



**Academia de Ciencias Matemáticas,
Físico-Químicas y Naturales de Granada**

**DE LOS PRINCIPIOS DEL ELECTROMAGNETISMO A LA
IDENTIFICACIÓN DE BLANCOS DE RADAR**

DISCURSO LEÍDO EN EL ACTO DE SU RECEPCIÓN
COMO ACADÉMICA CORRESPONDIENTE POR LA

EXCMA. SRA. DÑA. MARÍA DEL CARMEN CARRIÓN PÉREZ

Granada, 2025

“Lo desconocido siempre fue tan atractivo para mí, ... y todavía lo es.”

Hedy Lamarr

**De los principios del electromagnetismo a la
identificación de blancos de radar**

María del Carmen Carrión Pérez

Con la venia

Excmo. Sr. Rector Magnífico,

Excmo. Sr. Presidente del Instituto de Academias de Andalucía,

Excmo. Sr. Presidente de Honor de la Academia,

Excmo. Sr. Presidente de la misma,

Ilma. Sra. Secretaria de la Sección de Físico-Químicas,

Ilmo. Sr. Secretario General,

Excelentísimos e Ilustrísimos Señoras y Señores Académicos,

Autoridades,

Compañeros y Amigos,

Señoras y Señores,

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a la Academia de Ciencias Matemáticas, Físico-Químicas y Naturales de Granada, y en especial a su Sección de Ciencias Físico-Químicas, por proponer mi candidatura para ingresar como miembro académico correspondiente, y a todos los académicos, por su unánime acogida en esta institución, lo que es un gran honor no merecido, desde mi humilde opinión, y un sueño que hoy se hace realidad.

Muchas gracias a su Presidente, Prof. Francisco González Lodeiro por su apoyo y bienvenida, y al Prof. Luis Fermín Capitán Vallvey, Académico Secretario, por su ayuda en la edición de este discurso y por la preparación de este acto.

Muchas gracias también al Prof. Enrique Hita Villaverde, anterior Presidente y Vicepresidente del Instituto de Academias de Andalucía, por haber promovido mi ingreso en la Academia y por la generosidad de ser mi padrino y pronunciar el discurso de contestación. Además de haber sido mi profesor en dos asignaturas de la licenciatura, al Prof. Hita me une la amistad y cariño de muchos años compartidos en el Decanato de la Facultad de Ciencias, él como Decano y yo como Secretaria de Facultad primero, y posteriormente como Vicedecana de Recursos y Asuntos Económicos. Ocho años y medio de trabajo conjunto, de aprendizaje por mi parte, de reuniones, y de diálogo que dedicamos conjuntamente a la Facultad de Ciencias y que supuso para mí una experiencia extraordinaria que me impulsó años después a presentar mi candidatura a Decana. Gracias, querido Enrique por todo lo que he aprendido de ti, por la paciencia que has tenido con mis fallos y la confianza que siempre me has demostrado.

Agradecimiento también, a todas las personas que me han ayudado en mi vida universitaria, en especial a D. Gerardo Pardo, a la Rectora Pilar Aranda y a nuestro Rector Pedro Mercado. A todos mis compañeros del departamento de Física Aplicada, a todos aquellos con los que he compartido investigación, especialmente a dos personas muy queridas y que hoy nos faltan, los profesores Sawfan Al Khouri y Juan Antonio Morente y finalmente a mis familiares y amigos. A mis padres y hermanos, a mis hijos, mis cuatro nietos y a Luis, mi compañero y la persona con la que comparto mi vida.

Sobre los orígenes de la electricidad y el magnetismo.

Esta licenciada y doctora en Ciencias Físicas por nuestra Universidad, ligada durante muchos años a la docencia del Electromagnetismo en la Licenciatura y Grado en Físicas, enamorada de esta disciplina, de su historia, de su formulación tanto experimental como teórica, de los grandes avances que ha supuesto para la Humanidad y que ha desarrollado su investigación durante toda su carrera universitaria en temas ligados al Electromagnetismo, no puede comenzar este discurso de entrada en la Academia sino empezando por el principio, es decir, haciendo un poco de historia de cómo surgió esta maravillosa disciplina. Comencemos pues.

Los orígenes de la electricidad y del magnetismo se remontan al año 600 a.C. y se atribuyen a Tales de Mileto (624 a. C.-546 a. C.). Para los fenómenos eléctricos, no sólo se conocía la electrización por fricción sino también las propiedades del ámbar, el conocido como fuego de San Telmo y en el antiguo Egipto ya se sabía de la existencia en el Nilo de peces capaces de defenderse de otros

predadores mediante intensas descargas eléctricas. En relación con los fenómenos magnéticos aún hay que remontarse más atrás. La palabra “magnes”, imán en griego, viene de Magnesia, ciudad de la península de Anatolia o Asia Menor, hoy Turquía, en la que se encuentran yacimientos del mineral magnetita, que tiene la propiedad de atraer objetos de hierro. Pero la primera referencia al fenómeno del magnetismo se encuentra en China en un manuscrito del siglo IV a.C. en el que se indica que la magnetita y el hierro se atraen entre sí. Fueron los chinos los inventores de la brújula y de su aplicación en navegación y los árabes los que siglos después trajeron estos conocimientos a Europa.

Aunque hasta comienzos del siglo XIX no hubo grandes avances en el conocimiento de la electricidad y el magnetismo, hay que resaltar los realizados por William Gilbert (1544-1603) que concluyó que la Tierra puede considerarse como un imán gigante con sus polos situados cerca de los polos norte y sur geográficos.

En el siglo XVIII Benjamin Franklin (1706-1790), el padre del pararrayos, identificó el rayo como una descarga eléctrica y Henry Cavendish (1731-1810), gran físico experimental, fue uno de los primeros en utilizar el concepto de carga eléctrica, de medir la capacidad de un condensador y de introducir el concepto de resistencia eléctrica [1].

En 1777, Charles Augustin Coulomb (1736-1806) enunció la ley que lleva su nombre y fue capaz de diseñar y construir una balanza de torsión con la que estableció la ley del inverso del cuadrado de la distancia entre cargas puntuales [2]. También estudió las propiedades eléctricas de los conductores y demostró que un conductor en equilibrio electrostático, si está cargado,

tiene toda su carga repartida por su superficie, es decir, sólo tiene carga superficial.

Antes de seguir avanzado me gustaría comentar uno de los pilares básicos de la teoría electromagnética: la conservación de la carga. No existe ningún experimento en el que la carga no se conserve. Ello ha llevado a postular la conservación de la carga, la neutralidad del universo y a asegurar que las corrientes estacionarias forman circuitos cerrados. Todo ello queda recogido en la ecuación de continuidad, quizás la premisa fundamental en la que se basa el electromagnetismo. Pero sigamos avanzando.

En el mismo año en que Coulomb enunció su ley, nació Carl Friedrich Gauss (1777-1855), una de las figuras claves en el desarrollo del magnetismo. Además de hacer grandes avances en la medida del campo magnético terrestre, formuló una de las ecuaciones fundamentales tanto para el campo eléctrico como para el campo magnético [3], [4]. Se trata de la primera y la tercera de las cuatro ecuaciones de Maxwell [5]. La primera establece que las responsables y fuentes escalares del campo eléctrico son las cargas. La tercera establece que no existen polos magnéticos aislados, es decir, no existen monopolos magnéticos. Esta ley es uno de los pilares del electromagnetismo moderno y marca una diferencia fundamental entre ambos campos al establecer que el campo magnético no tiene fuentes escalares, es decir, no existe algo equivalente a las cargas para el campo magnético. Ya en el siglo XX, un gran físico español, Blas Cabrera y Felipe (1878-1945) dedicó gran parte de su investigación a la búsqueda de monopolos magnéticos, llegando a la conclusión de que, si existen, la densidad de los mismos es mínima [6]. Su nieto, Blas Cabrera Navarro (1946) también ha dedicado parte de su labor científica a la búsqueda de

dichas partículas, trabajando en la Universidad de Stanford. Diseñó un experimento con una bobina superconductor con la que consiguió detectar el paso de un monopolo magnético en febrero de 1982 [7]. Desde luego, la conclusión a la que llegó su abuelo no ha cambiado, no se puede decir que no existen los monopolos magnéticos, pero el número de ellos por unidad de volumen es tan ínfimo que su existencia no cambia la ecuación de Gauss para el campo magnético, es decir, las fuentes de este campo son vectoriales, no escalares.

Contemporáneo de Gauss fue el francés André-Marie Ampère (1775-1836) que además de inventar el solenoide y el galvanómetro, estableció el teorema que lleva su nombre, según el cual el origen del campo magnético está en las corrientes [8]. Hay que aclarar que, aunque la intensidad de corriente es una magnitud física escalar, no lo es la densidad de corriente, magnitud vectorial que es la que aparece en la cuarta y última de las cuatro ecuaciones de Maxwell.

A partir de ahí, aunque quedaba mucho por descubrir y experimentar, el establecimiento de las bases de ambos campos, eléctrico y magnético, estaba prácticamente formulado. Pero quedaba una gran pregunta por resolver, ¿se trataba de dos campos independientes? ¿estaban ambos relacionados de algún modo?

Si hay que destacar a alguien en el empeño, sin saberlo, en arrojar luz a la pregunta que antes se formulaba, ese es el inglés Michael Faraday (1791-1867). La vida de Faraday es apasionante. Nació cerca de Londres en una familia muy humilde que apenas pudo darle estudios. Trabajó primero como repartidor de periódicos y posteriormente tuvo la suerte de empezar a trabajar

en un taller de encuadernación donde pudo leer y aficionarse por la electricidad. Comenzó a asistir a las conferencias que impartía el químico Sir Humphry Davy (1778-1829) en la Royal Institution de Londres, consiguiendo llegar a ser su ayudante en el laboratorio. Faraday consiguió ingresar en dicha Institución en 1824.

Faraday, dados sus escasos conocimientos en matemáticas y en ciencias naturales, fue sobre todo un magnífico científico experimental. En 1821, diseñó el primer motor de la historia, lo que hoy día conocemos como un motor homopolar, y en 1831 descubrió, tras realizar múltiples experimentos, la ley de inducción electromagnética [9]. Construyó un toroide de hierro, colocó dos arrollamientos de alambre alrededor del toroide y comprobó que cuando hacía pasar una corriente por uno de los dos, en el otro aparecía, es decir se inducía, otra corriente. En otra de sus experiencias pudo medir la corriente eléctrica que se induce en una espira conductora cuando se hace pasar un imán por el interior de esta. Y viceversa, también vio que si era la espira la que se movía en presencia del imán en reposo, igualmente se producía una corriente en la misma.

Faraday desechó ideas antiguas provenientes de Newton y trabajó con el concepto de campo, visualizando las líneas de campo con experimentos propios de un genio.

Sus aportaciones en el campo de la Óptica fueron innumerables y en 1846 publicó un artículo, en el que de forma pionera, reflexionaba sobre la posibilidad de que la luz pudiera ser una vibración transversal de las líneas de fuerza de los campos eléctrico y magnético, sentando las bases de la Óptica Ondulatoria.

Es de resaltar que el signo menos que aparece delante de la ley de inducción de Faraday no se debe a él sino a Heinrich Lenz (1804 - 1865). Lenz fue el primero en darse cuenta de que la fuerza electromotriz inducida siempre se opone a la variación del flujo magnético, es decir a la causa que la produce [10]. Ello ha llevado a que realmente la ley se nombre como ley de inducción de Faraday-Lenz. La importancia de ese signo es tremenda porque si ese signo menos no existiera, los problemas de energía que existen en nuestros días habrían estado resueltos. Desgraciadamente ese signo, que lleva a que la fuerza electromotriz inducida y por tanto la corriente inducida sea de sentido contrario a la que la produce, responde a la experimentación.

Pero volviendo a los experimentos de Faraday, hay que resaltar que establecieron que un campo magnético variable con el tiempo genera un campo eléctrico; esta relación fue posteriormente formulada matemáticamente por James Clerk Maxwell (1831-1879) como la Ley de inducción Faraday-Lenz y se convertiría en una de las cuatro ecuaciones fundamentales del Electromagnetismo.

No nos podemos olvidar de que casi todo lo que se ha comentado hasta ahora sobre el Electromagnetismo tiene su origen en una de las partículas fundamentales que constituyen la materia: el electrón. Sin embargo, no fue hasta 1897 cuando Joseph John Thomson, (1856-1940) identificó el electrón [11] y hasta 1909 no se midió su carga de modo preciso, medida que fue realizada por Robert Andrews Millikan (1868-1953) por lo que recibió el Premio Nobel de Física en 1923 [12].

Las ondas electromagnéticas: el comienzo de una gran era.

En 1865 James Clerk Maxwell publicó el artículo titulado “A dynamical theory of the electromagnetic field” [5], introduciendo por primera vez, el concepto de corriente de desplazamiento, sin evidencia experimental y basándose en una incongruencia teórica.

Esa modificación de la ley de Ampere fue fundamental para el desarrollo de la teoría electromagnética, ya que acopló por segunda vez ambos campos. Faraday ya los había acoplado con anterioridad, como se ha comentado anteriormente. Este segundo acoplamiento entre los dos campos ha sido de capital importancia, ya que permitió demostrar que ambos cumplen una ecuación de ondas y estimar la velocidad con la que se propagan dichas ondas. Las cuatro ecuaciones, que a partir de ese momento se han conocido como ecuaciones de Maxwell, constituyen la base fundamental del Electromagnetismo y quedaron así definitivamente formuladas.

El resultado fue espectacular: una teoría más simétrica que la anterior, que predecía algo de increíble importancia. Lo que hizo Maxwell lo ha perseguido desde entonces la Física Teórica: reproducir el procedimiento buscando teorías más simétricas, sin evidencia experimental, que permitan abrir un mundo nuevo y por tanto explorar en la Física, como por ejemplo los intentos de obtener una teoría de la gran unificación.

Hasta llegar aquí, mucho se había recorrido y a partir de ahí mucho quedaría por recorrer, pero estaba claro que se había dado un paso fundamental.

La vida de Maxwell es la antítesis de la de Faraday. Hijo de una de las familias más ricas de Escocia, se formó hasta los once

años en la residencia de su familia para posteriormente matricularse en la Real Academia de Edimburgo, a continuación, en la Universidad de Edimburgo y finalmente en la de Cambridge, recibiendo una magnífica formación en física y matemáticas.

En 1860, Maxwell se instaló en Londres tras ganar una cátedra en el King's College. Conoció a Faraday y estableció una estrecha relación con él. Fue elegido miembro de la Royal Institution en 1861. Su época en el King's College puede considerarse de las más fructíferas. Como se ha indicado anteriormente, en 1865 publicó su trabajo más importante [5]. Reescribió todo el electromagnetismo conocido hasta aquel momento con una teoría matemática rigurosa y sobre todo haciendo su gran aportación, la introducción de una nueva fuente vectorial para el campo magnético: la corriente de desplazamiento. Este término, que Maxwell introdujo con una formulación exclusivamente matemática, fue fundamental ya que permitió predecir la existencia de las ondas electromagnéticas, concluyendo además que la luz era una de ellas.

Tras pasar una temporada en su tierra natal, en 1871, Maxwell volvió a la Universidad de Cambridge siendo uno de sus fundadores y el primer director del Cavendish Laboratory. La importancia de este laboratorio en el desarrollo de la física moderna ha sido tremenda. Otros de sus directores fueron Joseph John Thomson, el descubridor del electrón, como se ha comentado anteriormente. Además, siendo director del laboratorio Rutherford, en 1932, James Chadwick (1891-1974) descubrió el neutrón y se llevó a cabo la primera reacción nuclear controlada.

Maxwell siguió trabajando el resto de su vida en Cambridge, muriendo muy joven a la edad de cuarenta y ocho años en 1879. La teoría que él propuso no solo perdura, sino que ha sobrevivido las revoluciones relativistas y cuánticas, de hecho tenía la relatividad en su interior.

Pero faltaba algo decisivo, la comprobación experimental de la existencia de dichas ondas. En 1888 Rudolf Hertz (1857-1894) [13] hizo saltar chispas en un pequeño aro de alambre al colocarlo cerca de un circuito eléctrico oscilante, en el cual también podía producir chispas. La corriente variable en el circuito oscilante daba origen a campos eléctricos y magnéticos que se propagaban y eran detectados en el aro: así fueron descubiertas las "ondas hertzianas" que no eran otras que las ondas electromagnéticas predichas poco antes por Maxwell. Se comprobó experimentalmente que las cargas aceleradas son capaces de generar una onda electromagnética. Se radia energía electromagnética, pero a cambio de disminuir la energía mecánica. Ese proceso de cambio en la aceleración, tanto positivo como negativo, es fundamental en la generación de dichas ondas.

Hertz también observó, mientras realizaba experimentos con ondas, que algunos de los objetos de su entorno producían interferencias. Este hecho se difundió rápidamente y en los primeros años del siglo XX, muchos científicos se propusieron ampliar el estudio de dichos fenómenos.

Pocos años después, en 1894, el italiano Guglielmo Marconi (1874-1937) aprovechando los experimentos de Hertz, consideró la posibilidad de construir un sistema de telegrafía sin hilos [14],[15], llegando en 1899 a realizar comunicaciones a través del

Canal de la Mancha y finalmente, en 1901, a través del océano Atlántico.

En 1917 Nikola Tesla (1856-1943) publicó un trabajo sobre la detección de submarinos mediante un dispositivo de tipo radar, pero no hizo alusión alguna a las pérdidas debidas a la propagación de las ondas en el agua. Por otro lado, en una intervención realizada por Marconi en 1922, en el American Institute of Electrical Engineers y el Institute of Radio Engineers, propuso una posible aplicación de las ondas de radio, indicando que era posible detectar los rayos reflejados en barcos, lo que permitiría conocer la presencia y el rumbo de los mismos.

Los primeros pasos de los sistemas radar

En la década de 1930, el desarrollo del radar se inició de forma casi independiente y simultánea en muchos países, siendo de destacar el trabajo realizado por el físico Sir Robert Watson-Watt (1892-1973) que en 1935 logró la primera detección de un avión a través de ondas de radio [16]. Este dispositivo recibió posteriormente su nombre actual de "Radio Detection And Ranging" (RADAR), siguiendo la terminología que introdujeron los estadounidenses y que se podría traducir en español por Detección y Medición de Distancia por Radio.

Durante la II guerra mundial fueron muchos los países que desarrollaron sistemas de RADAR: Alemania, Reino Unido, Estados Unidos, Francia, Italia, Japón, Rusia y Países Bajos, lo que influyó decisivamente en considerar dichos sistemas como un arma de guerra. Sin embargo, el conocimiento que se había desarrollado tenía unas implicaciones que superan con creces el ámbito militar.

En 1924, Edward Victor Appleton (1892-1965), utilizando ondas de radio, midió la altura de la ionosfera [17]. Posteriormente, Gregory Breit (1899-1981) y Merle Antony Tuba (1901-1982) también obtuvieron dicha medida utilizando técnicas más novedosas [18].

Un avance importantísimo lo realizaron los físicos John T. Randall (1905-1984) y Henry Boot (1917-1983), de la universidad de Birmingham, que en 1940 desarrollaron el magnetrón [19]. Ello permitió trabajar a mayor potencia, con la ventaja añadida de reducir el peso y volumen de los sistemas desarrollados hasta ese momento. Se había inventado de este modo el horno de microondas, millones de magnetrones están en uso en la actualidad en las cocinas de nuestras casas.

Desde la mitad de la década de los años 30 y hasta los años 50, un papel importante en el desarrollo del RADAR lo jugaron los científicos del Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT) dirigidos por el físico Karl Compton (1887-1954) [20]. Compton produjo un enorme cambio en la relación entre ciencia e ingeniería, fortaleciendo la investigación científica básica en el Instituto y llegando a ser asesor del presidente de los Estados Unidos. En el MIT se desarrollaron más de 100 sistemas de RADAR diferentes, incluidos los que terminaron con los ataques aéreos contra Londres en la II Guerra Mundial. El personal del MIT comentaba en aquella época que “la bomba atómica acabó con la guerra, pero el radar la ganó”.

Un papel asimismo fundamental lo jugó George Valley (1913-1999), también del MIT. Tras descubrir que John Harrington (1919-2009) había desarrollado en Cambridge un dispositivo, el relé digital, que era capaz de convertir las señales analógicas en

digitales y que, al mismo tiempo en el MIT, Jay Forrester (1918-2016) estaba desarrollando un nuevo y potente ordenador capaz de realizar cálculos en tiempo real, aunó esfuerzos y por primera vez se consiguió digitalizar, enviar y procesar en tiempo real los datos recibidos por un RADAR. A partir de ahí, la Electrónica Digital y el Procesado Digital de Señales han sido dos herramientas fundamentales para el desarrollo del RADAR.

Tras la invención del LASER (Light Amplified by Stimulated Emission of Radiation) en 1960, y dado que los láseres trabajan en longitudes de onda más cortas, lo que permite aumentar el rango de frecuencias, en 1961 surgió el LIDAR (Light Detection And Ranging). El primer uso de esta tecnología es de 1962, año en el que Georgio Fiocco (1931-2012) y L.D. Smullin (1916-2009) midieron por primera vez la distancia de la Tierra a la Luna [21].

Las aplicaciones del LIDAR no sólo tienen lugar en el sector de las comunicaciones sino también para realizar lo que se conoce como *remote sensing* o teledetección, lo que incluye acciones específicas como la medida de la contaminación ambiental y aplicaciones generales en campos tan diversos como: meteorología, geología, edafología, oceanografía, agricultura, sismología, topografía, etc. Además, los sistemas LIDAR están sustituyendo a los radares de medición de velocidad debido a que son más rápidos, precisos y con mayor grado de seguridad.

Las aplicaciones en radioastronomía surgieron también al final de los años cincuenta y principios de los sesenta, destacando las realizadas en el Observatorio de Arecibo, inaugurado en 1963 en Puerto Rico, el mayor construido en el mundo y hoy día ya en desuso. En él se han realizado importantes descubrimientos. En 1989 permitió captar un asteroide por primera vez en la historia,

pero además con él se cartografió la superficie de Marte y se pudo observar a Saturno y a su luna más grande, Titán.

Finalmente, tampoco podemos olvidarnos de todas las aplicaciones de los sistemas RADAR, tanto civiles como militares, derivadas de la vigilancia, el control y la navegación [22].

Identificación de blancos de radar

Una vez contados los antecedentes y entrando ya en un tema más específico de la investigación que he desarrollado quiero indicar que desde la mitad de los años 60 del pasado siglo hasta la actualidad han sido muchos los científicos que han dedicado su esfuerzo en ir un poco más allá, a no quedarse sólo con detectar un objeto conductor al que se denomina blanco, sino en identificarlo, es decir descifrar su geometría y composición a partir del campo electromagnético dispersado por este. En la práctica el problema así planteado es irresoluble, ya que para una perfecta determinación geométrica y de composición haría falta una cantidad de información infinita, que consistiría en la respuesta dispersada por el blanco a todas las frecuencias y bajo todos los ángulos de observación.

Ello lleva a simplificar el problema, es decir no realizar una completa reconstrucción geométrica, sino más bien una discriminación eficaz del blanco que se encuentre presente de entre todos los blancos de un determinado conjunto, que se denomina librería de patrones.

De este modo se reformula el problema de manera que la identificación consiste en la extracción, a partir del campo electromagnético dispersado por el blanco, de parámetros ligados

a su geometría y composición. Estos parámetros deben discriminar unívocamente el blanco, dentro del conjunto de la librería de patrones.

Los dos problemas principales que se presentan son, en primer lugar, la presencia de ruido en el campo electromagnético dispersado, debido a multitud de posibles causas y en segundo lugar, la dependencia de los parámetros característicos con la orientación relativa del blanco a discriminar. Esto podría implicar la repetición del proceso para todas las posibles orientaciones lo que dificultaría enormemente la identificación.

Parte de la solución al problema planteado surgió de la mano del desarrollo teórico conocido como método de expansión en singularidades (SEM) desarrollado por C. E. Baum (1940) en la década de los años 70 y que ha jugado un papel fundamental, especialmente en el caso de blancos conductores [23].

El SEM permite asegurar que la respuesta tardía (late time), es decir la que tiene lugar una vez que la onda de excitación ha atravesado el blanco, se puede modelar como una suma de funciones exponenciales complejas amortiguadas.

La importancia de las frecuencias complejas de resonancia es enorme ya que permiten identificar unívocamente al blanco, por lo que se pueden considerar como su firma. Este hecho hace que hayan sido numerosos los métodos y técnicas desarrollados para determinar dichos parámetros, métodos que se encuadran en el marco del análisis y procesado digital de señal anteriormente citado.

La evolución hacia un nuevo punto de vista sobre el análisis digital de señales se produjo en 1965 con el desarrollo de algoritmos rápidos para el cálculo de la transformada de Fourier,

algoritmos conocidos como transformada rápida de Fourier (FFT). La FFT revolucionó el desarrollo práctico y la filosofía con la que se abordaban los problemas. Disminuyó el esfuerzo de cálculo en varios órdenes de magnitud, lo que permitió la implementación en tiempo real y permitió la reformulación de conceptos desde un punto de vista exclusivamente digital, favoreciendo el desarrollo de un tratamiento matemático riguroso de las transformadas y conceptos que aparecen en el estudio de señales discretas, en definitiva, la construcción de sistemas puramente digitales.

Por supuesto la extensión a la que ha llegado el uso del análisis digital de señales no habría podido realizarse de no ser por el desarrollo paralelo de los ordenadores digitales y los componentes electrónicos en general, lo que se ha extendido a todas las ramas de la Física en las que aparecen señales que varían con el tiempo y/o el espacio.

Las aportaciones del análisis digital de señal al electromagnetismo y concretamente al campo de la identificación de blancos de radar han sido extraordinarias de tal modo que hoy en día, incluso en los grupos de investigación más experimentales, la simulación por ordenador es una herramienta fundamental.

En el año 1985 surgió una nueva forma de plantear el problema de la identificación de blancos de radar, dando lugar a una técnica se conoce con el nombre de pulso de extinción (E-pulso) [24]. La metodología del E-pulso es la siguiente: para cada blanco de la librería se construye un pulso que al utilizarse como onda incidente no posea contribución en las frecuencias naturales de dicho blanco, es decir, que las elimine, pero sí en el resto de frecuencias. De este modo al irradiar un blanco con un E-pulso, si el blanco presente o blanco patrón es aquel para el cual se ha

construido el E-pulso, la respuesta dispersada por el mismo en el late-time será nula. Por el contrario, si el blanco patrón es otro, no se anularán sus frecuencias naturales y su respuesta no será nula.

En la práctica el modo de trabajo es el siguiente: se sintetizan los E-pulsos, pero en vez de irradiar el blanco con esta señal, se irradia con una señal suave en el dominio de la frecuencia, con contribución espectral en todo el ancho de banda deseado, de forma que se exciten todos los modos naturales del blanco. Si esta señal se convoluciona con uno de los E-pulsos se tiene, que si el blanco presente es aquel para el que se ha construido el E-pulso, el resultado de la convolución será una señal nula, pero si el blanco presente y aquel para el que se ha construido el E-pulso no coinciden, el resultado de la convolución no es nulo.

La forma de diseñar los E-pulsos se puede realizar mediante diferentes funciones base. Los resultados obtenidos por diferentes autores han permitido mejorarlos y optimizar sus resultados [25]-[30], en particular cuando se utilizan diferentes tipos de splines [31]. Existen otras técnicas similares, como la conocida como pulso de modo único (S-pulso). Se trata en este caso de excitar una única resonancia, obteniéndose resultados análogos [32].

Los blancos con los que se ha trabajado han sido figuras canónicas tales como: hilos rectos de diferente longitud, espiras circulares de diferente radio, esferas, etc. Sus frecuencias de resonancia o polos se encuentran en el rango de los gigahercios (GHz), por lo que la onda electromagnética de excitación del blanco debe ser un pulso muy estrecho de una anchura del orden de los nanosegundos.

Estadística de alto orden. Ruido coloreado.

Una de las herramientas más importantes del procesado de señales es el análisis espectral que consiste en analizar el contenido espectral o en frecuencia que posee una determinada señal. Aparecen así las series de Fourier, si la señal es periódica, la transformada de Fourier para señales no periódicas, pero de energía finita, la transformada Z para señales discretas, no periódicas pero de energía finita y la transformada discreta de Fourier si la señal es periódica. Dependiendo del tipo de señal con que se trabaje, se utilizan unas transformaciones u otras con el fin de estudiar su contenido espectral y con ello la contribución a la energía de cada frecuencia.

Sin embargo, el proceso de análisis descrito anteriormente no es válido para un tipo importante de señales: las señales aleatorias. Una señal puede ser aleatoria debido a su propia naturaleza, como sucede en el movimiento Browniano, o porque se encuentre contaminada con un ruido aleatorio, como sucede en comunicaciones. El ruido aleatorio puede ser blanco o coloreado. Será blanco si contiene por igual cualquier frecuencia, es decir si su espectro es plano, y coloreado en caso contrario, en concordancia con la terminología utilizada en Óptica.

La utilización del espectro de potencia y de la función de autocorrelación ha sido la base de lo que se conoce como análisis espectral clásico, o de segundo orden, quizás una de las herramientas más importantes del procesado de señales. Sin embargo, cuando la señal no es un proceso gaussiano la información recogida mediante un estudio de segundo orden no es completa, debiendo acudir a promedios conocidos con el nombre de cumulantes o momentos de alto orden, en el dominio del tiempo, o como poliespectros en el dominio de la frecuencia,

en definitiva, en la estadística de alto orden (HOS) o análisis poliespectral.

En la estimación de los poliespectros existen dos grandes grupos de técnicas de estimación: los convencionales, que usan de forma directa transformadas de Fourier y los paramétricos, en los que la señal se modela de modo que el conocimiento de esta se reduce al conocimiento de un conjunto de parámetros. Son estos últimos los que presentan una mayor resolución y menor coste computacional por lo que son los más utilizados. Entre ellos, los más extendidos son los modelos autorregresivos (AR).

El uso principal de los métodos de estimación AR en la estadística de tercer orden es el de la estimación de biespectros de señales [33]-[34], pero no es el único. También han demostrado ser eficientes en la detección y caracterización de un tipo de no-linealidades de segundo orden conocidas como acoplos cuadráticos de fase.

Tanto en el biespectro como en el triespectro, la detección y caracterización de acoplos mediante métodos AR tiene una serie de limitaciones e inconvenientes que se pueden superar mediante la utilización de técnicas ESPRIT (Estimating Signal Parameters via Rotation Invariance Techniques). La aplicación de esta técnica se basa en la similitud que existe entre las señales recogidas por una distribución espacial de sensores, en el problema de la determinación del ángulo de incidencia de señales electromagnéticas y las señales armónicas con acoplos [35]- [37].

Como se ha comentado anteriormente, un problema muy común en el procesamiento de señales y particularmente en la identificación de blancos de radar es la estimación de parámetros de sinusoides exponencialmente amortiguadas a partir de un

subconjunto finito de observaciones ruidosas. Cuando la señal está contaminada con ruido coloreado, un enfoque basado en HOS proporciona una solución adecuada a este problema. La propuesta de nuevos estimadores de tipo covarianza, que reduzcan los errores deterministas asociados a la estimación imperfecta de correlaciones de orden superior es una alternativa válida en problemas de identificación de blancos de radar, ya que permiten reducir el error cuadrático medio en casos límite como por ejemplo cuando las señales están contaminadas con ruido gaussiano aditivo y se dispone de un único registro de datos de corta longitud.

También la aplicación de técnicas HOS en el problema de la identificación de blancos radar con la técnica del E-pulse en presencia de ruido coloreado ha permitido obtener resultados satisfactorios en la mayoría de las situaciones [38],[39], ya que los esquemas de alto orden son los que producen mejores resultados incluso promediando en un número reducido de registros independientes.

Estimación de las Resonancias Schumann. Análisis de las medidas en Sierra Nevada.

Paso a continuación a comentar de forma resumida las aportaciones que he realizado en otro campo de trabajo dentro del Electromagnetismo, concretamente en la estimación de las resonancias de Schumann (RS) que reciben este nombre en honor de Winfried Otto Schumann (1888-1974).

Se conoce con el nombre de RS a las resonancias que tienen lugar en la cavidad delimitada por la superficie de la Tierra y por la

ionosfera, cuando es excitada principalmente por las tormentas eléctricas a escala global [40]. Estas resonancias pertenecen a la banda de frecuencia extremadamente baja (ELF) del espectro electromagnético, y ocurren aproximadamente a frecuencias que van desde unos pocos hercios (Hz) a decenas de Hz.

Cada resonancia se caracteriza por tres parámetros: amplitud, frecuencia central y anchura, estando afectados por las condiciones de la atmósfera a una escala global.

Al tratarse de ondas ELF, con longitudes de onda de decenas de miles de kilómetros en los modos más bajos, su medida, en una estación situada en cualquier punto del planeta proporciona información global que, permite extraer conclusiones sobre la evolución de los principales núcleos de actividad tormentosa del planeta, sobre el estado de la ionosfera y sobre la actividad climática y geológica, en términos globales.

La investigación en este campo comenzó en los últimos años del siglo XX y, en la actualidad, el seguimiento de la actividad eléctrica atmosférica ha despertado un gran interés para el estudio del clima. Ello ha llevado al desarrollo de numerosos proyectos y acciones de investigación con el objetivo de mejorar la colaboración internacional entre diferentes grupos de investigación e infraestructuras.

En la Universidad de Granada, entre los años 2010 y 2012 se diseñó y construyó una estación de medida de las componentes horizontales, Norte-Sur y Este-Oeste, del campo magnético en la banda ELF, estación que se instaló en Sierra Nevada (Barranco de Poqueira). El objetivo principal ha sido contribuir a la investigación en el campo de las RS con nuevas medidas y con propuestas sobre el procesamiento de los datos y la interpretación de los resultados.

Uno de los promotores de la construcción de la estación fue el profesor Juan Antonio Morente Chiquero, lamentablemente fallecido antes de la inauguración de la estación, que lleva su nombre [41]-[45].

En el trabajo realizado, ha sido de capital importancia la discusión, entre toda la comunidad científica que trabaja en el tema, sobre la conveniencia de tener en cuenta y de indicar explícitamente la metodología utilizada para extraer los parámetros de las RS a partir de las medidas de campo magnético registradas en las diferentes estaciones.

Se ha propuesto una metodología de procesado que se aplica para extraer los parámetros de las tres primeras RS de las medidas de la estación de Sierra Nevada. Se ha puesto de manifiesto cómo la elección de las diferentes opciones y parámetros que configuran la metodología influye en los valores finales obtenidos para los parámetros. No es una práctica habitual en la literatura dar cuenta de la metodología empleada para obtener las RS, sin embargo, para poder avanzar en este campo, se considera que es necesario indicarla de la forma más explícita posible de modo que los resultados obtenidos por distintos grupos de investigación puedan ser comparados con rigor.

La metodología propuesta para obtener los parámetros de las RS a partir de las medidas de la estación de Sierra Nevada, el material desarrollado para llevarla a cabo, junto con las medidas experimentales de campo magnético, se ha puesto a disposición de toda la comunidad científica en el periodo de 2013 a 2017 [46]-[48].

Los resultados obtenidos se han comparado con los de otros autores, en los que se investiga la relación de las variaciones de las

RS con fenómenos atmosféricos, medioambientales y espaciales, como los patrones de evolución diurna y estacional de los principales núcleos tormentosos del planeta (Asia, África y América), la oscilación Sur, el fenómeno El Niño, o los ciclos de actividad solar [49]. La mayoría de las conclusiones observadas en trabajos previos se confirman con los resultados obtenidos aquí.

Uno de los conceptos más bellos de la física: la resonancia

Llegados a este punto considero que hay que hacer una reflexión sobre los diferentes campos de investigación en los que he trabajado y la relación entre todos ellos.

Estudiando el curso de orientación universitaria (COU) en el IES Padre Manjón, tuve la suerte de tener profesores extraordinarios como D^a Carmen García Arribas en Matemáticas comunes y Matemáticas especiales, D^a Remedios Casamar en Lengua Castellana y a D. Ramón Román en Física. D^a Carmen me aconsejaba estudiar Matemáticas, ella me daba unas magníficas notas en sus asignaturas, pero ese año empezamos a estudiar en Física una parte de esta que me cautivó: el Electromagnetismo. D. Ramón Román era y es muy buen profesor. El campo eléctrico yo lo entendía bien, pero el campo magnético por el contrario era como un misterio, no llegaba a comprenderlo. Las líneas de campo magnético no nacen ni mueren, sino que rodean a las corrientes, ¡era algo misterioso que no llegaba a entender bien! Hoy yo diría a mis estudiantes que eso significa que el campo magnético no tiene fuentes escalares, sino vectoriales, pero en aquel momento despertó en mí una curiosidad que dirigió mis estudios hacia la Física y al Electromagnetismo.

Al terminar mis estudios de cuarto curso la Licenciatura en Ciencias Físicas, el profesor de Electromagnetismo me dijo que le gustaría que trabajara con él, empezando por hacer la Memoria de Licenciatura (Tesina) en el Departamento de Electricidad y Electrónica. Ya en quinto y último curso, estando matriculada en la asignatura Ampliación de Óptica, el profesor D. Enrique Hita también me ofreció hacer la Tesina con él, pero la ingenuidad de la juventud me llevo a decirle que ya estaba comprometida y que haría mi Tesina en otro departamento.

El tema de mi Memoria de Licenciatura fue el cálculo de las frecuencias de resonancia del tracto vocal (formantes) para las vocales castellanas. Corría el principio de los años 80 y el reconocimiento automático de voz por ordenador era un tema de investigación pujante donde grandes compañías americanas estaban poniendo todo su empeño.

Fue la primera vez que entré en contacto con uno de los conceptos que me han seguido y que de algún modo han servido de hilo conductor en toda mi carrera investigadora: la resonancia.

Tuve la suerte de que el mismo año que terminé la Licenciatura hubiera una plaza de profesora Ayudante de clases prácticas, en el departamento de Electricidad y Electrónica y que entrara en el mismo, por lo que comencé a desarrollar mi tesis doctoral. La primera docencia que se me asignó fue clase de problemas de la asignatura Electrónica, de la especialidad de Física Fundamental y que impartía el profesor D. Alberto Prieto. Tengo un gratísimo recuerdo de aquellas primeras clases, aunque era un curso singular, en el que había, como estudiantes, varios militares que podían ser mis padres y que imponían un poco.

La división posterior del departamento de Electricidad y Electrónica en dos, con la llegada de D. Pedro Cartujo, el catedrático más antiguo de España en Electrónica, y diversas circunstancias reorientaron el tema de mi tesis doctoral hacia la identificación de blancos de radar, un tema más propio del Electromagnetismo que era el departamento donde finalmente yo estaba integrada. Cambié de tema de tesis doctoral, no sin coste de tiempo, ni personal, dejé en España a mi hijo con cinco meses, tras una estancia de investigación en el Istitute di Scienze dell'Informazione de la Universidad de Turín, con una beca financiada por el Ministerio de Asuntos Exteriores Italiano.

La reorientación de tesis doctoral me puso de nuevo en contacto con el concepto físico de resonancia ya que una de las formas de identificar a un blanco conductor es a través de sus frecuencias de resonancia, como se ha comentado, pero ahora en un rango muy diferente y que está en los Gigahertz (GHz).

Finalmente, he trabajado calculado las resonancias Schumann que como se ha comentado están en el rango de los hercios o decenas de ellos. He recorrido por tanto una buena parte del espectro electromagnético de frecuencias.

Para finalizar este discurso, cabe por tanto plantearse una reflexión sobre este concepto físico que me ha acompañado en toda la investigación que he realizado y que ha formado parte de la docencia que he impartido a lo largo de mi vida universitaria.

¿Qué es la resonancia? ¿Qué es necesario para que un sistema físico entre en resonancia? De forma muy general y resumida debe haber un elemento externo al sistema que comunique energía al mismo con una frecuencia que coincida con

la frecuencia en la que la energía absorbida por el mismo es máxima.

Por supuesto existen casos de sistemas físicos que al entrar en resonancia han producido efectos destructivos, baste recordar los casos de resonancia mecánica de destrucción del lo famoso puente de Angers sobre el río Maine (Francia) o el de Tacoma Narrows, construido para cruzar el estrecho de Tacoma en Estados Unidos [50]. Pero los ejemplos los tenemos aún más cercanos. En la autovía de la Plata se construyó un puente metálico sobre el río Tajo que un día de vientos racheados entró en resonancia y estuvo a punto de colapsar. Pero ¿en cuantas situaciones el fenómeno de resonancia produce efectos positivos? Son innumerables y se pueden buscar ejemplos en todos los campos de la física: en mecánica, en acústica, en electromagnetismo, en electrónica, en estado sólido o en física nuclear.

Desde luego lo que está claro es que los equipos de resonancia magnética nuclear en medicina salvan miles de vidas y que tenemos casos en todos los campos, por ejemplo, en biología en la comunicación entre insectos, es muy curioso como los mosquitos hembra sintonizan la frecuencia del aleteo de sus alas con las frecuencias naturales de las antenas de los machos. También en el diseño de los automóviles para evitar que las frecuencias del motor provoquen vibraciones indeseables y en el cuerpo humano sujeto a vibraciones en ciertas situaciones de la vida laboral, por citar algunos ejemplos.

Concluyo indicando que he tenido la suerte de trabajar, para mí, en uno de los campos más bellos de la Física, como es el Electromagnetismo, dentro de él en radar, todo ello envuelto en

ruido coloreado y aderezado con uno de los conceptos más bellos de toda la Física: la resonancia. No puedo pedir ni decir nada más.

Muchas gracias

Bibliografía

- [1] Cavendish, H. "Experiments to determine the force of electric charges", *Philosophical Transactions of the Royal Society*, vol. 61, pp. 1-22, 1771.
- [2] Coulomb, C. A. "Premier mémoire sur l'électricité et le magnétisme." *Mémoires de l'Académie Royale des Sciences*, 569–577, 1785.
- [3] Gauss, C. F. "Disquisitiones generales circa superficies curvas" *Societati regise oblatse D. 8. Octob. (en latín)*, 1827.
- [4] Gauss, C. F. "Allgemeine Lehrsätze in Beziehung auf die im verkehrten Verhältnisse des Quadrats der Entfernung wirkenden Anziehungs- und Abstoßungskräfte." *Werke*, vol. 5, pp. 195-242, 1839.
- [5] Maxwell J. C. "A Dynamical Theory of the Electromagnetic Field." *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, vol. 155, pp. 459–512, 1865.
- [6] Cabrera, B. "El átomo y sus propiedades electromagnéticas". Editorial Paez-Écija, Madrid, 1927.
- [7] Cabrera N. B. "First Results from a Superconductive Detector for Moving Magnetic Monopoles", *Physical Review Letters*, vol. 48, pp. 1378, 1982.

- [8] Ampère, A.-M. *Mémoire sur la théorie mathématique des phénomènes électro-dynamiques uniquement déduite de l'expérience*. Paris: Chez Méquignon-Marvis. 1827.
- [9] Faraday, M. "Experimental Researches in Electricity." *Philosophical Transactions of the Royal Society*, vol.121, 125–162. 1831.
- [10] Lenz, H. F. "Ueber die Bestimmung der Richtung elektromotorischer Ströme, welche durch gewisse Vertheilung des magnetischen Flusses erzeugt werden." *Annalen der Physik und Chemie*, vol.107, no. 9, pp. 127-136, 1834.
- [11] Thomson, J. J. "Cathode Rays." *Philosophical Magazine*, vol. 44, pp. 293-316, 1897.
- [12] Millikan, R. A. "On the elementary electrical charge and the Avogadro constant." *Physical Review*, vol 2, pp.109-143, 1913.
- [13] Hertz, H. "Ueber sehr schnelle electrische Schwingungen." *Annalen der Physik und Chemie*, vol. 267, no. 7, pp. 421–448, 1887.
- [14] Marconi, G. "Wireless Telegraphy." *Journal of the Institution of Electrical Engineers*, vol. 26, pp. 598-627, 1896.
- [15] Marconi, G. "Experiments in Wireless Telegraphy." *Proceedings of the Royal Society of London*, vol: 65, pp. 220-229, 1899.
- [16] Sir R. Watson-Watt, *The Pulse of Radar*. New York: The Dial Press, 1959.
- [17] Appleton, ionosfera
- [18] Tube Merle Antony (1901-1982) también obtuvieron dicha medida utilizando técnicas más novedosas [18].
- [19] Magnetron
- [20] <https://www.ll.mit.edu/impact/commemorating-scr-584-radar-historical-pioneer>

- [21] Fiocco, G., & Smullin, L. D. "Detection of Scattering Layers in the Upper Atmosphere by Optical Radar." *Nature*, vol. 199, 1275–1276, 1963.
- [22] .El de M Salazar
- [23] Baum, C. E. "On the Singularity Expansion Method for the solution of electromagnetic interaction problems". Air Force Weapons Laboratory Interaction Note 88.1971.
- [24] Shen, R. W., Senior, T. B. A., & Volakis, J. L.. "E-Pulse Technique for Transient Scattering from Conducting Bodies." *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 33(4), 389–394, 1985.
- [25] Mittra, R., & Itoh, T. "Techniques for Synthesizing E-Pulses Using Polynomial Bases." *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, 30(5), 42–50, 1988.
- [26] Rothwell, E.J., et all. "Radar target discrimination using the Extinction-Pulse Technique", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 33(9), 929–93,. 1985.
- [27] Carrion, M. C., Gallego, A., Porti, J., & Ruiz, D. P.. Subsectional-polynomial E-pulse synthesis and application to radar target discrimination. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 41(9), 1204–1211. 1993
- [28]] Blanco, D., Ruiz, D. P., Alameda, E., & Carrion, M. C. An Asymptotically Unbiased E-Pulse-Based Scheme for Radar Target Discrimination. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 52(5), 1348–1350, 2004.
- [29] Morales J., D. Blanco D., Ruiz D. P. and Carrión M. C. Radar-Target Identification via Exponential Extinction-Pulse Synthesis, in *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 55, no. 7, pp. 2064-2072, 2007.

- [30] Garzon-Guerrero, J. A., Ruiz D. P. and M. C. Classification of Geometrical Targets Using Natural Resonances and Principal Components Analysis, in IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 61, no. 9, pp. 4881-4884, 2013.
- [31] Blanco, D., Ruiz, D. P., Alameda-Hernandez, E., & Carrion, M. C., Extinction Pulses Synthesis for Radar Target Discrimination using β -splines, new E-pulse conditions. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 54(5), 1577–1585, 2006.
- [32] Gallego A, Carrión M.C., Ruiz D.P and Morente, J.A "Improved S-Pulse automated scheme using subsectional - polynomial basic-functions". IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 44, no. 6, pp: 859-862, 1996
- [33] Nikias, C. L., & Petropulu, A. P. Higher-Order Spectral Analysis: A Nonlinear Signal Processing Framework. Englewood Cliffs: Prentice Hall. 1993.
- [34] Marple, S. L. Digital Spectral Analysis with Applications. Prentice-Hall. 1987.
- [35] Roy, R., & Kailath, T. "ESPRIT – Estimation of Signal Parameters via Rotational Invariance Techniques." IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing, vol 37, no. 7, pp: 984–995. 1989.
- [36] Cousins, S. B., & Ljung, L. "Estimating Sinewaves in Colored Noise." Automatica, 24(4), 497–507. 1988.
- [37] Medouri, A., Gallego, A., Ruiz, D.P and Carrión, M.C.
Estimation one-and-two-dimensional direction of arrival in an incoherent/coherent source environment". IEICE Transactions on Communications, vol E80-B, no. 11, pp: 1728-1740, 1997.
- [38] Gallego, A., Ruiz, D.P. and Carrión M.C., "E-pulse scheme based on higher-order statistics for radar target discrimination in the presence of coloured noise".

IEE Electronics Letters, vol. 32, no. 4, pp: 396-397, 1996.

- [39] Gallego, A., Ruiz, D.P. and Carrión M.C., "Radar target discrimination using a hybrid E-pulse fourth-order moments technique". IEE Proc.- Radar, Sonar Navig, vol. 144, no. 6, pp: 355-360, 1997.
- [40] Schumann, W. O. (1952). "Über die strahlungslosen Eigenschwingungen einer leitenden Kugel, die von einer Luftschicht und einer Ionosphärenhülle umgeben ist." Zeitschrift für Naturforschung A, 7(2), 149–154.
- [41] Morente, J. A., et al. "ELF Station Design for Schumann Resonance Measurements in Sierra Nevada." Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, 102, 50–60, 2013.
- [42] Clilverd, M. A., et al. "Analysis of Transient Events in Schumann Resonance Data." Radio Science, 49(12), 1071–1082, 2014.
- [43] Salinas, A., & Morente, J. A. "Comparative Study of Schumann Resonance Parameter Extraction Methods." Annales Geophysicae, 33, 1359–1369, 2015.
- [44] Sazhin, S. S., et al. "Global Lightning Activity and Schumann Resonances: Multi-Station Observations." Earth, Planets and Space, 68(1), 137, 2016.
- [45] Salinas, A., & Morente, J. A. "On the Processing of ELF Measurements for Schumann Resonance Analysis." Geophysical Research Letters, 44(2), 864–872, 2017.
- [46] Rodríguez-Camacho, J., Salinas, A., Toledo S., Fornieles, J., Portí J. and Carrión, M.C. "On the need of a unified methodology for processing Schumann resonance measurements". Journal of Geophysical Research, Atmospheres, vol.123, nº 23, pp. 13277-13290. 2018.
- [47] Salinas, A., Rodríguez-Camacho, J., Portí J., Carrión, M.C., Fornieles, and J. Toledo S. "Schumann resonance data processing programs and

four-year measurements from Sierra Nevada ELF station” Computers and Geosciences, 2022. DOI:10.1016/j.cageo.2022.105148

[48] Rodríguez-Camacho, J., Salinas, A., Carrión, M.C., Portí J., Fornieles, J. and Toledo S. Four year study of the Schumann resonance regular variations using the Sierra Nevada station ground-based magnetometers. Journal of Geophysical Research, Atmospheres., vol 127, 2022. DOI:10.1029/2021JD036051

[49] Nickolaenko, A. P., & Hayakawa, M.. Resonances in the Earth–Ionosphere Cavity. Kluwer Academic Publishers. 2002.

[50] Billah K. and Scanlan R. Resonance, and Undergraduate Physics Tacoma Narrows Bridge Failure, and Undergraduate Physics Textbooks». American Journal of Physics 59 (2): 118-124. 1991

**Contestación al discurso de Ingreso en la Academia de Ciencias
Matemáticas, Físico-Químicas y Naturales de Granada de la
Excma. Sra. Dña. Maria del Carmen Carrión Pérez**

Excmo. Sr. D. Enrique Hita Villaverde

Excmo. Sr. Rector Magnífico,

Excmo. Sr. Presidente del Instituto de Academias de Andalucía,

Excmo. Sr. Presidente de Honor de la Academia,

Excmo. Sr. Presidente de la misma,

Ilma. Sra. Secretaria de la Sección de Físico-Química,

Ilmo. Sr. Secretario General,

Excma. Sra. Aspirante, querida Maricarmen,

Excmos. e Ilmos. Sras. y Sres. Académicos,

Autoridades,

Señoras y Señores:

PLANTEAMIENTO

A lo largo de mi vida académica me he encontrado ante situaciones en las que se mezclaban los sentimientos más íntimos y diversos y ello debido, a veces, a la complejidad de las mismas o a las responsabilidades que le eran inherentes, aunque, no es menos cierto que, en otras ocasiones, eran fundamentalmente esos sentimientos íntimos de afecto, reconocimiento y de admiración a las personas implicadas los que afloraban. Pues bien, hoy me encuentro ante una de esas situaciones.

Suele manifestarse en los discursos de *laudatio*, o contestación como el que nos ocupa, que se considera un honor haber sido designado para ello, y les manifiesto que es verdad, ya que es lo que siento en este momento y, por ello, he de manifestar que la responsabilidad institucional que hoy asumo se ve acompañada de una profunda admiración, cariño y respeto hacia la persona implicada, la profesora D.^a Maricarmen Carrión Pérez, mujer a la que he estado ligado durante buena parte de mi vida académica, profesional y, ¿por qué no?, humana.

Por ello deseo iniciar esta breve intervención agradeciendo a mi Academia de Ciencias de Granada el honor que me confiere al designarme como padrino encargado de dar la bienvenida a la misma, a tamaña mujer. Honor que asumo lleno de orgullo por una parte y de cierta preocupación por otra ante la siempre duda de saber cubrir con éxito la tarea que se nos encomienda.

No es la primera vez que me encuentro ante esta tesitura y, como en esas otras ocasiones, quisiera iniciar mi actuación manifestando mi opinión sobre las cualidades que deben adornar a los académicos en general.

A veces suele destacarse, máxime en el momento actual donde priman en la evaluación las contribuciones científicas sobre otros aspectos, suele destacarse, como decía, el currículum científico como el ente primordial que debe poseer todo

académico. Bajo mi punto de vista, esto, con ser un elemento de peso, no debe ser, ni mucho menos, lo más relevante entre nuestros compañeros, un académico no es solamente un currículum científico, que también, pero debe ser mucho más que eso.

Hace algún tiempo, el entonces presidente del Instituto de Academias de Andalucía, Profesor Gonzalo Piédrola Angulo, en su discurso de apertura del curso académico, ponía en boca de Platón, (387 A.C.), fundador de la primera academia, que los ciudadanos deberían verse obligados a referirse a los académicos como las mejores personas con las que pudieran conectar y, por tanto, saludarlos con el cariño inherente a tal consideración, ello como consecuencia no solo de su actividad o conocimiento sino también de su talante.

Y es que un académico yo entiendo que debe ser un ser humano adornado de las cualidades necesarias para poder llevar a cabo las tareas que le son propias consiguiendo así el desarrollo de los objetivos que son inherentes a nuestras instituciones, entre ellos el, tal vez más primordial, de ayudar al desarrollo del mundo que nos ha tocado vivir, al bienestar de la humanidad en definitiva.

No cabe la menor duda de que un académico ha de estar en posesión de un historial que garantice una formación científica, en nuestro caso, al más alto nivel, pero no solo eso pues, siguiendo a J. P. Lamet, de nada sirve pasarse la vida acumulando conocimientos y su reconocimiento oficial, para terminar siendo un *“burro cargado de libros y de títulos sin proyección humana alguna”*.

Se hace, pues, necesario estar en posesión de otros valores humanos que posibiliten el desarrollo de las funciones que se esperan del mismo, ligadas, en nuestro caso, a los objetivos marcados para las academias en general y para nuestra Institución en particular, *relacionados con el fomento y difusión de las ciencias*

y sus aplicaciones, así como auxiliar a aquellas instituciones públicas o privadas que requieran su ayuda. Enriquecimiento, por tanto, de la Ciencia y su difusión, así como la proyección social de la misma.

Trataré pues de analizar, en lo que sigue, la conformación y formación de nuestra aspirante en relación con estas premisas.

SOBRE LA PERSONA Y SU FORMACIÓN

Tratar de introducirse en la formación y actividad histórica de nuestra aspirante para hacer un obligado resumen de la misma, no es tarea fácil, créanme, pues la actividad formativa llevada a cabo por la profesora Carrión ha sido, y sigue siendo, tal vez esto sea lo más importante, de tal envergadura que resultaría imposible glosarla en unas pocas líneas, por ello quisiera que este auditorio entendiera que lo que se muestra a continuación no es otra cosa que un apunte.

No obstante, sí que me gustaría resaltar, a priori, las ideas fundamentales que, a mi juicio, han marcado tal proceso: *la consecución de una formación muy SÓLIDA, el desarrollo de una actividad profesional marcada por el MAGISTERIO y el planteamiento de una responsabilidad profesional guiada por el COMPROMISO.*

Y es que no se podría esperar otra cosa de esta inteligente granadina, criada en las estribaciones de Sierra Arana dentro de nuestra maravillosa comarca de los montes y que vino al mundo en el seno de una familia de cuatro hermanos, humilde pero emprendedora. Acostumbrada, pues, desde niña a valorar las cosas que se consiguen, sabiendo que no caen del cielo y que hay que ganarlas con el esfuerzo continuo.

La profesora Carrión se licencia en Ciencias Físicas por nuestra universidad en junio de 1979, pertenece pues a la segunda promoción de licenciados en Física por nuestra querida Facultad de Ciencias de Granada y realiza los estudios de su licenciatura, tal y como se refleja en su expediente, de forma brillante, aunque, todo hay que decirlo, no de forma aparente pues desde siempre la humildad ha sido una de sus características.

Ella misma nos ha manifestado hoy que la elección de estos estudios vino muy condicionada por la influencia que algunos de sus profesores de bachillerado tuvieron sobre ella, entre otros el profesor Román Roldán que posteriormente se convertiría en uno de sus compañeros de departamento.

Yo tuve la suerte, de ahí que conozca su trayectoria desde muy al principio de la misma, de ser su profesor de Óptica en el tercer curso de su licenciatura y, posteriormente, en la de Ampliación de Óptica en el quinto año de la misma, y puedo manifestar que desde entonces la alumna Carrión ya “*apuntaba maneras*”, pues detrás de esa “*coraza*” de humildad, coraza de actitud que no de defensa, se vislumbraba el espíritu crítico que debe caracterizar al científico y ello, acompañado por una curiosidad, exacerbada diría yo, por lo que se le ocultaba a su incipiente formación, ponían de manifiesto la posibilidad futura de una *mujer de ciencia y de conciencia*.

Estas circunstancias, originaron que, un entonces incipiente investigador, el ya Dr. Hita, yo mismo, se fijara en ella como posible colaboradora para el desarrollo de las líneas de investigación en Óptica de la visión que trataba de implantar en nuestra universidad. De ahí que le ofreciera la posibilidad de iniciar en este campo su andadura científica integrándose en el joven Grupo de Óptica, pero, tal vez debido a su curiosidad por *aclarar la forma de*

las líneas de campo magnético, su obsesión desde el bachiller, dio lugar a que *“me dejara por otro”*.

De hecho, en realidad nunca abandonó su conexión con la Óptica, pues vaya usted a saber por qué, el destino, nos regaló como colaborador ni más ni menos que a su marido, el cual con el paso del tiempo se consolidó como uno de los principales puntales de la óptica granadina, como compañero excepcional y, con el transcurso de los años, como amigo entrañable, pero esa es otra historia ya contada.

La profesora Carrión se integra, pues, inicialmente en el entonces Departamento de Electricidad y Electrónica, para realizar su tesina de licenciatura dentro de un tema de gran actualidad por aquellas fechas, *El reconocimiento automático de voz por ordenador*, aportando resultados de gran interés científico y técnico.

Posteriormente, debido a la reestructuración de los estudios de Física en Granada, la profesora Carrión se incorpora al recientemente creado Departamento de Electromagnetismo y, con ello, se origina, al parecer, la necesidad de redirigir su línea de investigación hacia otro campo de también gran interés científico-técnico: *la identificación de blancos de radar*.

Este cambio supuso para ella la obligación de realizar el primer gran esfuerzo y sacrificio como ser humano, como madre de familia, pues la necesidad de adquirir una formación adecuada para iniciar tal andadura le hizo dejar su casa y familia para llevar a cabo su primera estancia internacional en Italia, becada por aquel país. Pero este dejar no supuso en modo alguno abandonar, su casa y familia *“quedaban bien custodiadas”*, de hecho era un sacrificio compartido.

Dice el refranero español en una de sus sentencias, “*Que a donde el corazón camina, el pie se inclina.*” Y la profesora Carrión eligió el camino que su corazón le marcaba, consciente de lo que ello significaba para su familia y su futuro en lo concerniente a sacrificio y evolución.

No obstante, este sacrificio inicial, tuvo para ella un premio extraordinario: su reencuentro con el tema que desde siempre le apasionó: *las resonancias*, ya que una forma de identificar a los blancos conductores es precisamente la identificación de sus frecuencias de resonancia.

A partir de ese momento, la profesora Carrión inicia una vertiginosa *carrera de obstáculos* para desarrollar una de las formaciones más sólidas dentro del electromagnetismo y que se refleja en su currículum, obstáculos que ha sabido sortear, o superar, de forma inteligente y, a veces, abnegada.

Paralelamente a este esfuerzo investigador, la profesora Carrión inicia también un proceso de desarrollo en la actividad docente que viene a arrojar, posiblemente, uno de los currículos más completos de nuestra universidad en este terreno.

Con el paso de los años se va consolidando así la terna de la que hablábamos al principio: Formación, Magisterio y Compromiso.

Las contribuciones de nuestra neófito al campo de la investigación han sido tantas y tantas que no cabe la posibilidad de reflejarlas todas en un espacio tan reducido como el que disponemos aquí, no obstante, *no podemos por menos que señalar el alto número de líneas de investigación en las que ha*

participado o ha desarrollado, la relevancia de los proyectos de investigación subvencionados en los que ha trabajado, muchos de ellos como investigadora principal, el alto número de convenios o contratos con empresas, el número de publicaciones que la acreditan como investigadora puntera, el elevado número de comunicaciones a congresos tanto nacionales como extranjeros, las conexiones y relaciones con grupos de investigación tanto nacionales como internacionales, etc. etc.

Paralelamente a esta actividad investigadora, nuestra ya casi compañera, ha llevado a cabo una actividad docente realmente extraordinaria en todos los niveles de la enseñanza universitaria.

Maestra por vocación, ha sabido llegar a sus alumnos de forma directa tratando de conocer personalmente a cada uno de ellos, dirigiéndose a los mismos por su nombre de pila y procurando inculcarles el compromiso que se adquiere cuando se consigue la condición de universitario y lo ha hecho predicando con el ejemplo.

Ella es consciente de que adquiere la condición de maestro quien, siguiendo a Henry Adams, *deja huella en sus alumnos para la eternidad, pues nunca se sabe cuándo acaba su influencia*, y la profesora Carrión, la Maestra Carrión, lo viene haciendo con la responsabilidad que le caracteriza y el amor que pone en la docencia que lleva a cabo. Actividad que se prolonga más allá de la licenciatura o del grado, proyectándose hacia el doctorado.

Pero, es más, su función formativa llega más allá de su actividad docente universitaria, pues la profesora Carrión viene desarrollando una labor fortísima en la preparación de los futuros estudiantes de Física, podríamos decir que “*mima*” a la materia

prima dedicándole parte de su esfuerzo a estimular en la juventud la pasión por la Ciencia Madre, organizando para ello cursos y actividades que culminan con la organización de las Olimpiadas de Física, tanto locales como nacionales e internacionales, dentro de la Real Sociedad Española de Física de la que es una alta representante a nivel local y nacional.

Posiblemente uno de los galardones más significativos que haya conseguido como fruto de esa labor docente sea el estar en posesión del *Diploma de Excelencia Docente* que la Universidad de Granada concede a sus profesores más distinguidos y lo ha conseguido, no desde la petición de la interesada en este caso, como exige nuestra normativa actual, sino a propuesta de su departamento y de sus alumnos.

Yo, que he sido muy crítico con esta normativa, pues no contemplo la posibilidad de que una personalidad con la categoría de MAESTRO pida algo para sí mismo, me congratulo pues de que nuestra aspirante lo haya conseguido por un procedimiento en el que se reflejan las opiniones de los entes o personas sobre los que repercute su actividad y no solo su interés personal como obliga la actual normativa. Y no es que yo esté en contra de que alguien pueda pedir a título personal algo que crea merecer, pero de eso a que sea condición *sine qua non*, hay una diferencia. A ver si consigo alguna vez que me hagan caso y se cambie, de nuevo, la misma, para volver a la inicial.

Este amor por su Universidad, Facultad y rama del conocimiento lo lleva nuestra candidata más allá de la docencia y la investigación habiéndose responsabilizado también de la gestión universitaria a todos los niveles, y es que la profesora

Carrión es consciente de que toda experiencia encierra una lección.

Su actividad de gestión, a nivel de Facultad, arranca con su incorporación a mi equipo decanal, a petición mía, como secretaria de nuestra Facultad para continuar desempeñando posteriormente la labor de vicedecana de asuntos económicos y recursos de la misma. Labores que realizó de forma brillante y con una dedicación digna de elogio, pues, Maricarmen, no solo realizaba la función sino que hacía equipo.

Y es que yo debo resaltar aquí la inestimable ayuda y colaboración que recibí de la profesora Carrión para llevar a cabo la idea fundamental de nuestro programa de gobierno: *La consolidación de nuestra Facultad como ente de agrupación y fortalecimiento de la misma frente a las corrientes centrífugas que por aquellas fechas existían*”.

Además de estas actividades, ha realizado otras como la dirección de departamento y la actuación en diferentes comisiones y órganos de gobierno universitario, en todos los niveles.

Recuerdo con satisfacción cómo, al finalizar mi periodo de decano en nuestra Facultad, le ofrecí la posibilidad de darle mi apoyo para que se presentase al Decanato, pero, en una muestra más de su inteligencia y saber hacer, rechazó aquella posibilidad para dedicarse a consolidar su formación y el desarrollo de su carrera universitaria, lo que consiguió al poco tiempo tras alcanzar el nivel de catedrática de universidad.

Y es que ella sabía muy bien cuál debe ser el camino y la meta de una docente e investigadora universitaria. Y lo hizo

superando barreras y dificultades inherentes a la *moda* que reinaba por aquellas fechas en relación con la evaluación de los currículos de los aspirantes a cátedra e, incluso titularidad, en nuestra Universidad, donde primaba, tal vez, más el número que la calidad de las aportaciones de investigación y posiblemente obviando, además, la formación y capacidad docente así como el desarrollo y aportaciones en la misma, de los aspirantes, olvidando, tal vez, que la docencia implica la mayor responsabilidad que debe asumir un profesor a cualquier nivel.

Error este que, bajo mi punto de vista, sesgaba, y pienso que todavía sigue sesgando, la formación y evaluación del profesorado universitario español, lo que está muy relacionado con la idea que anteriormente hemos apuntado en relación con la opinión del pensador jesuita P.M. Lamet al respecto.

Pero aquella idea mía se consolidó posteriormente, como debía ser, cuando nuestra candidata accede, brillantemente en su elección, la facultad sabía lo que votaba, a la condición de Decana de nuestra Facultad, actividad que ha venido desarrollando durante dos periodos de mandato de una forma más que brillante e intensa, llevando a nuestra querida Facultad a los más altos niveles de representación universitaria.

Pero, es más, antes hemos dicho que a la profesora Carrión la adornan la FORMACIÓN, el MAGISTERIO y el COMPROMISO, y es posiblemente este compromiso con su universidad y con la sociedad en general, lo que la ha llevado ahora, casi al final de su actividad pública oficial, a ofrecer su colaboración para realizar la tarea más complicada, pero también más preciosa, yo lo puedo afirmar con conocimiento de causa, que se puede asumir en la universidad: la de *Defensora Universitaria*.

Cuando supe por ella misma que iba a presentarse al cargo, me invadió la tranquilidad: *“la defensa de los derechos y libertades en nuestra universidad iba a estar, sin lugar a dudas, garantizada al menos, durante unos años más.*

Yo te deseo, Maricarmen, lo mejor en tu nueva andadura y te pido que, como siempre, te entregues a ella anteponiendo los derechos de toda la comunidad, pero muy en especial los de los más débiles, más allá incluso de nuestras propias convicciones.

Como resultado de esta gran actividad, la profesora Carrión, se encuentra en posesión de un currículum que podríamos calificar de excepcional en el que los reconocimientos oficiales llegan a niveles que, como he dicho anteriormente, resulta difícil relacionar en el tiempo que se nos concede, pero, si hemos de resumir, hagámoslo con justicia diciendo: TIENE TODO lo posible y más.

Pero no solo esto, sino que ha sabido conjugar estas actividades con las de mujer y madre conformando, junto con su marido, una familia preciosa con dos hijos encantadores, Luis Miguel y Ana, *de casta le viene al galgo*, a los que han sabido educar de forma exquisita y que hoy forman familia propia con Fátima y Alessio. Una familia que se incrementa, por lo pronto, con un conjunto de cuatro nietos a los que adoran: Juanillo, Ana, Giulia y Claudia y a quienes cuida con mimo y cariño, pues también ha sabido sacar tiempo para ayudar en los hogares de sus hijos. Una *joven abuela*, diría yo, de ese conjunto actual de las mismas, que tan importante función están llevando a cabo en nuestra sociedad.

SOBRE SU DISCURSO DE INGRESO

El discurso de ingreso en nuestra academia que nos ha presentado nuestra aspirante, vuelve a rezumar, una vez más, formación, sabiduría y magisterio.

No les engaño si les digo que me ha resultado de lo mejor que he leído en mucho tiempo, pues refleja una fuerte madurez científica y un profundo conocimiento de las líneas de investigación en las que ha trabajado.

Conocimiento que se trasluce desde una redacción sencilla que hace hincapié en los conceptos fundamentales y en la que huye del tan utilizado enmarañamiento que genera, en los no muy expertos, el aparato matemático.

La belleza de las ecuaciones matemáticas es algo incuestionable, ello sin lugar a dudas, pero la capacidad de describir los fenómenos físicos sin utilizarlas es algo que requiere, quién lo duda tampoco, un profundo conocimiento de los mismos y de sus entresijos. Y es que nuestra candidata no utiliza ni una sola ecuación en todo su discurso, y ello sin que se pierda contenido en el mismo, lo que no es sencillo, créanme.

Consigue de esta forma llegar a un auditorio variopinto como el que nos ocupa, la Ciencia en general, sin que se le pueda poner reparos desde el de la Física en particular.

Lo realiza, como era de esperar por su parte, iniciándolo desde una perspectiva de reconocimiento hacia los que considera sus maestros y con cariño y gratitud hacia aquellos que consiguieron llegar a sus sentimientos. Hace suya así la sentencia de C. G. Jung de *“recordar con cariño a los que nos enseñaron e*

hicieron crecer brillantemente en nosotros la pasión por la ciencia”.

Utiliza el método histórico desde el principio de su discurso, algo que a mí me apasiona, para ir evolucionando, sin abandonarlo nunca, a lo largo del mismo y resaltando las principales contribuciones.

Plantea las bases históricas del electromagnetismo para avanzar con las principales aportaciones realizadas por los especialistas en el mismo hasta llegar a la conformación actual de la teoría electromagnética, deteniéndose, a veces, en detalles como el significado en una ecuación de un signo menos y sus repercusiones, es decir, descendiendo al concepto y a sus implicaciones.

En su relato no falta nadie importante en la evolución del conocimiento electromagnético: *Franklin, Coulomb, Gauss, Ampere, Faraday, Maxwell, Hertz, Tesla, entre otros muchos*, y a ellos se refiere con un lenguaje entrañable de gratitud científica y, a veces humana, pues los considera sus maestros y así es.

Tras este resumen histórico inicial se centra en el radar y su significado histórico de aportación trascendental en la evolución de los conflictos bélicos de la época.

El radar, descubrimiento que hizo pronunciar a Winston Churchill aquella histórica frase de: *“protéjase la investigación allá donde se lleve a cabo sin preguntar para que sirve, eso llegará con seguridad siempre”.*

Y es que Churchill era consciente de que este descubrimiento fue el que generó el triunfo de la segunda guerra mundial.

La doctora Carrión realiza ahora otro resumen histórico de las principales aportaciones científicas en el desarrollo del radar para finalizar, tras el descubrimiento del *láser*, en el apareamiento del *lidar* y sus aplicaciones en teledetección y radioastronomía.

Se inicia aquí un capítulo interesantísimo de evolución en las posibilidades de, no solo detección, sino también de identificación de blancos en relación con una determinada biblioteca de los mismos construida *ad hoc*. Desarrollándose mecanismos de identificación tan sugestivos como el de los *pulsos de extinción* o *las técnicas de análisis espectral y, dentro de él, en lo que la autora define como el ruido coloreado*.

De nuevo nos reconecta Maricarmen con su pasión inicial, las resonancias. Capítulo este que la atrajo desde su época de estudiante de bachillerato y que, al fin y a la postre, vuelve sobre el mismo para constituir la esencia de sus más recientes contribuciones a la Ciencia.

Se centra en el estudio de las *resonancias Shumann*, aquellas que se producen en la cavidad que conforman la superficie terrestre y la ionosfera, estudio que ha originado, comparando los resultados de la estación de Sierra Nevada con los de otros autores, su relación con fenómenos atmosféricos, medioambientales y espaciales tales como la evolución de los núcleos tormentosos del planeta, el fenómeno del Niño o los ciclos de actividad solar, entre otros.

Yo siempre he compartido esa atracción por las resonancias. El oscilador armónico fue desde siempre un capítulo que me apasionó y me apasiona, en concreto las aplicaciones y posibles efectos de tales resonancias. Este tema lo explicaba yo con

especial cariño a mis estudiantes de Física General tratando de contagiarlos de su interés didáctico y sus aplicaciones.

Recuerdo ahora la visita que los responsables de la estación de esquí de Sierra Nevada llevaron a cabo al decanato de nuestra Facultad para tratar de canalizar los problemas que tenían en los medios de remonte de la estación relacionados con el hielo.

Yo les insistí en la posibilidad de resolverlos utilizando las resonancias, pero... no me hicieron caso. Después he podido saber que aquellas ideas, o derivaciones de las mismas, se están aplicando con éxito en otras estaciones.

Un discurso como les decía, el de nuestra candidata, lleno de belleza, contenido y aportación, digno de alguien que aspira a integrarse, con solvencia y proyección futura, en nuestra *Academia de Ciencias Matemáticas, Físico-Químicas y Naturales*.

Y es que, siguiendo a Oscar Wilde, la profesora Carrión es de aquellos que piensan que *“la obra nunca debe superar al artista”*. Este, al igual que el científico, a fin de cuentas la buena Ciencia es Arte, nunca lo tiene todo hecho, siempre le queda algo por hacer y por eso ahora, Maricarmen, la Academia te espera.

Estoy convencido, después de mi conocimiento personal de la candidata y de todo lo aquí oído y visto a lo largo de los años, que nuestra Academia hace una adquisición con futuro y relevancia, lleno de posibilidades de aportación y colaboración.

Te las pediremos Maricarmen.

LICENCIA FINAL

Te pido ahora licencia, querido presidente, a ti y a nuestro auditorio, para, tal vez, romper el protocolo institucional que se espera en este acto, e irme un poco más allá en la recepción de

nuestra nueva académica, adentrándome, con una consideración muy personal en el mundo del afecto, yo diría mejor del cariño, que le profeso.

Y lo hago utilizando, para ello, una coplilla, arreglada para la ocasión, que le oí, hace tiempo, a Miguel Moyares, primera voz del grupo Ecos del Rocío, un poeta del pueblo, diría yo, que, como tal, sabe llegar al pueblo. Esta coplilla dice así:

Maricarmen:

*En esta vida nadie tiene seguro a dónde va,
Pero si de donde viene,
Por eso te digo que,
Nunca vayas a cambiar,
Que yo he conocido a tu gente,
Pues paisana mía era tu madre,
Y mi tocayo tu padre,
Sí, los que te hicieron,
Y hacer no es solo engendrar,
Si los que te hicieron,
Y ya se fueron,
Y por eso yo sé, que tú,
Maricarmen,
Tú vienes bien encastá.*

Bienvenida a tu Academia Maricarmen.

MUCHAS GRACIAS POR VUESTRA ATENCIÓN.

Enrique F. Hita Villaverde.

