
Perspectiva de futuro: la 5G

PID_00247333

Jesús Alonso-Zárate

Tiempo mínimo de dedicación recomendado: 3 horas



Ninguna parte de esta publicación, incluido el diseño general y la cubierta, puede ser copiada, reproducida, almacenada o transmitida de ninguna forma, ni por ningún medio, sea éste eléctrico, químico, mecánico, óptico, grabación, fotocopia, o cualquier otro, sin la previa autorización escrita de los titulares del copyright.

Índice

Introducción	5
Objetivos	7
1. Requisitos de la 5G	8
2. Transformación de negocio basado en 5G	10
2.1. Un nuevo ecosistema para 5G	10
2.2. Un nuevo rol para los proveedores de red	12
2.3. Nuevos actores en la cadena de valor	13
3. Estándares relacionados	14
4. Aspectos de espectro de frecuencias	16
5. ¿Qué ofrece 5G?	17
5.1. Red de acceso radio flexible	17
5.2. Velocidades de transmisión extremadamente altas	18
5.2.1. Más espectro disponible y mayor eficiencia	19
5.2.2. Despliegues de red ultradensos	20
5.3. Ultrabaja latencia extremo a extremo	20
5.3.1. Mejoras en la interfaz radio para baja latencia	22
5.3.2. Mejoras en la arquitectura extremo a extremo: <i>mobile edge computing</i>	23
5.3.3. Mejoras en el procesado software	24
5.3.4. Uso de memoria caché para reducir la latencia	24
5.4. Conectividad para un número masivo de dispositivos	24
5.5. Gran rendimiento a gran velocidad	26
5.6. Posicionamiento de alta precisión	27
5.7. Resumen de principales tecnologías innovadoras del 5G	27
6. Una visión holística de 5G	29
6.1. Introducción	29
6.2. 5G: una red segura	29
6.3. 5G: una red disponible y fiable	30
6.4. 5G: una red fácilmente gestionable	31
7. El despliegue de 5G y su regulación	32
Resumen	33

Introducción

5G será la siguiente generación de redes de comunicaciones móviles que permitirán dar un salto innovador a todas las **industrias verticales** y a la **sociedad**.

Se puede decir que 5G es la primera generación de redes de comunicaciones que se ha diseñado para satisfacer las necesidades específicas de actores verticales, entendidos como aquellas empresas o entidades dedicadas a satisfacer las necesidades de un sector económico concreto. Se suele hablar de que las redes de comunicaciones son actores horizontales, en el sentido de que dan servicio a diferentes verticales atendiendo a las necesidades de distintas aplicaciones «verticales» concretas.

A través del diseño de una nueva red de acceso radio (RAN) y una arquitectura extremo a extremo orquestada virtualmente, 5G tiene el potencial de facilitar la innovación y generar crecimiento en la industria y la sociedad. Poco a poco, a lo largo de este material, iremos entendiendo qué quiere decir esto. Un poco de paciencia y sigamos leyendo.

Entre los verticales más destacados dentro del contexto de 5G, destacan:

- 1) **Industria 4.0**, incluyendo logística, operaciones, ventas, compras y manufactura, entre otras cosas.
- 2) **Seguridad**, ofreciendo servicios integrales de seguridad a través de cámaras de videovigilancia, sensores de presencia, acústicos, térmicos, etc.
- 3) **Venta al por menor** (distribución), en inglés *retail*.
- 4) La **sociedad** en su conjunto, ofreciendo servicios para los ciudadanos de a pie y el día a día, en conexión con la visión de las *smart cities*.
- 5) **Cuidado de la salud y el bienestar** (salud electrónica).
- 6) **Cuidado y vigilancia del hogar**, llevando a cabo la visión del *smart home*.
- 7) **Energía**, con la visión del *smart grid* y la generación, consumo y venta de energía a través de fuentes distribuidas de generación y transformación de energía, como el caso del coche eléctrico o la integración de energías renovables.
- 8) **Movilidad**, incluyendo el coche conectado y autónomo y los sistemas inteligentes de transporte (ITS, del inglés, *intelligent transportation systems*), que afectan a los sectores terrestres, aéreos y marítimos.

Tanto el éxito técnico como comercial de 5G se basa en que la tecnología sea capaz de facilitar lo que hasta hoy no ha sido posible con las anteriores generaciones de

comunicaciones, y que habilite la creación y provisión de nuevos servicios para todas estas industrias verticales y tenga un impacto en un ámbito **tecnológico, social y económico**.

La visión compartida del ecosistema que promueve la definición y adopción del 5G es que la tecnología de quinta generación no es tan solo de una nueva generación de comunicaciones móviles. Se trata de un nuevo concepto de red que permite la integración de distintas redes de acceso, heterogéneas y complementarias, sin cables y cableadas, y basadas en redes de transporte híbridas sin cables y ópticas que permitan una gestión y control unificados y simplificados. Todo esto, con el objetivo de ofrecer servicios flexibles y personalizados para las necesidades de las diferentes industrias o mercados verticales.

Para que esta integración de diferentes soluciones técnicas sea posible y satisfactoria, tanto la definición como el despliegue de las nuevas redes de comunicaciones de quinta generación necesitan la aceptación de estándares globales que aseguren **interoperabilidad** y permitan **economías de escala** para poder ofrecer un sistema eficiente económicamente desde el punto de vista del despliegue y operación de la red, así como para el usuario final.

Objetivos

Los objetivos de este material son:

- 1) Entender por qué vamos a tener una quinta generación de comunicaciones móviles, la 5G.
- 2) Entender los requisitos de la 5G.
- 3) Entender lo que va a ofrecer la tecnología 5G, así como sus limitaciones.
- 4) Conocer los nuevos servicios y funcionalidades que ofrecerá la tecnología 5G.
- 5) Entender el nuevo ecosistema que se forma alrededor de 5G y las oportunidades que esto supone para la industria 4.0 y la creación de nuevos modelos de negocio y de innovación.
- 6) Adquirir un conocimiento genérico y muy generalista de las innovaciones técnicas que incluye 5G respecto a las generaciones anteriores.
- 7) Asimilar que, aunque todavía no es una tecnología disponible, lo será a medio plazo, y por lo tanto es necesario tenerla en cuenta en las soluciones de la industria 4.0.

1. Requisitos de la 5G

En un ámbito operacional, se espera de las redes 5G que:

- 1) Multipliquen por un factor 1.000 la capacidad de las redes de acceso sin cables (RAN) con un mayor número de servicios soportados en comparación con la generación disponible en el 2010.
- 2) Reduzcan el consumo de energía de los dispositivos hasta un 90 %, lo que permite prolongar la vida de los dispositivos, teniendo en cuenta que la mayoría del consumo se genera en la parte de acceso radio.
- 3) Permitan reducir el ciclo de creación de servicios de 90 horas a 90 minutos, y ofrecer servicios muy flexibles y fácilmente adaptables.
- 4) Permitan garantizar el acceso y la fiabilidad de las redes, evitando los tiempos sin servicio móvil, de modo que hagan posible la provisión de servicios para sistemas críticos (del inglés *mission-critical applications*).
- 5) Sean capaces de gestionar un número de dispositivos muy alto, que se espera que sea de hasta 7 trillones de dispositivos dando servicio a 7 billones de personas.
- 6) Permitan la gestión de la seguridad y privacidad avanzada y controlada por el usuario.

La nueva arquitectura de red de comunicaciones que ofrezca y garantice que estos requisitos se pueden cumplir debe operarse a través de un entorno flexible y dinámico que permita el desarrollo de nuevas aplicaciones, como por ejemplo las basadas en sensores y actuadores, de elevada relevancia para la industria 4.0; y reduciendo los costes y las tareas de mantenimiento y operación de red.

Además, se espera de la tecnología 5G que sea muy segura e íntegra, y que ofrezca sistemas de autenticación de usuarios y protección de los datos.

Todo esto para permitir satisfacer las necesidades de distintos tipos de aplicaciones con necesidades muy bien diferenciadas, pero que se pueden clasificar en al menos tres tipos:

- 1) **eMBB**: *enhanced mobile broadband* (sistemas mejorados de banda ancha).
- 2) **URLLC**: *ultra-reliable and low latency communications* (sistemas basados en comunicaciones muy fiables de de ultrabaja latencia).

3) **mMTC**: *massive machine-type communications* (sistemas basados en despliegues masivos de dispositivos del internet de las cosas, IoT).

Aunque cada uno de estos tipos puede subclasificarse en más tipos, podríamos decir que estos son los tres grandes grupos de aplicaciones que van a satisfacer las necesidades de los diferentes mercados o industrias verticales.

2. Transformación de negocio basado en 5G

La tecnología 5G va a ofrecer nuevas oportunidades de negocio en un ámbito global, basadas en un rendimiento de las redes de comunicación mejorado, con mucha mayor flexibilidad, y una gran posibilidad de personalización de los requisitos de comunicación para cada aplicación en concreto. Esto se conseguirá a través de lo que se conoce como *network slicing*, que veremos más adelante. En esencia, se trata de que cada usuario pueda usar una «rebanada» (*slice*) de la red que satisfaga sus necesidades, mientras otras aplicaciones usan otra «rebanada» configurada de manera diferente. Aunque todos los usuarios utilicen la misma red, lo hacen de manera distinta. Pongamos un símil para aclarar esto: sería como usar una autopista común para todos los usuarios, pero cada uno con un vehículo adaptado a sus necesidades de consumo, velocidad punta, autonomía, fiabilidad, etc. Esta gran flexibilidad de las redes 5G es la base para la transformación digital que se nos viene encima, y es algo que no se ha podido hacer hasta ahora con las generaciones de redes de comunicación anteriores.

Por lo tanto, la tecnología 5G permite resolver las limitaciones de las tecnologías actuales en términos de, por lo menos:

- Flexibilidad mediante softwarización.
- Personalización mediante softwarización.
- Tasa de transmisión de datos.
- Retardo y latencia.
- Fiabilidad.
- Cobertura.
- Capacidad de computación distribuida en la red.
- Hiperconectividad.
- Seguridad.

5G va a permitir crear nuevos modelos de negocio *business-to-business* (B2B), *business-to-costumer* (B2C) y *business-to-government* (B2G), entre otras opciones que puedan idearse.

2.1. Un nuevo ecosistema para 5G

Los servicios que se podrán ofrecer con 5G son mucho más flexibles y adaptables de lo que lo han sido con las redes de comunicaciones disponibles hasta hoy día.

Técnicas nuevas como el *network-slicing*, que describiremos más adelante, permiten a los diferentes proveedores de servicios de red (**NSP**, del inglés *network service providers*) desarrollar nuevos servicios y ofrecer cualquier «cosa» como servicio siguiendo el modelo **Xssa**, incluyendo, entre otras opciones:

- 1) **IaaS**: infraestructura como servicio.
- 2) **PaaS**: plataforma como servicio.
- 3) **NaaS**: red (*network*) como servicio.

La flexibilidad que ofrece 5G permitirá a los NSP alquilar sus recursos a diferentes proveedores de servicios en línea (**OSP**, del inglés, *online service providers*), que podrán ofrecer recursos a sus clientes o necesidades. Estos OSP podrían ser, por ejemplo, operadores de soluciones concretas en verticales, tales como un fabricante de coches para sus clientes, entre otros muchos ejemplos.

La posibilidad de combinar las bondades de las redes privadas sobre una arquitectura públicamente disponible, así como la disponibilidad de centros de datos disponibles a través de diferentes redes públicas, facilitarán la colaboración entre los distintos actores de la cadena de valor. Por lo tanto, 5G ofrece una estructura para facilitar la colaboración entre empresas y actores de la cadena o red de valor, lo que permitirá ofrecer servicios de una manera muy eficiente desde el punto de vista de coste y operación.

En el contexto de 5G es posible distinguir, al menos, entre los siguientes 10 tipos de actores:

- 1) **Fabricantes de hardware y software**: que actúan como proveedores de equipos y de software para los proveedores de servicios de IT (del inglés *information technologies*), fabricantes de equipos de red (**NIM**, del inglés *network infrastructure manufacturers*), NSP y OSP, entre otros.
- 2) **Fabricantes de equipos de red (NIM)**: proveen los equipos para los NSP.
- 3) **Proveedores de funciones de red por software (SNFP, del inglés *software network function provider*)**: ofrecen funciones de red por software para los NSP, OSP y los proveedores de servicios de comunicaciones (CSP, del inglés *communication service providers*).
- 4) **Fabricantes de dispositivos**: proveen dispositivos de usuario para los NSP, OSP y los clientes finales.
- 5) **Proveedores de servicios de IT**: proveen servicios de IT a los NSP, CSP y OSP.
- 6) **Proveedores de servicios de red (NSP)**: proveen servicios de red a los CSP y OSP a través de *brokers*, a los proveedores de servicios de IT, a otros NSP y a clientes finales.
- 7) **Proveedores de servicios de comunicación (CSP)**: proveen servicios de comunicación a OSP y a clientes finales.

8) **Proveedores de servicios en línea (OSP)**: ofrecen servicios en línea a los clientes finales y pueden recibir contenido de ellos. Por ejemplo, pueden adoptar este rol los actores de industrias verticales, tales como la industria del automóvil, de la energía, las fábricas, la salud electrónica o los creadores de contenido.

9) **Brokers**: hacen de intermediarios entre los OSP y los NSP, y entre NSPS en su búsqueda por ofrecer los servicios a sus clientes de la manera más efectiva desde el punto de vista económico.

10) **Clientes finales**: B2C, B2B y B2G.

2.2. Un nuevo rol para los proveedores de red

Los proveedores de red van a cambiar sus funciones dentro de la visión del 5G respecto al rol que han tenido hasta ahora en las generaciones anteriores.

Efectivamente, los operadores de red tradicionales no pueden mantenerse como simples operadores de red y ofrecer una «tubería» por la que transmitir datos. Los márgenes se reducen y el mercado de la conectividad da síntomas de saturación y commoditización: la conectividad se da por hecho y no es un valor por el que se esté dispuesto a pagar de más. Por lo tanto, poco a poco, los operadores de red se están convirtiendo en proveedores de servicios de valor añadido, mucho más allá de ser proveedores de capacidad de transmisión de voz y datos. Para llevar esto a cabo, necesitan cooperar con actores de los sectores verticales. Un ejemplo claro y muy sencillo lo vemos hoy día con los acuerdos de las operadoras de telefonía móvil con empresas de creación y distribución de contenido audiovisual, como series, películas o eventos deportivos incluidos en las cuotas de servicio de internet. Este tipo de colaboración está tomando mayor peso, y la industria 4.0 no va a ser una excepción.

La realidad es que los operadores de telecomunicaciones se están enfrentando a diferentes dilemas sobre qué papel deben jugar en este nuevo escenario que plantea el 5G, y los actores de las industrias verticales también se están planteando cuál deberá ser su rol en este tipo de nuevas colaboraciones.

Es difícil hacer predicciones y el tiempo dirá, pero todo apunta a que en un futuro no muy lejano, los operadores de red van a trabajar codo con codo y en colaboración con los actores de industrias verticales para poder proveer valor añadido y ofrecer los servicios que cada actor vertical necesita. Podríamos decir que el mayor reto hoy día para los NSP es el de ofrecer la garantía de servicio que demandan las industrias verticales, manteniendo su propia infraestructura de red y sin integrarse con la infraestructura de los actores verticales. De algún modo, necesitan dar servicios particularizados para los diferentes verticales, sin perder su horizontalidad.

Vivimos, por tanto, un momento histórico en el que se están definiendo nuevas relaciones entre los NSP, los proveedores de contenido y los que ofrecen y entregan el

contenido. Entre estas nuevas relaciones, surgen dudas y riesgos, pero también se abre un abanico de nuevas oportunidades de negocio y de innovación.

2.3. Nuevos actores en la cadena de valor

Comparado con la generación 4G, la entrada de los actores verticales es la principal novedad de la tecnología 5G; dicho de otro modo, la tecnología 5G es la primera generación de redes de comunicaciones móviles que se está diseñando a medida para los diferentes verticales, y que ofrece toda la flexibilidad necesaria para poder adaptarse caso por caso a cada vertical particular.

Por ejemplo, actores de industrias como la del automóvil, la energía, la salud electrónica, la logística, las fábricas, el transporte público, etc. van a poder actuar como OSP, y ofrecer servicios a sus clientes directos sobre la infraestructura y conectividad ofrecida por un NSP, por ejemplo. Los fabricantes de máquinas y equipos para la industria serán, de este modo, los proveedores de los dispositivos capaces de conectarse a estas redes 5G. Las oportunidades y opciones son enormes.

Hasta ahora, hemos centrado el discurso en la flexibilidad que va a ofrecer 5G; pero hay más. Además de la flexibilidad, la introducción del concepto de computación en la nube en la industria de las telecomunicaciones va a permitir la aparición de nuevos actores y nuevos servicios de valor añadido. Por ejemplo, la figura de *broker* no existía hasta ahora; sin embargo, en este puzle de actores, cobra mucho sentido el rol de gestionar las diferentes alternativas para elegir la más eficiente económicamente, o la que mejor satisface unas necesidades en particular. Un *broker* actúa como intermediario entre OSP (incluyendo actores verticales) y NSP o entre NSP, como hemos visto antes. Un ejemplo sería el de *brokers* del espectro radioeléctrico, que permitan la gestión y el uso compartido de bandas de frecuencia entre varios OSP. Un *broker* también puede actuar, por ejemplo, entre los NSP y los OSP y sus usuarios finales, y ofrecer servicios que ni el NSP ni el OSP están dispuestos a ofrecer.

3. Estándares relacionados

En general, la estandarización de las tecnologías es necesaria para:

- 1) Garantizar la interoperabilidad entre fabricantes.
- 2) Garantizar la interoperabilidad entre operadores.
- 3) Asegurar la supervivencia a largo plazo de la tecnología.
- 4) Facilitar la adopción de tecnología en el mercado.
- 5) Reducir la fragmentación de soluciones existentes e incompatibles.
- 6) Evitar la reinención de la rueda: trabajar en soluciones diferentes que solucionan los mismos problemas.
- 7) Ayudar a crear economías de escala, y reducir así el coste de la tecnología.

También es cierto que la estandarización puede imponer barreras de entrada a mercados y limitar de algún modo la innovación, pero en un gran número de casos, los beneficios superan con creces los inconvenientes. Sin embargo, las grandes disrupciones innovadoras no suelen estar estandarizadas; así que tampoco hay que cerrar puertas a la innovación no estandarizada.

En cualquier caso, la tecnología 5G sí se está estandarizando, y este proceso de estandarización está siendo promovido por el 3GPP, el ETSI y la ITU; como hemos visto en el material «Comunicaciones celulares», el 3GPP es el organismo que se encarga de definir las especificaciones técnicas de las generaciones de comunicaciones móviles, que luego se trasponen como estándares a través del ETSI y de la ITU. Es decir, el 3GPP no es un organismo de estandarización, pero promueve la definición de las especificaciones técnicas que luego serán estándares.

La estandarización de las redes de acceso por radio y de la arquitectura de la red ha sido provechosa en el pasado, y todo apunta a que esta siga siendo la dinámica para futuras generaciones de comunicaciones.

Además, en el caso particular de 5G, la virtualización y la posibilidad de compartir recursos y funciones de red, como veremos más adelante, impone el hecho de que sea muy necesario establecer estándares para asegurar que las soluciones de diferentes fabricantes puedan cooperar sobre una misma infraestructura y establecer comunicación operativa entre distintos operadores.

La estandarización en el caso de 5G, dado que es una tecnología extremadamente flexible y adaptable a muchas necesidades, también debe ser flexible y dejar margen para adaptar las soluciones a las necesidades de distintas aplicaciones.

Del mismo modo que la *release 99* del 3GPP definió la 3G, o la *release 8* la LTE, la *release 14* y la *release 15* del 3GPP se pueden considerar como la primera fase de desarrollo formal hacia la 5G. La *release 14* se centra en estudios hacia 5G, mientras que la *release 15* conformará la primera especificación formal de 5G.

4. Aspectos de espectro de frecuencias

Uno de los requisitos de 5G es ser capaz de soportar un amplio abanico de frecuencias radio, incluyendo entre estas las frecuencias milimétricas, las denominadas *millimeter wave bands*.

Dado que el ni el acceso HSPA (3G) ni LTE (4G) consideraban estas bandas milimétricas, el 3GPP ha acordado que a través de la *release 14* y *release 15* se introduzca el concepto de *new radio* (NR) para 5G, que ofrezca mucha flexibilidad para trabajar en varias bandas por debajo de 6 GHz, y también en bandas milimétricas que lleguen hasta 100 GHz.

En concreto, la tecnología 5G trabajará sobre las siguientes bandas de frecuencia:

- 1) **Banda de 700 MHz**, para facilitar grandes rangos de cobertura en entornos rurales, por ejemplo.
- 2) **Banda entre 3,4 GHz y 3,8 GHz**, para proveer servicios en entornos urbanos. En esta banda de frecuencias, se necesitan al menos anchos de banda disponibles de 100 MHz.
- 3) **Banda de 26 GHz** para ofrecer capacidad ultraelevada y servicios innovadores en entornos con rangos de cobertura más pequeños, como pueden ser entornos industriales, empresariales o domésticos. En esta banda de frecuencias, se necesitan al menos anchos de banda de 500 MHz, e incluso pueden llegar a considerarse anchos de banda de 1.000 MHz.

Además, como veremos más adelante, 5G permitirá la coexistencia y cooperación con otras tecnologías radio operando en frecuencias libres de licencia, como por ejemplo las bandas ISM.

5. ¿Qué ofrece 5G?

En comparación con las generaciones anteriores, 5G ofrece un rendimiento sin precedentes y una mayor experiencia de usuario.

La integración de comunicaciones en la banda por debajo de los 6 GHz con las bandas de milimétricas ofrece hasta 11 veces mayores tasas de velocidad de transmisión de datos que 4G y retardos y latencias muy pequeños, y permite aplicaciones basadas en el tacto, por ejemplo.

Además, usando celdas pequeñas y ultradensificación de puntos de acceso, se podrá multiplicar por 100 la capacidad de las redes de comunicación y, por lo tanto, dar servicio a un número mucho mayor de dispositivos, lo que, por tanto, da solución a la llegada del internet de las cosas (IoT).

Estos dos aspectos, junto con la flexibilidad y capacidad de «personalización», hacen que 5G ofrezca muchas nuevas posibilidades, que repasamos a continuación.

5.1. Red de acceso radio flexible

En este apartado describimos, brevemente, las principales novedades técnicas que permiten que la red de acceso de 5G sea extremadamente flexible.

Dada la gran diversidad de aplicaciones que 5G tiene que servir, la red de acceso radio está diseñada para trabajar desde 700 MHz hasta decenas de GHz. Además, lo puede hacer utilizando distintas técnicas combinadas y con anchos de banda variables.

La tecnología 5G permitirá combinar la tecnología radio de LTE-A, una nueva interfaz radio definida para 5G, y Wi-Fi, todo de manera combinada para ofrecer rendimientos muy altos.

En 5G se define el uso de múltiples antenas y técnicas de detección multiusuario para ofrecer tasas de transmisión de datos muy altas.

Además, se definen nuevas técnicas para densificar las redes, es decir, poner muchos puntos de acceso y estaciones base juntas, incluyendo la opción de tener nodos móviles, instalados en vehículos; por ejemplo, para dar cobertura en «todas partes».

5G añade, además, la posibilidad de establecer comunicación directa entre dispositivos, a través de comunicaciones D2D (dispositivo a dispositivo), para reducir la latencia y el retardo de las transmisiones y poder «descargar» en el enlace principal, con el objetivo de aumentar la capacidad del sistema. Este tipo de comunicaciones D2D está especialmente diseñado para aplicaciones entre vehículos o escenarios en los que la infraestructura no esté disponible, como en el caso de emergencias o accidentes naturales.

La RAN de 5G soporta diferentes tipos de despliegue: con estaciones base dedicadas, distribuidas, centralizadas y basadas en el concepto de nube (*cloud-RAN*). Además, también se añade la funcionalidad de *self-backhauling*, que permite a los dispositivos normales actuar como estaciones base y establecer conexión con estaciones base donantes. Esta flexibilidad en la configuración de la red de acceso es uno de los puntos fundamentales de 5G para poder ofrecer grandes tasas de transmisión, baja latencia y bajo consumo de energía, además de fiabilidad y gran cobertura.

5.2. Velocidades de transmisión extremadamente altas

Los altos requerimientos de velocidad de transmisión en 5G imponen:

- 1) Usar una mayor cantidad de espectro radioeléctrico.
- 2) Lograr mayor eficiencia espectral (poder transmitir más bits por hercio utilizado) a través de mejoras en la RAN, tanto en un ámbito de capa física (transmisión radio) como de gestión de recursos dinámica, en un ámbito de RRM (*radio resource management*).
- 3) Llevar a cabo despliegues de red con alta densidad de estaciones base o puntos de acceso (*ultra-dense networking*).

Uno de los mayores retos consiste en lograr tasas de transmisión muy elevadas gestionando, al mismo tiempo, diferentes tipos de tráfico de datos, con requisitos muy distintos. Como hemos visto antes, al menos se pueden clasificar en:

- 1) Tráfico de banda ancha (eMMB).
- 2) Tráfico ultrafiabile y de extrema baja latencia (URLLC).
- 3) Tráfico de redes masivas de dispositivos (mMTC).

La flexibilidad y la capacidad de adaptación son, por lo tanto, los pilares de diseño de la quinta generación de comunicaciones.

5.2.1. Más espectro disponible y mayor eficiencia

5G trabajará simultáneamente en las bandas por debajo de 6 GHz y en las bandas milimétricas. Esta combinación permite aprovechar las buenas condiciones de propagación de las bandas más bajas, para lograr cobertura, y la alta capacidad de transmisión de datos y de servicio a múltiples usuarios en bandas altas.

En el caso de situaciones muy exigentes en términos de recursos necesarios, la posibilidad de trabajar en distintas bandas de frecuencia ofrece mucha flexibilidad y capacidad de adaptación.

Usando eficientemente esta combinación de bandas de frecuencia, se puede lograr mejorar las velocidades de transmisión en el límite de las celdas, de 15 Mbps a 170 Mbps; es decir, multiplicar por 11 las velocidades de transmisión disponibles en 4G.

Además de la disponibilidad de más espectro licenciado, 5G contempla el uso del espectro no licenciado. Esto se logra a través de las técnicas llamadas *license assisted access* (LAA) y *licensed shared access* (LSA).

La gestión del acceso a las diferentes bandas de frecuencia puede ser tanto centralizada, como distribuida, lo que dota a la quinta generación de una capacidad única de adaptación a las condiciones en todo momento. Las redes 5G mejoran en un factor 100 la capacidad de gestión de usuarios simultáneos respecto a 4G.

Otra de las innovaciones clave en 5G es la gestión dinámica de los recursos radio (RRM), que permite usar duplexación en tiempo (TDD), así como la operación cooperativa de estaciones base. Por un lado, el uso de TDD dinámico permite ajustar los recursos de manera dinámica a las necesidades del canal de subida y el canal de bajada. Por otro lado, el uso de técnicas de cancelación de interferencias compartiendo información entre estaciones base permite mejorar hasta en un 60 % el rendimiento de sistemas tradicionales sin coordinación entre estaciones base. Si además se establece cooperación entre los dispositivos para combatir la interferencia, la ganancia puede ser todavía mayor. Este tipo de cooperación para mitigar interferencias tanto en el enlace de subida como en el enlace de bajada recibe el nombre de *coordinated multipoint transmission and reception* (CoMP).

Además de tener más espectro disponible, combinar el uso de bandas licenciadas con bandas sin licencia, y aplicar técnicas de cancelación de interferencias cooperativas, 5G contempla la cooperación entre distintas tecnologías radio. De este modo, la interfaz radio de 5G podrá complementarse con el ancho de banda de redes Wi-Fi, cableadas, o incluso por satélite, para poder garantizar la calidad de servicio necesaria para cada aplicación en particular. Todo, de manera «transparente» para el usuario final.

Para lograr esta «transparencia» para el usuario final, 5G contempla el uso de técnicas de **VRAN** (*virtual RAN*) que permiten reconfigurar dinámicamente las estaciones ba-

se, usando equipos hardware de propósito general y sin necesitar, por lo tanto, equipos dedicados diferentes para cada tipo de configuración.

5.2.2. Despliegues de red ultradensos

5G incorpora el concepto de redes ultradensas, mediante dos tipos de elementos nuevos:

- 1) **Celdas pequeñas inteligentes**, capaces de tomar decisiones sobre los recursos que hay que utilizar en cada momento de manera dinámica y midiendo el estado de la red en cada área de cobertura concreta.
- 2) **Nodos nómadas**, que pueden actuar de manera temporal como puntos de concentración de tráfico de nodos vecinos, para no saturar el enlace principal con la estación base.

Para permitir este tipo de redes ultradensas, capaces de aplicar técnicas de recepción y transmisión cooperativas, es necesario en muchos casos poder tener ciertas funciones de control centralizadas en alguna entidad de red un nivel por encima de las «estaciones base». Esta centralización de toma de decisiones permite alcanzar los puntos óptimos de operación de la red. Esto se conoce como separación (*decoupling*) de las unidades (cabezales) de radio (*fronthaul*) de las unidades de procesado en el *backhaul* de la red. Para ello, es fundamental disponer de enlaces de *backhaul* sin cables, pero con alta capacidad; deben ofrecer flexibilidad de despliegue, pero también garantizar las necesidades de calidad de servicio impuestas por las aplicaciones a las que hay que dar servicio. En muchos casos, es necesario que estas redes de *backhaul* combinen enlaces de radio (usando múltiples antenas) con enlaces ópticos para alcanzar gran ancho de banda, con modulaciones muy agresivas que permitan lograr decenas o incluso centenares de Gbps en los enlaces entre el *backhaul* y el *fronthaul*.

Es importante destacar que este tipo de centralización en el procesado y la toma de decisiones también implica un aumento de la información de control que debe intercambiarse en la red. Por lo tanto, existe un compromiso entre la centralización y los recursos (radio y de energía) que son necesarios para llevarla a cabo. Este tipo de criterios de diseño están fomentando distintos trabajos de investigación y tendrán un componente elevado de decisión operativa por parte de los operadores a la hora de desplegar sus infraestructuras de red.

5.3. Ultrabaja latencia extremo a extremo

Como hemos visto antes, alcanzar latencias muy bajas es uno de los requisitos de 5G. Esto permite, entre otras cosas, habilitar la ejecución de funciones de control remoto que son críticas en respuesta en tiempo, y visionar aplicaciones basadas en el tacto, por ejemplo. El concepto de *tactile internet* tan solo podrá ser una realidad si podemos

establecer comunicaciones con retardos de extremo a extremo por debajo de 1 m. En muchos casos, esta barrera supera los límites de la propagación física de señales, por lo que será necesario recurrir a técnicas de inteligencia artificial y predicción de comportamientos para combinar la ultrabaja latencia de las comunicaciones con técnicas de predicción.

Algunas de las aplicaciones que se beneficiarán de esta ultrabaja latencia son, por ejemplo:

- Realidad aumentada, lo que permite la interacción instantánea entre máquinas y personas.
- Telemedicina, para permitir a un médico auscultar, por ejemplo, a un paciente de forma remota.
- Telecirugía asistida por robots, lo que da lugar a lo que está recibiendo el nombre del «internet de las habilidades» (del inglés, *internet of skills*).
- Coche autónomo, conectado y cooperativo para mejorar la seguridad en carretera; la comunicación ultrarrápida entre vehículos, peatones y elementos de infraestructura permitirá reducir el número de accidentes y aumentar la seguridad.
- Control instantáneo de la red de distribución eléctrica para evitar cortes de luz en cascada.
- Automatización de procesos de fabricación en líneas de montaje.

Uno de los principales requerimientos de 5G es alcanzar latencias extremo a extremo entre 1 m y 10 m.

Es importante tener en cuenta que en todo el camino extremo a extremo entre un transmisor y un receptor a través de una red de comunicaciones móviles existen varias fuentes de «aleatoriedad» que convierten en un reto importante garantizar latencias estables y deterministas. De hecho, el diseño de redes «deterministas» constituye hoy día un área muy activa de investigación. En algunas aplicaciones no es tan importante la baja latencia en sí misma, sino el determinismo en el comportamiento de la red de comunicaciones.

En general, podríamos decir que todas las medidas aplicadas en 5G para mejorar la velocidad de transmisión implican una reducción de la latencia. A pesar de ello, en 5G también se adoptan medidas específicas para reducir la latencia, tales como:

- 1) Mejoras en la RAN, en las comunicaciones radio.
- 2) Técnicas de computación en los nodos extremos de la red (*mobile edge computing*).

- 3) Mejoras de software para reducir la latencia en el procesado y computación.
- 4) Técnicas de *catching* (uso de memoria caché) aplicadas a la red de comunicaciones.

5.3.1. Mejoras en la interfaz radio para baja latencia

El uso de formas de onda que no sean sensibles a los desplazamientos temporales permite evitar la señalización necesaria para sincronización y alineación temporal y, por lo tanto, reducir la latencia. Esto permite, por ejemplo, reducir la duración de los TTI (*transmission time intervals*), que como vimos en la descripción de LTE, son los tiempos mínimos de la RAN para tomar decisiones y efectuar transmisiones radio.

Además, 5G incluye técnicas avanzadas de *hybrid ARQ* (técnicas de retransmisión de paquetes en caso de errores) que permiten hacer detección precoz de errores, sin necesidad de decodificar paquetes enteros, y reducir así la latencia de las comunicaciones. Estas técnicas avanzadas de H-ARQ, además, permiten estimar el número de retransmisiones necesarias para llevar a cabo una transmisión efectiva. Esta información permite tomar decisiones en el proceso de intercambio de información cuando existen requisitos estrictos de latencia.

Además, el uso de técnicas de conectividad multimodo, que permiten a un dispositivo estar conectado a distintas estaciones base o puntos de acceso de manera simultánea, también ofrece diversidad espacial que ayuda a lograr latencias menores.

5G también mejora el acceso al sistema; el RACH (*random access channel*) es una fuente de incertidumbre de latencia muy grande; la RAN de nueva generación incorpora mecanismos para mejorar el tiempo de acceso al sistema, de modo que tráfico de muy alta prioridad pueda establecer una conexión de manera muy rápida y ágil, e iniciar la transmisión de datos muy rápidamente.

Otro de los mecanismos propuestos en 5G consiste en la definición de nuevos estados de conexión; la idea es que un terminal puede estar desconectado de la red, sin consumir recursos radio ni energía, pero mantener la sesión de contexto, evitando tener que iniciar los procesos de autenticación y seguridad si hay que transmitir datos de manera inmediata, por ejemplo, cuando ocurra un suceso que deba ser informado rápidamente. Este tipo de nuevos estados RCC (*radio resource control*) permiten reducir los tiempos de conmutación de los dispositivos de estados *idle* a estados activos entre 4 y 10 veces, en comparación con los tiempos de transición de estados *off-on* en 4G. Este tipo de mejoras se aplican tanto en el enlace de subida, cuando un terminal necesita transmitir datos, como en el enlace de bajada, cuando una estación base debe comunicarse con un dispositivo.

Finalmente, 5G incorpora mecanismos de asociación rápida de dispositivos y cambio de tecnología radio entre espectro por debajo de 6 GHz y las bandas milimétricas. De este modo, las transmisiones en las bandas de decenas de gigahercios permiten

reducir la latencia y adaptar los TTI para reducir todo tipo de retardo asociado a las comunicaciones.

5.3.2. Mejoras en la arquitectura extremo a extremo: *mobile edge computing*

Además de mejoras en la interfaz radio, 5G incorpora mejoras en la arquitectura de red para reducir la latencia extremo a extremo. Esto se consigue a través de técnicas de *mobile edge computing* (MEC).

Las técnicas MEC permiten acercar algunas de las funciones de procesado a la interfaz radio para su ejecución local. Esto hace posible reducir latencias cuando los terminales que necesitan comunicarse están en proximidad geográfica. La idea fundamental de las técnicas de MEC es poder distribuir las funciones de red en la nube de nodos intermedios (creando el concepto de *edge cloud*), de modo que el número de entidades entre un transmisor y un receptor sea el mínimo posible.

Estas funciones pueden ser, por ejemplo:

- Procesado avanzado de capa física.
- Técnicas de H-ARQ.
- Decisiones de *hand-over* (cambio de celdas).
- Funciones de enrutamiento.

Según las necesidades de latencia, estas funciones se pueden «instalar» en tres niveles de red:

- 1) En la **RAN**, en un nivel de estación base, alcanzando ultrabaja latencia.
- 2) En la **edge cloud**, en un nivel por encima de las estaciones base, y se alcanza baja latencia.
- 3) En la **central cloud**, un nivel por encima de la *edge cloud*, por lo que se ofrece mucha centralización y optimización, pero elevada latencia.

Por lo tanto, para cada aplicación, se *mapean* los requisitos sobre las funciones de red, y se crea una *slice* de la red que garantice que los requisitos de aplicación se pueden alcanzar. Para diferentes aplicaciones simultáneas, pueden ejecutarse diferentes configuraciones de red; para ofrecer esta flexibilidad, la softwarización de la red es la clave innovadora en 5G respecto a las generaciones anteriores.

5.3.3. Mejoras en el procesado software

Además de la distancia entre transmisor y receptor, y el camino que los paquetes deben seguir a través de la red, los propios nodos intermedios de red, ejecutando funciones en software, añaden latencia.

Para reducir esta latencia introducida por el hardware intermedio, 5G incorpora técnicas de reconfiguración dinámica para lograr la mayor eficiencia posible y el menor retardo.

5.3.4. Uso de memoria caché para reducir la latencia

Acercar los contenidos al usuario es una técnica eficiente para reducir la latencia. Este concepto, que ya se aplica en el contexto de internet, incluso en el navegador de internet instalado en los ordenadores personales o teléfonos inteligentes, se aplica en 5G en un ámbito de funciones de red (como el enrutamiento en IPv6, por ejemplo) y de contenido.

Una de las innovaciones en 5G en la aplicación del concepto de *catching* es que esta información se puede compartir entre distintos operadores e «inquilinos» (*multi-tenant*) de la infraestructura de red, así como entre diferentes *slices* de la red. Esto se facilita a través de técnicas de *software defined networking* (SDN) y *network function virtualization* (NFV).

Las técnicas de reducción de latencias basadas en *catching* se pueden usar de manera combinada. Por ejemplo, en el caso de una operación de cirugía basada en robots con capacidades de transmisión del tacto, la información de retorno del sentido del tacto se puede optimizar en un ámbito de RAN (con ultrabaja latencia), mientras que el procesado de imagen se puede procesar en la *edge cloud*, y se alcanza baja latencia.

5.4. Conectividad para un número masivo de dispositivos

Otra de las novedades de las redes 5G es que han sido diseñadas para satisfacer, por primera vez, no solo las necesidades de las personas, sino de los dispositivos conectados que permiten materializar la visión del internet de las cosas (IoT), y se habilitan, entre otras aplicaciones, todas aquellas relacionadas con la industria 4.0.

El hecho de que pueda haber tantos dispositivos conectados de manera simultánea hace que la densidad de usuarios y la densidad de conectividad sean órdenes de magnitudes superiores a las vistas en generaciones anteriores de redes de comunicación móvil.

Ejemplos habituales de escenarios muy densificados son:

- Espacios públicos con manifestaciones o eventos sociales.
- Estadios deportivos.
- Palacios de congresos y exposiciones.
- Autopistas en congestión y cruces de vías de comunicación.
- Ciudades.
- Fábricas.
- Almacenes.
- Áreas de cultivo agrario.
- Sistemas de monitorización de infraestructuras industriales.

En todos estos casos, el número de personas, sensores y actuadores que necesitan establecer comunicación de manera simultánea puede llegar a ser extremadamente alto, y suponer un reto desde el punto de vista de comunicaciones. La quinta generación de redes de comunicaciones ha sido diseñada para poder soportar este tipo de conectividad masiva, a través de la introducción de nuevas formas de onda radio y mecanismos dinámicos de gestión de acceso y gestión de recursos radio (RRM).

Algunas de las técnicas que se han utilizado en 5G consisten, por ejemplo, en simplificar los mecanismos de acceso al sistema para poder transmitir pequeños paquetes de información sin tener que intercambiar demasiada información para establecer la conexión; se habla de transmisiones sin conexión (*connection-less transmissions*). De algún modo, 5G reduce el intercambio de transiciones entre estados *idle* y conectado por parte de los dispositivos que tienen que transmitir paquetes muy cortos con poca información, pero muy crítica. Para ello, se definen nuevos estados RRC (*radio resource control*); una vez autenticado y registrado en la red, un dispositivo puede permanecer en un estado intermedio entre *off* y *on* que le permite transmitir datos de manera inmediata, sin tener que iniciar procesos de establecimiento de una nueva conexión.

Otro de los campos de mejora es en el RACH, el canal de acceso al sistema para poder transmitir datos. En LTE, el RACH se basa en un intercambio de 4 mensajes entre dispositivo y red para establecer una conexión y, después, transmitir datos. En 5G se contemplan mecanismos de acceso en único paso, de manera que se reduzca la cantidad de información de control que hay que intercambiar, lo que permite gestionar las peticiones de acceso de un mayor número de dispositivos. Evidentemente, esta simplificación del RACH también permite reducir la latencia, como hemos visto en el apartado anterior.

El uso de diferentes bandas de frecuencia, y la flexibilidad de la red que hemos visto hasta ahora, permiten a 5G gestionar y «repartir» a los usuarios entre diferentes radios y *slices*, y tener capacidad para gestionar un número muy elevado de dispositivos.

5.5. Gran rendimiento a gran velocidad

Aunque las generaciones de redes móviles han ido evolucionando a lo largo de los años para ser capaces de dar servicio a grandes velocidades, la alta velocidad todavía supone un reto desde el punto de vista de conexión para el intercambio de datos. Un ejemplo claro lo vemos en los trenes de alta velocidad, en los que resulta complicado mantener una conexión de datos estable, fiable y de altas prestaciones.

La quinta generación incorpora funcionalidades para poder mantener conexiones incluso a velocidades de 600 km/h.

Entre estas, cabe destacar:

- 1) Gran tolerancia al efecto *Doppler*.
- 2) Procedimientos de *hand-over* y multiconectividad sin interrupción.

Efectivamente, en entornos de alta movilidad, el efecto *Doppler* es un reto. Las transmisiones que se reciben desde un objeto móvil sufren desplazamiento y ensanchamiento espectral debido al efecto *Doppler*, tal y como vimos en el material de comunicaciones radio («Radiocomunicaciones»).

En particular, el efecto de ensanchamiento espectral supone un problema en las redes 4G, dada la ortogonalidad que se necesita en la capa física para poder separar portadoras, que deben ser ortogonales en frecuencia (OFDMA). La interferencia que se da entre portadoras debido al efecto *Doppler* induce errores de transmisión, exige retransmisiones y, por lo tanto, aumenta la latencia y el consumo de energía, e impone el uso de sistemas de codificación y modulación más robustos, y en términos generales se pierde eficiencia espectral.

5G introduce nuevas formas de señal que son más robustas a estos efectos generados por el movimiento relativo entre transmisor y receptor. 5G ofrece una mayor flexibilidad en la capa PHY a la hora de asignar recursos en tiempo y en frecuencia, lo que permite definir, por ejemplo, bandas de guarda dinámicas entre portadoras, que se ajustan en función de los requisitos según la velocidad.

Por otro lado, el hecho de que los dispositivos se muevan rápido también implica que haya muchos cambios de contexto y de asociación a estaciones base, según la trayectoria de los dispositivos. En 5G, la mayor conexión entre los nodos del *backhaul* y sus enlaces de comunicación ultrarrápidos hace posible que las estaciones base puedan intercambiar información sobre en qué momento se van a dar los cambios de estación base (*hand-over*) y, por lo tanto, reducir la probabilidad de cortes e interrupciones. Entre otras mejoras, esta coordinación entre estaciones base permite que los dispositivos no tengan que llevar a cabo mecanismos de reasociación con cada nueva estación base, a medida que se desplazan entre sus zonas de cobertura.

5.6. Posicionamiento de alta precisión

Además de servicios de comunicación, la quinta generación de comunicaciones móviles ofrece servicios de posicionamiento con precisión por debajo de 1 metro.

El conocimiento de la posición permite diseñar nuevas aplicaciones y servicios de gran valor añadido.

Ejemplos de aplicación son las operaciones de salvamento y rescate, las aplicaciones de comunicación entre vehículos para evitar colisiones y accidentes, el procesamiento de datos sobre patrones de consumo, el seguimiento de bienes en logística, etc.

Lograr precisiones de posicionamiento por debajo de 1 metro es algo que no se ha podido conseguir con las generaciones de redes móviles anteriores a 5G.

En particular, 5G ofrece distintas funcionalidades que permiten lograr posicionamientos con precisiones por debajo de 1 metro:

- 1) La alta densidad de estaciones base y puntos de acceso aumenta la probabilidad de visión directa entre dispositivos y estación base.
- 2) El mayor ancho de banda disponible en 5G permite llevar a cabo medidas de posicionamiento y triangulación basadas en el «tiempo de vuelo» de las señales radio.
- 3) El uso de distintas antenas en transmisión y recepción permite aplicar técnicas de detección del ángulo de llegada de señales radio para la estimación de la posición de los dispositivos, y evita los efectos de la propagación multicamino en técnicas de tiempo de vuelo.

La integración de la evolución de LTE-A, con Wi-Fi, con la nueva interfaz radio de 5G, y con sistemas de posicionamiento basados en satélites (tipo GPS o Galileo), ofrecerá servicios de posicionamiento de gran precisión, y habilitará, por lo tanto, multitud de nuevas aplicaciones basadas en la explotación de la información de localización.

5.7. Resumen de principales tecnologías innovadoras del 5G

Para resumir, las principales tecnologías «innovadoras» que se contemplan en 5G para ofrecer una capacidad y especificaciones únicas en términos de velocidad de transmisión de datos, baja latencia, capacidad para un número masivo de dispositivos, comunicación a alta velocidad e incluso servicios de posicionamiento son:

- Mejoras sobre tecnologías LTE, tanto en un ámbito de radio como de arquitectura.
- Nuevas formas de onda para las señales radio.
- Nuevas técnicas de codificación y modulación.

- Simplificación de la señalización de control.
- Nuevas técnicas de gestión de recursos radio y acceso al medio.
- Uso de más bandas de frecuencia respecto a generaciones anteriores.
- Agregación de distintas tecnologías radio: LTE-A, 5G NR, Wi-Fi, etc.
- Técnicas de transmisión y recepción cooperativas.
- Uso de técnicas avanzadas de *multiple-input multiple-output (MIMO) antennas*.
- *Self-organizing networks (SON)*: gran flexibilidad de configuración de redes, basadas en funcionalidades de software y no en equipos dedicados.
- Uso de *edge computing* y *network slicing*, basado en SDN y NFV para dotar a las redes de una extrema capacidad de adaptación a las necesidades de cada aplicación.

6. Una visión holística de 5G

6.1. Introducción

Las redes 5G se plantean como una solución que integra:

- 1) Una red de comunicaciones.
- 2) Una red de computación distribuida.
- 3) Una red de almacenamiento y distribución de contenidos.

Las redes 5G contemplan la coexistencia y operación de las redes con multitud de «inquilinos» (del inglés, *tenants*) en la red; estos inquilinos harán uso y gestión de los recursos radio, los recursos de computación, los recursos de almacenamiento de datos y, en global, todos los servicios que ofrecen las redes de comunicación. Estos inquilinos son, esencialmente, los actores de industrias verticales que usarán las redes de comunicación para ofrecer sus servicios a los clientes finales, y necesitarán tener control y gestión de toda la flexibilidad que las redes 5G pueden ofrecer.

Para que las redes 5G permitan crear nuevos servicios de valor añadido y nuevos modelos de negocio en torno a esto, es necesario que la tecnología 5G sea:

- 1) Segura.
- 2) Fiable.
- 3) Fácilmente gestionable.

6.2. 5G: una red segura

5G será una tecnología segura para hacer frente a:

- 1) Una creciente amenaza de ataques de denegación de servicio distribuida (DDoS): dado el gran número de dispositivos que habrá en las redes en un futuro inmediato, este tipo de ataques en el que la red queda congestionada por una petición masiva de dispositivos supone una amenaza que debe ser controlable.
- 2) La necesidad de garantizar fiabilidad y seguridad a aplicaciones de naturaleza crítica, dado el tipo de información que hay que intercambiar.
- 3) La introducción de nuevas tecnologías basadas en software (virtualización, *fog-computing*, *catching*, NFV, SDN, etc.) que, aunque ofrecen mucha flexibilidad, también abren puertas a posibles ataques y usos malintencionados.

4) La aparición de nuevos modelos de negocio basados en la cooperación de actores que hasta ahora trabajan de manera no coordinada. Es necesario, por lo tanto, definir unas reglas de juego para definir la responsabilidad de los diferentes actores en los nuevos modelos de colaboración que la tecnología 5G va a facilitar.

Dada la naturaleza «virtualizada» de las redes 5G, en las que ya no hay equipos dedicados, sino que los equipos de uso general se pueden configurar en *slices* que ofrezcan funcionalidades diferentes, la seguridad de 5G se basa en los mismos principios de flexibilidad y adaptación a las aplicaciones de manera individualizada. Los mecanismos de seguridad en 5G son, por lo tanto, lógicos, y no físicos.

Puesto que el rol de los actores verticales debe centrarse en su área de experiencia y negocio, y no en garantizar los mecanismos de seguridad, los operadores de red ofrecerán servicios de seguridad como servicio, de modo que el rol de los actores verticales se limite a centrarse en sus áreas de negocio.

Esta seguridad en 5G garantiza:

- 1) **Autenticación:** asegura que las entidades que pueden tener acceso a los datos son identificadas.
- 2) **Confidencialidad:** asegura que los datos privados no son interceptados por entidades no autorizadas.
- 3) **Integridad:** asegura que los datos no son alterados y mantienen su integridad.

6.3. 5G: una red disponible y fiable

Se considera que una red es disponible y fiable cuando es capaz de garantizar que los criterios de calidad de servicios acordados se pueden cumplir con garantía de manera continuada en el tiempo y sin interrupciones.

La disponibilidad y fiabilidad miden, por lo tanto, la capacidad de ofrecer un servicio continuo, a pesar de los cambios dinámicos que puedan darse en el contexto.

A diferencia de las generaciones anteriores de redes móviles, 5G es la primera tecnología que pretende ser fiable y garantizar disponibilidad continua, permitiendo, por lo tanto, la creación de servicios «críticos» que hasta ahora no podían ofrecerse a partir de tecnologías de comunicación radio.

Además, la tecnología 5G es *resiliente* en el sentido de que, incluso en el caso de caída del servicio por motivos no predecibles, es capaz de reponerse y volver a ofrecer servicio garantizado.

La gran flexibilidad de 5G es garantía de su capacidad de estar disponible y ser fiable; el uso de diferentes bandas de frecuencias y múltiples antenas, y la combinación de diferentes tecnologías de acceso radio, entre otras cosas, son herramientas a disposición de 5G para garantizar una disponibilidad y fiabilidad muy superiores a las generaciones anteriores.

6.4. 5G: una red fácilmente gestionable

Las redes 5G deben estar a disposición de los actores verticales, para poder desplegar y ofrecer sus servicios individualizados.

Así como en generaciones anteriores la personalización de los requisitos de una aplicación en particular se calculaba en 90 horas, en 5G este tiempo de reconfiguración de la red para satisfacer las necesidades de un vertical en particular se calcula en 90 minutos. Esta flexibilidad y gran velocidad permite desplegar nuevas soluciones de manera muy rápida, así como integrar cambios y adaptación de los servicios según los variables requisitos de las aplicaciones.

5G es una tecnología muy adaptable y fácilmente gestionable, que abre el camino a multitud de nuevas maneras de crear negocio e impacto. En el caso de la industria 4.0, no cabe duda de que esta flexibilidad es un gran valor añadido.

7. El despliegue de 5G y su regulación

La tecnología 5G va a suponer una auténtica revolución desde el punto de vista tecnológico, pero también desde el punto de vista económico. Las posibilidades que abre la tecnología 5G ponen en perspectiva un nuevo contexto en el que crear nuevos modelos de negocio y optimizar las operaciones empresariales. Desde el punto de vista de la industria 4.0, la tecnología 5G va a jugar un papel estratégico fundamental a medio plazo.

La tecnología 5G es, como hemos visto, una combinación de técnicas de acceso radio, combinando redes celulares, redes Wi-Fi, redes por satélite y comunicaciones cableadas por fibra óptica. Se trata de hacer la conectividad «transparente» para el usuario final.

La tecnología 5G va a ofrecer servicios de calidad para aplicaciones que requieran banda ancha, pero también para la cantidad de dispositivos automáticos, las máquinas, los dispositivos, los robots, los coches y las cosas, en general.

El despliegue de la tecnología 5G debe ser efectivo desde el punto de vista de coste. Lo que transmite la industria de las telecomunicaciones es que la transición de 4G a 5G va a ser progresiva, intentando reaprovechar la infraestructura existente y ya desplegada dentro de lo posible, y reaprovechando la localización en ubicaciones donde ya hay estaciones base 4G y de puntos de acceso de Wi-Fi, por ejemplo. En estos despliegues heterogéneos, será fundamental la buena planificación frecuencial para garantizar que no hay interferencias entre diferentes tecnologías radio.

Se espera que los primeros despliegues comerciales estén disponibles para finales del 2019-2020.

Para que la tecnología 5G sea un éxito, también es necesario contar con una regulación adecuada en todos los territorios, y que esté armonizada para garantizar servicio global.

Entre otros aspectos, la ultradensificación de las redes de comunicaciones, con estaciones base y puntos de acceso repartidos de una manera densa, requiere el apoyo institucional y regulatorio, así como una buena definición de políticas de impuestos por las ubicaciones y emplazamientos de la infraestructura.

En este sentido, la tecnología 5G no es algo que vaya a poder ser utilizado masivamente en los próximos 3-4 años pero, sin duda, se trata de una tecnología que debe estar presente a medio y largo plazo en la estrategia de la industria 4.0.

Resumen

En este material, hemos presentado el futuro de las telecomunicaciones: la quinta generación de las redes de comunicación.

La tecnología 5G va a suponer una revolución en las comunicaciones, y permitirá dar servicios a tres grandes grupos de aplicaciones:

- 1) Servicios de banda ancha (eMBB).
- 2) Servicios ultrafiabiles y con ultrabaja latencia (URLLC).
- 3) Servicios con despliegues masivos de dispositivos (mMTC).

Estos grandes grupos de aplicaciones permitirán crear nuevos negocios y servicios de valor añadido que tendrán un impacto enorme en la economía y la sociedad. Entre otras aplicaciones, la tecnología 5G supondrá una revolución para, al menos, los siguientes dominios profesionales:

- 1) La industria 4.0; la logística, la manufactura, la distribución, etc.
- 2) La industria del automóvil; el coche autónomo, conectado, y eléctrico.
- 3) Las ciudades.
- 4) La salud digital; el control de la salud y la telemedicina.
- 5) La distribución y el consumo inteligente de energía eléctrica.
- 6) La domótica.
- 7) La distribución de contenidos multimedia.
- 8) La agricultura, ganadería y el cuidado del medio ambiente.
- 9) La industria de distribución de gran consumo.
- 10) Los sistemas de transporte inteligentes (ITS).

Esta lista no es ni mucho menos exhaustiva, pero permite valorar el gran abanico de impacto que la tecnología 5G puede tener.

En este material, hemos revisado las principales novedades técnicas, poniendo énfasis en lo que se podrá hacer con 5G, y no tanto en el cómo, aunque también se ha intentado ofrecer una pincelada sobre las soluciones técnicas.

Podríamos decir que la tecnología 5G no es algo que vaya a poder ser utilizado masivamente en los próximos 3-4 años pero, sin duda, se trata de una tecnología que debe estar presente a medio y largo plazo en la estrategia de la industria 4.0. La tecnología 5G, al igual que la industria 4.0, lo va a cambiar todo.