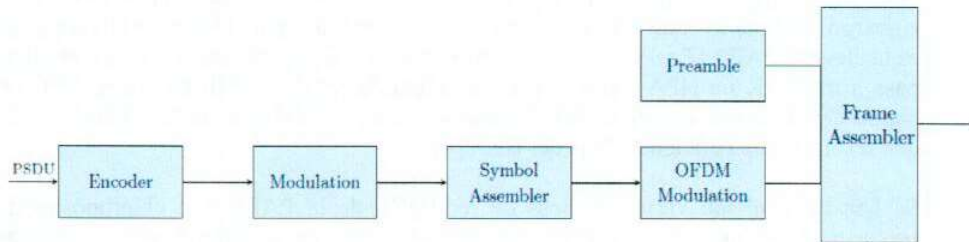


Figura 1. Diagrama de bloques de una transmisión IEEE 802.11p

Cabe resaltar que se implementará el transmisor y el receptor del estándar IEEE 802.11, el receptor presentará el proceso inverso del transmisor (ver Fig. 1). El transmisor y el receptor se conectarán a través de un canal AWGN (*Additive White Gaussian Noise*).

Este proyecto pretende presentar el modelo de PHY- OFDM para el estándar IEEE 802.11p, la definición de PAPR y los mecanismos de evaluación del desempeño de la PAPR. Además, proporcionar una revisión de la técnica de reducción de la PAPR OPS-SAP. Presentar los resultados para diferentes tipos de codificación y modulación; los resultados se presentarán en términos de CCDF (*Complementary Cumulative Distribution Function*), PSD (*Power Spectrum Density*), BER (*Bit Error Rate*) y PER (*Packet Error Rate*). Por un lado, en el transmisor se evaluará la CCDF, que será medido a la salida del bloque OFDM en el dominio del tiempo y la PSD será evaluada a la salida de un HPA, una configuración común usada en el estándar IEEE 802.11p es el amplificador SSPA (*Solid State Power Amplifier*) [17]. Mientras que el lado del receptor se evaluará la BER y la PER. Finalmente, se presentará las conclusiones del estudio realizado. Todo esto se recogerá en una publicación científica internacional.

Si bien esta propuesta de proyecto de investigación interno (PII) y el artículo de congreso presentado en [16] abordan la técnica de reducción de la PAPR OPS-SAP en un escenario VANETs, los dos presentan diferencias significativas que se detallan a continuación.



- [16] es un trabajo limitado en el sentido que solamente aborda pocas características de la capa física del estándar IEEE 802.11p como son: el bloque de la modulación, el ensamblado de la trama OFDM en el dominio de la frecuencia (añadir las 4 subportadoras correspondientes a los símbolos pilotos, las 11 bandas libres y la subportadora DC tal como lo indica el estándar IEE 802.11p [3]) y el bloque de transmisión OFDM (que incluye la inserción del Prefijo Cíclico). Mientras que la propuesta del proyecto de investigación interno propone analizar OPS-SAP bajo un escenario completo de PHY, en el cual conste los otros bloques restantes de la capa física como son: la codificación de canal, el cual incluye el *scrambling*, codificación convolucional, *interleaving* y *puncturing*. Con este proceso de codificación adicional, en el presente proyecto de investigación se puede extender los resultados de las simulaciones a diferentes tasas de codificación como son 1/2, 2/3 y 3/4.
- [16] presenta solamente resultados para una modulación QPSK (*Quadrature Phase Shift Keying*), mientras que este estudio ampliado del PII se pretende añadir resultados para diferentes tipos de modulación que sean soportados por el estándar IEEE 802.11p como son, 16-QAM y 64-QAM, que combinados con las diferentes tasas de codificación se tiene las diferentes velocidades soportadas por el estándar.
- En [16] los resultados de las simulaciones son presentadas en términos de CDCF, BER y PDS, pero en esta propuesta PII se pretende profundizar los resultados en términos de PER, el cual es un parámetro importante para determinar la QoS (*Quality of Service*) de un sistema. Cabe destacar que el estudio de la PER debe ser analizado a detalle a fin de presentar diferentes resultados como por ejemplo PER vs SNR y PER vs *length packet*

#### Bibliografía

- [1]. A. Mohamad-Mezher, J. Jurado-Oltra, L. Urquiza-Aguiar, C. Iza-Paredes, C. Tripp-Barba, and M. Aguilar-Igartua, (2014), "Realistic environment for VANET simulations to detect the presence of obstacles in vehicular ad hoc networks," in *Proceedings of the 11th ACM symposium on Performance Evaluation of Wireless Ad-Hoc, Sensor, and Ubiquitous Networks (PE-WASUN 2014)*, pp. 77-84. Montreal – Canada 2014.
- [2]. Y. L. Morgan, "Notes on DSRC and WAVE standards suite: Its architecture, design, and characteristics," *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, vol. 12, no. 4, pp. 504-518, 2010.
- [3]. IEEE, IEEE Standard for Information technology- Local and metropolitan area networks - Specific requirements – Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications Amendment 6: Wireless Access in Vehicular Environments, *IEEE Std 802.11p-2010*. (Amendment to IEEE Std 802.11-2007 as amended by IEEE Std. 802.11k-2008, IEEE Std 802.11r-2008, IEEE Std 802.11y-2008, IEEE Std 802.11n-2009, and IEEE Std 802.11w-2009. Year 2010. DOI:10.1109/IEEESTD.2010.5514475.
- [4]. F. Danilo-Lemoine, D. Falconer, C.-T. Lam, M. Sabbaghian, K. Wesolowski, "Power backoff reduction techniques for generalized Multicarrier waveforms", *Journal on Wireless Communications and Networking*, EURASIP 2008, pp. 437-80, DOI:10.1155/2008/437801.
- [5]. T. Jiang, Y. Wu, "An overview: Peak-to-Average Power Ratio Reduction Techniques for OFDM signals", *IEEE Transactions on Broadcasting*, vol. 54, no. 2. IEEE 2008, pp/ 257-268. DOI:10.1109/TBC.2008.915770.



- [6]. Y. Rahmatallah, S. Mohan, "Peak-to-Average Power Ratio Reduction in OFDM Systems: A Survey and Taxonomy", *IEEE Communications Surveys Tutorials*, Vol. 15, no. 4, IEEE 2013, pp. 1567-1592. DOI:10.1109/SURV.2013.021313.00164.
- [7]. B. S. Krongold, D. L. Jones, "PAR reduction in OFDM via active constellation extension", *IEEE Transactions on Broadcasting*, Vol. 49, no. 3, IEEE 2003, pp. 258-268. DOI:10.1109/TBC.2003.817088.
- [8]. C. Wang, S. H. Leung, "Par reduction in OFDM through convex programming", *In IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP) 2008*, IEEE 2008, pp. 3597-3600, Las Vegas, NV, DOI: 10.1109/ICASSP.2008.451843.
- [9]. Z. Yu, R. Baxley, G. Zhou, "Generalized interior-point method for constrained peak power minimization of OFDM signals", *In IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP) 2011*, IEEE 2011, pp. 3572-3575. Prague, Czech Republic. DOI:10.1109/ICASSP.2011.5946250. M. C. Paredes Paredes,
- [10]. M. J. Fernández-Getino García, "PAPR reduction via Constellation Extension in OFDM systems using Generalized Benders Decomposition and Branch and Bound techniques", *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. PP, no. 99, IEEE 2015, pp 1-1. DOI:10.1109/TVT.2015.2450178.
- [11]. S. Sezginer, H. Sari, "OFDM peak power reduction with simple amplitude predistortion", *IEEE Communications Letters*, vol. 10, no. 2, IEEE 2006, pp. 65-67, DOI:10.1109/LCOMM.2006.02015.
- [12]. S. Sezginer, H. Sari, "Metric-Based symbol predistortion techniques for peak power reduction in OFDM systems", *IEEE Transactions on Wireless Communications* Vol. 6, no. 7, IEEE 2007, pp. 2622-2629, DOI:10.1109/TWC.2007.05955.
- [13]. M. C. Paredes Paredes, M. J. Fernández-Getino García, "Energy efficient peak power reduction in OFDM with amplitude predistortion aided by orthogonal pilots", *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. 59, no. 1, IEEE 2013, pp. 45-53, DOI:10.1109/TCE.2013.6490240.
- [14]. M. C. Paredes Paredes, M. J. Fernández-Getino García, "Comparison of architectures for PAPR reduction in OFDM combining pilot symbols with constellation extension", *In EUROCON 2013*, IEEE 2013, pp. 391-398. Zagreb, Croatia, DOI:10.1109/EUROCON.2013.6625013.
- [15]. M. J. Fernández-Getino García, O. Edfors, J. M. Páez-Borrillo, "Peak power reduction for OFDM systems with orthogonal pilot sequences", *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 5, no. 1, IEEE 2006, pp. 47-51, DOI:10.1109/TWC.2006.1576525.
- [16]. M. C. Paredes Paredes, M. J. Fernández-Getino García, "Performance evaluation of OPS-SAP PAPR reduction technique in OFDM systems in a wireless vehicular context", *In Proceedings of the 12th ACM Symposium on Performance Evaluation of Wireless Ad Hoc, Sensor, & Ubiquitous Networks*, ACM, 2015, pp. 49-54. Cancún - Mexico.



**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**  
**VICERECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN SOCIAL**

Actividad	Primer Año						TOTAL
	Porcentaje de avance por mes						
	1-2	3-4	5-6	7-8	9-10	11-12	
Revisión bibliográfica especializada de la capa física del estándar IEEE 802.11p	X						7,5%
Revisión bibliográfica especializada del problema de reducción de la PAPR en los sistemas OFDM y de los parámetros de evaluación de la PAPR	X						7,5%
Análisis de la información obtenida de cada una de las técnicas CE de reducción de la PAPR, particularmente de la técnica OPS-SAP		X					15%
Implementación del sistema OFD-PHY y de OP-SAP			X	X			30%
Simulación del sistema, variando diferentes parámetros de la PHY.					X		7,5%
Análisis de resultados					X		7,5%
Escritura del artículo científico					X	X	25%
<b>TOTAL</b>							<b>100%</b>

**7 Fechas de inicio y fin**

De acuerdo al normativo de los proyectos Internos se iniciaría a partir de la notificación de la aprobación del Proyecto, que se estima que sea desde abril de 2016 a abril de 2017.

**8 Tiempo de dedicación de docentes, infraestructura, equipos y fondos adicionales.**

**8.1 Tiempo máximo de dedicación semestral del Director del proyecto, de los docentes participantes y otros colaboradores.**

<i>Proyecto</i>	<i>Director</i>
<i>PII</i>	<i>16 HSS</i>

**8.2 Infraestructura y equipos**

- La infraestructura disponible para la ejecución del proyecto serán las dependencias del Laboratorio de Investigación del DETRI.

**8.3 Breve justificación del equipo requerido**

- Se utilizará la infraestructura existente, por tanto no se requiere comprar ningún equipo adicional.

**8.4 Fondos Adicionales**

- Ninguno





ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL  
VICERECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN SOCIAL

9 Presupuesto estimado para la ejecución del presente proyecto (anual)		
No se necesita presupuesto debido a que se cuenta ya con una plataforma para la simulación		
<u>Primer Año</u>		
Lista de ítems	Cantidad solicitada (US \$)	Porcentaje (%)
1. Contratación Servicios Personales por Contrato <i>Ayudantes de Investigación</i>	0	
<b>Subtotal</b>	0	
2. Maquinaria y Equipos	0	
<b>Subtotal</b>	0	
3. Reactivos y materiales de laboratorio	0	
<b>Subtotal</b>	0	
4. Literatura especializada	0	
<b>Subtotal</b>	0	
5. Viajes técnicos y de muestreo	0	
<b>Subtotal</b>	0	
6. Presentación de ponencias en congresos internacionales y publicaciones	0	
<b>Subtotal</b>	0	
<b>TOTAL PRESUPUESTO</b>	<b>0</b>	<b>100</b>

10 Lugar y Fecha / Firma del Director del Proyecto	
Quito, 30 de marzo del 2016 Nombre: Martha Cecilia Paredes Paredes CC: 1803691052	 <b>Firma del Director</b>

DECLARACION DEL JEFE DE DEPARTAMENTO	
Esta propuesta ha sido aprobada por el Consejo del Departamento/Instituto <u>DEYBI</u> al que pertenece el <b>Director del Proyecto</b> , en Sesión del <u>17 Mayo 2016</u> mediante Resolución No. <u>R0 21</u> y las instalaciones, incluyendo personal, edificios, equipo y recursos financieros están a disposición del aplicante de acuerdo con las especificaciones que se encuentran en esta aplicación.	
 JEFE DEL DEPARTAMENTO/INSTITUTO Nombre: <u>XAVIER CALDERÓN</u> CC: <u>1709331365</u>	<u>Quito, 17 de Mayo de 2016</u> Lugar y fecha