

CAMBIO DE PARADIGMA EN LA ENSEÑANZA Y LA INVESTIGACIÓN EN LA MATERIA DISEÑO DE ANTENAS Y CIRCUITOS DE RF

**Benigno Rodríguez Díaz¹, Leonardo Barboni Morales¹, Ana Arobleya Arboleya², Raúl Hans
Hartmam Basaistegui¹**

¹Facultad de Ingeniería, Universidad de la República, Julio Herrera y Reissig 565, 11300 Montevideo, Uruguay, ²Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Telecomunicaciones, Universidad Rey Juan Carlos, Camino del molino, 5, 28942 Fuenlabrada, España

¹e-mail: {benigno, lbarboni, rhartmam}@fing.edu.uy, ²e-mail: ana.arboleya@urjc.es

RESUMEN

En los últimos años han habido cambios importantes en la forma de enseñar en las universidades; la pandemia de Covid 19 aceleró varios procesos en la dirección de brindar acceso remoto a la formación e incorporar con un rol central la enseñanza virtual. Afortunadamente la madurez tecnológica que teníamos como sociedad cuando esta epidemia comenzó nos permitió seguir adelante con nuestros objetivos de formación universitaria y nos condujo por la vía de la práctica a descubrir ventajas de la enseñanza virtual, que es lógico conservar una vez finalizada la epidemia. El avance de las herramientas de software, en particular de los simuladores y la mejora en el acceso a los mismos, son otra herramienta clave en este proceso de cambio de paradigmas de la enseñanza e investigación. En materias como la Radiofrecuencia (RF), el uso de estos simuladores y de herramientas de software para impartir clases virtuales ofrecen una gran oportunidad de brindar formación de calidad en el área, sin limitaciones geográficas e incluso temporales. En un curso virtual la distancia del alumno al centro educativo no tiene el impacto que siempre ha tenido en el caso de la educación presencial. Desde el punto de vista de la administración de tiempo del estudiante y del docente, la posibilidad de grabar las clases de una forma muy simplificada y con buena calidad, permite que los estudiantes puedan tomar clases en forma asíncrona (viendo el video de la clase) cuando no pueden concurrir a esta. La grabación de las clases también facilita la labor del docente, permitiéndole recurrir a estas grabaciones en caso de necesidad o conveniencia. Esta nueva realidad nos muestra una posibilidad de compartir formación de calidad de forma global y ampliar significativamente nuestras redes de colaboración académica. Este trabajo trata del análisis de esos cambios y las oportunidades que implican con aplicación a la materia RF. Una modalidad mixta de cursos Presencial/Virtual permite conservar las ventajas de ambas y no tiene porqué ser difícil de implementar.

PALABRAS CLAVES: Enseñanza, Investigación, Radiofrecuencia, Virtualidad, Presencialidad.

PARADIGM SHIFT IN EDUCATION AND RESEARCH IN THE SUBJECT DESIGN OF ANTENNAS AND RF CIRCUITS

ABSTRACT

In recent years there have been significant changes in the way of teaching in universities; the Covid 19 pandemic accelerated several processes in providing remote access to training and incorporating virtual teaching with a central role. Fortunately, the technological maturity that we had as a society when this epidemic began allowed us to continue with our university education goals and led us through practice to discover the advantages of virtual teaching that it is logical to preserve once the epidemic ends. The advancement of software tools, in particular simulators, and the improvement in access to them are other critical tools in changing the paradigms of teaching and research. In subjects such as Radiofrequency (RF), using these simulators and software tools to teach virtual classes offers an excellent opportunity to provide quality training in the area without geographical or even time limitations. In a virtual course, the distance from the student to the educational center does not have the impact it has always had in the case of face-to-face education. From the point of view of student and teacher time management, the possibility of recording classes in a very simplified way and with good quality allows students to take courses asynchronously (watching the class video) when they can't attend this one. The recording of classes also

facilitates the teacher's work, allowing them to resort to these recordings in case of need or convenience. This new reality shows us the possibility of sharing quality training globally and significantly expanding our academic collaboration networks. This work analyzes these changes and the opportunities they imply, particularly in the RF topics. A mixed modality of Face-to-Face/Virtual courses allows the preservation of both advantages and does not have to be challenging to implement.

INDEX TERMS: Teaching, Research, Radiofrequency, Virtuality, Face-to-Face.

1. INTRODUCCIÓN

La enseñanza de asignaturas como diseño de antenas y circuitos de RF siempre ha tenido la dificultad asociada, de necesitar contar con instrumental y equipamiento específico, por lo general muy especializado y costoso, a los efectos de no quedarse en instancias meramente teóricas o de realización de ejercicios sin poder constatar los resultados por la vía de la experimentación. En líneas generales eso no ha cambiado y continúa siendo un área cuya enseñanza tiene exigencias o desafíos extra comparada con otras materias. Por otro lado, los planes de estudio o programas de investigación no suelen darle un tratamiento diferencial que permita superar fácilmente estos desafíos. Esto ha llevado a que el desarrollo de esta materia haya tenido que ser siempre un objetivo de largo plazo ya que el camino muchas veces para obtener el instrumental adecuado es, la mayoría de las veces, la obtención de proyectos en concurrencia competitiva que permiten financiar estas adquisiciones. No solo el hardware en RF es especializado, sino también el software lo es. Si bien es cierto que existen muchas herramientas libres, es también cierto que estas tienen sus limitaciones a la hora de ser usadas como herramientas profesionales para hacer investigación y enseñanza avanzada en la materia.

Las universidades que han seguido estos caminos de largo aliento hoy se encuentran con la posibilidad de continuar desarrollando el área en mejores condiciones que hace una década. La mejora de las herramientas de software y su disponibilidad, la mejora de la cooperación académica, potenciada por herramientas que han dinamizado mucho el teletrabajo, llegando a condiciones que compiten con la presencialidad y en algunos casos la superan. La mejora de la cooperación científica, gracias al avance de estrategias de apoyo a la investigación que buscan y promueven el desarrollo de la cooperación entre distintos países, y en algunos casos los avances de los mecanismos de promoción de la investigación a nivel nacional han mejorado las posibilidades que se tienen para desarrollar enseñanza e investigación en esta área. En particular en los últimos años en América Latina se han dado pasos hacia la consolidación de sistemas nacionales de investigación, que permiten detectar científicos y grupos de investigación de actividad sostenida durante los años y comenzar a coordinar el apoyo para potenciar el desarrollo del país en el área de la investigación. Si bien estos sistemas tendrán que seguir evolucionando y mejorando su eficiencia, es un avance con el que en muchos países de la región no contaban hace dos décadas.

En este sentido la Agencia Nacional de Investigación e Innovación (ANII), creada en 2006 tiene como misión ejecutar los lineamientos político-estratégicos del Estado en materia de Investigación e Innovación y busca el desarrollo a través de la implementación de dichas políticas. Esto lo implementa promoviendo, articulando y fortaleciendo las capacidades del sistema nacional de innovación y del conocimiento técnico y profesional en el país. En particular se creó el instrumento Sistema Nacional de Investigadores (SNI) que profesionalizó la investigación en el Uruguay, lo que logra dinamizar la investigación y en consecuencia vincular la investigación con la enseñanza de grado y posgrado. En la Fig. 1, se puede ver una imagen del portal web de la ANII.

En este trabajo se describen los avances, las oportunidades, las dificultades y los desafíos que hoy se encuentran en el desarrollo de esta materia. Se realiza especial énfasis en las decisiones que nos han permitido participar activamente del desarrollo de esta área.

2. ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN

La cooperación internacional nos ha mostrado que aquellas universidades que abordaron el tema desde un punto de vista meramente informativo, es decir tener un curso donde se informe a los estudiantes de esta temática, no han conseguido formar en profundidad a sus estudiantes y menos desarrollar el área. En

cambio, las universidades en las que esta materia está fuertemente vinculada a grupos de investigación sólidos en el área, no solo han ofrecido una formación de calidad en la materia, sino que han logrado tener un dinamismo importante en la oferta de cursos para desarrollarla y convertirla en un área de interés a nivel del desarrollo de posgrados, lo que también ha permitido consolidar grupos de investigación y lograr un desarrollo genuino y sustentable del área.



Figura 1: Captura de pantalla ANII (Tomado de <https://www.anii.org.uy/inicio/>).

El equilibrio y la sinergia entre enseñanza e investigación es un tema clave para desarrollar cualquier materia. Cuando se logra este equilibrio se siembran semillas de desarrollo del área que atraen mayor masa crítica. En un área de difícil acceso debido a los desafíos antes mencionados eso es algo muy importante. La concepción de la enseñanza desvinculada de objetivos de investigación y formación de profesionales con competencias específicas no permite un desarrollo incremental del área y no genera sinergia entre actores científicos, académicos, profesionales y productivos. La concepción de un modelo eficiente de ciencia-tecnología-educación-producción es clave para el desarrollo de un país. El haber participado del desarrollo de esta área en las últimas dos décadas nos permite visualizar un mejor posicionamiento, gracias al trabajo previo acumulado y la mejora natural de las herramientas con las que hoy se cuenta en esta materia.

3. COLABORACIÓN INTERNACIONAL

La colaboración internacional es un punto clave en este proceso. La participación en proyectos internacionales acerca financiación a instituciones que la necesitan y en contrapartida estas acercan mano de obra calificada a los procesos de investigación. Los grupos de investigación comienzan a consolidarse a través de las fronteras, siendo natural y efectivo trabajar con colegas internacionales. Esta ha sido una estrategia muy eficiente para compartir fortalezas y solventar mejor las dificultades.

La creación de redes temáticas, como la red NEON¹ para promover el desarrollo de Internet of Things (IoT), entre otras, permite contar con un ecosistema de enseñanza e investigación enriquecido. Si una institución ofrece un curso altamente especializado que por su naturaleza pueda interesar a unos pocos estudiantes o investigadores, a través de esta red el grupo de interesados y colaboradores automáticamente crece, potenciando el desarrollo de estas áreas. Los esfuerzos de estas redes para vincular no solo universidades sino también empresas y particulares, acercan a las partes para cooperar y visualizar nuevas alternativas de cooperación entre países y sectores de la economía.

Las dificultades que por lo general enfrentan las universidades en el desarrollo de esta y otras áreas tales como: falta de financiación, falta de estudiantes de posgrado (debido a la mayor competitividad económica de las empresas para captar profesionales), la necesidad de infraestructura y equipos

¹<https://www.project-neon.eu/>

específicos y costosos, la necesidad de incrementar la cantidad de colaboradores a los efectos de abarcar problemas mayores, etc., se benefician ampliamente de la cooperación internacional. Los países que han reconocido y abordado cuidadosamente este tema tienen sistemas de investigación y desarrollo avanzados que en muchos casos apuntalan sus economías.

4. PLANES DE ESTUDIO DE POSGRADO

En estas últimas dos décadas hemos visto también el avance de los programas de posgrado, en algunos casos desde su creación. Distintos países han seguido distintos modelos, algunos han creado ofertas específicas y bastante definidas que se han mantenido a lo largo del tiempo, lo que les permite potenciar ciertas áreas de la economía. Otros países han optado por una oferta más abierta, configurable y a demanda de los intereses o las necesidades de quienes realizan el posgrado. Lo anterior implica un mayor desafío desde el punto de vista de la gestión de estos programas, pero a la vez logra seguir de cerca las necesidades y los intereses de formación de la población y la industria.

Es común que los países hayan avanzado en base a modelos de financiación de la formación de posgrado apuntalados por becas, etc. Esto ha rendido sus frutos pero también genera un punto de estrés al final del proceso cuando el posgraduado intenta volver al sistema productivo o encontrar empleo en la universidad, lo que no siempre termina satisfaciendo sus necesidades. En menor medida, se ha trabajado en consolidar los posgrados de profesionales de la industria en áreas de investigación. Si bien esto es un desafío mayor, ya que necesita de una coordinación mayor entre los distintos actores del sistema científico y productivo del país, es necesariamente un espacio que habrá que desarrollar, ya que, si el profesional que trabaja en una empresa, logra beneficiar tangiblemente a la empresa con el desarrollo de su posgrado, entonces el ciclo de transferencia de resultados y una mejor sustentabilidad del sistema en su conjunto estarían asegurados.

Algunos países han apoyado fuertemente el emprendedurismo, como forma de lograr nuevas fuentes de trabajo y desarrollo productivo. En casi todos los casos el sistema académico y científico ha tenido una participación activa en estos desarrollos. Quizás la mejora que aún se puede hacer es definir nuevos perfiles de estudiantes de posgrado a los que se les prepare y apoye para liderar emprendimientos a través de la infraestructura de incubadoras de empresas existente, o utilizando otros mecanismos. Estos perfiles pueden desarrollarse más eficientemente si se les tiene en cuenta desde el desarrollo de los planes de estudio de posgrado.

5. DESARROLLO DEL ÁREA DISEÑO DE ANTENAS Y CIRCUITOS DE RF

Si bien hasta ahora se han planteado cambios de paradigma en la enseñanza y en la investigación que son bastante generales en diversas áreas, a partir de aquí se hace foco en el área de diseño de antenas y circuitos de RF, con sus particularidades [1]. En esta sección se desarrollan básicamente las oportunidades que: el software, la mayor disponibilidad bibliográfica, el cambio de procedimientos, la mayor facilidad de acceso a instrumental de fabricación y caracterización y la cooperación internacional están ofreciendo en el desarrollo de esta área.

Herramientas de Software Libre para Simulación Electromagnética

Dentro de las herramientas de software libre útiles en esta área, existen varias, por enumerar algunas mencionamos: Qucs, Meep, 4nec2, etc. Qucs [2] es un simulador de circuitos bajo licencia GPL que corre en Windows y Linux. Meep [3] es un paquete de software libre y de código abierto para la simulación electromagnética. 4nec2 [4] es un simulador libre útil para el diseño de antenas, en la Fig. 2 se puede ver el tipo de resultados que se pueden obtener con 4nec2 durante el proceso de diseño de antenas.

Si bien las herramientas libres de simulación electromagnética que se utilizan en el área de RF suelen ser muy útiles y a menudo las únicas alternativas disponibles, es cierto también que cuando se avanza en los diseños, estas herramientas comienzan a mostrar carencias, que no son fáciles de solucionar en el corto plazo. Por eso el poder contar con herramientas profesionales para el diseño de RF representa una mejora importante. El problema con respecto a esta posibilidad siempre fue el costo económico de estas licencias, que muchas veces las hacen inviables. Pero de ser viables son herramientas muy valiosas.

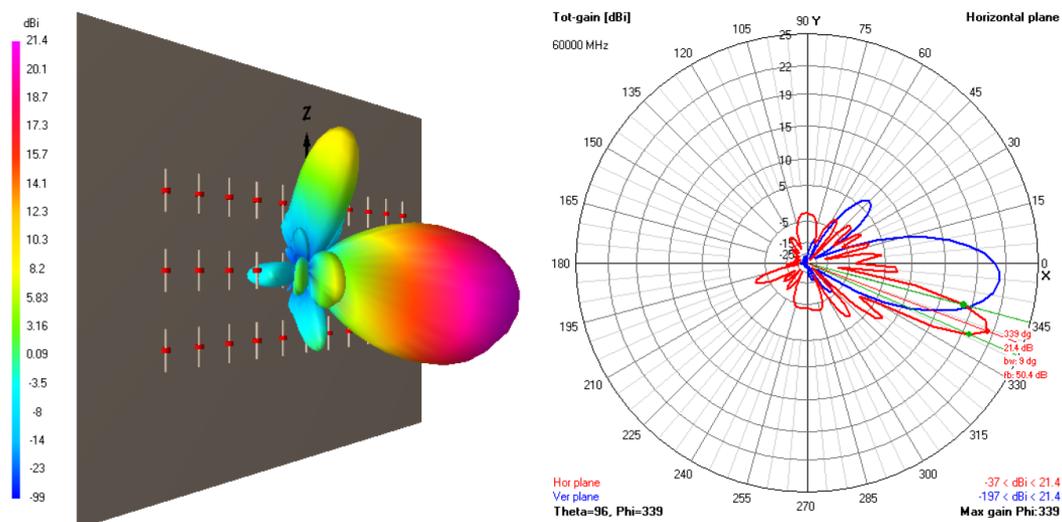


Figura 2: Resultados obtenidos con 4nec2 durante el desarrollo de un array de antenas en 60 GHz.

CST Herramienta Profesional para Simulación Electromagnética

Nuestra experiencia con el uso de la herramienta CST [5], data aproximadamente de 2016. Actualmente luego de una negociación con la empresa que posee este paquete de software y gracias a nuestra participación en el proyecto Erasmus/NEON, logramos adquirir a perpetuidad licencias de esta herramienta. Lo anterior nos permite desarrollar esta línea de investigación con el apoyo sustentable de dicho paquete de software. Desde que comenzamos a utilizar esta herramienta nos ha resultado un apoyo importante en varias de las publicaciones que hemos realizado en el área [6-12]. En la Fig. 3 se puede ver como ejemplo una captura de pantalla del patrón de radiación de una antena y sus principales parámetros obtenidos con CST. Las licencias con las que contamos nos permiten un uso remoto de las mismas, lo que nos posibilita tener estudiantes en otras ciudades, países o continentes facilitando y dinamizando la colaboración internacional.

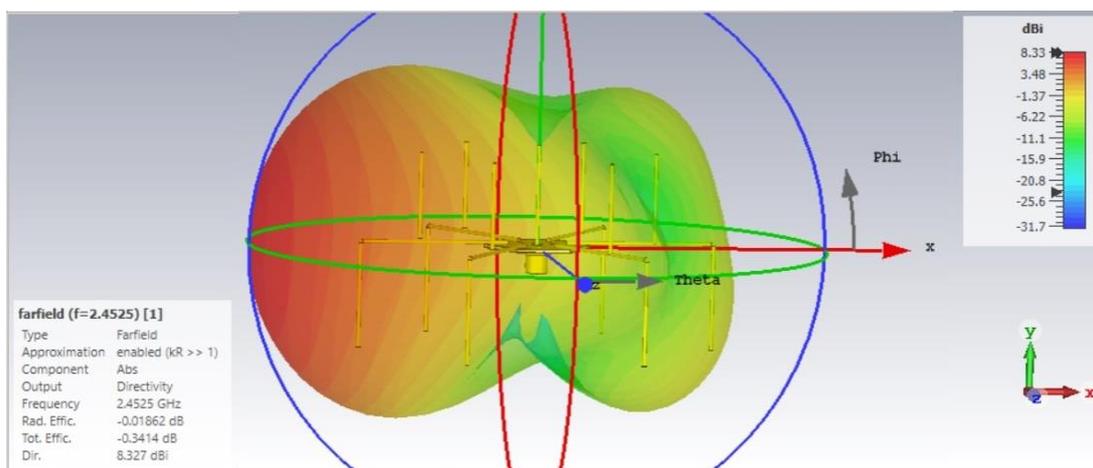


Figura 3: Captura de pantalla software CST.

Mayor Acceso Bibliográfico

Internet

Sin lugar a duda Internet junto a una gran cantidad de herramientas para compartir archivos y trabajar en la nube cambiaron la forma de trabajar en equipo con otros investigadores, logrando que muchas personas

accedan a documentos compartidos y que puedan trabajar de modo concurrente sobre los mismos archivos. Sin mencionar el uso diario que se hace de los motores de búsqueda que han avanzado significativamente en los últimos años, mejorando mucho por ejemplo la búsqueda de referencias bibliográficas. Por otro lado, plataformas de transmisión (streaming) colaboran de modo importante en disponibilizar videos de clases grabadas, logrando que estudiantes a distancia puedan cursar asignaturas o ver las clases luego de realizadas, solucionando así problemas de traslados y agenda.

Researchgate

Researchgate² es una red social para científicos e investigadores que permite estar en contacto "informal" con otros investigadores que trabajan en áreas similares o complementarias. Permite recibir avisos de sus nuevas publicaciones y solicitarles una copia del trabajo para poder leerlo si no resulta fácil obtenerlo por otro medio. Permite también realizar preguntas directamente a un investigador o abiertas para que las contesten quienes deseen hacerlo. En líneas generales facilita de este modo la labor científica y permite un contacto efectivo entre investigadores.

Portal Timbó en Uruguay

El portal Timbó es una herramienta web de la ANII que permite acceder a buscadores y colecciones de artículos que de otra manera no se conseguirían por no visualizarse fácilmente, además de que el investigador (o su institución) debería de pagar por acceder a ellos. En su lugar es el estado quien negocia y paga por esto, lo cual facilita la investigación y la enseñanza brindando una forma ágil y eficiente de conseguir bibliografía de muy buena calidad. Por lo que esta herramienta es también un componente muy importante en este cambio de paradigma. En la Fig. 4, se muestra una imagen del portal web Timbó.

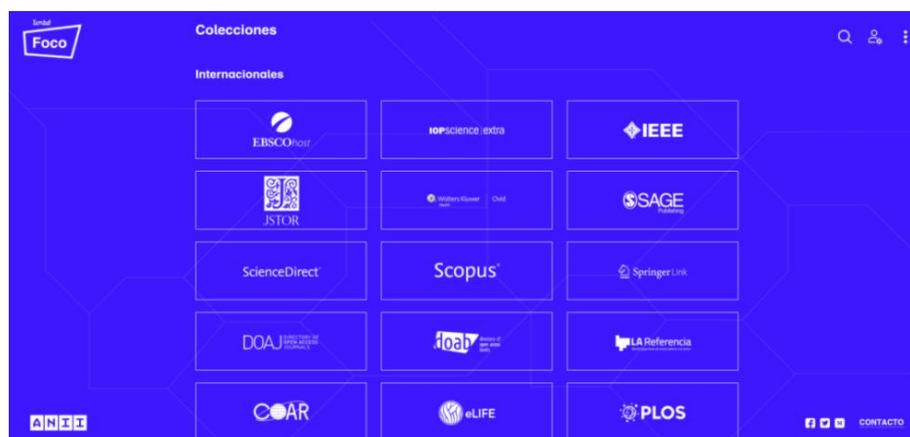


Figura 4: Captura de pantalla portal Timbó (Tomado de <https://foco.timbo.org.uy/colecciones>).

Medidas en el Área de RF

Realizar medidas en el área de RF implica un desafío importante, no solo porque requiere conocimientos especializados, si no más que nada porque requiere de equipo altamente especializado y costoso. Poder realizar estas medidas en condiciones ideales (disponiendo por ej. de una cámara anecoica), muchas veces escapa a las posibilidades económicas de los laboratorios, que deben buscar mecanismos alternativos que les permitan realizar las medidas con una precisión adecuada a los objetivos de la investigación.

Equipamiento básico

El equipamiento básico que utilizamos en el laboratorio del Instituto de Ingeniería Eléctrica de la Facultad

²<https://www.researchgate.net/>

de Ingeniería de la Universidad de la República se muestra en la Fig. 5., allí se pueden ver un analizador vectorial de red (a), un generador de señal (b) y analizador de espectro (c).

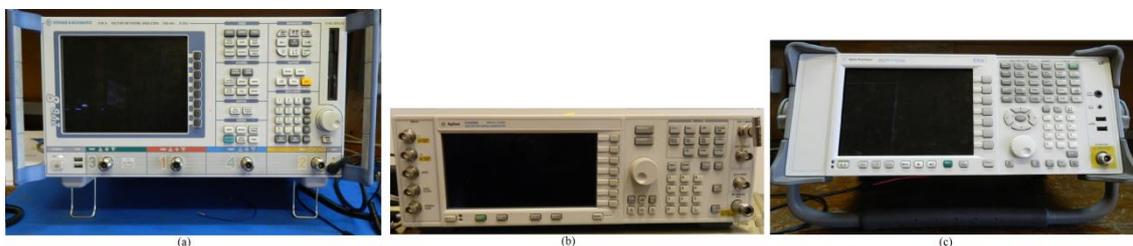


Figura 5: Equipamiento de medida básico, (a) Analizador Vectorial de Red, (b) Generador de Señal y (c) Analizador de Espectro.

Básicamente el equipamiento del que disponemos nos permite trabajar a frecuencias de hasta 8 GHz. Trabajar a frecuencias mayores exige equipamiento cuyo precio aumenta a medida que aumenta la frecuencia. Para frecuencias mayores, especialmente del orden de varias decenas de GHz, por ej. en la banda de ondas milimétricas (MMW), podemos realizar un abordaje teórico, utilizar herramientas de simulación y en caso de medir, realizar medidas indirectas o contar con la cooperación con otros laboratorios que sí disponen de instrumental adecuado.

Equipamiento alternativo

Otra aproximación que cada vez toma más fuerza en la caracterización de antenas y dispositivos RF es el uso de sistemas de medida de bajo coste en entornos no anecoicos que permite la caracterización de antenas y dispositivos que no demandan requisitos de precisión elevados. Así, es posible encontrar sistemas de medida por varios cientos de dólares que proporcionan resultados de calidad suficiente en bandas relativamente altas de frecuencia, como el caso del sistema presentado en [13] capaz de trabajar hasta 10 GHz. La gran ventaja de estos sistemas es que las universidades pueden disponer de varios, lo que permite utilizarlos como demostradores en clases presenciales o incluso cedérselos a los alumnos que trabajan a distancia durante el periodo de duración del curso para que éstos puedan avanzar y profundizar en la materia con alta motivación.

Medidas en espacio libre

Disponer de cámaras anecoicas o celdas electromagnéticas transversales para GHz (GTEM) permite realizar medidas más confiables y de mayor precisión. Cuando no se dispone de estas, se pueden adoptar procedimientos que minimicen las reflexiones y que permitirán realizar medidas muchas veces con calidad suficiente como para orientar procesos de diseño y optimización de antenas. En [7] se describe un procedimiento utilizado para realizar este tipo de medidas en espacio libre y los resultados obtenidos.

Mejora en la accesibilidad a los procesos de fabricación

El abaratamiento de los procesos de fabricación y prototipado ha supuesto un gran impacto en el campo de la RF. Cada vez es más común encontrar espacios de fabricación de acceso libre integrados en universidades (y en otros entornos), como puede ser el caso de la red internacional de FabLabs³. En estos espacios, los estudiantes, y cualquier usuario, tienen acceso a máquinas de corte, impresión 3D, prototipado de circuitos PCB, etc. Esto permite que los estudiantes tengan la oportunidad de realizar prototipos de forma libre, lo que favorece la profundización y el avance en los alumnos más autónomos y supone una oportunidad de motivación extra para todos.

³ <https://www.fablabs.io/>

Cooperación internacional

La cooperación internacional, cada vez tiene una mayor importancia. Además de aportar mayor masa crítica para la discusión de estos temas, permite una complementación de recursos que favorece significativamente el desarrollo del área. En este apartado destacan programas como el Erasmus+⁴ que permiten intercambios de estudiantes tanto para cursar estudios de grado y/o máster en las universidades del programa, como para la realización de prácticas en empresas y centros de investigación.

Utilización de la Herramienta de Videoconferencia Zoom

Junto con las herramientas mencionadas anteriormente, otra a destacar que forma parte del cambio de paradigma es la herramienta para videoconferencia Zoom. La UdelaR adquirió licencias de esta herramienta para todos sus docentes en la época de la pandemia de Covid 19, lo que posibilitó la continuidad de los cursos sin sacrificar calidad. Esto no solo fue un gran apoyo para el desarrollo de la enseñanza no presencial, asíncrona y a distancia, sino que al volver a la presencialidad luego de que la pandemia pasara su fase más crítica, se convirtió en una herramienta que se sigue utilizando. Actualmente, dicha herramienta es muchas veces, preferida como alternativa a las reuniones presenciales, debido a poder disponer y compartir de este modo todo el material que los docentes e investigadores suelen archivar en sus computadoras personales.

6. FORMA DE IMPLEMENTACIÓN DE CURSOS MIXTOS

Si se parte de la forma en la que dictamos nuestros cursos virtuales, por ej. utilizando Zoom, tarjetas digitalizadoras (en sustitución del pizarrón), etc. apenas necesitaremos una pantalla o retroproyector (donde se muestra la sesión de Zoom) como elementos mínimos para poder ofrecer esa clase en una modalidad también presencial (por supuesto distinta a la que conocíamos previamente). El equipamiento electrónico mínimo para poder implementar estas clases de alcance global (EEMpAG) se esboza en la Fig. 6. A partir de esos recursos mínimos para poder brindar una clase mixta (presencial/virtual), se pueden ir agregando otros, como equipos para mejorar la calidad de la videoconferencia, que incluyen cámaras, micrófonos y parlantes de buena calidad muchas veces integrados en un único dispositivo. Se puede agregar un pizarrón clásico, si se dispone de un equipo que mejore la calidad de la videoconferencia capaz de admitir esto manteniendo la calidad de la presentación del docente y la interactividad con los estudiantes.

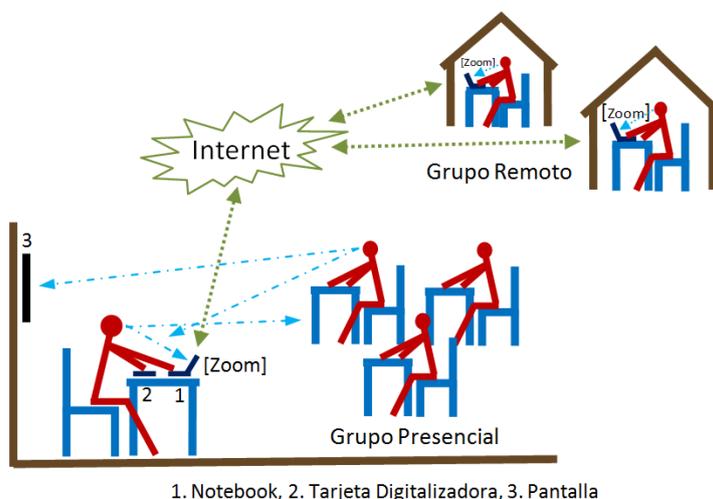


Figura 6: Esquema general de clase mixta (presencial/virtual).

⁴ <https://erasmus-plus.ec.europa.eu/es>

7. CONCLUSIONES

Hoy tenemos mejores condiciones para realizar investigación y enseñanza de calidad en todas las áreas. Áreas como la de radiofrecuencia -de difícil desarrollo-, si bien en muchos países aún no reciben un tratamiento diferencial a los efectos de solventar mejor los desafíos, hoy tienen mejores posibilidades de crecimiento. El avance de estas áreas intensivas en conocimiento y recursos especializados a menudo son una buena alternativa para generar empleos de calidad en los países que las abordan con una visión integral de su desarrollo.

La mejora de los sistemas de comunicaciones, con la aparición de herramientas como Zoom y redes sociales específicas como Researchgate, han potenciado significativamente la labor de científicos y educadores. Si bien las herramientas de videoconferencia tienen ya muchos años de existencia, lo que ha logrado Zoom (u otros servicios similares) es popularizar su uso bajando de forma muy significativa los costos y ofreciendo una calidad adecuada para la mayoría de las necesidades académicas. La posibilidad de grabar fácilmente las clases por Zoom, también ha permitido solucionar problemas de agenda a estudiantes que trabajan en horarios que se superponen con las clases. Estos avances en la popularización de las herramientas de videoconferencia hacen que sea solo un poco más complejo ofrecer una clase mixta (presencial/virtual) que una clase presencial convencional; por lo que considerando las ventajas que la clase virtual puede ofrecer a un grupo a veces importante de estudiantes, se justifica ampliamente migrar a clases mixtas. Lo que a la vez nos ofrece la posibilidad de incorporar fácilmente estudiantes internacionales.

Una vez que las herramientas de videoconferencia dejan de ser un diferencial importante entre las universidades, el foco de la calidad académica vuelve a la calidad del equipo humano, con lo que se resalta la labor científica y académica de los profesionales y pierde protagonismo la disponibilidad de herramientas de videoconferencias que hasta hace una década resultaban bastante onerosas.

En la última década ha habido una mayor concientización de la importancia y la necesidad de incorporar virtualidad a la enseñanza en la materia RF, lo que está contribuyendo significativamente a la materialización de estos cambios [14-16], cambios que fueron acelerados por la Pandemia de Covid 19. Se ha avanzado también en concebir los procesos de enseñanza estrechamente ligados a los de investigación y desarrollo profesional. Esta concepción permite una enseñanza de mejor calidad y dinamismo que resulta muy útil para la sociedad.

Se ha incorporado en mayor medida el concepto de proyectos integradores de conocimientos, que permiten a los estudiantes un abordaje práctico de un caso de estudio sobre el cual aprender a utilizar las herramientas adquiridas. En ellos se avanzó con respecto a prácticas anteriores donde el énfasis parecía estar en la acumulación de herramientas conceptuales, sin dedicar mayor esfuerzo a enseñar a aplicar esas herramientas en casos prácticos.

Asociado también al avance de los medios de comunicación, se ha mejorado en la colaboración internacional, lo que enriquece y dinamiza de modo importante los procesos de investigación y enseñanza. Desde que las herramientas de videoconferencia son ampliamente accesibles, las distancias físicas entre los investigadores o académicos han perdido notoriamente importancia, pudiendo desarrollar proyectos entre varios colaboradores internacionales de una manera muy eficiente, lo que permite complementarse y potenciarse.

La mejora de las herramientas de comunicación ha acelerado también los procesos de difusión del conocimiento mediante publicaciones o presentaciones en eventos que han incorporado la modalidad virtual, facilitando significativamente la participación en estos eventos. Efecto espiral o círculo virtuoso que acelera los procesos de creación y difusión de conocimiento.

RECONOCIMIENTOS

Los autores agradecen a los organismos financiadores de los numerosos proyectos de investigación que han permitido adquirir las herramientas con las que hoy contamos para trabajar en el área de RF, en particular al proyecto ERASMUS/NEON (Project No. 618942-EPP-1-2020-1-AT-EPPKA2-CBHE-JP) aún en curso, que nos permitió la adquisición de licencias a perpetuidad de la herramienta de simulación *Computer Simulation Technology (CST)*.

REFERENCIAS

- [1] DALMAS DI GIOVANNI, Norberto, GIUFRIDA, Carolina, DUARTE, Mauro, REYNALDE, Paolo, "The Teaching of Antennas's Course During the Covid-19 Pandemic. In Proc. of the URUCON IEEE 2021, Montevideo, Uruguay, November 2021. Disponible en Web: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9647330>
- [2] *Quite Universal Circuit Simulator (Qucs)*. Disponible en Web: <http://qucs.sourceforge.net/>.
- [3] *MEEP*. Disponible en Web: <https://meep.readthedocs.io/en/latest/>.
- [4] *NEC based Antenna Modeler and Optimizer, 4nec2*. Disponible en Web: <https://www.qsl.net/4nec2/>.
- [5] *Computer Simulation Technology (CST)*. Disponible en Web: <https://www.3ds.com/products-services/simulia/products/cst-studio-suite/>.
- [6] RODRÍGUEZ, Benigno, SCHANDY, Javier, GONZÁLEZ, Juan P., STEINFELD, Leonardo and SILVEIRA, Fernando, "Fabrication and Characterization of a Directional SPIDA Antenna for Wireless Sensor Networks", In Proc. of the URUCON IEEE 2017, Montevideo, Uruguay, October 2017. Disponible en web: <http://ieeexplore.ieee.org/document/8171861/>.
- [7] RODRÍGUEZ, Benigno, GONZÁLEZ, Juan P., SCHANDY, Javier, STEINFELD, Leonardo, "Antenna Characterization without Using Anechoic Chambers or TEM Cells", LANC 2018, Sao Paulo, Brazil, In Proc. of the 10th Latin America Networking Conference. Disponible en Web: <https://dl.acm.org/citation.cfm?id=3277103>.
- [8] SCHANDY, Javier, STEINFELD, Leonardo, RODRÍGUEZ, Benigno, GONZÁLEZ, Juan P., SILVEIRA, Fernando, "Enhancing Parasitic Interference Directional Antennas with Multiple Director Elements", Hindawi, *Wireless Communications and Mobile Computing*, v. 2019, pp.: 1-9, ISSN: 15308677, DOI: 10.1155/2019/7546785. Disponible en Web: <https://www.hindawi.com/journals/wcmc/2019/7546785/>.
- [9] CALIXTO, Jesús, RODRÍGUEZ, Benigno, SCHANDY, Javier, GONZÁLEZ, Mauricio, "Diseño y Simulación de una Antena PIFA para IoT", *Telemática, Revista Digital de las Tecnologías de la Información y las Telecomunicaciones*, Vol. 20, No. 2, 2021, Disponible en Web: <https://revistatelematica.cujae.edu.cu/index.php/tele/article/view/437/405>.
- [10] CONTRERAS, Andry, RODRÍGUEZ, Benigno, STEINFELD, Leonardo, SCHANDY, Javier, SINISCALCHI, Mariana, "Design of a Rectenna for Energy Harvesting on Wi-Fi at 2.45 GHz", In Proc. of Congreso Argentino de Electrónica (CAE 2020), Buenos Aires, Argentina, 2020.
- [11] CONTRERAS, Andry, STEINFELD, Leonardo, SINISCALCHI, Mariana, SCHANDY, Javier, RODRÍGUEZ, Benigno, "A Rectenna as Energy Source for Wireless Sensor Nodes", In Proc. of 2020 IEEE 11th Latin American Symposium on Circuits & Systems (LASCAS), San José, Costa Rica, 2020.
- [12] CONTRERAS, Andry, RODRÍGUEZ, Benigno, "Optimization of a Novel Rectenna for RF Energy Harvesting at 2.45 GHz", *Wireless Personal Communications*, 2021, <https://doi.org/10.1007/s11277-021-08338-x>.
- [13] ALAMO ALBIOL, Jesús, ARBOLEYA, Ana, MARTÍNEZ DE RIOJA, Eduardo, "Cost-Effective 3D-Printed Antenna Measurement System for Educational Applications", 16th European Conference on Antennas and Propagation, EUCAP 2022, 27 March-1 April, 2022, Madrid, Spain.
- [14] ABU-AISHEH, A., EPES, T., AL-ZOUBI, ABDULLAH, "Implementations of a Virtual RF and Digital Communications Laboratory for E-Learning", In Proc. of The International Journal of on-line Engineering (*IJOE*), 2010.
- [15] GUPTA, Tannu, PRACHI, Sudha, AKHTAR, M. J., SRIVASTAVA, K. V., "Development of the Virtual Lab Module for Understanding the Concepts of Electric and Magnetic Field Patterns in Rectangular Waveguides and Cavities", In Proc. of the International Journal of Online Engineering, vol. 8, no. 3, 2012, pp. 12-21. Disponible en Web: <https://online-journals.org/index.php/ijoe/article/view/2113/2285>

- [16] GUBSKY, Dmitry, VYACHESLAV, Zemlyako, MAMAY, Ivan, “The Microwave Virtual Laboratory for RF Engineers Education”, In Proc. of the 2015 European Microwave Conference (EuMC 2015), DOI: 10.1109/EuMC.2015.7346012. Disponible en Web: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7345169>

SOBRE LOS AUTORES

Benigno Rodríguez obtuvo el título de Ingeniero Eléctrico y el grado de Magister en Ingeniería Eléctrica (opción Telecomunicaciones) de la Universidad de la República (UdelaR), Montevideo, Uruguay, en 1997 y 2004 respectivamente. En 2007 obtuvo el grado de Doctor en Ingeniería Eléctrica, Telecomunicaciones, de la Technische Universität Hamburg-Harburg, Hamburgo, Alemania. Desde 1993 a 1999 se desempeñó como Asistente de Investigación en el Instituto de Física de la Facultad de Ingeniería (FING), UdelaR. Desde 1998 a 2004 se desempeñó como Asistente de Investigación en el Instituto de Ingeniería Eléctrica (IIE), FING, UdelaR. Desde 1997 a 2004 ocupó el cargo de Jefe del departamento de Ingeniería en Carisul S.A. (NEC de Uruguay). Desde 2008 a 2016 fue Profesor Adjunto del Depto. de Telecomunicaciones del IIE, FING, UdelaR. Desde 2008 a 2014 se desempeñó también como Responsable de la Planificación de Red en la empresa Dedicado S.A., Montevideo, Uruguay. Desde junio de 2014 a junio de 2015 ocupó el cargo de Coordinador de Carrera en el área de Mecatrónica en la Universidad Tecnológica del Uruguay (UTEC), creando la carrera de Tecnólogo en Mecatrónica, como un título intermedio de una Ingeniería en Mecatrónica. Actualmente integra el Sistema Nacional de Investigación (SNI), Nivel I y ocupa el cargo de Profesor Agregado (G4), en Régimen de Dedicación Total en el IIE, FING, UdelaR. Sus principales intereses como investigador se centran en las áreas de: sistemas inalámbricos basados en OFDM, Láseres en Espacio Libre, Ondas Milimétricas y Redes de Sensores Inalámbricos, liderando el grupo de investigación en Sistema Inalámbricos y Radio Frecuencia (SIRF) en el IIE, FING, UdelaR. ORCID 0000-0002-0046-4281.

Leonardo Barboni obtuvo el título de Ingeniero Eléctrico y el grado de Magister en Ingeniería Eléctrica (opción Electrónica) de la Universidad de la República (UdelaR), Montevideo, Uruguay, en 2002 y 2005 respectivamente. En 2010 obtuvo el grado de Doctor en Ingeniería Eléctrica, Telecomunicaciones, de la Universidad de Génova, Italia. Actualmente integra el SNI, Nivel I y ocupa el cargo de Profesor Adjunto (G3), en Régimen de Dedicación Total en el IIE, FING, UdelaR. Sus principales intereses como investigador se centran en el área de circuitos de radiofrecuencia, integrando el grupo de Microelectrónica en el IIE, FING, UdelaR. ORCID 0000-0002-6801-6813.

Ana Arboleya obtuvo el título de Ingeniera Superior de Telecomunicación y el doctorado en Ingeniería de Telecomunicación en 2009 y 2016 respectivamente en la Universidad de Oviedo (UO), Oviedo, España. En 2018 se incorporó como profesora a la Universidad Rey Juan Carlos (URJC), Madrid, España, donde imparte asignaturas de la rama de radiofrecuencia como Radiación y Propagación, Campos Electromagnéticos, Dispositivos de Alta Frecuencia, etc. En el ámbito de la gestión docente, fue la gestora docente del programa Erasmus+ y Munde para los grados de Ingeniería de Telecomunicación desde septiembre de 2019 a enero de 2022. Es la tutora académica de prácticas externas del Grado de Ingeniería en Sistemas de Audio y Multimedia desde mayo de 2018. Desde mayo de 2022 es la coordinadora funcional del Área de Teoría de la Señal y las Comunicaciones de la URJC. Sus líneas de investigación se centran en el desarrollo de sistemas y técnicas de caracterización y diagnóstico de antenas en alta frecuencia. ORCID 0000-0003-3429-2307.

Raúl Hartmam obtuvo el título de Ingeniero Eléctrico, en la Facultad de Ingeniería (FING) de la Universidad de la República (UdelaR), Montevideo, Uruguay, en 2004. Desde 1998 a 2000 desempeñó tareas docentes en UdelaR. Entre 2005 y 2008 participó por UdelaR en proyectos de evaluación de desempeño de redes celulares, en conjunto con el operador público Antel. Desde 2000 a 2007 se desempeñó como ingeniero en varias empresas privadas locales de integración de tecnología. Desde 2007 a la fecha trabaja para la firma Dedicado S.A., Montevideo, Uruguay, actualmente desempeñándose como responsable de ingeniería de redes de acceso inalámbricas. Desde 2018 cursa Maestría en Ingeniería Eléctrica en UdelaR, teniendo como principales áreas de estudio Beamforming, MIMO Masivo, Arreglos de antenas y Transmisiones Multiusuario. Desde 2018 también integra el grupo SIRF, en el IIE, FING, UDELAR. ORCID 0000-0003-4060-2631.

CONFLICTO DE INTERESES

No existe conflicto de intereses de los autores o de las instituciones a las cuales pertenecen en relación al contenido del artículo aquí reflejado.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

- **Benigno Rodríguez Díaz:** Conceptualización, preparación, creación y desarrollo del artículo.
- **Leonardo Barboni Morales:** Contribución a la idea, preparación y desarrollo del artículo.
- **Ana Arboleya Arboleya:** Contribución a la idea, revisiones detalladas y sugerencias acertadas para la elaboración del artículo.
- **Raúl Hans Hartmam Baisastegui:** Contribución a la idea y revisión crítica del artículo.

Esta revista provee acceso libre inmediato a su contenido bajo el principio de hacer disponible gratuitamente investigación al público. Los contenidos de la revista se distribuyen bajo una licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 Unported License. Se permite la copia y distribución de sus manuscritos por cualquier medio, siempre que mantenga el reconocimiento de sus autores y no se haga uso comercial de las obras.

