

# Caso: El Transceptor Espacial para 'Un Punto Azul Pálido'

BANCO DE BUENAS PRÁCTICAS DOCENTES

JOSÉ ANDRÉS BERZAL FERNÁNDEZ

JULIO RAMIRO BARGUEÑO

ROBERTO SAN MILLÁN CASTILLO

 Universidad  
Rey Juan Carlos



CENTRO DE INNOVACIÓN DOCENTE Y EDUCACIÓN DIGITAL  
Universidad Rey Juan Carlos

## I. La práctica

- **Título:** Caso: El Transceptor Espacial para 'Un Punto Azul Pálido'.
- **Curso Académico:** 2022/2023.
- **Asignatura:** Terminales de Comunicaciones 4º y Campos Electromagnéticos 2º.
- **Área/Titulación:** Grado en Ingeniería en Tecnologías de la Telecomunicación y Doble Grado en Ingeniería en Tecnologías de la Telecomunicación e Ingeniería Aeroespacial en Aeronavegación.
- **Grupo de Estudiantes:** Todos.
- **Palabras clave:** Ingeniería; docencia; Caso; Voyager; transceptor espacial; Comunicaciones.

La docencia en los estudios de ingeniería y arquitectura supone un gran reto. Se imparten gran cantidad de contenidos abstractos con formulaciones matemáticas complejas y gran dependencia entre dichos contenidos. Uno de los objetivos de los docentes de los estudios de ingeniería es conseguir que dichos contenidos sean comprendidos y asimilados por los alumnos y que consigan ponerlos en relación con otros contenidos aprendidos. En definitiva, que sepan construir el objeto de su ingeniería con los conocimientos impartidos, que tengan criterio y que sepan aprender.

En concreto, en la asignatura de Terminales de Comunicaciones se dan las circunstancias expuestas anteriormente. Además, la participación de los alumnos durante las clases es muy baja. Con el objetivo de conseguir el mejor aprendizaje y su participación e implicación, se planteó aplicar el método del Caso. Ello supone un reto, dado la falta de tradición del Caso en los estudios de ingeniería, más centrando en economía y empresa.

La trama del Caso elaborado fue la construcción del transceptor de la sonda Voyager 2. Se ilustra el papel que tuvo Carl Sagan en el proyecto. En el Caso se dan cabida a la utilización de otros métodos docentes. Los estudiantes valoraron positivamente la experiencia en general, a pesar de rechazar el incremento de trabajo que supone, e incluso la nota media final de los aprobados experimento una mejora moderada. Se presentan los resultados de la evaluación y las lecciones aprendidas de la aplicación de esta práctica docente.

## 2. Justificación

Gran número de las asignaturas de Grados y Másteres en ingenierías tienen por objetivo el enseñar conocimientos y habilidades para la construcción de los ingenios de la respectiva ingeniería con múltiples condicionantes (económicos, sociales, jurídicos, regulatorios, etc.). Los conocimientos se fundamentan en última instancia en las ciencias físicas y/o matemáticas. El ejercicio de la profesión del ingeniero adicionalmente necesita de habilidades

de comunicación multidisciplinar, implicación, pensamiento lateral, capacidad relacional, etc. En muchos casos su enseñanza y/o desarrollo en los planes de estudio es mejorable. Por otro lado, la implicación de los alumnos en los estudios, su motivación, es baja, pese a que tienen motivos para ser optimistas sobre su futuro profesional.

Los docentes que presentan esta memoria identificaron el método del Caso como una herramienta idónea para mejorar las carencias identificadas en asignaturas de Grados y Másteres en ingenierías, pese a ser un reto dado que su uso contrastado se circunscribe en el ámbito de los estudios de economía y empresa y ciencias sociales.

La utilización del método del Caso permite:

- Reproducir las dinámicas que se producen en el ejercicio de la profesión de forma más intensa que cualquier otra dinámica educativa.
- Dar cabida a utilizar otras metodologías docentes de forma simultánea.
- Poner en práctica conocimiento y habilidades, por parte de los alumnos.
- Ser herramienta del profesor para motivar por la ingeniería en cuestión e incentivar la participación e implicación en clase.

El método del Caso implica la toma de decisiones en cada paso que se da, cuyo resultado se puede contrastar por la historia del caso y comprobar si las decisiones adoptadas fueron o no una buena práctica. El profesor guía cada paso, plantea cuestiones y propone dinámicas para su solución, adopta el papel de moderador y catalizador de la dinámica de la clase. Precisamente en las clases ordinarias de las ingenierías es difícil conseguir las dinámicas que consigue el método del Caso: Motivar una profesión, incrementar la participación y aplicar el bagaje de conocimientos del alumno, y en ciertos casos de forma imaginativa.

### 3. Desarrollo

La asignatura seleccionada para la introducción del método del Caso fue la de “Terminales de Comunicaciones” del Grado en Ingeniería en Tecnologías de la Telecomunicación (4º curso) y del Doble Grado en Ingeniería en Tecnologías de la Telecomunicación e Ingeniería Aeroespacial en Aeronavegación (5º curso). En dicha asignatura concurren las circunstancias descritas anteriormente que justifican la aplicación del método del Caso a través de un Caso.

El tema del Caso propuesto se centra en las sondas espaciales Voyager y cuyo título es ‘El Transceptor Espacial para Un punto Azul Pálido’ (ver Fig. 1). El Caso se introduce con el papel de Carl Sagan en el proyecto Voyager de la NASA y describe el viaje de las sondas Voyager por el espacio, para centrarse más adelante en el objeto a

estudio: el sistema de comunicaciones y de forma su transceptor. Pese a ser un proyecto con más de cincuenta años, concurren una serie de circunstancias que hacen que sea paradigmático para el desarrollo de un Caso en la asignatura de Terminales de Comunicaciones:

- El sistema de comunicaciones de las dos sondas espaciales Voyager, elemento fundamental para el reporte de los experimentos realizados y navegación al no ser estas tripuladas. Actualmente las sondas Voyager siguen su camino por el espacio profundo y asombrosamente aún mantienen contacto con la Tierra. Todas las misiones se han completado y perderán su contacto con la Tierra cuando su fuente de alimentación se agote algo que ocurrirá en el plazo no superior a dos años.
- Interrelación y dependencias entre tecnologías. Las tecnologías del sistema han sido superadas, pero son referencia en la evolución a otras tecnologías. El proyecto de construcción de las sondas Voyager ilustra cómo se llega a una solución de compromiso robusta en condiciones adversas y aún en funcionamiento tras más de 45 años tras su lanzamiento. Un éxito de la ingeniería espacial y de las telecomunicaciones. Voyager I y II son los dos ingenios del hombre que más lejos han llegado y continúan en contacto con la Tierra.
- Toma de decisiones. Durante el desarrollo del proyecto de construcción de las sondas Voyager se tomaron una serie de decisiones que cuando se trasladan al Caso son una oportunidad para el desarrollo de distintas metodologías docentes, además de la del Caso que es la conductora.
- El espacio profundo. El viaje, el ir más allá y descubrir, es una temática motivadora.

## Metodologías Docentes

El método innovador docente principal es el Caso. Sobre el tema seleccionado para el Caso, se desarrolla su relato en base a los hechos históricos del proyecto como de otros que condicionaron el proyecto. En paralelo a los hechos históricos, se realizan descripciones técnicas de los bloques funcionales de las sondas Voyager. En distintos puntos del relato se intercalan actividades que ilustran la toma de decisiones que se tuvieron que realizar en la construcción de las sondas Voyager y en especial en su sistema de comunicaciones.

Las metodologías docentes adicionales aplicadas:

- Aprendizaje Cooperativo. Por grupos, fuera del horario de clase del Caso (plenaria), debaten el reto planteado y su solución. Pueden dividir el trabajo de documentación y desarrollo si es preciso, adoptando distintos roles. Si lo requiere el grupo de trabajo, pueden solicitar tutoría, pero tienen que presentar un grado de avance.

- Aula Invertida. Los trabajos desarrollados por grupo son presentados en la clase del Caso (plenaria). Existe un tiempo de presentación y preguntas. Una vez finalizadas las presentaciones se destina un tiempo en plenaria al debate para contrastar las distintas soluciones. Se cierra el ciclo con el relato del caso sobre la actividad y la enseñanza de la actividad.
- Aprendizaje por Problema y Competencias. Cada cuestión que se plantea en las actividades está basada en un caso real de las sondas Voyager y corresponde a un problema trascendente en el proyecto de su construcción. Además, el grupo cuando realiza la presentación de las actividades realizadas tiene que explicar cómo llegaron a su solución, si existieron varias soluciones y su debate, razón del ponente del grupo, y si fue efectiva su dinámica de trabajo.

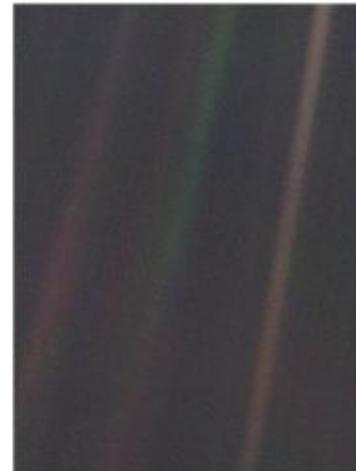
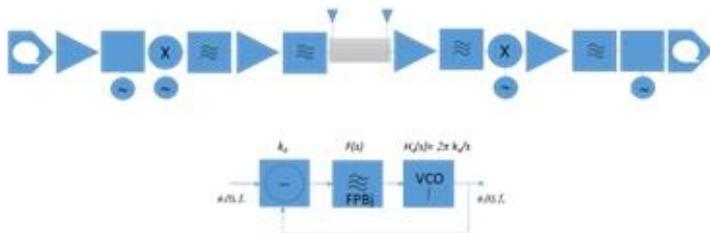
## Objetivos

Los docentes que presentan esta memoria fijaron como una de sus líneas de actuación para el curso 22-23, el estudio de métodos docentes innovadores y su aplicación en alguno de los grados de ingeniería de la Escuela de Ingeniería de Fuenlabrada (EIF). La introducción de estos métodos tenía que ser complementarios a los existentes y sin alterar contenidos. Los objetivos que se establecieron fueron:

- Aumento de la participación en clase de los alumnos y de su motivación por la asignatura y, por ende, en los estudios de ingeniería. La participación e implicación de los alumnos en las clases bien sean teóricas o prácticas es muy puntual, tanto temporal como por quienes participan. La interacción entre profesor en tiempo de clase o tutoría es mejorable. Los alumnos tienen por objetivo casi único el aprobar la asignatura, que, siendo lógico, no es suficiente en la persecución de una excelencia docente.
- Reforzar la comprensión de los contenidos, considerando las barreras que presentan gran parte de las asignaturas de ingeniería: Abstracción, complejidad en formulación y gran interrelación y dependencia entre contenidos.
- Potenciar el desarrollo de habilidades básicas y necesarias en del ejercicio de la profesión del ingeniero, tanto las ya recogidas en los planes de estudio como habilidades de comunicación multidisciplinar, implicación, pensamiento lateral, capacidad relacional, entre otros.

# Caso: El Transceptor Espacial para 'Un Punto Azul Pálido'

Terminales de Comunicaciones  
 Curso 2022 - 2023



Prof. x  
**ESCUELA DE INGENIERÍA DE FUNELABRADA**  
**DEPARTAMENTO DE TEORÍA DE LA SEÑAL Y COMUNICACIONES Y SISTEMAS TELEMÁTICOS Y COMPUTACIÓN**

Figura 1. Portada de la presentación utilizada en las clases del Caso 'El Transceptor Espacial para Un punto Azul Pálido' para guiar el caso y sus dinámicas. Muestra el diagrama de bloques de un transceptor, un PLL como elemento principal de una propuesta hipotética de demodulador mejorado MFKS y la foto tomada por Voyager I a instancias de Carl Sagan en 1990 a una distancia de 6000 millones de kilómetros de la Tierra y se queda la Tierra en un 'punto azul pálido' ('pale blue dot', descripción dada por Carl Sagan) casi no apreciable. Fuente: Esquemas propia y foto de la NASA (<http://visibleearth.nasa.gov/view.php?id=52392>).

Cuestión	Respuestas			
	a	b	c	d
1 ¿Es la primera vez que asiste a una clase sobre un 'Caso'?	SI.	No.	No he asistido a las clases.	.
2 ¿Recomendaría su aplicación a otras asignaturas de Ingeniería?	SI.	No.	Indiferente.	.
3 ¿Qué tipo de docencia prefiere y estima que es más conveniente para un Grado de Ingeniería?	Exclusivamente Magistral y Prácticas Guiadas Individuales.	Opción 'a', y además, Introducción de 'Casos'.	Opción 'a', y además, Introducción de Prácticas Colaborativas.	Opción 'a', y además, Introducción de 'Casos' y Prácticas Colaborativas.
4 ¿Qué contenidos considera más relevantes que aporta el método del 'Caso' para la consecución de los conocimientos/competencias para el Grado en Ingeniería que cursa y con impacto en la proyección profesional?	Solución teórica y práctica para la solución de un problema.	No.	Otra opción...	Opción 'a', y además, perspectivas tecnológica y multidisciplinar (económica, social, ...).
5 Para el mejor provecho del método del 'Caso', indique de mayor a menor la importancia de cada una de las etapas del Método del 'Caso' para el Grado en Ingeniería que cursa. Ponga 1 para el de mayor importancia, 2.	Preparación del caso de forma individual.	Debate de las actividades en grupo previas a las sesiones plenarias del 'Caso'.	Participación en las sesiones plenarias del 'Caso', debate.	Soluciones y conclusiones o aportadas en las sesiones plenarias del 'Caso'.
6 Comentario adicional sobre la asignatura de Terminales de Comunicaciones.	.	.	.	.

Tabla 1. Cuestiones formuladas a los alumnos en la encuesta específica para la valoración del Caso. Fuente tabla: Propia.

## 4. Resultados

### Metodología de análisis

La evaluación del impacto del método del Caso en los conocimientos de los alumnos se evaluó a través del examen de teoría y problemas mediante la resolución de un problema relacionado con el Caso y con un peso en dicho

examen del 50%. El examen de teoría y problemas tenía un peso del 50 % en la nota final de la asignatura y el otro 50 % lo componía el examen de prácticas, prácticas y otros trabajos que incluía el Caso con un peso del 25 % en la nota final del alumno.

El alumno a su vez evaluó el método del Caso y su ejecución en la asignatura a través de una encuesta específica y por la Valoración Docente de la asignatura. La encuesta específica se realizó al final del curso y consistía en contestar seis preguntas (ver Tabla 1), cinco cerradas y una abierta.

Encuesta 'Caso' en Terminales de Comunicaciones

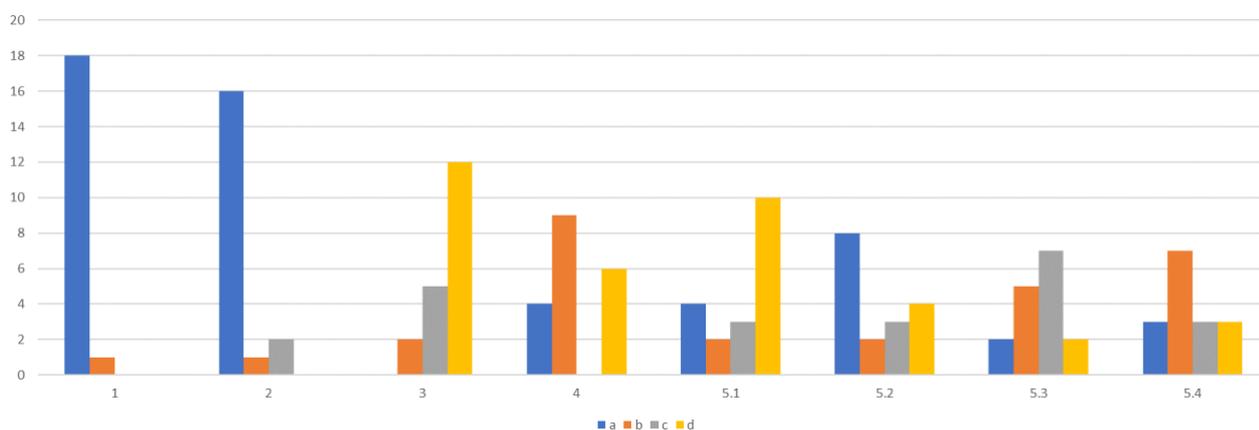


Figura 2. Contestación de los alumnos a las preguntas formuladas en la encuesta específica para la valoración del Caso. Para cada pregunta, en eje de abscisas y color por opción, se corresponde, en eje de ordenadas, el número de contestaciones que suscriben la opción. Cada Cuestión (cardinal en eje de abscisas) y opción contestada (color) se descifra a través de la Tabla 1. Fuente gráfica: Propia.

## Métricas Docentes (sobre 10) Valoraciones Para Profesor y Alumnos

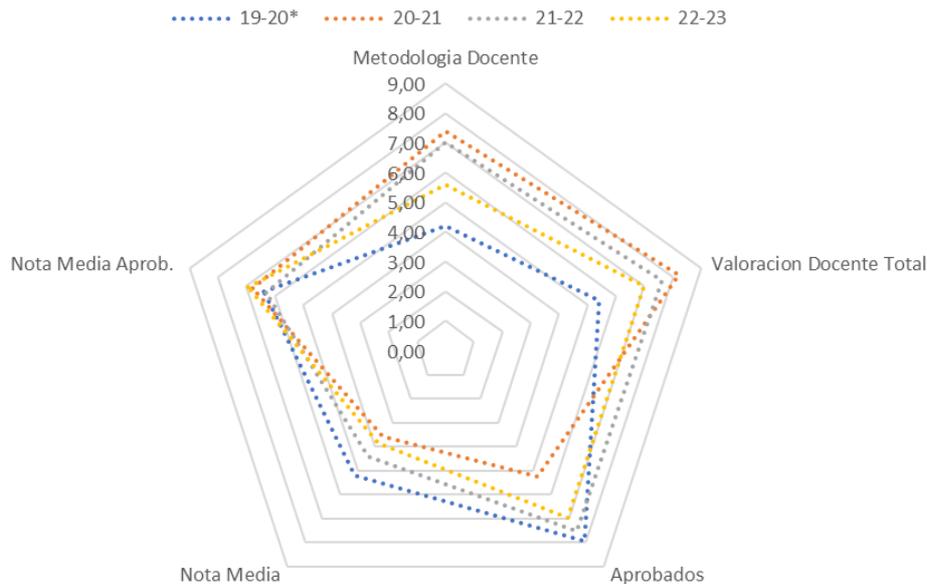


Figura 3. Valoraciones (sobre 10) de la asignatura *Terminales de Comunicaciones* desde el curso 19-20 hasta el curso 22-23. De los alumnos sobre la asignatura: *Metodología Docente* y *Valoración Docente*, fuente *Valoración Docente*. Del profesor sobre los alumnos: *Aprobados*, *Nota Media* y *Nota Media de Aprobados*, fuente *Actas Académicas*. Fuente gráfica: *Propia*.

## Resultados

El día de la convocatoria ordinaria de la signatura, previo al examen, los alumnos contestaron de forma escrita y anónima a un conjunto seis preguntas (cinco cerradas y una abierta) para valorar el método del Caso, su ejecución (ver Tabla 1). Sus respuestas sobre el método del Caso (ver Figura 2):

- 95 % es novedad.
- 84 % utilidad en los estudios de ingeniería.
- 63 % complementario con teoría y prácticas.
- 79 % potencia conocimientos teórico, prácticos y perspectiva tecnológica, y un 32 %, además la perspectiva multidisciplinar.
- 53 % entiende que el valor principal del Caso está en soluciones aportadas en las sesiones plenarias y en un segundo lugar (42 %) en el trabajo individual previo a las sesiones. Trabajo en grupo y su participación en plenarias es secundario.

La evolución por curso de la valoración de la asignatura de Terminales de Comunicaciones en sus métricas más significativas, según la Valoración Docente realizada por los alumnos y los resultados obtenidos por los alumnos se presenta en la Figura 3 (sobre 10). Las variaciones que se detectan en el curso 22-23, cuando se aplica el Caso, respecto de cursos anteriores son:

- Metodología Docente (fuente Valoración Docente), en el curso 22-23 es 5,60, se decremента un 20 % respecto al curso 21-22, y en el curso 21-22 respecto al curso anterior de había decremентаo ligeramente un 5 %.
- Valoración Docente Total (fuente Valoración Docente), en el curso 22-23 es 7,00, se decremента un 8% respecto al curso 21-22, tendencia arrastrada del curso 21-22.
- Aprobados (fuente Actas Académicas), en el curso 22-23 es 6,96, se decremента un 7 % respecto al curso 21-22, puede considerarse un valor de estabilización, dado que retoma un valor superior al del curso 20-21 (5,26), cuando en el curso 21-22 fue máximo (7,50).
- Nota Media (fuente Actas Académicas), en el curso 22-23 es 3,86, se decremента un 13 % respecto al curso 21-22. Métrica correlada en cierta medida con Aprobados dado que en el curso 21-22 hizo máximo (4,42) y en el 20-21 (3,56) hace un valor inferior al curso 22-23
- Nota Media Aprobados (fuente Actas Académicas), en el curso 22-23 es 6,95, se incrementa un 10 % respecto al curso 21-22, siendo el curso 21-22 mínimo (6,32) y el curso 20-21 (6,79) fue inferior al curso 22-23.

## Conclusiones

El Caso en los estudios de ingeniería y arquitectura, en temas técnicos, es una nueva forma de adquirir y afianzar conocimientos y habilidades. El Caso está consolidado como método docente en la mayoría de las universidades en sus estudios de economía y negocios, especialmente en los famosos MBA (*Master in Business Administration*).

El método del caso tras la encuesta realizada a los alumnos se ha percibido en estudios de ingeniería como una forma novedosa de adquirir conocimientos y de gran utilidad en la asignatura de Terminales de Comunicaciones.

En la encuesta específica sobre el método del Caso sí que se percibe de forma positiva su contribución para consolidar conocimiento en combinación con clases teóricas, de problemas o prácticas. Sin embargo, tras la aplicación de este método en la práctica descrita en el presente artículo, la valoración del docente queda difuminada y se retoman tendencias anteriores, siendo incluso penalizada la actividad docente del profesor.

El método del Caso requiere esfuerzo por parte del alumno, y también del profesor, y esta penalización de la valoración realizada en la Metodología Docente, apoya la idea de que una buena práctica se asocia con un mínimo esfuerzo y aprobado. Este hecho se agudiza en los alumnos de los últimos cursos, que, en no pocos casos, asumen retos por encima de sus posibilidades con vistas a terminar su grado y reducen tiempo de estudio y asistencia a clases, a favor de las prácticas en empresa o de los primeros empleos en el sector de su ingeniería. Este hecho además de corroborarse en las calificaciones se constata en las tutorías con dichos alumnos.

El método del Caso requiere tiempo, dedicación, esfuerzo, trabajo en equipo, asistencia a clase, variables que suponen un obstáculo para los objetivos finales del alumno de último curso del grado, que espera que dicho curso y especialmente las asignaturas del segundo cuatrimestre, no requieran de grandes esfuerzos. En este sentido La aplicación del método del caso podría arrojar resultados diferentes si se trabajara en cursos intermedios del grado (2º o 3º) lo que puede plantearse como línea futura de investigación.

Como elemento positivo a destacar en la evaluación del presente método del Caso, se encuentra el incremento de la nota media de aquellos alumnos que lo aprobaron. Los que han apostado por aceptar el reto, han aumentado su calificación. Así mismo también puede destacarse de forma positiva que alumnos que han superado la asignatura, se han interesado en realizar su TFG (Trabajo Fin de Grado) en temáticas relacionados con el Caso.

La aplicación de este método de innovación docente tiene que presentar un retorno evidente al alumno. En este caso se consideró que fuera del 25 % de la nota global, aunque no tuvo una consecuencia positiva en la valoración docente del profesor, sí la tuvo claramente en los alumnos que, aprobando la práctica, vieron incrementada su nota media.

Tras el análisis de estos resultados se propone la realización de un nuevo método del caso, esta vez en cursos de 2º o 3º del grado y aplicando una evaluación que comience en el aprobado y de forma gradual llegue al sobresaliente, directa y proporcionalmente ligada a la tipología del trabajo laboral, la fortaleza de la empresa de trabajo y las responsabilidades, puesto e ingresos que el alumno tendría en su vida laboral.

## 5. Equipo docente



### **José Andrés Berzal Fernández**

Ingeniero de Telecomunicación y Doctor Ingeniero de Telecomunicación por UPM. Diplomado PDD por IESE, así como por ESADE y ESIC. Actualmente profesor Ayudante Doctor de la URJC en la EIF e inicia la actividad docente en 2016 como profesor Asociado. Participa en proyectos SDR y multidisciplinares IoT (eficiencia energética) y miembro del Grupo de Innovación Docente GID-TUTOR-TIC. Inicia actividad profesional en 1989 como Ingeniero Superior de Telecomunicación en la Compañía Telefónica Nacional de España por concurso oposición. Ocupa puestos de responsabilidad en compañías del Grupo Telefónica o participadas (Madrid y Zúrich) hasta el 2017. Forma parte de la Junta Directiva de la Asociación Española de Ingenieros de Telecomunicación Madrid.



### **Julio Ramiro Bargueño**

. En Ciencias Físicas por la UAM. Durante 25 años he impartido docencia e investigación en cuatro universidades españolas, dos públicas (Universidad Autónoma de Madrid y URJC) y dos privadas (Universidad Pontificia de Comillas-ICAI y Universidad de Navarra), todas ellas de alto prestigio nacional. He sido Nominado al MEJOR DOCENTE DE ESPAÑA en los años 2017 y 2018 por el 1º y 2º certamen premios EDUCA ABANCA. Tengo Concedidos Cinco Sexenios (Cuatro de Investigación 1992-2021, Uno de Transferencia 2008-18).- Concedidos Cinco Quinquenios de actividad docente: 1996-2018- Concedidas Cinco Evaluaciones Positivas de la actividad docente universitaria "DOCENTIA" Aprobado (2008) Notable (2011) Notable (2014) y Notable (2017) Excelente (2020)

Coordinador de la ETSIT, en más de medio centenar de actividades de divulgación científica y orientación de nuevos alumnos de la universidad. Intensa labor de gestión de actividades académicas y científicas: Secretario Académico de la ETSIT, Jefe de Gabinete del Rector y Director Académico del Vicerrectorado de Estudiantes.

He colaborado en 20 proyectos de investigación de financiación pública, y transferencia de tecnología y vinculación con la empresa (más de 50) Responsable del Laboratorio de Comunicaciones de Banda Ancha (CECI) en la ETSIT perteneciente a la Red LaB de la Comunidad de Madrid y del Grupo de innovación docente GID-TUTOR-tic.

## Roberto San Millán-Castillo



Ingeniero Técnico de Telecomunicación, especializado en Sonido e Imagen por la UPM en 2000, Máster Universitario en Dirección y Gestión de Proyectos por la Universidad Antonio de Nebrija en 2012, Máster en Ingeniería Acústica por la UPM en 2013 y Doctor en Multimedia y Comunicaciones por la UC3M y la URJC en 2020. Con experiencia práctica en la industria en consultoría acústica, de instrumentación y control de ruido en diferentes puestos desde 1999. Profesor Asociado en UPM, UCARIII y URJC entre 2008 y 2012. Desde 2012 es profesor a tiempo completo en la URJC con diferentes figuras. Dispone de 2 tramos DOCENTIA reconocidos (Notable y Excelente), Evalúa DOCENTIA (Notable), y 2 QUINQUENIOS docentes. Miembro del Grupo de Innovación Docente GID-TUTOR-TIC.