Machine Translated by Google

RCMOS – Revista Científica Multidisciplinaria El Conocimiento.
ISSN: 2675-9128. São Paulo-SP.

Año VII, vol. 1 2026 | Envío: 14/02/2026 | Aceptado: 17/02/2026 | Publicación: 20/02/2026

Arquitecturas centrales 5G nativas de la nube
Arquitecturas centrales 5G nativas de la nube
Arquitecturas centrales 5G nativas en la nube

Danyell Teixeira Soares es
ingeniero de telecomunicaciones con 16 años de experiencia. Posee un MBA en Administración de Empresas por la Fundação Getulio Vargas (FGV-SP, 2015) y una licenciatura en Ingeniería Eléctrica con especialización en Telecomunicaciones por la Pontificia Universidad Católica de São Paulo (PUC-SP, 2008).

Resumen: Este artículo analiza la transformación técnica y estructural del núcleo móvil en redes 5G Standalone (5G SA) , centrándose en la transición de elementos heredados a una arquitectura basada en servicios (SBA) y funciones nativas de la nube (CNF). Explica las interacciones entre AMF, SMF, UDM, AUSF, PCF, NRF y UPF bajo el protocolo HTTP/2, la orquestación mediante Kubernetes en modelos sin estado y las estrategias de seguridad orientadas a Zero Trust y Service Mesh. El estudio adopta como metodología la revisión analítica y documental de las especificaciones técnicas de...
3GPP (versión 18), recomendaciones ETSI NFV, estándares NIST y literatura científica internacional. Se demuestra que la resiliencia operativa del núcleo 5G depende directamente de la observabilidad contextual en tiempo real, la gestión rigurosa de contratos API y los mecanismos automatizados de validación progresiva.

Palabras clave: Núcleo 5G. Arquitectura basada en servicios. CNF. Orquestación. Seguridad.
API. Observabilidad.

Resumen: Este artículo analiza la evolución técnica y estructural del núcleo móvil en redes 5G Standalone (5G SA), centrándose en la transición de elementos heredados a una arquitectura basada en servicios (SBA) y funciones de red nativas de la nube (CNF). Detalla las interacciones entre AMF, SMF, UDM, AUSF, PCF, NRF y UPF mediante HTTP/2, la orquestación a través de Kubernetes en modelos sin estado y las estrategias de seguridad guiadas por los marcos de Zero Trust y Service Mesh. La metodología se basa en una revisión analítica y documental de las especificaciones técnicas de 3GPP Release 18, las recomendaciones de ETSI NFV, los estándares NIST y la literatura científica revisada por pares. Los resultados muestran que la resiliencia operativa del núcleo 5G depende directamente de la observabilidad contextual en tiempo real, la gestión estricta de contratos API y la validación automatizada de despliegue progresivo.

Palabras clave: Núcleo 5G. Arquitectura basada en servicios. CNF. Orquestación. Seguridad de API.
Observabilidad.

1. Introducción

La consolidación de las redes móviles de quinta generación (5G) representa una disrupción.
profundo en relación con los ecosistemas de telecomunicaciones heredados, que históricamente
Dependían de estructuras rígidas y equipos cerrados y patentados. Mientras que las generaciones
Las soluciones anteriores se basaban en nodos dedicados o en virtualizaciones estructuradas de primera generación.
En lo que respecta a las máquinas virtuales voluminosas (VNF), la especificación 5G Standalone (5G SA)
Introduce un paradigma totalmente centrado en el software, los microservicios y la computación nativa.
en la nube (KREUTZ et al., 2015; 3GPP, 2024a).

En este nuevo panorama arquitectónico, el Sistema 5G (5GS) reestructura completamente el

Este artículo se publica en acceso abierto bajo la licencia Creative Commons Attribution, que permite el uso, la distribución y la reproducción sin restricciones en cualquier medio, siempre que se cite correctamente la obra original.

Machine Translated by Google

RCMOS – Revista Científica Multidisciplinaria El Conocimiento.
ISSN: 2675-9128. São Paulo-SP.

Año VII, vol. 1 2026 | Envío: 14/02/2026 | Aceptado: 17/02/2026 | Publicación: 20/02/2026

El plano de control y el plano de usuario están separados en componentes desacoplados, denominados funciones.
Funciones de red (FN). Ya no se realiza la señalización entre estas funciones.
a través de protocolos binarios propietarios sobre enlaces punto a punto y adopta el modelo de
Arquitectura basada en servicios (SBA), respaldada por
Interfaces de programación de aplicaciones (API) RESTful que se ejecutan sobre el protocolo HTTP/2.
y datos serializados en JSON (3GPP, 2024c).

Esta transición proporciona ventajas extraordinarias en cuanto a escalabilidad horizontal.
Agilidad en el despliegue de nuevas funcionalidades y en la optimización del uso de la infraestructura física.
Fundamental: La capacidad de implementar y actualizar funciones de red en plazos cortos.
Transforma la dinámica de los operadores, permitiendo la alineación con metodologías ágiles.
La integración y el desarrollo continuos (CI/CD) se observan habitualmente en el sector tecnológico.
de la información.

Sin embargo, la migración a Cloud-Native Network Functions
Las funciones (CNF) introducen complejidades operativas sin precedentes para los equipos de ingeniería.
Redes. La fragmentación del plano de control en cientos de contenedores y microservicios.
Las tecnologías dinámicas requieren mecanismos de orquestación y descubrimiento automatizados altamente sofisticados.
Dinámica del servicio, gestión continua de la seguridad por capas y observabilidad en profundidad.
(BONDAN et al., 2016; YILMA et al., 2019).

Interoperabilidad en entornos compuestos por múltiples proveedores (cumplimiento normativo)
Técnicamente, los beneficios teóricos de la arquitectura orientada a servicios pueden verse anulados por...
inestabilidades operativas impredecibles.

El objetivo de este artículo es examinar en detalle la arquitectura interna del núcleo 5G.
(5GC), mapeando la dinámica funcional de los NF, la transición de VNF a CNF, el ciclo de
La vida de la orquestación en Kubernetes, los modelos de seguridad Zero Trust/Service Mesh y la
Requisitos de observabilidad. El trabajo se basa estrictamente en la literatura científica.
Revisado por pares y conforme a las normas técnicas vigentes de 3GPP, ofrece un análisis técnico.
Coherentes, exhaustivos y totalmente rastreables.

2 Metodología

Para garantizar el rigor técnico y la trazabilidad académica de los análisis presentados,
Esta investigación adopta como método la revisión analítica y sistemática de la literatura técnica y
normativo. El análisis del corpus documental se limitó a fuentes primarias y secundarias.

Este artículo se publica en acceso abierto bajo la licencia Creative Commons Attribution, que permite el uso, la distribución y la reproducción sin restricciones en cualquier medio, siempre que se cite correctamente la obra original.

Machine Translated by Google

RCMOS – Revista Científica Multidisciplinaria El Conocimiento.
ISSN: 2675-9128. São Paulo-SP.

Año VII, vol. 1 2026 | Envío: 14/02/2026 | Aceptado: 17/02/2026 | Publicación: 20/02/2026

con alto reconocimiento institucional y académico, organizado para cubrir completamente el
La complejidad de las redes móviles nativas de la nube.

El primer eje metodológico comprende las especificaciones normativas internacionales.
Se analizaron los proyectos 3GPP (3rd Generation Partnership Project) relevantes para la versión 18.
Documentos detallados TS 23.501 (arquitectura del sistema), TS 23.502 (procedimientos)
del sistema), TS 29.500 (implementación técnica por parte de SBA) y TS 33.501 (arquitectura de seguridad).
Además, se incorporaron los marcos de virtualización ETSI (GS NFV 002) para
para proporcionar una base para el análisis de la capa de infraestructura.

El segundo eje abarca las directrices oficiales de los organismos reguladores y
ciberseguridad, incluidas las recomendaciones del NIST (Instituto Nacional de Estándares y Tecnología)
Tecnología - SP 800-204A) relativa a la seguridad de las aplicaciones basadas en microservicios y
Service Mesh, además de los datos estadísticos y los informes de cobertura global publicados por
Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT).

El tercer eje se basa en la selección de artículos científicos revisados por pares y
Indexada en bases de datos de alto impacto (IEEE Xplore, ScienceDirect/Elsevier y ACM Digital).
(Biblioteca). La selección de estas publicaciones se basó en la verificación directa del objeto digital.
Identificador (DOI), priorizando estudios empíricos y conceptuales centrados en SDN, NFV,
Orquestación de contenedores y seguridad de redes móviles.

La síntesis de la información se basó en una matriz analítica estructurada en cinco partes.
Dimensiones funcionales: definición de roles arquitectónicos, dependencias de transporte, modos de
Fallos en microservicios, mecanismos de control automatizados y evidencia de rendimiento.
Este planteamiento evitó la inclusión de afirmaciones genéricas o especulativas que no
que contaban con respaldo directo en la documentación técnica analizada.

Finalmente, todo el material fue estructurado y formateado de acuerdo con las normas.
Normas ABNT para la redacción científica. Las referencias bibliográficas se han estandarizado.
Según la norma NBR 6023, las citas en el texto siguen la norma NBR 10520, y la presentación de tablas...
Las ilustraciones cumplen con los criterios formales de legibilidad, numeración e indicación de la fuente.

3. Arquitectura basada en servicios (SBA) y descomposición funcional

La arquitectura del núcleo 5G se basa en el principio de separación estricta entre los planos.
del plano de control y el plano de usuario (Separación del Plano de Control y del Plano de Usuario - CUPS). Esta premisa
garantiza que el procesamiento de la señalización de acceso y el transporte del tráfico de datos desde

Este artículo se publica en acceso abierto bajo la licencia Creative Commons Attribution, que permite el uso, la distribución y la reproducción sin restricciones en cualquier medio, siempre que se cite correctamente la obra original.

Machine Translated by Google

RCMOS – Revista Científica Multidisciplinaria El Conocimiento.
ISSN: 2675-9128. São Paulo-SP.

Año VII, vol. 1 2026 | Envío: 14/02/2026 | Aceptado: 17/02/2026 | Publicación: 20/02/2026

Los suscriptores pueden operar dentro de estructuras computacionales completamente independientes, lo que permite que cada capa se escala de forma personalizada y eficiente (3GPP, 2024a).

En el plan de control, el elemento central de la innovación es la consolidación de la Arquitectura. Enfoque basado en servicios (SBA). En este enfoque, las funciones de red (NF) ya no se comunican a través de conexiones directas preconfiguradas y comienzan a actuar como consumidores y proveedores de Servicios en una red de comunicación abierta. La comunicación se produce en el bus. Servicios (Interfaz basada en servicios - SBI), utilizando el protocolo HTTP/2 sobre TLS 1.3, con Cargas útiles formateadas en JSON (3GPP, 2024c).

Entre las principales funciones naturales de la SBA, destaca la AMF (Gestión de Acceso y Movilidad). Función), responsable del control de acceso y la movilidad; la SMF (Gestión de Sesiones) Función), responsable de gestionar las sesiones de datos PDU; el UDM (Gestión Unificada de Datos) Gestión), que centraliza los perfiles de los suscriptores; el AUSF (Servidor de autenticación) La Función), que ejecuta los algoritmos de autenticación; la PCF (Función de Control de Políticas), que gobierna las reglas de QoS y los precios; y la NRF (Función de Repositorio de Red), que actúa como la repositorio central para el descubrimiento dinámico de servicios (3GPP, 2024a).

Figura 1 – Desacoplamento Funcional e Arquitetura SBA do 5G Core

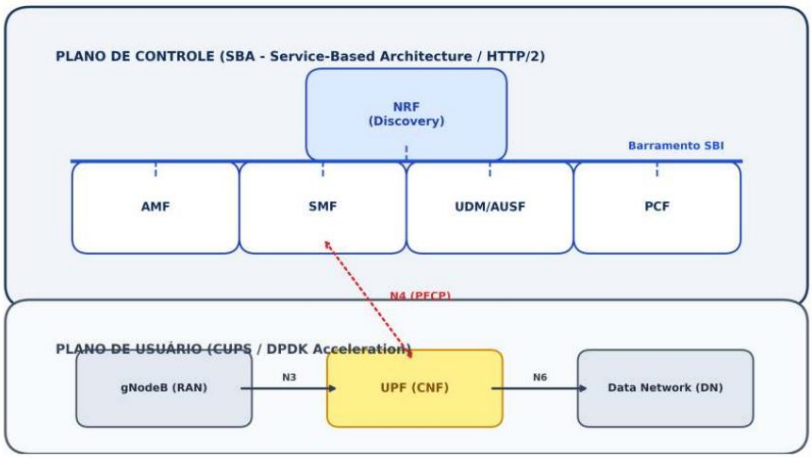

Figura 1 – Desacoplamiento funcional y arquitectura SBA del núcleo 5G.

Fuente: Elaborado con base en 3GPP TS 23.501 (2024).

La dinámica operativa de la SBA es coordinada directamente por la NRF. Cuando Se inicializa una instancia de AMF o SMF en la nube y realiza su autorregistro con el...

Este artículo se publica en acceso abierto bajo la licencia Creative Commons Attribution, que permite el uso, la distribución y la reproducción sin restricciones en cualquier medio, siempre que se cite correctamente la obra original.

Machine Translated by Google

RCMOS – Revista Científica Multidisciplinaria El Conocimiento.
ISSN: 2675-9128. São Paulo-SP.

Año VII, vol. 1 2026 | Envío: 14/02/2026 | Aceptado: 17/02/2026 | Publicación: 20/02/2026

NRF, indicando sus capacidades, ubicación y perfil de servicio. Cuando otra NF
Si es necesario consumir un servicio específico, se consulta al NRF para obtener la dirección y el punto final.
Versiones actualizadas de la función deseada, eliminando la necesidad de un direccionamiento estático rígido.
(3GPP, 2024b).

A nivel de usuario, la única función responsable del transporte de paquetes es la UPF.
(Función del plano de usuario). La UPF es controlada remotamente por la SMF a través del protocolo PFCP.
(Protocolo de control de reenvío de paquetes) en la interfaz N4. Esta separación permite el despliegue de
Instancias UPF extremadamente cercanas al usuario final (Edge Computing), lo que reduce
reducir drásticamente la latencia de la aplicación mientras el control permanece centralizado (3GPP,
2024a).

Otro avance crucial en la SBA es el modelo sin estado. A diferencia del MME
y S-GW de redes 4G, que almacenaban estados de sesión en memoria local, las NF de
5G SA descarga todo el estado y el contexto del usuario en una capa de base de datos.
UDR (Repositorio Unificado de Datos) distribuido y designado. Esta separación garantiza que, si un
Si una instancia de AMF o SMF falla, otra instancia idéntica puede hacerse cargo del servicio.
inmediatamente, sin interrumpir las conexiones activas de los usuarios (KREUTZ et al., 2015).

4. Virtualización de funciones y la transición de VNF a CNF

La evolución de la infraestructura móvil 5G implicó la transición gradual del hardware.
dispositivos dedicados (*aparatos*) para el modelo de funciones de red virtualizadas (VNF) y,
más tarde, a las funciones de red nativas de la nube (CNF). Esta trayectoria refleja la búsqueda
La búsqueda constante del sector de una mayor eficiencia en el uso de los recursos informáticos y la modularidad.
Código y velocidad de implementación (ETSI, 2014; NIST, 2020).

Las interfaces de red virtual (VNF, por sus siglas en inglés) representaron el primer paso en esta transformación al abstraer el hardware.
Los sistemas físicos se gestionan mediante hipervisores. Sin embargo, las VNF conllevan la carga estructural de requerir un sistema...
Un sistema operativo invitado completo (Guest OS) para cada máquina virtual. Esta característica
da como resultado un alto consumo de RAM, tiempos de arranque lentos (en el rango de
minutos) y un acoplamiento estrecho con las plataformas de orquestación de infraestructura (NIST, 2020).

Las CNF, a su vez, representan la aplicación nativa de los conceptos de contenedores y
Los microservicios se integran en las redes de telecomunicaciones. Al compartir el mismo núcleo que
En el sistema operativo anfitrión, los contenedores solo empaquetan la aplicación y sus componentes.
Dependencias directas. Esto reduce drásticamente la demanda de memoria y permite la inicialización.

Este artículo se publica en acceso abierto bajo la licencia Creative Commons Attribution, que permite el uso, la distribución y la reproducción sin restricciones en cualquier medio, siempre que se cite correctamente la obra original.

Machine Translated by Google

RCMOS – Revista Científica Multidisciplinaria El Conocimiento.
ISSN: 2675-9128. São Paulo-SP.

Año VII, vol. 1 2026 | Envío: 14/02/2026 | Aceptado: 17/02/2026 | Publicación: 20/02/2026

en milisegundos y permite una densidad de despliegue incomparablemente mayor en
mismo servidor físico (BONDAN et al., 2016).

La arquitectura CNF es la base ideal para soportar la granularidad SBA en el núcleo 5G.
Funciones como AMF o SMF dejan de ser bloques monolíticos y, en cambio, se descomponen en...
múltiples microservicios independientes (por ejemplo, microservicio de autenticación, microservicio de
Movilidad, facturación de microservicios). Cada microservicio se ejecuta en su propio contenedor y
Se puede actualizar individualmente sin afectar a otras partes de la red.

Para el Plan de Usuario (UPF), que maneja tráfico masivo del orden de gigabits o
Con terabits por segundo, la migración a contenedores requirió innovaciones para eludir el núcleo de
Linux. La integración de tecnologías como DPDK (Data Plane Development Kit) y SR-IOV.
La virtualización de E/S de raíz única permite que el contenedor UPF acceda directamente a las placas.
de interfaces de red físicas (NIC), logrando velocidades de reenvío a velocidad de línea con baja latencia.
submilisegundos (BONDAN et al., 2016).

Sin embargo, la adopción de CNF impone requisitos estrictos en lo que respecta al aislamiento de seguridad.
y gestión de dependencias. A diferencia de las máquinas virtuales, que ofrecen un fuerte aislamiento.
Los contenedores, que se basan en hardware a través de un hipervisor, dependen de los recursos lógicos del núcleo.
Linux (espacios de nombres y cgroups). En consecuencia, la infraestructura debe ser rigurosamente...
Protegido para evitar que las vulnerabilidades del contenedor permitan la evasión hacia el nodo anfitrión.
(NIST, 2020).

5. Orquestación y automatización del ciclo de vida

La presencia de cientos de microservicios distribuidos en contenedores facilita la gestión.
Un manual para el núcleo 5G es inviable. La orquestación y automatización del ciclo de vida de CNF hacen que...
Por lo tanto, son componentes obligatorios de la arquitectura. El estándar de mercado adoptado para esto
El propósito es la plataforma Kubernetes (K8s), que opera en sincronía con el marco de trabajo de
Orquestación ETSI NFV MANO (Gestión y Orquestación) (ETSI, 2014; YILMA et al.,
2019).

La automatización nativa de la nube se basa en el modelo de reconciliación declarativa.
En lugar de ejecutar comandos de configuración imperativos, los ingenieros definen el estado.
La salida del sistema deseada se determina mediante archivos de manifiesto en formato YAML o JSON. El orquestador
Compara continuamente el estado real de la infraestructura con el estado deseado y ejecuta
tomar automáticamente las medidas necesarias para corregir cualquier discrepancia (YILMA et al.,

Este artículo se publica en acceso abierto bajo la licencia Creative Commons Attribution, que permite el uso, la distribución y la reproducción sin restricciones en cualquier medio, siempre que se cite correctamente la obra original.

Machine Translated by Google

RCMOS – Revista Científica Multidisciplinaria El Conocimiento.
ISSN: 2675-9128. São Paulo-SP.

Año VII, vol. 1 2026 | Envío: 14/02/2026 | Aceptado: 17/02/2026 | Publicación: 20/02/2026

2019).

En el contexto de Kubernetes, la gestión de CNF complejos es posible gracias a...
Patrón de diseño Operator Pattern. Un Operator es un controlador personalizado que extiende el
La API de Kubernetes se implementa mediante definiciones de recursos personalizados (CRD).
Conocimiento operativo de las funciones de red, automatización de tareas avanzadas como rutinas de
Copia de seguridad de la base de datos, inicialización coordinada de dependencias y actualizaciones del esquema.
Operaciones bancarias en UDR.

El escalado automático de la capacidad es otra ventaja clave de la orquestación.
Mediante el escalador automático de pods horizontal (HPA), Kubernetes monitoriza las métricas en tiempo real.
como la tasa de solicitudes por segundo (RPS) en SBI o el uso de CPU en instancias de
AMF y SMF. Cuando la carga excede los límites establecidos, se utilizan réplicas de contenedores nuevos.
Se crean automáticamente en segundos para absorber los picos de tráfico.

Para garantizar actualizaciones continuas sin interrupción del servicio (tiempo de inactividad cero),
Se utilizan estrategias de despliegue modernas, como los despliegues Canary y los despliegues azul-verde.
Despliegues. Se despliega una nueva versión del microservicio en paralelo con la versión actual;
El orquestador redirige un pequeño porcentaje del tráfico a la nueva versión y la monitoriza.
los indicadores de error. Si el comportamiento se valida, el tráfico se migra en su totalidad y
La versión anterior está desactivada.

Sin embargo, la automatización en las redes de telecomunicaciones requiere una atención especial a...
Determinismo de hardware. Las cargas de procesamiento de paquetes en la UPF no toleran la latencia.
Una variable generada por cambios de contexto impredecibles en la CPU. Por esta razón, el orquestador
Kubernetes debe configurarse con funciones avanzadas de afinidad de nodos (NUMA).
conciencia), aislamiento del núcleo de procesamiento (fijación de CPU) y asignación de memoria de
página grande (*HugePages*) (YILMA et al., 2019).

6. Seguridad de la API y confianza entre microservicios

La adopción de interfaces abiertas basadas en HTTP/2 y REST en la arquitectura basada en
En Servicios, amplía considerablemente la superficie de ataque de 5G Core en comparación con
Redes heredadas. Para proteger la infraestructura contra el acceso no autorizado y la manipulación.
Análisis de amenazas laterales, el estándar 3GPP TS 33.501 y el estándar NIST SP 800-204A establecen el
Modelo de seguridad obligatorio de confianza cero (NIST, 2020; 3GPP, 2024d).

En el modelo de Confianza Cero, no se considera ninguna función de red ni microservicio.

Este artículo se publica en acceso abierto bajo la licencia Creative Commons Attribution, que permite el uso, la distribución y la reproducción sin restricciones en cualquier medio, siempre que se cite correctamente la obra original.

Machine Translated by Google

RCMOS – Revista Científica Multidisciplinaria El Conocimiento.
ISSN: 2675-9128. São Paulo-SP.

Año VII, vol. 1 2026 | Envío: 14/02/2026 | Aceptado: 17/02/2026 | Publicación: 20/02/2026

Confiable por defecto, incluso cuando se ejecuta dentro del perímetro de la red interna de operador. Todas y cada una de las solicitudes de API transmitidas en el bus de servicio (SBI) deben Debe ser autenticado, autorizado y cifrado rigurosamente antes de ser procesado por el nodo de destino. (NIST, 2020).

La primera capa de protección en SBI es la autenticación mutua y el cifrado en la capa de Transporte mediante TLS 1.3 (mTLS). A diferencia del TLS tradicional, donde solo el servidor... Presenta un certificado digital; mTLS requiere que tanto la factura del consumidor como la factura... Los proveedores deben presentar certificados x.509 válidos emitidos por una Infraestructura Clave. Infraestructura de clave pública (PKI) mantenida de forma privada por el operador (3GPP, 2024c).

La segunda capa de seguridad opera a nivel de aplicación mediante el protocolo OAuth. 2.0. La simple validación del certificado mTLS establece un canal seguro, pero no garantiza la seguridad. Permiso de acceso a datos. Para consumir un servicio, la NF solicitante debe solicitar un Se proporciona un token de acceso JSON Web Token (JWT) al NRF. El proveedor de NF valida la firma. El token digital JWT verifica si los permisos contenidos en el token autorizan la ejecución de la llamada. específico (3GPP, 2024c).

Para evitar que los desarrolladores tengan que implementar la lógica compleja de Validación de tokens mTLS y OAuth 2.0 directamente en el código fuente de cada microservicio. Se utiliza la arquitectura de malla de servicios. En este enfoque, se emplean proxies ligeros. (como el Envoy) se despliegan como contenedores auxiliares (*sidecars*) junto a cada Contenedor NF.

El proxy *sidecar* intercepta de forma transparente todo el tráfico entrante y saliente de función de red, gestión del establecimiento de túneles mTLS, gestión de Certificados digitales y validación de identidad de carga de trabajo (utilizando estándares como SPIFFE/SPIRE). Esto garantiza que las políticas de seguridad se mantengan uniformes en todos los ámbitos. malla, independientemente del proveedor de NF (NIST, 2020).

7. Observabilidad, rendimiento y fiabilidad

En un ecosistema altamente distribuido y dinámico como el núcleo 5G nativo en Nube, métricas de infraestructura tradicionales (como porcentaje de uso de CPU u ocupación) (disco) son completamente insuficientes para diagnosticar fallas de servicio. La garantía de La fiabilidad y la alta disponibilidad requieren la implementación de una arquitectura de observabilidad. basado en tres pilares fundamentales: métricas, seguimiento distribuido y registros de eventos.

Este artículo se publica en acceso abierto bajo la licencia Creative Commons Attribution, que permite el uso, la distribución y la reproducción sin restricciones en cualquier medio, siempre que se cite correctamente la obra original.

Machine Translated by Google

RCMOS – Revista Científica Multidisciplinaria El Conocimiento.
ISSN: 2675-9128. São Paulo-SP.

Año VII, vol. 1 2026 | Envío: 14/02/2026 | Aceptado: 17/02/2026 | Publicación: 20/02/2026

(BARAKABITZE et al., 2020).

El primer pilar, centrado en métricas numéricas agregadas, utiliza recolectores de series temporales. Sistemas temporales (como Prometheus) para monitorear los indicadores de nivel de servicio (SLI) y Indicadores clave de rendimiento (KPI). En las redes 5G, las métricas más importantes incluyen... tasa de éxito de los registros de usuarios en AMF, tiempo de respuesta para establecer Sesiones PDU y tasa de descarte de paquetes en UPF.

Para obtener una visión precisa de la experiencia del usuario, el análisis de latencia en Las llamadas a la API en SBI deben centrarse en estadísticas de percentiles, como el percentil 99 (P99). Medir únicamente la latencia promedio es engañoso, ya que pueden producirse picos de retardo aislados que afecten al 1% de los datos. Es posible que algunas transacciones queden ocultas dentro de promedios aparentemente normales, lo que puede provocar fallos. Señalización intermitente en escenarios de alta carga (BARAKABITZE et al., 2020).

El segundo pilar es el rastreo distribuido. Como un único Una solicitud desde un terminal (por ejemplo, la creación de una sesión de datos) desencadena una secuencia. El complejo sistema de llamadas API entre AMF, SMF, UDM, PCF y UPF hace necesario correlacionar todos estos pasos. Se utiliza la especificación W3C Trace Context, inyectando un Un encabezado que contiene un identificador único (*Correlation-ID*) en la solicitud inicial.

El *ID de correlación* se pasa secuencialmente a través de todos los microservicios. involucrados en la transacción. Las herramientas de visualización (como Jaeger o Zipkin) utilizan esto Identificador para dibujar el mapa de flujo completo, mostrando el tiempo exacto empleado en cada punto. microservicio. Esta capacidad permite a los equipos de ingeniería de redes identificar Con precisión quirúrgica, identifique la función específica que introdujo una latencia indebida o causó una falla. tratamiento.

El tercer pilar comprende registros de eventos estructurados en un formato... JSON. Los registros proporcionan un contexto detallado del fallo cuando se produce un error, mostrando Mensajes de excepción y códigos de error específicos de la aplicación. Consolidación centralizada. El acceso a las plataformas de análisis en tiempo real garantiza la capacidad de realizar auditorías posteriores. Gestión de incidentes y apoyo a diagnósticos preventivos basados en inteligencia operativa. (BARAKABITZE et al., 2020).

8. Migración, interoperabilidad y validación

La transición de las redes móviles 4G EPC (Evolved Packet Core) heredadas a la nueva arquitectura. 5G Core Standalone no se produce a través de un reemplazo abrupto de la infraestructura (*grande-

Este artículo se publica en acceso abierto bajo la licencia Creative Commons Attribution, que permite el uso, la distribución y la reproducción sin restricciones en cualquier medio, siempre que se cite correctamente la obra original.

Machine Translated by Google

RCMOS – Revista Científica Multidisciplinaria El Conocimiento.
ISSN: 2675-9128. São Paulo-SP.

Año VII, vol. 1 2026 | Envío: 14/02/2026 | Aceptado: 17/02/2026 | Publicación: 20/02/2026

El costo financiero y el riesgo operativo hacen necesaria una estrategia de migración gradual y altamente planificado, asegurando la completa continuidad de los servicios prestados a los suscriptores (ORDOÑEZ-LUCENA et al., 2017).

La primera fase de esta transición se basa en el modelo 5G no autónomo (5G NSA - Opción 3x). En esta topología, la red de radio 5G (gNodeB) se implementa como una capa. capacidad complementaria, pero todo control de señalización y gestión de La movilidad de los usuarios sigue estando anclada en la infraestructura central 4G EPC heredada. a través del nodo MME.

La segunda fase comprende el despliegue paralelo de 5G Core Standalone y el Establecer mecanismos de coexistencia e interoperabilidad. Interoperabilidad entre El núcleo 4G y el núcleo 5G se mantienen a través de la interfaz N26, que interconecta directamente la MME a AMF. Esta interfaz permite traspasos transparentes y... Continuidad de la sesión de datos cuando un usuario móvil se mueve entre áreas de cobertura 4G y 5G (ORDOÑEZ-LUCENA et al., 2017).

En esta fase híbrida, los operadores implementan funciones de datos combinadas, como por ejemplo: Instancias PGW-C/SMF de doble pila para el plano de control y PGW-U/UPF para el plano de servicio. usuario. Estas funciones son capaces de procesar simultáneamente los protocolos 4G GTPv2 y el Procedimientos HTTP/2 y PFCP de 5G SA, simplificando la consolidación de bases de datos de suscriptores en UDR.

La tercera fase es la etapa Native 5G SA (Opción 2 Completa), en la que el núcleo 4G heredado... Se desactiva progresivamente y todo el tráfico móvil es absorbido por la arquitectura. SBA basado en CNF. Lograr esta fase requiere la migración masiva de tarjetas SIM y Dispositivos de usuario para perfiles compatibles con la tecnología 5G SA.

La validación técnica de cada paso de la migración requiere un programa de pruebas riguroso. Además de las pruebas funcionales para garantizar el cumplimiento de los estándares 3GPP, los equipos de Los equipos de ingeniería deben realizar pruebas de carga extremas y simulaciones de resistencia utilizando... Pruebas de inyección de fallos (Ingeniería del Caos). Este enfoque permite la identificación de... Anteriormente, se exploró cómo reacciona la malla de microservicios ante pérdidas repentinas de nodos de computación o degradaciones repentinas en la conectividad (ORDOÑEZ-LUCENA et al., 2017).

Consideraciones finales

Transformar el núcleo de las redes móviles en una arquitectura nativa de la nube.

Este artículo se publica en acceso abierto bajo la licencia Creative Commons Attribution, que permite el uso, la distribución y la reproducción sin restricciones en cualquier medio, siempre que se cite correctamente la obra original.

Machine Translated by Google

RCMOS – Revista Científica Multidisciplinaria El Conocimiento.
ISSN: 2675-9128. São Paulo-SP.

Año VII, vol. 1 2026 | Envío: 14/02/2026 | Aceptado: 17/02/2026 | Publicación: 20/02/2026

La ingeniería basada en servicios representa la innovación más profunda que se ha producido en la ingeniería.
Las telecomunicaciones en la última década. La descomposición del plano de control en microservicios.
Las instancias desacopladas y la migración de instancias físicas a contenedores virtuales establecen la
una base indispensable para respaldar aplicaciones avanzadas y la extrema diversidad de
Demandas proyectadas para el ecosistema 5G.

Como se demuestra a lo largo de este análisis, las ganancias en flexibilidad,
La escalabilidad y la velocidad de implementación que ofrecen las CNF no constituyen ventajas.
Automático o aislado. La eliminación del modelo tradicional de caja negra introduce
una capa sustancial de complejidad de software, transfiriendo el desafío de ingeniería a
Hardware físico para la coordinación de ecosistemas distribuidos.

La estabilidad y la resiliencia del núcleo 5G dependen intrínsecamente de la madurez de...
Red de comunicación orientada hacia la arquitectura basada en servicios (SBA). Desacoplamiento
Integración eficaz entre el control y los datos mediante CUPS y almacenamiento de estado desacoplado en UDR.
Estos son los pilares que permiten que el sistema resista fallas parciales de infraestructura sin
para afectar la conectividad de los suscriptores.

En el contexto de la ciberseguridad, abrir interfaces internas a las API
HTTP/2 requiere un cambio de paradigma hacia una arquitectura de confianza cero. La implementación de
Ya no es necesario utilizar mTLS, la autorización mediante OAuth 2.0 ni el uso de Service Mesh con proxies sidecar.
Eran opcionales y ahora se consideran requisitos obligatorios para contener las amenazas y prevenirlas.
Movimientos laterales en la red de microservicios.

En paralelo, la automatización del ciclo de vida bajo la orquestación de Kubernetes y la
El modelo ETSI NFV MANO es la única forma viable de gestionar la magnitud de estos proyectos.
despliegues. La capacidad de realizar autoescalado, autorreparación y
Las actualizaciones progresivas sin interrupción del servicio son las que permiten la eficiencia operativa.
y la sostenibilidad económica de los operadores contemporáneos.

La observabilidad contextualizada emerge como la disciplina indispensable para la gobernanza.
Esta complejidad. La integración soberana de los tres pilares: métricas, seguimiento distribuido
Con W3C Trace Context y registros de eventos en tiempo real, proporciona visibilidad.
necesario para transformar los datos operativos en diagnósticos preventivos, aislando
Los fallos se producen rápidamente en entornos compuestos por múltiples proveedores.

El proceso de migración gradual desde 4G EPC a través de los modelos y funciones de la NSA.
Los modelos de interconexión híbridos demuestran que la evolución tecnológica requiere una planificación continua.
Una transición segura a la arquitectura 5G SA nativa requiere una gobernanza rigurosa de los contratos de API.

Este artículo se publica en acceso abierto bajo la licencia Creative Commons Attribution, que permite el uso, la distribución y la reproducción sin restricciones en cualquier medio, siempre que se cite correctamente la obra original.

Machine Translated by Google

RCMOS – Revista Científica Multidisciplinaria El Conocimiento.
ISSN: 2675-9128. São Paulo-SP.

Año VII, vol. 1 2026 | Envío: 14/02/2026 | Aceptado: 17/02/2026 | Publicación: 20/02/2026

Pruebas de cumplimiento continuo y validación proactiva de la infraestructura a través de Metodologías de inyección de fallos.

En conclusión, el grado de madurez técnica de un núcleo 5G nativo de la nube no debería que se medirá únicamente por el número de funciones virtualizadas o por la tasa teórica de Transmisión de red. Se revela en la capacidad de los equipos de ingeniería para controlar la Complejidad del software, garantizando una interoperabilidad perfecta y asegurando la fiabilidad. Servicio integral incluso en escenarios adversos de fallos y alta demanda.

Referencias

3GPP. TS 23.501: Arquitectura del sistema para el sistema 5G; Etapa 2 (Versión 18). Sophia Antipolis: 3GPP, 2024a. Disponible en: https://www.3gpp.org/dynareport/23501.htm.

3GPP. TS 23.502: Procedimientos para el sistema 5G; Etapa 2 (Versión 18). Sophia Antipolis: 3GPP, 2024b. Disponible en: https://www.3gpp.org/dynareport/23502.htm.

3GPP. TS 29.500: Realización técnica de la arquitectura basada en servicios; Etapa 3 (Versión 18). Sophia Antipolis: 3GPP, 2024c. Disponible en: https://www.3gpp.org/dynareport/29500.htm.

3GPP. TS 33.501: Arquitectura y procedimientos de seguridad para el sistema 5G (Versión 18). Sophia Antipolis: 3GPP, 2024d. Disponible en: https://www.3gpp.org/dynareport/23501.htm.

BARAKABITZE, AA et al. Segmentación de redes 5G mediante SDN y NFV: una revisión de la taxonomía, arquitecturas y desafíos futuros. Redes de computadoras, vol. 167, pág. 106984, 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/j.comnet.2019.106984.

BONDAN, L. et al. Estudio de soluciones de orquestación de virtualización de redes. Computer Communications, vol. 94, págs. 79-91, 2016. DOI: https://doi.org/10.1016/j.comcom.2016.09.015.

ETSI. GS NFV 002 V1.2.1: Marco arquitectónico para la virtualización de funciones de red. Sophia Antipolis: ETSI, 2014. Disponible en: https://www.etsi.org/deliver/etsi_gs/NFV/001_099/002/01.02.01_60/gs_NFV002v010201p.pdf.

UIT. Medición del desarrollo digital: Datos y cifras 2024. Ginebra: Unión Internacional de Telecomunicaciones, 2024. Disponible en https://www.itu.int/itu-d/reports/statistics/facts-figures-2024/.

KREUTZ, D. et al. Redes definidas por software: una revisión exhaustiva. Actas del IEEE, vol. 103, n.º 1, págs. 14-76, 2015. DOI: https://doi.org/10.1109/JPROC.2014.2371999.

NIST. SP 800-204A: Creación de aplicaciones seguras basadas en microservicios mediante arquitectura de malla de servicios. Gaithersburg: NIST, 2020. DOI: https://doi.org/10.6028/NIST.SP.800-204A.

ORDOÑEZ-LUCENA, J. et al. Segmentación de red para 5G con SDN/NFV: conceptos, arquitecturas y desafíos. IEEE Communications Magazine, vol. 55, n.º 5, págs. 80-87, 2017. DOI: https://doi.org/10.1109/MCOM.2017.1600935.

YILMA, GM et al. Sobre los desafíos y los KPI para la evaluación comparativa de sistemas NFV MANO de código abierto. En: ACTAS DE IEEE NETSOFT, 2019, París. Anales [...]. IEEE, 2019. pág. 1-9. DOI: https://doi.org/10.1109/NETSOFT.2019.8806670.

Este artículo se publica en acceso abierto bajo la licencia Creative Commons Attribution, que permite el uso, la distribución y la reproducción sin restricciones en cualquier medio, siempre que se cite correctamente la obra original.