

INVESTIGACION EN TELECOMUNICACIONES, POSICIONAMIENTO Y GEOMÁTICA: EL PAPEL DEL CTTC

Mónica Navarro

Investigadora Senior y Directora de Relaciones Institucionales en el CTTC

RESUMEN

Este artículo tiene como objetivo presentar el Centro Tecnológico de Telecomunicaciones de Cataluña (CTTC), destacando algunas de las contribuciones más relevantes realizadas en el sector de las TIC y la tecnología 5G, donde ha jugado un papel destacado en su diseño e implementación; así como describir sus principales infraestructuras experimentales y *testbeds*, pilares fundamentales para el desarrollo e innovación tecnológica a los que ha contribuido el centro.

1. INTRODUCCIÓN

El Centro Tecnológico de Telecomunicaciones de Cataluña (CTTC) es un centro público de I+D+i sin ánimo de lucro creado por iniciativa de la Generalidad de Cataluña en el año 2001, que forma parte del sistema CERCA. Ubicado en Castelldefels (Barcelona), el CTTC cuenta con un reconocido prestigio internacional y especializa su investigación en telecomunicaciones y campos afines como el posicionamiento y la geomática.

Desde su independencia operativa, el CTTC ha promovido el crecimiento y formación de una plantilla altamente cualificada, con alrededor del 80% de investigadores, de los cuales un 70% aproximadamente son doctores. Siendo parte de su ADN el equilibrio entre la excelencia en investigación y el know-how en ingeniería y desarrollo tecnológico, la estrategia ha sido apostar por proporcionar estabilidad laboral y desarrollo de una carrera profesional en el seno de la institución. Dicha estabilidad ha sido clave para conseguir desarrollar los *testbeds* (bancos de pruebas) y las capacidades experimentales punteras que identifican al CTTC. Dicha infraestructura experimental se desarrolla y mantiene en su mayor parte por los propios investigadores. Este activo destacado del centro ha resultado ser fundamental en la transferencia de soluciones competitivas a la industria y al ecosistema.

Desde un punto de vista organizativo de la investigación, la actividad investigadora se estructura en nueve unidades de investigación [1] cubriendo los diferentes aspectos de las telecomunicaciones, desde las capas física, acceso y de red. El CTTC se caracteriza por abordar de una forma integral los retos tecnológicos y de investigación del sector TIC, incorporando un know-how altamente especializado en las bases matemáticas y teorías fundamentales en las que se sustenta la tecnología (teoría de la información y de la comunicación, procesado de la señal, estimación e inferencia, teoría de red y protocolos, algoritmos IA/ML, geomática, teledetección,...), acompañado de un conocimiento profundo de la ingeniería y tecnologías asociadas.

Las unidades de investigación organizan sus intereses de investigación y se enfocan desde un paradigma de libertad institucional, que a la vez fomenta las colaboraciones. Esta apuesta por la libertad de investigación de la que disfruta el personal del centro ha resultado exitosa hasta la fecha, garantizando una estabilidad de financiación atrayendo con éxito fondos competitivos y privados, que ha permitido

desarrollar líneas propias de trabajo a medio y largo plazo, y que a la vez ha demostrado una gran capacidad de adaptación a las circunstancias y necesidades del entorno.

Destaca también la contribución del centro en la continua formación ingenieros y doctores. Capacitación fundamental para una sociedad que requiera abordar los retos complejos, y pretenda desarrollar una industria soberana y competitiva. Esta actividad se lleva a cabo tanto a través de programas propios como identificando iniciativas y financiación externas.

2. DEL 4G AL 6G: A LA CABEZA DE LA INVESTIGACIÓN EN EUROPA

Desde su creación, el CTTC ha apostado por estar a la cabeza del desarrollo tecnológico y la innovación participando de forma activa en el liderazgo de la investigación en el ámbito internacional. Entre ellas destaca especialmente la aportación al diseño e implementación de la tecnología de comunicaciones móviles celulares y del segmento espacio.

Desde una perspectiva temporal, el desarrollo tecnológico ha ido acompañado de la colaboración con socios industriales y centros de investigación, empezando por la participación destacada en uno de los proyectos europeos pioneros en 4G [2], pasando por intensa participación en la colaboración público-privada representada por la 5G-PPP [3] y continuando con los proyectos en actual fase de ejecución del programa europeo Horizonte Europa (Redes y Servicios Inteligentes, SNS JU) y el nacional Universalización de Infraestructuras Digitales para la Cohesión (UNICO), donde se abordan los retos de las redes y servicios de nueva generación.

Retrospectivamente destaca la contribución del CTTC al avance de la tecnología de acceso radio, antenas inteligentes y sistemas multiantena MIMO, aplicada tanto en redes de comunicación terrestres como en espacio. En el ámbito de la tecnología de comunicación vía satélite, el CTTC es un socio clave para la Agencia Espacial Europea y sus socios industriales, con la que ha colaborado en numerosos proyectos para mejorar la eficiencia espectral y calidad de transmisión/recepción en el segmento espacio. El conocimiento experto en procesado de señal, códigos de canal y comunicaciones digitales en general, se ha ampliado para incorporar herramientas de IA/ML que han servido por ejemplo para automatizar la detección y gestión de interferencias en el segmento espacio. El CTTC ha sido también impulsor de la integración de los sistemas de comunicación vía satélite y las redes de comunicación terrestres. Esta actividad se ha desarrollado bajo el paraguas de las agencias de estandarización como el 3GPP y la estrecha colaboración con fabricantes y operadores en el sector espacio. Por ejemplo, como líderes del proyecto europeo TRANTOR [4], el CTTC ha participado técnicamente en la primera prueba en Europa de una transmisión de banda ancha 5G-NTN totalmente compatible e interoperable a través de uno de sus satélites geoestacionarios. La demostración incorporó el terminal de usuario 3GPP NTN desarrollado en el CTTC, el cuál admite una conectividad múltiple sin interrupciones, facilitando la conectividad a través de múltiples órbitas, satélites y bandas de frecuencia. Esta tecnología, no solo promete mejorar las infraestructuras 5G existentes, sino que también sienta las bases para su evolución hacia el 6G, donde se requiere gestionar una red de mayor dinamicidad y complejidad.

Otro denominador común en la actividad de investigación e innovación del centro es el impulso dado al nuevo paradigma de “softwarizar” la tecnología. Liderando iniciativas de “softwarización de la radio” (SDR) como es el caso del receptor software GNSS-SDR [5] para posicionamiento vía satélite, la incorporación de dispositivos periféricos de radio universal (USRP) en los *testbeds* o la evolución hacia la “softwarización de la red” (SDN), virtualización de sus funciones y recursos (VNF, slicing) y descentralización (edge computing, telco-cloud). Entre algunos de los ejemplos representativos de la extensa contribución al desarrollo del 5G encontramos la iniciativa de la ESTI TeraFlowSDN [6], o la extensión a ETSI NFV [7].

Esta actividad investigadora se ha realizado en estrecha colaboración con los usuarios verticales. Verticales que han sido integrados en los numerosos pilotos y pruebas de concepto implementados bajo el paraguas de los proyectos 5G-PPP de H2020, UNICO 5G I+D y Horizonte Europa, como el sector de

la automoción [8] y el transporte/movilidad inteligente, de la salud, la industria, los servicios de protección civil y las ciudades inteligentes.

La formación teórica y matemática del personal investigador ha permitido ser pioneros en la adopción, investigación e implementación de soluciones de IA y aprendizaje automático (ML) en los sistemas y redes de comunicación. Desde el diseño de códigos de canal o modulaciones de señal hasta la gestión, orquestación y monitorización de la red y el despliegue de servicios. La IA está por lo tanto presente de forma transversal en los nuevos retos de investigación.

De la misma manera que está la demanda por nuevas soluciones que garanticen la resiliencia y seguridad de las comunicaciones. Un ejemplo destacado, es la integración eficiente de las soluciones QKD en las redes de comunicaciones ópticas estándar. Pruebas que podemos llevar a cabo de forma representativa en la avanzada infraestructura experimental del centro.

Los objetivos de investigación y avance tecnológico del CTTC para las futuras redes de comunicación y servicios asociados están representados por los retos científicos y desarrollo de la tecnología 6G que se vehiculan a través de la extensa lista de proyectos que se pueden consultar en la página web www.cttc.es. Citamos a continuación algunos ejemplos:

- Nuevos paradigmas de acceso y tecnologías emergentes: comunicaciones radio/ópticas, MIMO masivo, redes inalámbricas sin celdas, comunicaciones semánticas, nuevas tecnologías de acceso óptico (transmisión óptica multibanda SDM, monitorización óptica avanzada, controladores SDN específicos para PON, ...), O-RAN distribuida, optimización basada en datos, desarrollo de redes privadas (NPN); blockchain para RAN multi-operador; gemelos digitales para 6G impulsados por IA.
- Investigación de arquitecturas 6G desagregadas y virtualizadas nativas en IA: gestión sostenible y resiliente, segmentación masiva de redes inalámbricas, seguridad y confianza aumentada (detección y mitigación descentralizada de intrusos; aprendizaje descentralizado de confianza, contratos inteligentes y blockchain).
- Transporte óptico multibanda.
- Desarrollo de equipos de propósito general (*white-boxes*) e interfaces para redes ópticas y de paquetes.
- Control inteligente de la RAN 6G e integración transparente con los servicios verticales extremo a extremo.

3. APUESTA POR EL DESARROLLO SOSTENIBLE

Una de las áreas de investigación que llevamos unos años impulsando apuesta por el desarrollo sostenible, destacando líneas de actuación como:

- La sostenibilidad de los algoritmos de IA y ML en el contexto del internet de las cosas (IoT) y su evolución a sistemas ciberfísicos.
- Cómo la aplicación de la IA y ML puede contribuir al desarrollo de sistemas ciberfísicos más sostenibles, tanto en el sentido de consumo energético, como en la vida útil de los dispositivos, capacidad de reciclaje o impulso de la economía circular.
- El desarrollo de herramientas de monitorización basadas en técnicas de teledetección y la geomática para el desarrollo sostenible y protección del medio ambiente.

Entre las herramientas que combinan la geomática y disciplinas afines destacan los proyectos que miden y monitorizan la humedad en zonas protegidas como los manglares, el stock de dióxido de carbono, la concentración de clorofila en zonas costeras o la evolución del permafrost en el Pirineo. Estos proyectos los lidera la unidad de investigación de Geomática, de gran experiencia en aplicación de técnicas de monitorización de la superficie terrestre obtenidas con tecnología radar, principalmente a partir de imágenes de satélite de Radar de Apertura Sintética (SAR); llevando al CTTC a presidir el

Grupo Asesor Europeo de Servicios de Movimiento Terrestre (EGMS) de la Agencia Europea de Medio Ambiente, del Programa Copernicus [9].

La utilización de estas tecnologías avanzadas de teledetección para crear mapas de alta resolución espacial, permiten aplicarse en distintas zonas geográficas y cubriendo extensas superficies. Por ejemplo, los mapas de humedad del suelo de alta resolución espacial (50m) se han generado para África y Cataluña. Estos mapas integran datos satelitales con mediciones terrestres, proporcionando evaluaciones precisas de las condiciones de humedad del suelo dentro de los campos agrícolas. Soluciones que permiten optimizar el riego y el uso del agua y pronosticar los rendimientos de los cultivos con mayor precisión. Utilizando técnicas de aprendizaje automático se pretende mejorar la comprensión de la dinámica de la humedad del suelo y mejorar las capacidades predictivas, para una gestión eficaz de los recursos hídricos y evaluación de la sequía en el contexto del cambio climático.

De forma similar estas técnicas de teledetección combinadas con otros datos permiten medir con precisión la biomasa aérea (AGB) y el carbono aéreo (AGC), como es el caso de los manglares del Caribe colombiano, en colaboración con el centro de investigación. A través de estimaciones mejoradas de las reservas de carbono, el proyecto podría permitir a los científicos y a los responsables de la formulación de políticas tomar decisiones informadas para preservar estos ecosistemas vitales y minimizar las emisiones.

Alineada con el Pacto Verde de la UE y los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas (ODS 9, 12 y 13), la línea de investigación en Inteligencia Artificial Sostenible persigue establecer prácticas de IA responsables y reducir de la huella de carbono en las cargas de trabajo de ML. Para ello está potenciando una plataforma experimental avanzada diseñada para la investigación de aprendizaje automático (ML) distribuido, que integra capacidades de detección, computación y comunicación de vanguardia, extremo a extremo. Dada la heterogeneidad de los componentes del sistema y la naturaleza distribuida, la solución está diseñada para permitir la monitorización de indicadores clave de rendimiento, como la precisión del modelo, la complejidad, el uso de memoria, el consumo de energía computacional y la sobrecarga de comunicación. Las soluciones distribuidas y descentralizadas que impulsa el CTTC, se basan en un paradigma de IA más democrático que pueda mantener la soberanía de nuestros datos y algoritmos de IA, que favorezcan un uso transparente, descentralizado y consciente de la IA.

4. INFRAESTRUCTURA EXPERIMENTAL- INVERSIONES Y PROGRAMAS

Una de las fortalezas de nuestra institución es la gran capacidad para llevar a cabo investigación experimental. A lo largo de los últimos 20 años, nuestros investigadores han desarrollado y actualizado de forma continuada múltiples plataformas experimentales que clasificamos en bancos de pruebas (*testbeds*) y laboratorios.

Dichos *testbeds* han sido uno de los pilares que nos ha permitido liderar los desarrollos en 5G de la mano de proyectos de investigación e innovación a nivel europeo.

Estas capacidades para la experimentación y validación de pruebas de concepto se han visto especialmente beneficiadas en los últimos años con el liderazgo más de 30 proyectos estratégicos en el marco del programa de Universalización de Infraestructuras Digitales para la Cohesión (UNICO) financiado por el Ministerio de Asuntos Económicos y Transformación Digital del Gobierno de España, bajo el plan Europeo de Recuperación y Resiliencia. Con un total de alrededor de 14 M€ destinados a la adquisición de equipos e inversión en infraestructura experimental, el CTTC se ha posicionado como un centro referente y singular en el desarrollo de la tecnología 6G y futuros sistemas TIC. La estrategia de aproximación integral a los retos de investigación en tecnologías TIC, desde los dispositivos y acceso, hasta la red troncal y sus servicios, está acompañada por una estrategia equivalente en la parte experimental.

Actualmente el CTTC dispone de dos edificios (B4 y B6), ambos ubicados en el Parc Mediterrani de la Tecnologia de Castelldefels, en los que gran parte del espacio está destinado a los laboratorios e instalaciones de experimentación; destacando los nuevos equipos que estarán operativos a mediados de 2026 con el objetivo de complementar las capacidades de experimentación y test para el desarrollo del 6G y nuevos sistemas.

A día de hoy el CTTC mantiene un total de 7 testbeds registrados como: GEDOMIS®, ADRENALINE®, EXTREME®, IOTWORLD®, CASTLE PLATFORM®, GESTALT® y GEMMA NAVIGATION®. Los cuales se han desarrollado en torno a tres ejes principales:

- Arquitectura de red
- Acceso radio y dispositivos
- Navegación y posicionamiento

4.1 Infraestructura experimental en arquitectura de red

El CTTC ha desarrollado una infraestructura experimental avanzada para desplegar y evaluar arquitecturas de red, centrándose en la red central y de transporte, representada por los *testbeds* ADRENALINE® y EXTREME®. Estos permiten desarrollar, probar y validar soluciones de gestión de redes, control, orquestación y servicios de transporte avanzados. Cuentan con tecnologías basadas en SDN, que combinan soluciones de código abierto y propietarias, e incluyen herramientas de IA para el control y la supervisión de extremo a extremo.

La red óptica ha evolucionado de una red óptica inteligente habilitada para GMPLS a una plataforma para la investigación avanzada en redes de transporte óptico de alto rendimiento y seguridad cuántica. En concreto, integrando soluciones comerciales QKD en la red estándar de fibra óptica. Además, se está expandiendo al acceso óptico y la computación periférica para respaldar la investigación en 6G, IoT y V2X. La infraestructura incluye transmisión óptica, redes, control, gestión de servicios y redes de acceso, con configuraciones experimentales para sistemas ópticos OFDM y arquitecturas de transceptores variables.

En el ámbito de la red móvil y servicios distribuidos las capacidades se centran en la experimentación de nuevos servicios de red y en la nube, en la plataforma reconfigurable para la validación de infraestructuras y servicios 5G/6G/nube. Es compatible con una amplia gama de tecnologías y necesidades industriales, ofreciendo herramientas como monitoreo en tiempo real, implementación en la nube, pilas de orquestación compatibles con NFV y servicios de IA/ML, con elementos de red personalizables para la experimentación. La infraestructura alberga una plataforma complementaria que permite evaluar servicios verticales en una infraestructura 5G compartida, incluida una red móvil 5G y varios dispositivos verticales. Los equipos hardware se complementan con potentes herramientas de simulación/emulación para modelar sistemas 4G/5G y respaldar el diseño de servicios de próxima generación y arquitecturas de redes de acceso de radio. Como por ejemplo el simulador de sistema de código abierto ns-3 del cual el CTTC ha creado, desarrollado y mantiene el módulo 5G-LENA [10].



Figura 1. Vista parcial de los testbeds ADRENALINE® (izq.) y EXTREME® (dcha.).

Estas capacidades de experimentación en condiciones muy próximas a una red real han permitido demostrar la viabilidad de servicios virtuales, la segmentación de la red y la compatibilidad con varios sectores verticales.

Normalmente el acceso a esta infraestructura especializada requiere de la estrecha colaboración con los investigadores que mantienen y evolucionan la infraestructura. Con el objetivo extender el uso, facilitar el acceso e incrementar la innovación, se está realizando un esfuerzo para posibilitar un acceso menos dependiente de desarrollos particularizados para cada proyecto y de conocimiento altamente especializado, a través de un catálogo de servicios de carácter genérico, que unifique interfaces y automatice procesos de test. El objetivo es poner a disposición de terceros la red programable xG, que incluye los planos de datos, control y gestión y soporta una amplia gama de tecnologías y servicios.



Figura 2. Mesa de experimentación y equipamiento auxiliar para transmisión óptica.

4.2 Infraestructura experimental para redes de acceso radio, sistemas con movilidad y dispositivos.

Los *testbeds* y equipos experimentales dedicados al acceso radio permiten experimentar con redes terrestres, los sistemas de comunicación en espacio y la integración de ambos.

GEDOMIS® está especializado en la creación de prototipos, pruebas y validación de arquitecturas RAN, sistemas inalámbricos, sistemas transceptores de RF y optimización de algoritmos, con un enfoque en aplicaciones reconfigurables de la RAN y el procesamiento multiplataforma. Es un *testbed* altamente personalizable que incluye plataformas SDR, un emulador multicanal y equipos de prueba para validar sistemas 5G y puede operar en escenarios multibanda y multicanal. Incluye plataformas aceleradas por hardware que permiten desarrollar y probar soluciones IA/ML, ejecutadas en el extremo de la red (“edge”), así como experimentar con soluciones de implementación híbrida SW/HW en un entorno de emulación 5G.

CASTLE® se centra en el desarrollo de soluciones de comunicación relacionadas con el espacio y en la integración de sistemas de comunicación terrestres y no terrestres. Entre los equipos destacan un potente emulador de canal satélite, una cabecera de RF de ondas milimétricas multiantena (64 elementos) operativa en banda FR2; y un entorno de simulación AI/ML integrado. Estas capacidades permiten la realización de pruebas inalámbricas de 5G de extremo a extremo en tiempo real incorporando enlaces de comunicación satelital geostacionario, a través de las antenas y transpondedores cedidos por Hispasat. La adquisición de antenas comerciales portables (como la de la foto de la Fig. 3, izq.), amplían las capacidades para explorar aspectos de movilidad y ubicuidad. Adicionalmente, se prevé adquirir nuevos equipos que permitirán acceso directo a enlaces a satélites geostacionarios (GEO) y de órbita baja (LEO), incluyendo ambas tecnologías: radio y óptica. Estas nuevas capacidades experimentales permitirán ampliar los casos de uso, incluyendo transmisiones vía repetidores.



Figura 3. Equipos y testbed para la experimentación en comunicaciones via satélite, y su integración con las redes terrestres (izq) y experimentación 6G RAN (dcha).

Aunque las capacidades experimentales para incorporar soluciones basadas en IA y ML son transversales a los distintos *testbeds*, el CTTC dispone además de plataformas especializadas para:

a) La investigación de soluciones de capa física impulsadas por IA/ML para sistemas de comunicación 6G (Fig. 3, dcha.), compuesta de potentes módulos de radio definidos por software (USRPs) y estaciones de trabajo equipadas con GPU. Utilizada por ejemplo para el diseño de tecnologías de acceso múltiple no ortogonal en escenarios *cell-free*.

b) Abordar pruebas donde sensores y dispositivos ciberfísicos tienen un papel destacado. El *testbed* IoTWORLD® ha evolucionado del entorno clásico de IoT a una infraestructura que incluye clústeres de computación de alto rendimiento, nodos de computación periférica, sistemas de recopilación de datos y sensores, capaz de abordar retos específicos de sostenibilidad desde dos perspectivas: IA para favorecer el desarrollo de sistemas ciberfísicos sostenibles; y sostenibilidad para los algoritmos de IA. En este caso las capacidades se han desarrollado hacia soluciones ML distribuidas y descentralizadas, incorporando tres aspectos fundamentales: capacidad de sensado, computación y comunicación.; y que garanticen la reproducibilidad de los resultados.

En relación con el desarrollo de dispositivos destaca el laboratorio de sensores interdisciplinares y dispositivos de microondas, dedicado al diseño, fabricación y prueba de sensores y dispositivos que operan en un amplio rango de frecuencias desde MHz hasta longitudes de onda de luz visible. Incluye una variedad de tecnologías, incluida la fabricación micro/nano, la impresión 3D, MEMS y la superconductividad. El laboratorio está equipado con un reflectómetro automatizado para caracterizar sensores ópticos fabricados en fibra óptica y realizar mediciones basadas en prismas. Uno de los dispositivos desarrollados, con capacidad integrada de comunicación y sensado, tiene aplicación en la detección de gases. La combinación de las tecnologías ópticas y de microondas, permite una integración más compacta y disminuye el coste del dispositivo.



Figura 4. Laboratorio de sensores interdisciplinares y dispositivos de microondas (izq); detalle de reflectómetro (dcha).

4.3. Infraestructura experimental de navegación y posicionamiento

Como complemento a la infraestructura experimental en telecomunicaciones, el CTTC también dispone de laboratorios y bancos de pruebas dedicados específicamente a la navegación y el posicionamiento:

GESTALT®, está especializado para la adquisición de datos, pruebas algorítmicas y diseño de receptores de posicionamiento y navegación basados en GNSS. Dispone del acceso directo a antenas de alta ganancia para la recepción de señal GNSS, e integra equipos de prueba comerciales y propios (incluye un receptor definido por software para señales GNSS).

GEMMA Navigation®, con el motor NAVEGA como componente central, se centra en la validación de trayectorias y pruebas de algoritmos de navegación.

Además, las instalaciones experimentales cuentan con un espacio dedicado diáfano para la prueba y medición de soluciones de posicionamiento, equipado con nodos UWB georeferenciados, y otros sensores (LIDAR, ultrasonido, ópticos, inerciales, cámaras odométricas) que permiten evaluar con alta precisión soluciones de posicionamiento y navegación híbridas en un entorno controlado. Además, el laboratorio incluye una sala de control para supervisar las operaciones de prueba, garantizar la seguridad y proporcionar soporte técnico con software de control y equipos de laboratorio.



Figura 5. Prototipo de receptor GNSS y array para la detección de interferencias en GNSS desarrollados en el CTTC (izq); espacio de pruebas y medidas para el posicionamiento en interiores (dcha.).

El laboratorio alberga además equipos comerciales como el sistema SAR terrestre Ibis-L (GBSAR) y el radar de apertura real Ibis-S para el monitoreo de vibraciones, así como sensores propios (radar FM de 24 GHz, reflector activo para aplicaciones espaciales).

Además, el CTTC dispone de una cámara anecoica, solución llave en mano de ETS-Lindgren para la caracterización de antenas y mediciones de dispositivos de telecomunicaciones inalámbricas. El sistema se puede utilizar para mediciones de antenas en distancias de prueba de campo lejano para propiedades de antena más genéricas, como el diagrama de radiación 3D. Esta instalación está destinada a la investigación y desarrollo (R&D) en diseño, pruebas y mediciones de antenas, mediciones de sistemas inalámbricos y caracterización de antenas.



Figura 6. Cámara Anecoica (izq); edificio B6 donde se han potenciado los nuevos espacios experimentales (dcha.).

Apoyados en el resultado de una reciente convocatoria nacional de infraestructura, y la voluntad de convertirnos en una infraestructura singular, la apuesta por continuar desarrollando las capacidades experimentales que favorezcan la investigación y transferencia tecnológica continúa siendo uno de los objetivos principales del CTTC.

5. REFERENCIAS

- [1] Unidades de investigación en el CTTC, <https://www.cttc.cat/research-units/>
- [2] Wireless world initiative new radio (WINNER I & II), https://cordis.europa.eu/project/id/027756/de;https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_09_1238
- [3] The 5G Infrastructure Public Private Partnership (5G-PPP), <https://5g-ppp.eu/>
- [4] 5G+ evoluTion to mutioRbitAl multibaNd neTwORks (TRANTOR), <https://www.trantor-he.eu;https://cordis.europa.eu/project/id/101081983/results>
- [5] GNSS-SDR, An open-source Global Navigation Satellite Systems software-defined receiver, <https://gnss-sdr.org/>
- [6] ETSI Software Development Group TeraFlowSDN, <https://tfs.etsi.org/>
- [7] Extensión a ETSI NFV, desarrollo de código abierto, <https://gitlab.cttc.es/cttc-cnd>
- [8] Fifth Generation Cross-Border Control (5G-Croco) <https://5gcroco.eu/contact.html>
- [9] European Ground Motion Service, <https://land.copernicus.eu/en/products/european-ground-motion-service>
- [10] 5G-LENA, ns-3 module to simulate 3GPP 5G networks, 5G New Radio, <https://5g-lena.cttc.es/>