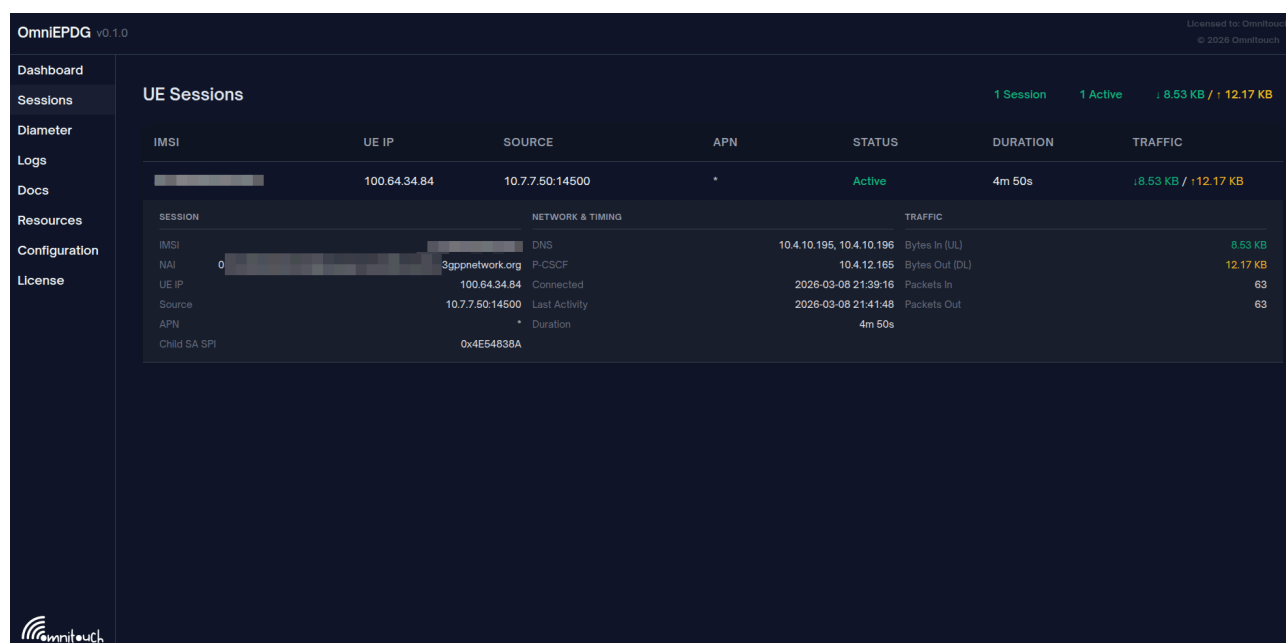


Guía de Operaciones de OmniEPDG

OmniEPDG es un Gateway de Datos por Paquete (ePDG) evolucionado que permite llamadas de Voz sobre WiFi (VoWiFi). Autentica a los suscriptores móviles a través de redes WiFi no confiables utilizando EAP-AKA, y los conecta a la red central móvil a través de señalización Diameter hacia el HSS y túneles GTP hacia un Gateway de Paquete (PGW).



The screenshot displays the OmniEPDG v0.1.0 control panel. The main section is titled "UE Sessions" and shows a summary of 1 session, 1 active, with 8.53 KB of traffic. Below this is a table of active sessions with columns for IMSI, UE IP, SOURCE, APN, STATUS, DURATION, and TRAFFIC. A detailed view of the session is shown below, including session details, network timing, and traffic statistics.

IMSI	UE IP	SOURCE	APN	STATUS	DURATION	TRAFFIC
[REDACTED]	100.64.34.84	10.7.7.50:14500	*	Active	4m 50s	8.53 KB / 12.17 KB

SESSION		NETWORK & TIMING		TRAFFIC		
IMSI	[REDACTED]	DNS	10.4.10.195, 10.4.10.196	Bytes In (UL)	8.53 KB	
NAI	0 [REDACTED]	3gppnetwork.org P-CSCF	10.4.12.165	Bytes Out (DL)	12.17 KB	
UE IP	100.64.34.84	Connected		2026-03-08 21:39:16	Packets In	63
Source	10.7.7.50:14500	Last Activity		2026-03-08 21:41:48	Packets Out	63
APN	*	Duration		4m 50s		
Child SA SPI	0x4E54838A					

El panel de control de OmniEPDG mostrando una sesión de suscriptor activa con estadísticas de tráfico en tiempo real.

OmniEPDG soporta dos modos operativos:

- **Modo GTP** (predeterminado) - Túnel completamente compatible con 3GPP a través de un PGW mediante GTPv2-C y GTP-U
- **Modo VPN Simple** - Salida local con un grupo de IP incorporado y una interfaz TUN de Linux, sin necesidad de PGW

Documentación

Configuración y Operaciones

- **Arquitectura y Flujos de Llamadas** - Arquitectura del sistema, interfaces de protocolo, máquinas de estado de UE y diagramas de secuencia de mensajes para ambos modos
- **Referencia de Configuración** - Documentación completa de parámetros para Diameter, GTPv2-C, GTP-U, VPN Simple y registro
- **Panel de Control** - Interfaz de monitoreo basada en web para sesiones, pares Diameter y registros

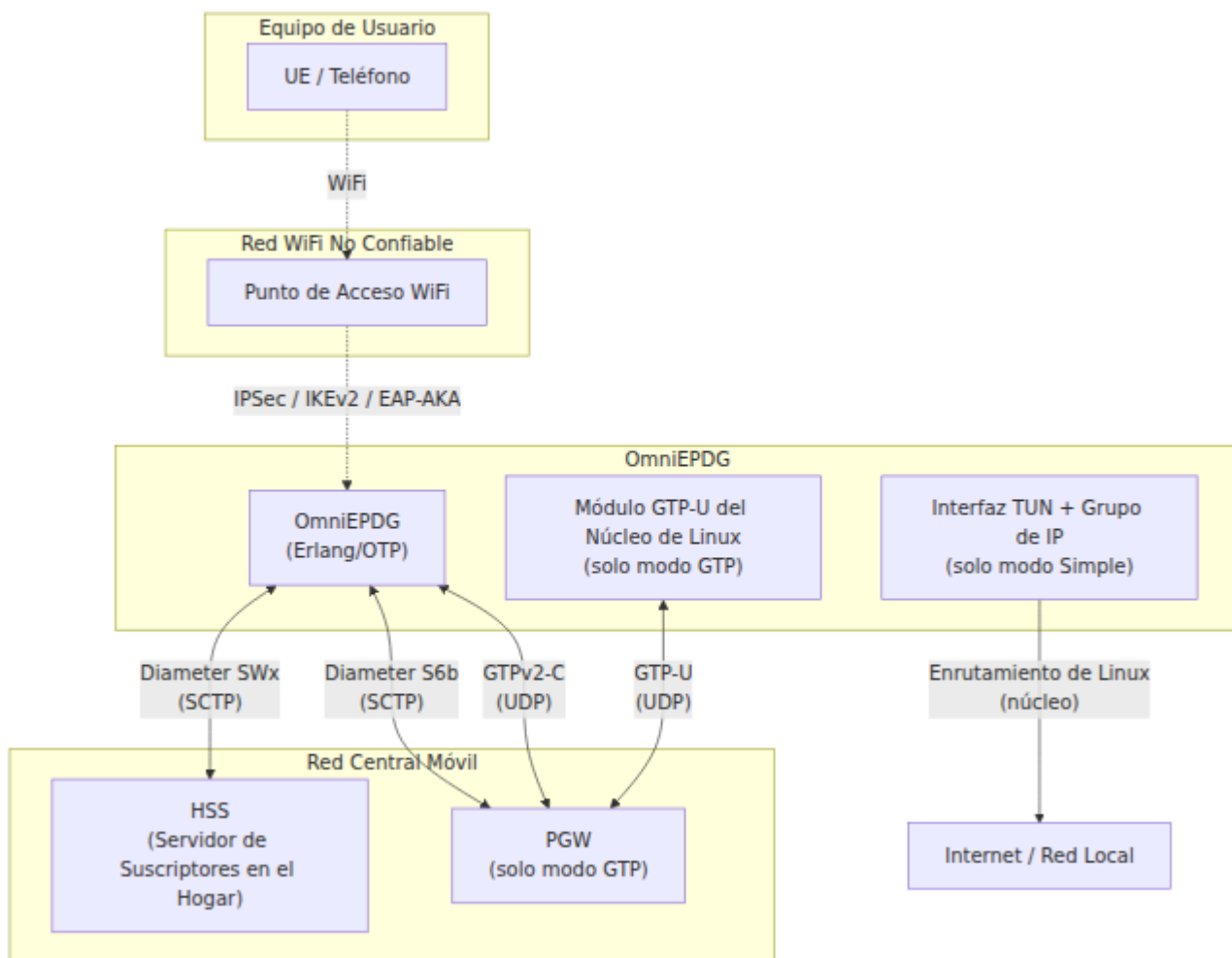
Seguridad

- **Guía de Seguridad** - Limitación de tasa de autenticación y bloqueo de países por GeolP

Monitoreo y Solución de Problemas

- **Referencia de Métricas** - Métricas de Prometheus para monitorear autenticación, sesiones, señalización Diameter y salud del sistema
- **Solución de Problemas** - Problemas comunes, procedimientos de diagnóstico y pasos de resolución

Modos Operativos



Modo GTP

El modo predeterminado. OmniEPDG canaliza todo el tráfico de suscriptores a través de un PGW utilizando GTPv2-C para el control de sesiones y GTP-U (a través del módulo del núcleo de Linux) para el plano de usuario. Esto es completamente compatible con 3GPP y adecuado para implementaciones de operadores con infraestructura EPC existente.

Ruta de tráfico: UE → IPSec → OmniEPDG → GTPv2-C Crear Sesión → túnel GTP-U → PGW → Internet

Infraestructura requerida: HSS, PGW

Modo VPN Simple

OmniEPDG asigna direcciones IP de un grupo local y enruta el tráfico de suscriptores directamente a través de una interfaz TUN de Linux (`tun_epdg`) utilizando enrutamiento estándar del núcleo. No se necesita infraestructura de PGW o GTP. La autenticación aún ocurre a través de Diameter SWx hacia el HSS.

Ruta de tráfico: UE → IPsec → OmniEPDG → Asignación de IP local → interfaz TUN → enrutamiento de Linux → Internet

Infraestructura requerida: Solo HSS (no se necesita PGW)

Optimización opcional: La bandera `skip_sar` omite la Solicitud/Respuesta de Asignación del Servidor HSS, reduciendo el tiempo de configuración de la conexión. Esto significa que el HSS no rastreará qué ePDG sirve al suscriptor y los procedimientos iniciados por el HSS (deregistro, envío de perfil) no funcionarán. Adecuado para implementaciones privadas sin requisitos de roaming.

Comparación de Modos

Capacidad	Modo GTP	Modo VPN Simple
Compatible con 3GPP	Sí	No (con <code>skip_sar</code>), Parcial (sin)
PGW requerido	Sí	No
HSS requerido	Sí	Sí (solo autenticación)
Asignación de IP	Desde PGW	Grupo local (CIDR)
Plano de usuario	Módulo GTP-U del núcleo	Linux TUN + enrutamiento
Envío de perfil HSS	Sí (PPR/PPA)	No
Deregistro HSS	Sí (RTR/RTA)	No (con <code>skip_sar</code>)
Desmontaje iniciado por PGW	Sí	N/A
Soporte para roaming	Sí	No
IPv6 / Doble pila	Sí	Solo IPv4

Interfaces de Protocolo

Interfaz	Protocolo	Transporte	Modo	Par	Propósito	Requisitos
SWu	IKEv2 / IPSec	UDP	Ambos	UE	Túnel seguro y autenticación EAP-AKA	3GPP TS 33.401
SWx	Diameter	SCTP	Ambos	HSS	Vectores de autenticación y asignación de servidor	3GPP TS 29.272
S6b	Diameter	SCTP	Solo GTP	PGW	Autorización de sesión y política	3GPP TS 29.272
S2b	GTPv2-C / GTP-U	UDP	Solo GTP	PGW	Control y túnel de plano de usuario	3GPP TS 29.272

Características

Funcionalidad Principal

- **Autenticación EAP-AKA** - Autenticación de suscriptores EAP-AKA completamente compatible con 3GPP a través de HSS
- **Gestión de Túneles IPSec** - Túnel seguro basado en IKEv2 entre UE y ePDG
- **Dos Modos Operativos** - Túnel GTP hacia PGW o salida local con VPN Simple
- **Máquinas de Estado por UE** - FSM de Erlang independiente por suscriptor para la gestión del ciclo de vida de la sesión

- **Soporte de Doble Pila** - Tipos de dirección PDP IPv4, IPv6 y IPv4v6 (modo GTP)

Características del Modo GTP

- **Establecimiento de Túnel GTP** - Creación de sesión GTPv2-C y plano de usuario GTP-U a través del módulo del núcleo de Linux
- **Desmontaje Iniciado por PGW** - PGW envía Solicitud de Eliminación de Bearer, ePDG cascada el desmontaje hacia UE
- **Desmontaje Iniciado por la Red** - HSS desencadena el deregistro a través de SWx RTR, ePDG desmonta todas las sesiones
- **Re-Authenticación** - Envío de perfil y re-autorización desencadenados por HSS según [3GPP TS 29.273 Sección 7.1.2.5.1](#)

Características del Modo VPN Simple

- **Grupo de IP Local** - Asignación de direcciones IPv4 basada en CIDR con seguimiento por IMSI
- **Enrutamiento de Interfaz TUN** - Dispositivo TUN de Linux estándar (`tun_epdg`) con rutas de host por UE
- **Configuración de DNS** - Servidores DNS configurables proporcionados a los UEs a través de PCO
- **Opción de Omitir SAR** - Omitir el registro en HSS para una configuración de conexión más rápida

Características de Seguridad

- **Limitación de Tasa de Autenticación** - Protección contra fuerza bruta por IP y por IMSI con umbrales configurables
- **Bloqueo de Países por GeoIP** - Control de acceso basado en países en lista blanca o negra utilizando MaxMind GeoLite2
- **Detección de Pares Muertos** - Monitoreo activo de vitalidad con sondas configurables
- **Protección Anti-Repetición ESP** - Ventana deslizante de 64 bits conforme a RFC 4303

Integración HSS (SWx Diameter)

- **Solicitud/Respuesta de Autenticación Multimedia (MAR/MAA)** - Recuperar vectores de autenticación EAP-AKA (ambos modos)
- **Solicitud/Respuesta de Asignación de Servidor (SAR/SAA)** - Descargar perfil de suscriptor y configuración de APN (omitible en modo Simple)
- **Solicitud/Respuesta de Envío de Perfil (PPR/PPA)** - Recibir perfiles de suscriptor actualizados del HSS (modo GTP)
- **Solicitud/Respuesta de Terminación de Registro (RTR/RTA)** - Deregistro de suscriptor iniciado por HSS (modo GTP)

Integración PGW (Solo Modo GTP)

S6b Diameter:

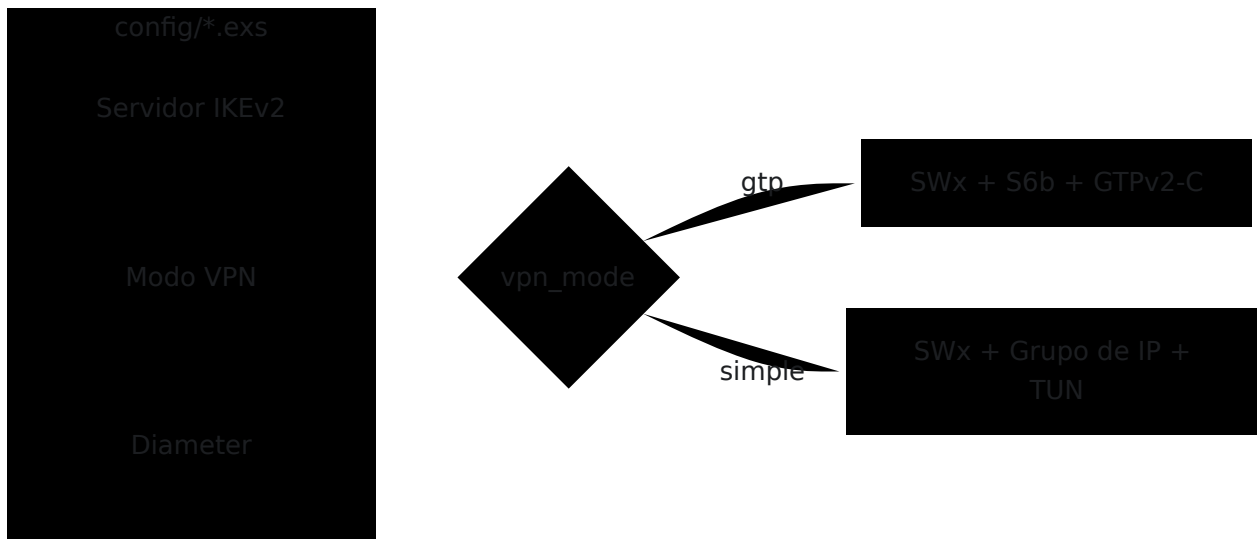
- **Solicitud/Respuesta AA (AAR/AAA)** - Autorizar sesiones PGW
- **Solicitud/Respuesta de Terminación de Sesión (STR/STA)** - Terminar sesiones PGW
- **Solicitud/Respuesta de Re-Autenticación (RAR/RAA)** - Re-autorizar sesiones activas
- **Solicitud/Respuesta de Abort-Session (ASR/ASA)** - Terminar sesiones de forma forzada

S2b GTPv2-C:

- **Solicitud/Respuesta de Crear Sesión** - Establecer túneles GTP con asignación de TEID
- **Solicitud/Respuesta de Eliminar Sesión** - Desmontar túneles GTP
- **Solicitud/Respuesta de Eliminar Bearer** - Gestión de bearer iniciada por PGW

Inicio Rápido

Estructura de Configuración



La configuración se realiza en `config/runtime.exs` o a través de variables de entorno. El parámetro `vpn_mode` selecciona entre los modos GTP y VPN Simple. Consulte la [Referencia de Configuración](#) para la documentación completa de parámetros.

Direccionamiento de Red Típico (Modo GTP)

Componente	Dirección IP	Puerto	Notas
OmniEPDG (GTP-U)	10.74.0.11	-	Punto final del túnel GTP-U
OmniEPDG (Diameter S6b)	10.74.0.12	3868	Escucha Diameter S6b
HSS	10.74.0.21	3868	Par Diameter SWx
PGW	10.74.0.23	2123	Par GTPv2-C y S6b

Direccionamiento de Red Típico (Modo VPN Simple)

Componente	Dirección IP	Notas
OmniEPDG (puerta de enlace TUN)	10.44.0.1	IP de puerta de enlace en la interfaz <code>tun_epdg</code>
Grupo de IP de UE	10.45.0.0/16	Grupo CIDR configurable para IPs de suscriptores
HSS	10.74.0.21:3868	Par Diameter SWx (solo autenticación)

Especificaciones 3GPP

Especificación	Título	Relevancia
TS 29.273	Interfaces EPS AAA (SWx, S6b, SWm)	Especificación principal para interfaces Diameter de ePDG
TS 29.274	GTPv2-C y GTP-U	Control de túnel S2b y plano de usuario (modo GTP)
TS 33.402	Seguridad para accesos no 3GPP	Autenticación EAP-AKA para WiFi no confiable
TS 23.402	Mejoras de arquitectura para accesos no 3GPP	Arquitectura y procedimientos generales de ePDG
TS 23.003	Numeración, direccionamiento e identificación	Formato NAI, estructura IMSI
TS 29.229	Diameter Cx/Dx (definiciones comunes)	Valores de tipo de asignación de servidor utilizados por SWx
RFC 6733	Protocolo Base Diameter	Transporte Diameter, gestión de pares, watchdog
RFC 4187	EAP-AKA	Método de autenticación utilizado sobre IKEv2

Documentación por Rol

Operadores de Red:

1. Comience con la [Arquitectura y Flujos de Llamadas](#) para entender el sistema y ambos modos operativos
2. Revise la [Referencia de Configuración](#) para parámetros de implementación
3. Revise la [Guía de Seguridad](#) para configurar limitación de tasa y bloqueo por GeolP
4. Configure el monitoreo utilizando la [Referencia de Métricas](#) para la integración de Prometheus
5. Mantenga disponible la guía de [Solución de Problemas](#) para operaciones

Integradores de Sistemas:

1. Revise la [Arquitectura y Flujos de Llamadas](#) para detalles de interfaz y máquinas de estado
2. Utilice la [Referencia de Configuración](#) para la configuración de conectividad de pares
3. Configure alertas utilizando la [Referencia de Métricas](#)
4. Consulte la tabla de especificaciones 3GPP anterior para cumplimiento de protocolos

Guía de Operaciones de OmniEPDG

OmniEPDG es un ePDG (evolved Packet Data Gateway) compatible con 3GPP que permite llamadas por WiFi al conectar el acceso WiFi no confiable a la red central móvil. Soporta dos modos operativos: **modo GTP** para túneles PGW y **modo VPN Simple** para salida de IP local.

Enlaces Rápidos

Configuración y Despliegue

- **Requisitos de Red** - Puertos de firewall y entradas DNS requeridas para el despliegue
- **Referencia de Configuración** - Documentación completa de parámetros para IKEv2, Diameter, modos VPN y todas las configuraciones en tiempo de ejecución
- **Descripción de la Arquitectura** - Arquitectura del sistema, flujos de llamadas, máquinas de estado y referencias de protocolo

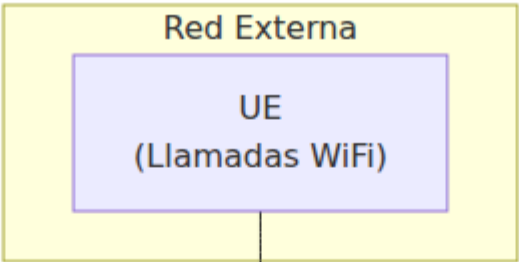
Operaciones y Monitoreo

- **Panel de Control** - Interfaz de monitoreo basada en web para sesiones, pares Diameter y registros
- **Referencia de Métricas** - Métricas de Prometheus, consultas de ejemplo y reglas de alerta
- **Solución de Problemas** - Problemas comunes, procedimientos de diagnóstico y pasos de resolución

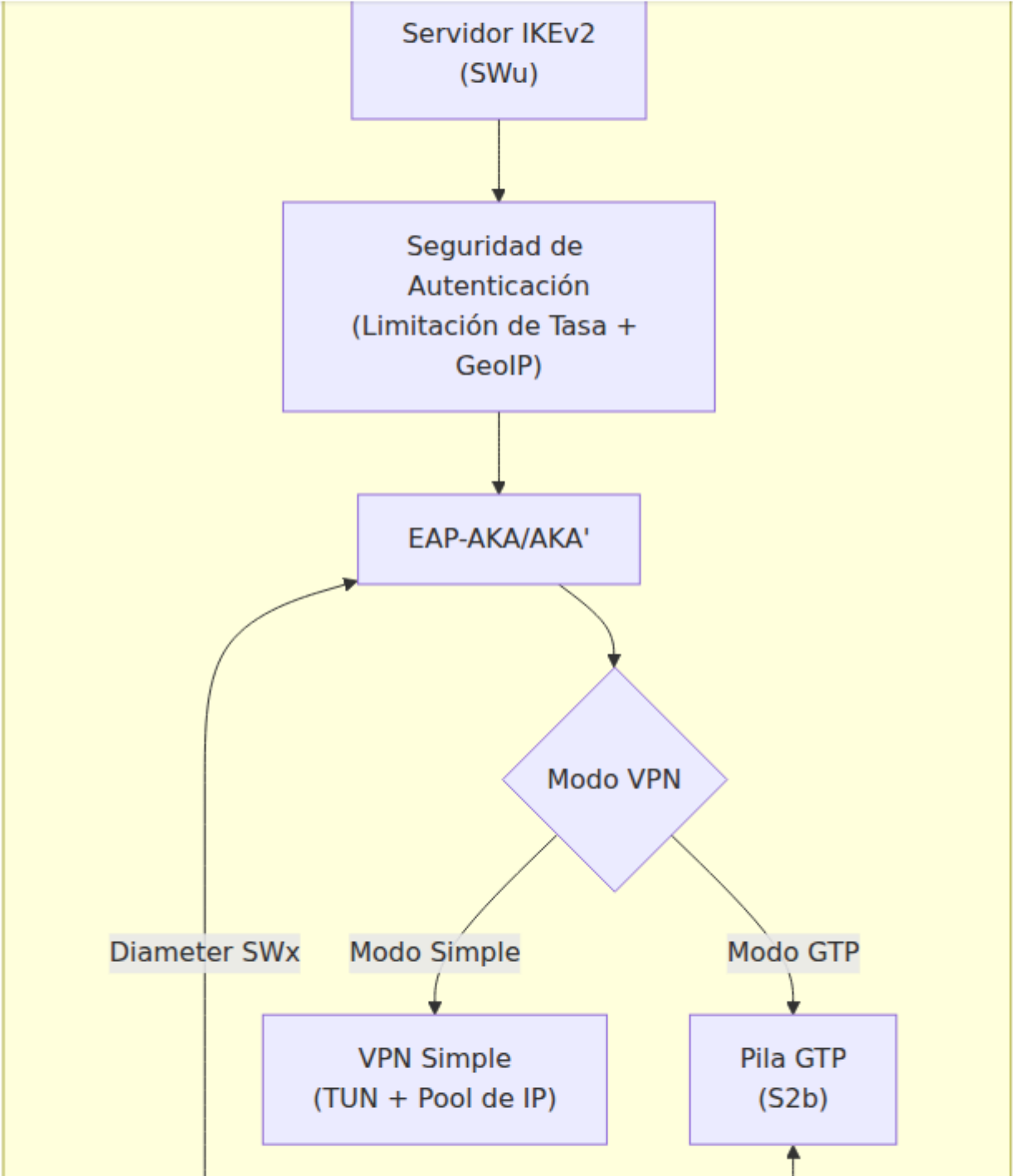
Seguridad

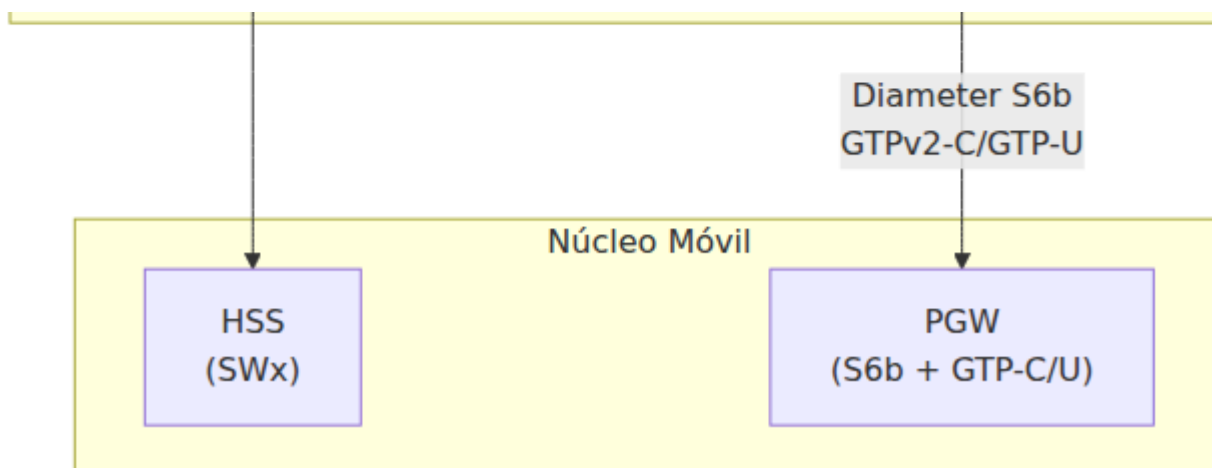
- **Seguridad de Autenticación** - Limitación de tasa y bloqueo de países por GeolP

Descripción de la Arquitectura



IKEv2
UDP 500/4500





Modos Operativos

OmniEPDG soporta dos modos operativos seleccionados a través del parámetro de configuración `vpn_mode`.

Modo GTP

Túnel completo 3GPP a través de un PGW. El tráfico del suscriptor se encapsula en GTP-U y se enruta a través del núcleo móvil.

Usar cuando:

- Integración con infraestructura de núcleo móvil existente
- Políticas y cobro a través de PCRF/PCEF
- Se requiere roaming y traspaso entre operadores

Componentes:

- Diameter S6b para autorización de sesión PGW
- GTPv2-C para gestión de sesiones (Crear/Eliminar/Modificar Sesión)
- Módulo GTP-U del kernel de Linux para el plano de usuario

Modo VPN Simple

Salida de IP local a través de la interfaz TUN. El tráfico del suscriptor se enruta directamente a través del host OmniEPDG sin la participación del PGW.

Usar cuando:

- Despliegue independiente sin PGW
- Pruebas y desarrollo
- Escenarios de salida local

Componentes:

- Gestión de pool de IP local (IPv4/IPv6)
- Interfaz TUN (`omniepdg0`) con rutas de host por suscriptor
- NAT/mascarada opcional para acceso a internet

Seguridad de Autenticación

OmniEPDG incluye características de seguridad integradas para proteger contra ataques de fuerza bruta y restringir el acceso por ubicación geográfica. Consulte la guía de [Seguridad de Autenticación](#) para más detalles.

Limitación de Tasa

Protege contra ataques de fuerza bruta al rastrear intentos de autenticación fallidos:

- **Limitación por IP** - Bloquea IPs después de 10 fallos en 1 minuto (bloqueo de 5 minutos)
- **Limitación por IMSI** - Bloquea IMSIs después de 5 fallos en 1 minuto (bloqueo de 10 minutos)
- Algoritmo de ventana deslizante con expiración automática
- La autenticación exitosa borra el historial de fallos

Bloqueo de Países por GeoIP

Control de acceso geográfico opcional utilizando la base de datos MaxMind GeoLite2:

- **Modo de lista blanca** - Solo permite conexiones desde países especificados
- **Modo de lista negra** - Bloquea conexiones desde países especificados

- Manejo configurable de IPs desconocidas/privadas
- Comportamiento de falla abierta o cerrada cuando la base de datos no está disponible

Configuración Clave

Configuración Mínima (Modo VPN Simple)

```
config :omniepdg,  
  vpn_mode: :simple,  
  simple_vpn: [  
    pool_ipv4: "10.45.0.0/16",  
    dns_servers_ipv4: ["8.8.8.8", "8.8.4.4"]  
  ]  
  
config :diameter_ex,  
  diameter: %{  
    host: "epdg",  
    realm: "epc.mnc001.mcc001.3gppnetwork.org",  
    peers: [  
      %{host: "hss", ip: "10.74.0.21", port: 3868, transport:  
:tcp}  
    ]  
  }  
}
```

Habilitar Seguridad de Autenticación

```
config :omniepdg,  
  # Limitación de tasa (habilitada por defecto con estos valores)  
  auth_rate_limit_per_ip: 10,  
  auth_rate_limit_ip_block_ms: 300_000,  
  auth_rate_limit_per_imsi: 5,  
  auth_rate_limit_imsi_block_ms: 600_000,  
  
  # Bloqueo de GeoIP (deshabilitado por defecto)  
  geoup_enabled: true,  
  geoup_mode: :whitelist,  
  geoup_countries: ["AU", "NZ"]
```

Consulte la [Referencia de Configuración](#) para la documentación completa de parámetros.

Monitoreo

Panel de Control

Acceda al panel de control web en `http://<host>:4000/dashboard` para:

- Monitoreo de sesiones en tiempo real
- Estado de pares Diameter
- Transmisión de registros en vivo
- Configuración del sistema

Consulte la guía del [Panel de Control](#) para más detalles.

Métricas de Prometheus

Recopile métricas de `http://<host>:9568/metrics` para:

- Tasas de éxito/fallo de autenticación
- Eventos del ciclo de vida de la sesión
- Latencia de señalización Diameter

- Eventos de seguridad (limitación de tasa, bloqueos de GeoIP)
- Utilización del pool de IP
- Estadísticas del plano de datos ESP

Consulte la [Referencia de Métricas](#) para consultas y reglas de alerta.

Solución de Problemas

Problemas comunes y pasos de resolución:

Problema	Verificación Rápida	Sección de la Guía
Fallos de autenticación	Verifique SWx MAR/MAA en los registros	Fallos de Autenticación
Problemas de conexión Diameter	Verifique el estado de los pares en el panel de control	Conectividad Diameter
Fallos de túnel GTP	Verifique los códigos de causa GTPv2-C	Fallos de Túnel GTP
Problemas de VPN Simple	Verifique la interfaz TUN y las rutas	Fallos de VPN Simple
Falsos positivos de limitación de tasa	Ajuste los umbrales	Problemas de Limitación de Tasa
Problemas de bloqueo por GeoIP	Verifique la base de datos y los códigos de país	Problemas de GeoIP

Consulte la guía de [Solución de Problemas](#) para procedimientos de diagnóstico detallados.

Índice de Documentación

Documento	Descripción
Arquitectura	Diseño del sistema, máquinas de estado, flujos de llamadas, referencias de protocolo
Configuración	Referencia completa de configuración con ejemplos
Panel de Control	Guía de interfaz web con capturas de pantalla
Métricas	Métricas de Prometheus, consultas y alertas
Requisitos de Red	Puertos de firewall y entradas DNS para el despliegue
Seguridad	Limitación de tasa y bloqueo de países por GeoIP
Solución de Problemas	Problemas comunes y procedimientos de diagnóstico

Arquitectura y Flujos de Llamadas de OmniEPDG

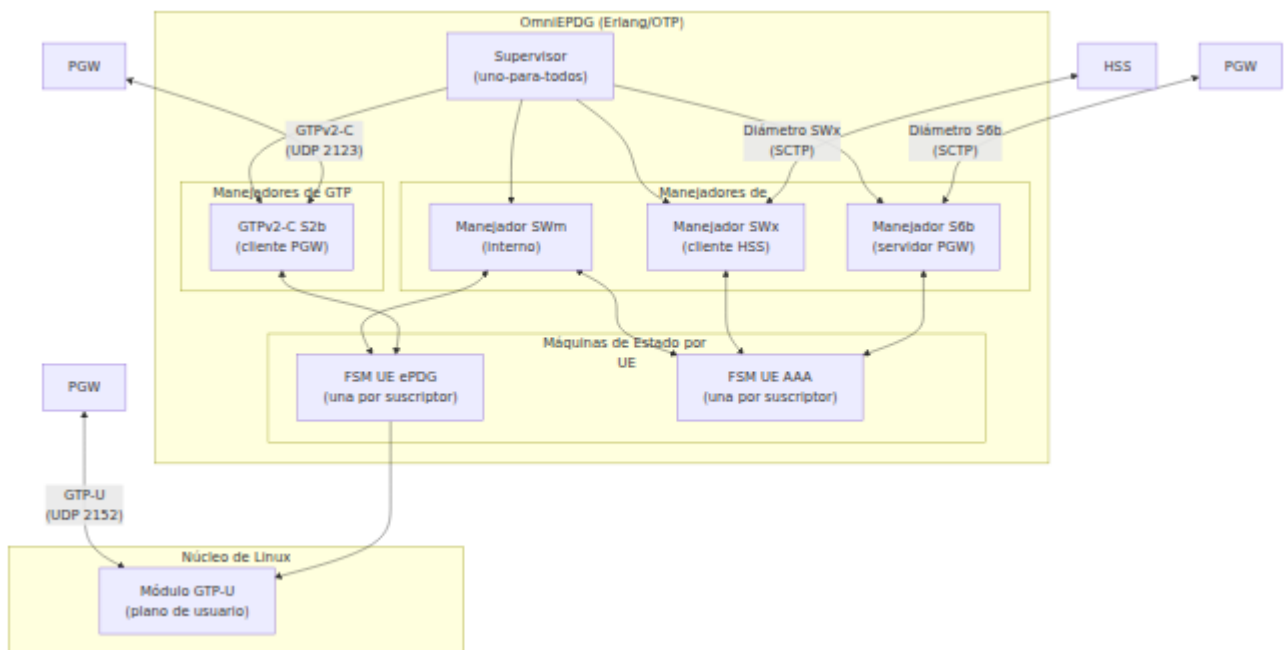
Este documento describe la arquitectura interna de OmniEPDG, sus interfaces de protocolo, máquinas de estado de UE y diagramas de secuencia de mensajes detallados para procedimientos clave. OmniEPDG admite dos modos operativos: **modo GTP** (túnel completo 3GPP a través de PGW) y **modo VPN Simple** (salida local con interfaz TUN). Consulte la [Guía de Operaciones](#) para una comparación de alto nivel.

Arquitectura del Sistema

OmniEPDG está construido sobre Erlang/OTP e implementa la función de red ePDG (evolved Packet Data Gateway) de 3GPP. Conecta el acceso WiFi no confiable a la red central móvil, permitiendo que los UEs realicen y reciban llamadas VoWiFi.

Arquitectura del Modo GTP

En el modo GTP, el tráfico de suscriptores se tunela a través de un PGW utilizando GTPv2-C para el control de sesión y el módulo GTP-U del núcleo de Linux para el plano de usuario.



Arquitectura del Modo VPN Simple

En el modo VPN Simple, el tráfico de suscriptores se enruta localmente a través de una interfaz TUN de Linux. No se requiere infraestructura de PGW o GTP. Los componentes de Diámetro S6b, GTPv2-C y GTP-U son reemplazados por el subsistema VPN Simple.



Árbol de Supervisores

OmniEPDG utiliza una estrategia de supervisor **uno-para-todos**, lo que significa que si algún proceso hijo falla, todos los hijos se reinician. El supervisor inicia condicionalmente diferentes procesos hijos dependiendo del modo operativo.

Procesos iniciados en ambos modos:

Proceso	Rol	Descripción
aaa_diameter_swx	Cliente Diámetro SWx	Se conecta al HSS para operaciones de autenticación y perfil de suscriptor
aaa_diameter_swm	Diámetro SWm (Interno)	Enruta mensajes EAP de Diámetro y de sesión entre el ePDG y las FSM de AAA
epdg_diameter_swm	Manejador SWm ePDG	Maneja el lado ePDG de la señalización interna de Diámetro SWm

Procesos adicionales en modo GTP:

Proceso	Rol	Descripción
aaa_diameter_s6b	Servidor Diámetro S6b	Acepta conexiones del PGW para autorización de sesión
epdg_gtpc_s2b	Cliente GTPv2-C	Envía solicitudes de Crear/Eliminar Sesión al PGW a través de S2b
gtp_u_kmod	Manejador del Núcleo GTP-U	Gestiona los contextos PDP GTP-U en el módulo del núcleo de Linux

Procesos adicionales en modo VPN Simple:

Proceso	Rol	Descripción
<code>simple_vpn_supervisor</code>	Supervisor del Subsistema VPN	Supervisa los procesos del gestor de IP y del gestor de rutas
<code>simple_vpn_pool</code>	Gestor de IPs	Asigna y libera direcciones IPv4 del grupo CIDR configurado utilizando ETS
<code>simple_vpn_route</code>	Gestor de Rutas	Crea la interfaz TUN <code>omniepdg0</code> y gestiona las rutas de host por suscriptor

Máquinas de Estado por UE

Para cada suscriptor activo (identificado por IMSI), OmniEPDG crea dos instancias de máquinas de estado:

- **FSM UE ePDG** (`epdg_ue_fsm`) - Gestiona el ciclo de vida de la sesión del suscriptor desde la perspectiva del ePDG: autenticación, creación de túneles GTP y coordinación de desmantelamiento.
- **FSM UE AAA** (`aaa_ue_fsm`) - Gestiona la señalización del lado AAA: intercambios de Diámetro SWx con el HSS e intercambios S6b con el PGW.

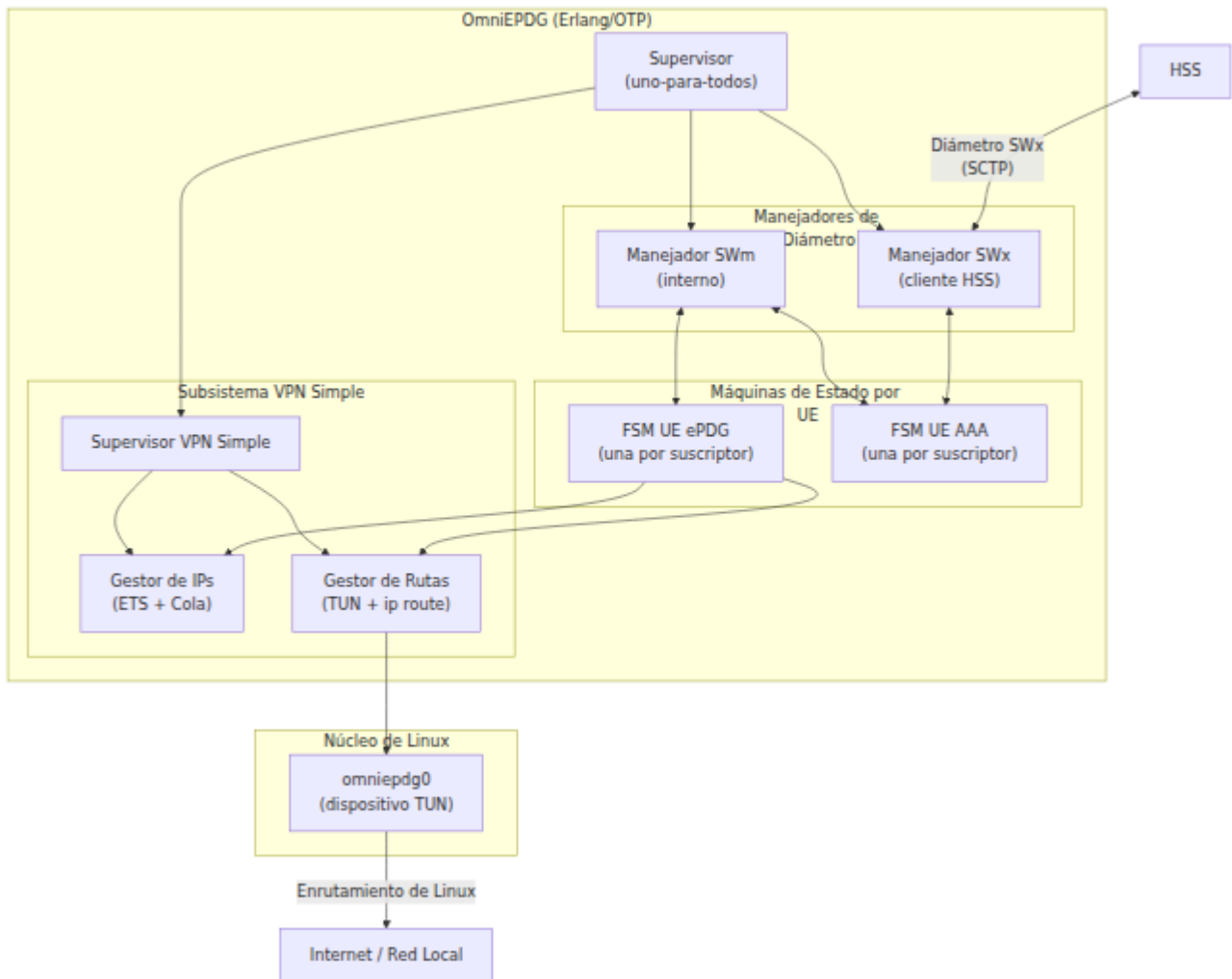
Ambas FSM se implementan como procesos `gen_statem` de Erlang con modo de devolución de llamada de función de estado.

Estados de la FSM UE ePDG

La FSM UE ePDG rastrea la sesión de un suscriptor desde la solicitud de autenticación inicial hasta el estado de túnel activo y el desmantelamiento. El comportamiento de la FSM diverge en el estado `authenticated` según el modo operativo.

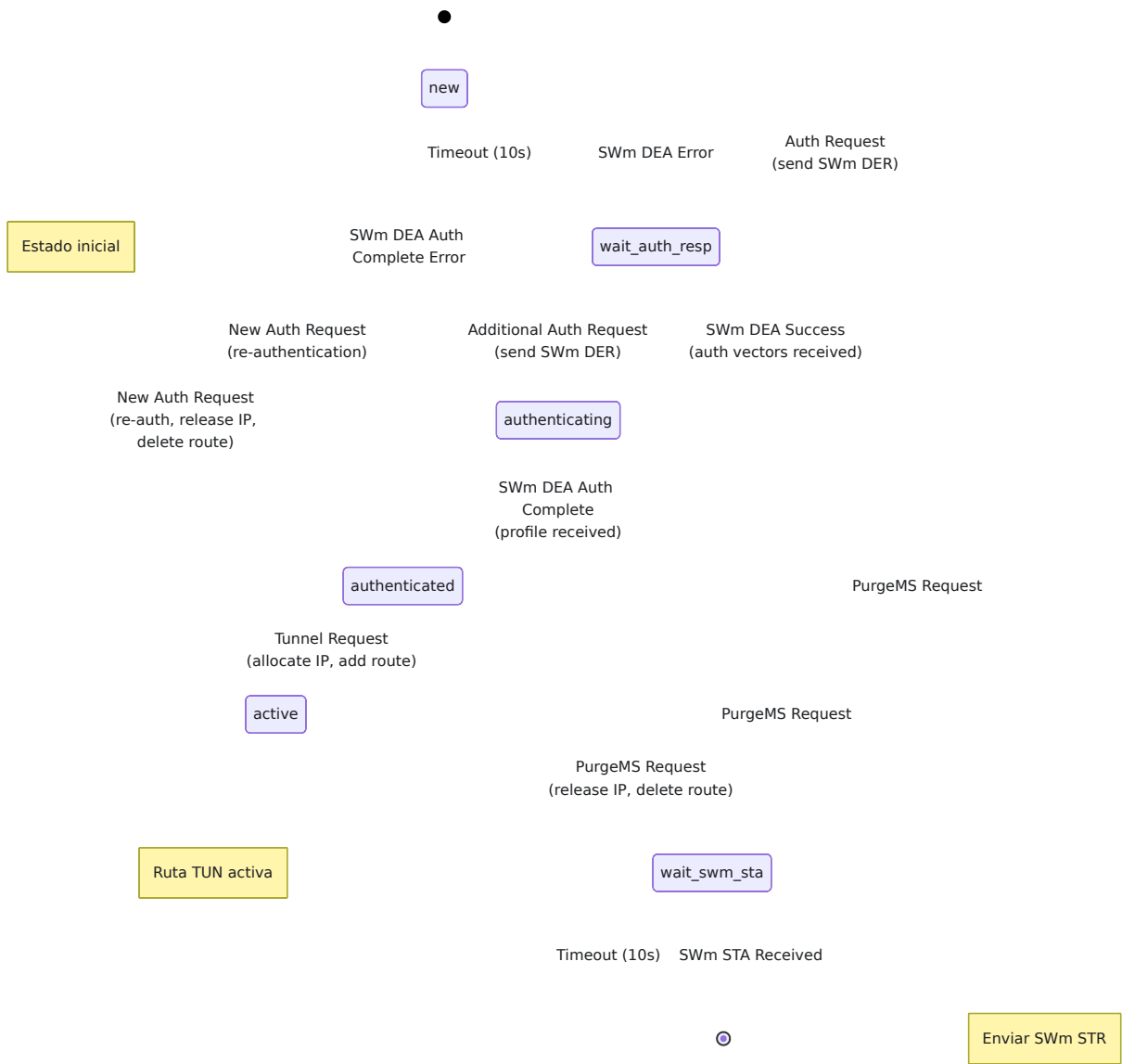
FSM del Modo GTP

En el modo GTP, el establecimiento del túnel pasa por la creación de sesión GTPv2-C hacia el PGW, y el desmantelamiento implica la eliminación de sesión GTPv2-C, eliminación de portadora iniciada por PGW y flujos de desregistro iniciados por HSS.



FSM del Modo VPN Simple

En el modo VPN Simple, la FSM toma un atajo en el estado `authenticated`. En lugar de enviar una solicitud de creación de sesión GTPv2-C, la FSM asigna una dirección IP del grupo local, crea una ruta de host en la interfaz TUN y transita directamente a `active`. Los estados de desmantelamiento específicos de GTP (`wait_create_session_resp`, `wait_delete_session_resp`, `dereg_pgw_wait_cancel`, `dereg_net_wait_s2b_delete`) no se utilizan.



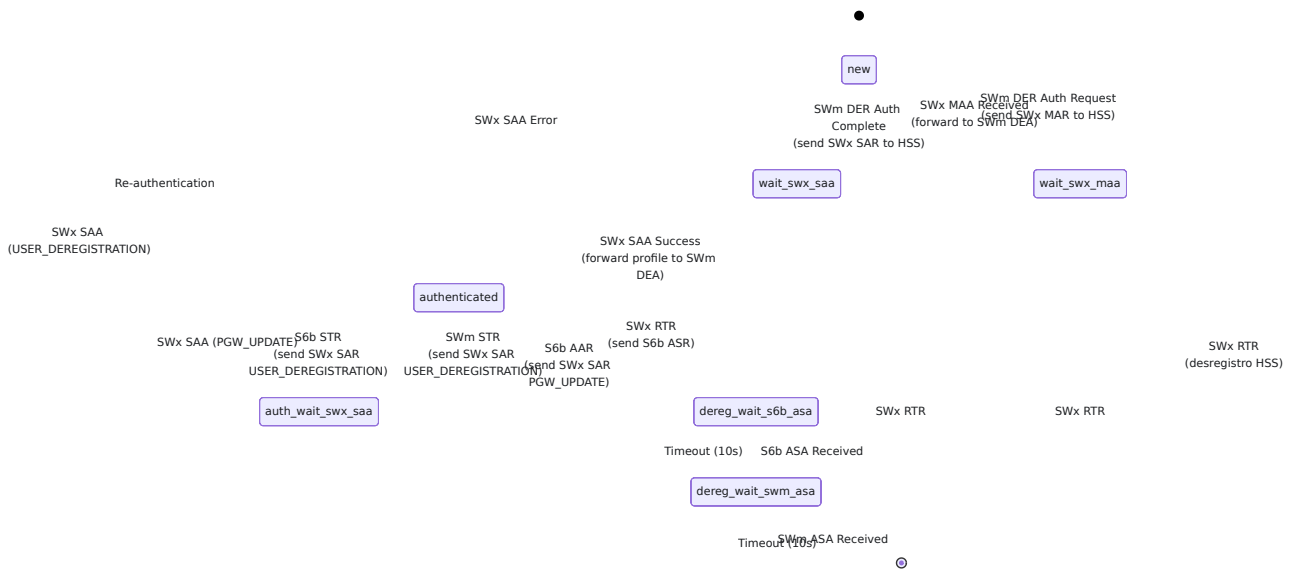
Referencia de Estados de la FSM UE ePDG

Estado	Modo	Descripción	Esperand
new	Ambos	Estado inicial. No hay sesión activa.	Solicitud de autenticación UE
wait_auth_resp	Ambos	Solicitud de autenticación enviada a través de SWm DER.	SWm DEA con vectores de autenticación error
authenticating	Ambos	Vectores de autenticación recibidos, intercambio EAP en progreso.	Actualización ubicación / finalización de autenticación
authenticated	Ambos	Autenticación completa, perfil de suscriptor descargado.	Solicitud de túnel de UE
wait_create_session_resp	GTP	Solicitud de creación de sesión GTPv2-C enviada al PGW.	Respuesta de creación de sesión del PGW
active	Ambos	Túnel/ruta operativo. El tráfico del suscriptor está fluyendo.	Disparador de desmantelamiento
wait_delete_session_resp	GTP	Solicitud de eliminación de	Respuesta de eliminación de

Estado	Modo	Descripción	Esperando
		sesión GTPv2-C enviada al PGW (desmantelamiento iniciado por UE).	sesión del PGW
wait_swm_sta	Ambos	Solicitud de terminación de sesión SWm enviada.	SWm STA de /
dereg_pgw_wait_cancel	GTP	Desregistro iniciado por PGW. Ubicación de cancelación enviada a UE.	Resultado de ubicación de cancelación
dereg_net_wait_cancel	GTP	Desregistro iniciado por la red/HSS. Ubicación de cancelación enviada a UE.	Resultado de ubicación de cancelación
dereg_net_wait_s2b_delete	GTP	Desregistro iniciado por la red. S2b Delete Session enviado al PGW.	Respuesta de eliminación de sesión

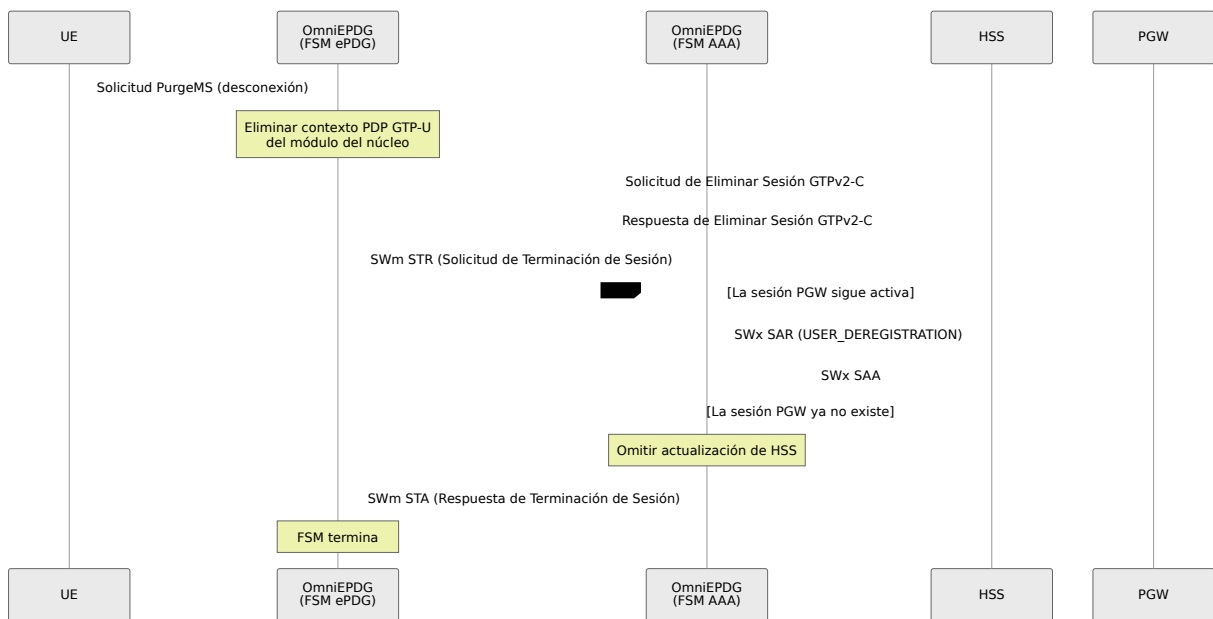
Estados de la FSM UE AAA

La FSM UE AAA gestiona la señalización de Diámetro hacia el HSS (SWx) y el PGW (S6b) en nombre de cada suscriptor.



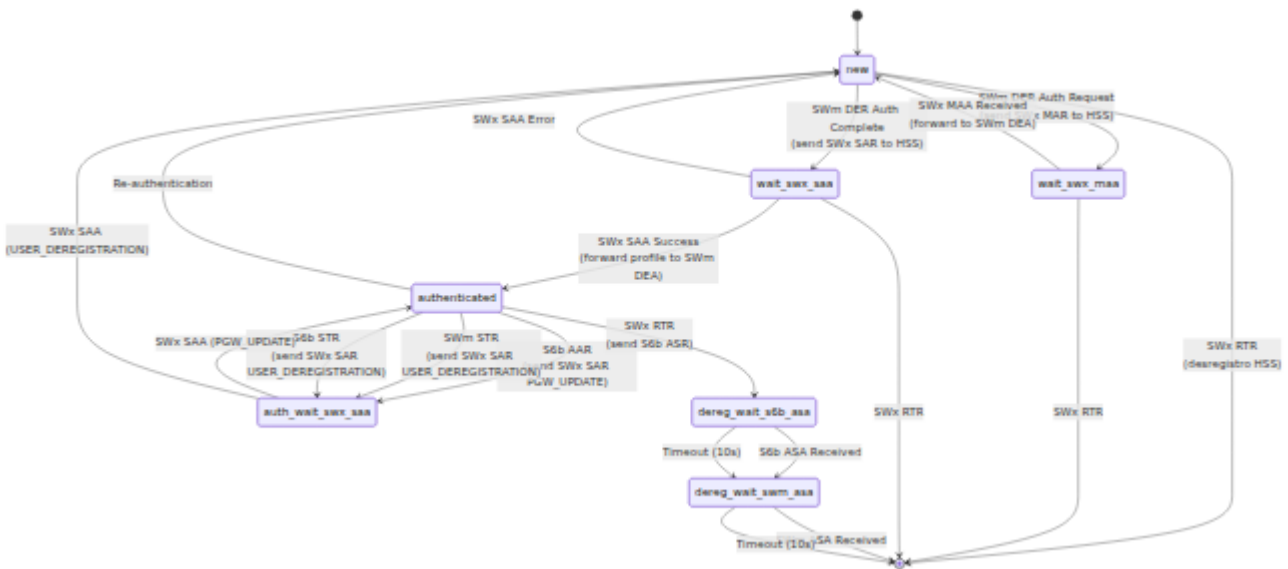
Referencia de Estados de la FSM UE AAA

Estado	Descripción	Esperando
new	Estado inicial. No hay sesión AAA activa.	Solicitud de autenticación de Diámetro
wait_swx_maa	SWx MAR enviado al HSS para vectores EAP-AKA.	SWx MAA del HSS
wait_swx_saa	SWx SAR enviado al HSS para asignación de servidor.	SWx SAA del HSS
authenticated	Ambas sesiones ePDG y PGW pueden estar activas. Rastreando el estado de sesión dual.	Eventos de sesión
auth_wait_swx_saa	SWx SAR enviado para actualización de PGW o desregistro de usuario.	SWx SAA del HSS
dereg_net_wait_s6b_asa	Desregistro iniciado por HSS. S6b ASR enviado al PGW.	S6b ASA del PGW
dereg_net_wait_swm_asa	Desmantelamiento de S6b completo. SWm ASR enviado al ePDG.	SWm ASA del ePDG



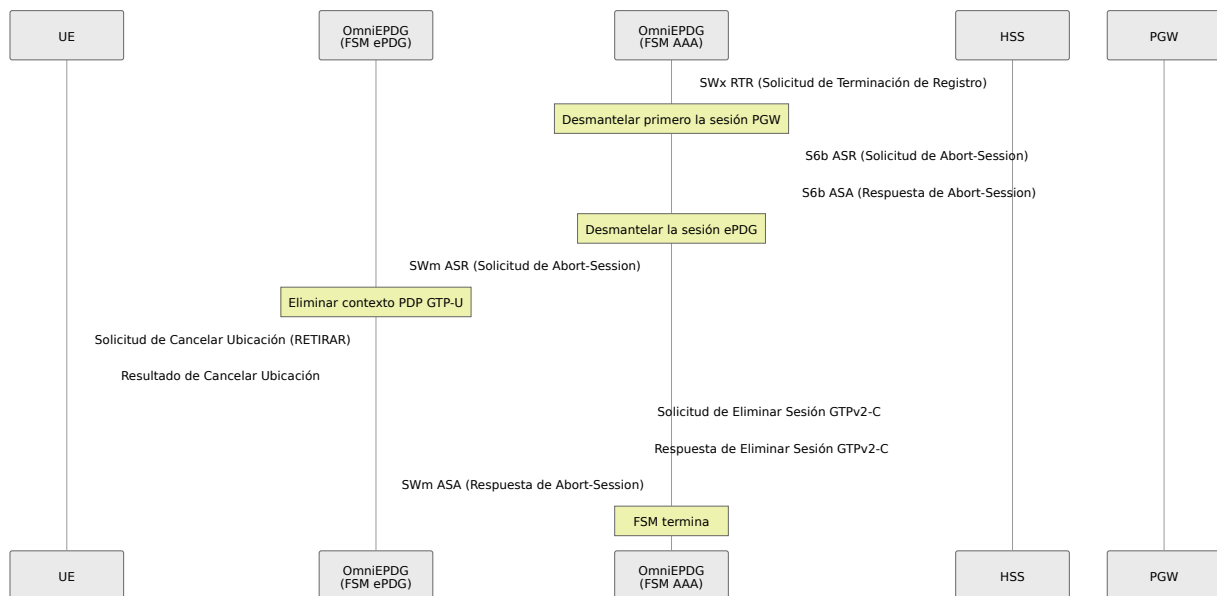
Modo GTP: Desmantelamiento de Sesión Iniciado por PGW

Cuando el PGW termina la sesión (por ejemplo, violación de política, tiempo de espera o acción administrativa).



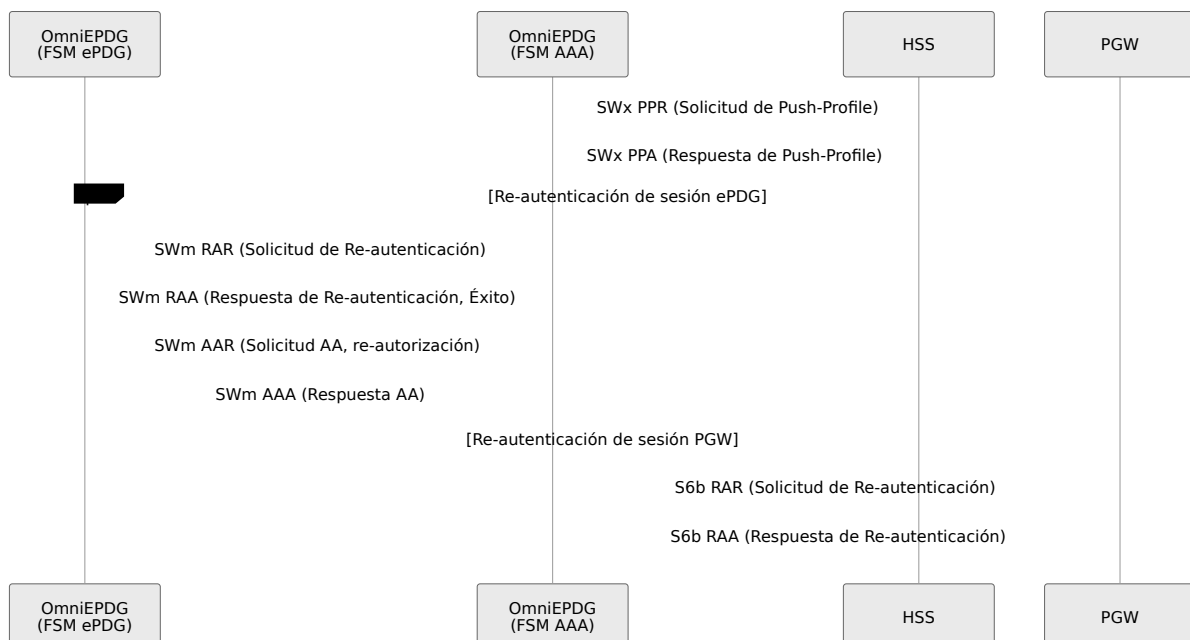
Modo GTP: Desregistro Iniciado por la Red (HSS)

Cuando el HSS revoca el registro de un suscriptor (por ejemplo, cambio de suscripción, detección de fraude o acción administrativa).



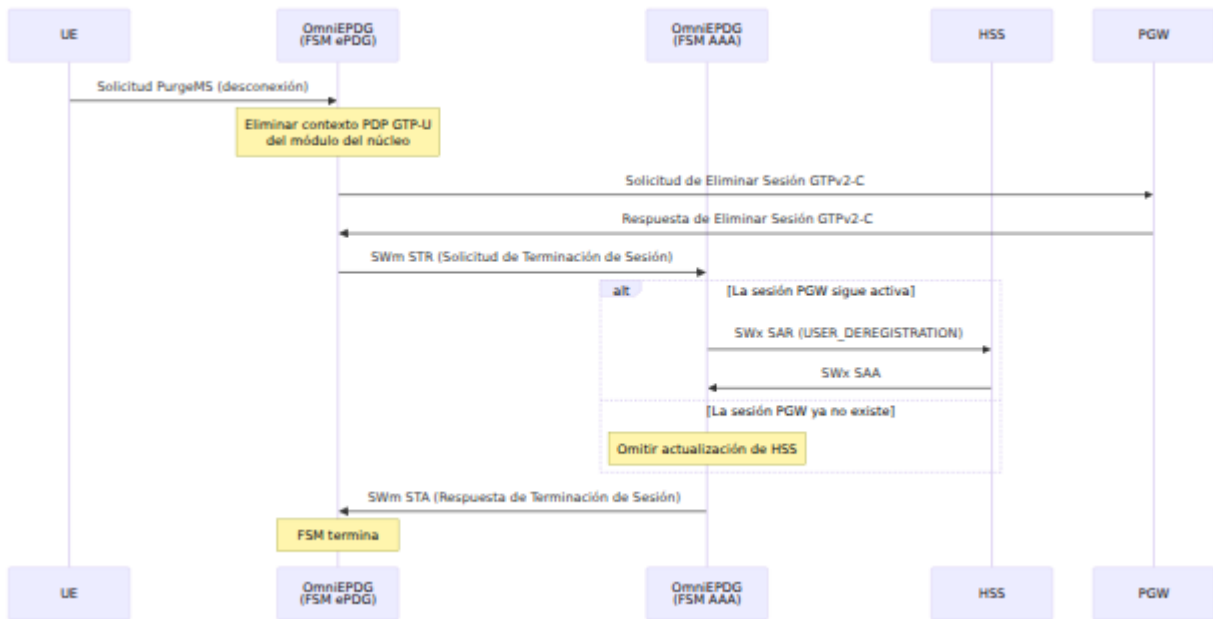
Modo GTP: Push de Perfil HSS y Re-autenticación

Cuando el HSS envía un perfil de suscriptor actualizado, OmniEPDG activa la re-autenticación en ambas sesiones ePDG (SWm) y PGW (S6b) según [3GPP TS 29.273 Sección 8.1.2.3.3](#).



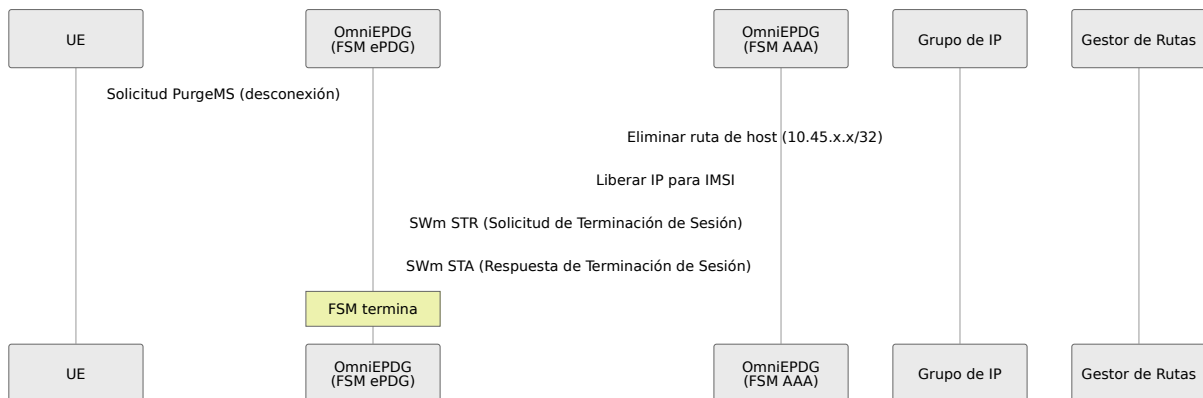
Modo VPN Simple: Establecimiento de Sesión Exitoso

En el modo VPN Simple, el establecimiento de la sesión es más corto. Después de la autenticación EAP-AKA, la FSM ePDG asigna una IP del grupo local y configura una ruta de host en la interfaz TUN, eludiendo toda interacción con PGW. Si `skip_sar` está habilitado, el intercambio SAR/SAA con el HSS también se omite.



Modo VPN Simple: Desmantelamiento de Sesión Iniciado por UE

Cuando el UE se desconecta en modo VPN Simple, la FSM libera la dirección IP asignada y elimina la ruta de host.



Identificadores de Aplicación de Diámetro

Identificador de Aplicación	Interfaz	Identificador de Proveedor	Descripción	Referencia
16777265	SWx	10415 (3GPP)	ePDG ↔ HSS autenticación y gestión de suscriptores	3GPP TS 29.273
16777272	S6b	10415 (3GPP)	AAA ↔ PGW autorización de sesión	3GPP TS 29.273

Códigos de Resultado de Diámetro

OmniEPDG mapea los códigos de resultado de Diámetro a valores de causa internos para la propagación de errores entre protocolos.

Códigos de Resultado Estándar

Código de Resultado	Nombre	Significado
2001	DIAMETER_SUCCESS	Operación completada con éxito
2002	DIAMETER_LIMITED_SUCCESS	Operación parcialmente exitosa

Códigos de Resultado Experimentales de 3GPP

Código de Resultado	Nombre	Significa
4181	DIAMETER_AUTHENTICATION_DATA_UNAVAILABLE	HSS no pu proporción datos de autenticac temporalr
5001	DIAMETER_ERROR_USER_UNKNOWN	IMSI del suscriptor encontrado HSS
5002	DIAMETER_UNKNOWN_SESSION_ID	Sesión no encontrada (utilizada p STR/AAR obsoletos)
5003	DIAMETER_AUTHORIZATION_REJECTED	Suscriptor autorizado para el ser
5004	DIAMETER_ERROR_ROAMING_NOT_ALLOWED	Se aplican restricción de roaming
5005	DIAMETER_MISSING_AVP	AVP requeri faltante en mensaje
5012	DIAMETER_UNABLE_TO_COMPLY	Fallo genér de procesami

Código de Resultado	Nombre	Significa
5420	DIAMETER_ERROR_UNKNOWN_EPS_SUBSCRIPTION	No se encuentra suscripción EPS
5421	DIAMETER_ERROR_RAT_NOT_ALLOWED	Tecnología acceso no permitida
5422	DIAMETER_ERROR_EQUIPMENT_UNKNOWN	Dispositivo IMEI no reconocido

Códigos de Causa GTPv2-C (Solo Modo GTP)

OmniEPDG maneja los siguientes códigos de causa GTPv2-C en las respuestas de Crear/Eliminar Sesión del PGW. Los códigos del 1 al 15 son informativos, del 16 al 63 indican éxito y del 64 en adelante indican errores. Consulte [3GPP TS 29.274 Sección 8.4](#).

Causas de Éxito

Código	Nombre	Descripción
16	Request Accepted	Operación completada con éxito
17	Request Accepted Partially	Éxito parcial
18	New PDN Type (Network Preference)	Tipo de PDN cambiado debido a preferencia de red
19	New PDN Type (Single Address Bearer)	Tipo de PDN cambiado debido a restricción de portadora de dirección única

Causas de Error (Seleccionadas)

Código	Nombre	Descripción
64	Context Not Found	Contexto de sesión no encontrado en PGW
73	No Resources Available	Agotamiento de recursos en PGW
78	Missing or Unknown APN	APN solicitado no configurado en PGW
82	Denied in RAT	Tecnología de acceso no permitida
84	All Dynamic Addresses Occupied	Grupo de direcciones IP agotado en PGW
92	User Authentication Failed	Fallo de autenticación en PGW
93	APN Access Denied	Suscriptor no autorizado para APN
96	IMSI/IMEI Not Known	Identidad del suscriptor no reconocida
109	Invalid Peer	Fallo en la validación del par
113	APN Congestion	APN sobrecargado
120	GTP-C Entity Congestion	Sobrecarga del plano de control del PGW

Formato NAI

OmniEPDG identifica a los suscriptores utilizando el formato de Identificador de Acceso a la Red (NAI) definido en [3GPP TS 23.003 Sección 19](#):

<prefix><IMSI>@nai.epc.mnc<MNC>.mcc<MCC>.3gppnetwork.org

Prefijo de Identidad y Tipo de Autenticación

El prefijo NAI determina el método de autenticación EAP según 3GPP TS 23.003:

Prefijo	Tipo de Autenticación	Descripción
0	EAP-AKA	Autenticación AKA estándar (más común para llamadas WiFi)
6	EAP-AKA'	Autenticación AKA mejorada con vinculación a la red

OmniEPDG selecciona automáticamente el método de autenticación basado en el prefijo de identidad del UE. La mayoría de los UEs utilizan el prefijo 0 (EAP-AKA) para llamadas WiFi.

OmniEPDG extrae el IMSI del NAI analizando todo entre el prefijo y el símbolo @. El IMSI se utiliza como la clave principal para todas las máquinas de estado y operaciones de señalización por suscriptor.

Algoritmos Criptográficos

OmniEPDG implementa algoritmos criptográficos según [3GPP TS 33.402](#) y [RFC 7296](#) (IKEv2).

Algoritmos de Cifrado IKEv2

Algoritmo	ID	Tamaño de Clave	Estado	Referencia
AES-CBC	12	128, 192, 256 bits	Soportado (predeterminado: 256)	RFC 3602
AES-GCM-16	20	128, 192, 256 bits	Soportado	RFC 5282
AES-GCM-12	19	128, 192, 256 bits	Soportado	RFC 5282
AES-GCM-8	18	128, 192, 256 bits	Soportado	RFC 5282
3DES	3	192 bits	Soportado (legado)	RFC 2451

Algoritmos de Integridad IKEv2

Algoritmo	ID	Tamaño de Clave	Tamaño de ICV	Estado	Referencia
HMAC-SHA2-256-128	12	256 bits	128 bits	Soportado (predeterminado)	RFC 4868
HMAC-SHA2-384-192	13	384 bits	192 bits	Soportado	RFC 4868
HMAC-SHA2-512-256	14	512 bits	256 bits	Soportado	RFC 4868
HMAC-SHA1-96	2	160 bits	96 bits	Soportado (legado)	RFC 2404
HMAC-MD5-96	1	128 bits	96 bits	Soportado (legado)	RFC 2403

Algoritmos PRF IKEv2

Algoritmo	ID	Tamaño de Salida	Estado	Referencia
PRF-HMAC-SHA2-256	5	256 bits	Soportado (predeterminado)	RFC 4868
PRF-HMAC-SHA2-384	6	384 bits	Soportado	RFC 4868
PRF-HMAC-SHA2-512	7	512 bits	Soportado	RFC 4868
PRF-HMAC-SHA1	2	160 bits	Soportado (legado)	RFC 2104
PRF-HMAC-MD5	1	128 bits	Soportado (legado)	RFC 2104

Grupos de Diffie-Hellman IKEv2

Grupo	ID	Tamaño	Estado	Referencia
MODP-2048	14	2048 bits	Soportado (predeterminado)	RFC 3526
MODP-1024	2	1024 bits	Soportado (legado)	RFC 2409
MODP-1536	5	1536 bits	Soportado	RFC 3526
MODP-3072	15	3072 bits	Soportado	RFC 3526
MODP-4096	16	4096 bits	Soportado	RFC 3526
ECP-256	19	256 bits	Soportado	RFC 5903
ECP-384	20	384 bits	Soportado	RFC 5903
ECP-521	21	521 bits	Soportado	RFC 5903
Curve25519	31	256 bits	Soportado	RFC 8031
Curve448	32	448 bits	Soportado	RFC 8031

Algoritmos ESP (SA Hijo)

El túnel ESP utiliza los mismos algoritmos de cifrado e integridad negociados durante IKEv2 CREATE_CHILD_SA.

Configuración predeterminada de ESP:

- Cifrado: AES-CBC-256 (clave de 32 bytes, IV de 16 bytes)

- Integridad: HMAC-SHA2-256-128 (clave de 32 bytes, ICV de 16 bytes)

Funciones Criptográficas EAP-AKA

Función	Algoritmo	Referencia
Derivación de MK	SHA-1	RFC 4187 Sección 7
Expansión de clave PRF+	FIPS 186-2 PRF (SHA-1)	RFC 4187 Apéndice D
AT_MAC	HMAC-SHA1-128	RFC 4187 Sección 10.15
Milenage (f1-f5)	AES-128	3GPP TS 35.206

Funciones Criptográficas EAP-AKA'

Función	Algoritmo	Referencia
Derivación de CK'/IK'	HMAC-SHA-256	RFC 5448 Sección 3.3
Derivación de MK	SHA-256	RFC 5448 Sección 3.4
AT_MAC	HMAC-SHA256-128	RFC 5448 Sección 3.1

Cumplimiento de 3GPP

OmniEPDG implementa todos los algoritmos criptográficos obligatorios especificados en [3GPP TS 33.402](#) Sección 8:

Requisito	Algoritmo	Estado
Cifrado IKEv2 (obligatorio)	AES-CBC-128	✓ Soportado
Integridad IKEv2 (obligatorio)	HMAC-SHA2-256-128	✓ Soportado (predeterminado)
PRF IKEv2 (obligatorio)	PRF-HMAC-SHA-256	✓ Soportado (predeterminado)
DH IKEv2 (obligatorio)	Grupo 14 (MODP-2048)	✓ Soportado (predeterminado)
Cifrado ESP (obligatorio)	AES-CBC-128/256	✓ Soportado
Integridad ESP (obligatorio)	HMAC-SHA2-256-128	✓ Soportado (predeterminado)
EAP-AKA	RFC 4187	✓ Implementado
EAP-AKA'	RFC 5448	✓ Implementado

Tipos de Dirección PDP (Solo Modo GTP)

OmniEPDG admite los siguientes tipos de dirección PDP según lo definido en [3GPP TS 29.274 Sección 8.14](#). En el modo VPN Simple, solo se asignan direcciones IPv4 del grupo local.

Tipo	Descripción	Formato PAA GTPv2-C
IPv4	Portadora solo IPv4	Dirección IPv4 de 4 bytes
IPv6	Portadora solo IPv6	Longitud de prefijo de 1 byte + dirección IPv6 de 16 bytes
IPv4v6	Portadora de doble pila	Longitud de prefijo de 1 byte + dirección IPv6 de 16 bytes + dirección IPv4 de 4 bytes

Referencia de Configuración de OmniEPDG

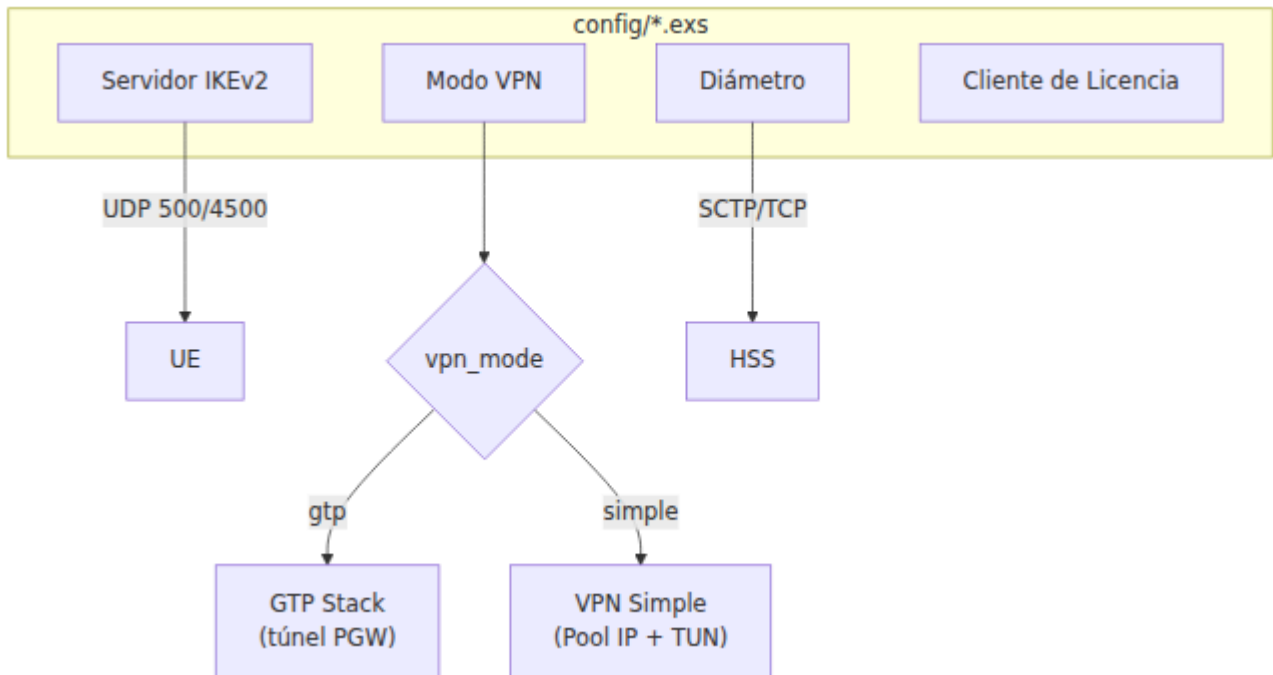
OmniEPDG se configura a través de `config/runtime.exs` y variables de entorno. Toda la configuración orientada al cliente se realiza en tiempo de ejecución; los valores predeterminados en tiempo de compilación están integrados en la versión y no se exponen.

Para implementaciones en contenedores, utiliza variables de entorno como se documenta en la sección de [Referencia de Variables de Entorno](#).

Tabla de Contenidos

- [Parámetros del Servidor IKEv2](#)
- [Parámetros de Seguridad de Autenticación](#)
- [Selección del Modo VPN](#)
- [Parámetros de VPN Simple](#)
- [Parámetros de Diámetro](#)
- [Configuración del Cliente de Licencia](#)
- [Configuración del Panel de Control](#)
- [Configuración de Métricas de Prometheus](#)
- [Referencia de Variables de Entorno](#)
- [Referencia de Tiempo de Espera](#)

Estructura de Configuración



Archivo de Configuración

Toda la configuración se realiza en `config/runtime.exs`. Este archivo se lee cuando OmniEPDG se inicia y admite la sustitución de variables de entorno para implementaciones en contenedores.

Ejemplo de Configuración

```
# config/runtime.exs
config :omniepdg,
  # Configuración del servidor IKEv2
  listen_ip: {0, 0, 0, 0},
  port_500: 500,
  port_4500: 4500,

  # Modo VPN: :simple (salida local) o :gtp (PGW a través de GTP-
  C)
  vpn_mode: :simple,

  # Configuración del modo VPN simple
  simple_vpn: [
    pool_ipv4: "10.45.0.0/16",
    pool_ipv6: "2001:db8::/32",
    dns_servers_ipv4: ["8.8.8.8", "8.8.4.4"],
    dns_servers_ipv6: ["2001:4860:4860::8888",
"2001:4860:4860::8844"]
  ]

# Configuración del panel de control
config :control_panel,
  parent_application: :omniepdg,
  parent_application_readable_name: "OmniEPDG",
  use_additional_pages: [
    {OmniEpdg.Web.DashboardLive, "/", "Dashboard"},
    {OmniEpdg.Web.SessionsLive, "/sessions", "Sessions"},
    {OmniEpdg.Web.DiameterLive, "/diameter", "Diameter"}
  ]

# Configuración de Diámetro (runtime.exs)
config :diameter_ex,
  diameter: %{
    service_name: :omniepdg,
    listen_ip: "0.0.0.0",
    listen_port: 3868,
    host: "epdg",
    realm: "epc.mnc001.mcc001.3gppnetwork.org",
    product_name: "OmniEPDG",
    vendor_id: 10415,
    applications: [
```

```
    %{application_name: :swx, application_id: 16_777_265,  
vendor_id: 10415},  
    %{application_name: :s6b, application_id: 16_777_272,  
vendor_id: 10415}  
  ],  
  peers: [  
    %{host: "hss", ip: "127.0.0.1", port: 3868, transport: :tcp}  
  ]  
}  
  
# Configuración del cliente de licencia (runtime.exs)  
config :license_client,  
  server_url: "https://license.example.com/api",  
  product: "omniepdg"
```

Parámetros del Servidor IKEv2

El servidor IKEv2 maneja la interfaz SWu entre los UE y OmniEPDG. Termina túneles IPsec y realiza autenticación EAP-AKA.

Parámetro	Tipo	Requerido	Predeter
<code>listen_ip</code>	Tupla	No	<code>{0, 0, 0, 0}</code>
<code>port_500</code>	Entero	No	<code>500</code>
<code>port_4500</code>	Entero	No	<code>4500</code>
<code>cert_file</code>	Cadena	Sí	<code>/etc/omniepdg/</code>

Parámetro	Tipo	Requerido	Predefinido
key_file	Cadena	Sí	/etc/omniepdg/
session_inactivity_timeout_ms	Entero	No	300000

Parámetros de Seguridad de Autenticación

OmniEPDG incluye protección incorporada contra ataques de fuerza bruta y control de acceso geográfico. Consulta la [Guía de Seguridad](#) para obtener documentación detallada.

Parámetros de Limitación de Tasa

```
config :omniepdg,  
  # Limitación de tasa por IP  
  auth_rate_limit_per_ip: 10,  
  auth_rate_limit_ip_window_ms: 60_000,  
  auth_rate_limit_ip_block_ms: 300_000,  
  
  # Limitación de tasa por IMSI  
  auth_rate_limit_per_imsi: 5,  
  auth_rate_limit_imsi_window_ms: 60_000,  
  auth_rate_limit_imsi_block_ms: 600_000
```

Parámetro	Tipo	Requerido	Predeterminac
auth_rate_limit_per_ip	Entero	No	10
auth_rate_limit_ip_window_ms	Entero	No	60000
auth_rate_limit_ip_block_ms	Entero	No	300000
auth_rate_limit_per_imsi	Entero	No	5
auth_rate_limit_imsi_window_ms	Entero	No	60000
auth_rate_limit_imsi_block_ms	Entero	No	600000

Parámetro	Tipo	Requerido	Predeterminac

Parámetros de GeoIP

```
config :omniepdg,  
  geoip_enabled: false,  
  geoip_database_path: "/etc/omniepdg/GeoLite2-Country.mmdb",  
  geoip_mode: :whitelist,  
  geoip_countries: ["AU", "NZ"],  
  geoip_allow_unknown: false,  
  geoip_fail_open: true
```

Parámetro	Tipo	Requerido	Predeterminado
<code>geoup_enabled</code>	Booleano	No	<code>false</code>
<code>geoup_database_path</code>	Cadena	No	<code>"/etc/omniepdg/GeoLite2Country.mmdb"</code>
<code>geoup_mode</code>	Átomo	No	<code>:whitelist</code>
<code>geoup_countries</code>	Lista	No	<code>[]</code>
<code>geoup_allow_unknown</code>	Booleano	No	dependiente del modo

Parámetro	Tipo	Requerido	Predeterminado
<code>geopip_fail_open</code>	Booleano	No	<code>true</code>

Selección del Modo VPN

Parámetro	Tipo	Requerido	Predeterminado	Var de Entorno
<code>vpn_mode</code>	Átomo	No	<code>:simple</code>	<code>EPDG_VPN_MODE</code>

Parámetros de VPN Simple

El bloque de configuración `simple_vpn` controla la asignación de IP y DNS para el modo VPN Simple. OmniEPDG admite tanto pools de direcciones IPv4 como IPv6.

```
config :omniepdg,  
  simple_vpn: [  
    pool_ipv4: "10.45.0.0/16",  
    pool_ipv6: "2001:db8::/32",  
    dns_servers_ipv4: ["8.8.8.8", "8.8.4.4"],  
    dns_servers_ipv6: ["2001:4860:4860::8888",  
"2001:4860:4860::8844"],  
    p_cscf_ipv4: ["10.4.12.165"],  
    p_cscf_ipv6: [],  
    mtu: 1400,  
    nat_enabled: true  
  ]
```

Parámetro	Tipo	Requerido	Predeterminado
pool_ipv4	Cadena	Sí	"10.45.0.0/16"
pool_ipv6	Cadena	No	"2001:db8::/32"
dns_servers_ipv4	Lista	No	["8.8.8.8", "8.8.4.4"]
dns_servers_ipv6	Lista	No	["2001:4860:4860::8888", "2001:4860:4860::8844"]
p_cscf_ipv4	Lista	No	[]

Parámetro	Tipo	Requerido	Predeterminado
<code>p_cscf_ipv6</code>	Lista	No	<code>[]</code>
<code>mtu</code>	Entero	No	<code>1400</code>
<code>nat_enabled</code>	Booleano	No	<code>true</code>

Parámetros de Diámetro

La configuración de Diámetro controla las interfaces SWx (HSS) y S6b (PGW). Cuando `diameter_enabled` es `true`, OmniEPDG inicia la pila de Diámetro y se conecta a los pares configurados.

```
config :diameter_ex,  
  diameter: %{  
    service_name: :omniepdg,  
    listen_ip: "0.0.0.0",  
    listen_port: 3868,  
    host: "epdg",  
    realm: "epc.mnc001.mcc001.3gppnetwork.org",  
    product_name: "OmniEPDG",  
    vendor_id: 10415,  
    applications: [  
      %{application_name: :swx, application_id: 16_777_265,  
vendor_id: 10415},  
      %{application_name: :s6b, application_id: 16_777_272,  
vendor_id: 10415}  
    ],  
    peers: [  
      %{host: "hss", ip: "10.74.0.21", port: 3868, transport:  
:tcp}  
    ]  
  }  
}
```

Parámetros del Servicio

Parámetro	Tipo	Requerido	Predeterminado
<code>service_name</code>	Átomo	No	<code>:omniepdg</code>
<code>listen_ip</code>	Cadena	No	<code>"0.0.0.0"</code>
<code>listen_port</code>	Entero	No	<code>3868</code>
<code>host</code>	Cadena	Sí	<code>"epdg"</code>

Parámetro	Tipo	Requerido	Predeterminado
realm	Cadena	Sí	"epc.mnc001.mcc001.3gppnetwork."
product_name	Cadena	No	"OmniEPDG"
vendor_id	Entero	No	10415

Parámetros de Pares

Cada entrada en la lista de peers define una conexión de par de Diámetro (típicamente al HSS).

Parámetro	Tipo	Requerido	Predeterminado	Var de Entorno	Des
host	Cadena	Sí	-	HSS_HOST	Iden Diár par Host coin la id conf del j
ip	Cadena	Sí	-	HSS_IP	Dire del j la cc TCP,
port	Entero	No	3868	HSS_PORT	Puer Diár par.
transport	Átomo	No	:tcp	-	Prot tran :tcp :sc

Identificadores de Aplicación

Aplicación	ID	Vendor ID	Interfaz	Referencia
SWx	16777265	10415	ePDG ↔ HSS	3GPP TS 29.273
S6b	16777272	10415	AAA ↔ PGW	3GPP TS 29.273

Configuración del Cliente de Licencia

El cliente de licencia valida OmniEPDG contra un servidor de licencias.

```
config :license_client,  
  server_url: "https://license.example.com/api",  
  product: "omniepdg"
```

Parámetro	Tipo	Requerido	Predeterminado	Var de Entorn
<code>server_url</code>	Cadena	Sí	-	<code>LICENSE_SERVER_</code>
<code>product</code>	Cadena	No	<code>"omniepdg"</code>	-

Configuración del Panel de Control

El panel de control web proporciona capacidades de monitoreo y gestión.

```
config :control_panel,  
  port: 4000
```

Parámetro	Tipo	Requerido	Predeterminado	Var de Entorno
port	Entero	No	4000	CONTROL_PANEL_PC

Configuración de Métricas de Prometheus

OmniEPDG expone métricas de Prometheus a través de HTTP para monitoreo y alertas.

```
config :omniepdg,
  prometheus: %{
    port: 9568
  }
```

Parámetro	Tipo	Requerido	Predeterminado	Var de Entorno
port	Entero	No	9568	PROMETHEUS_PORT

Métricas Expuestas

Métricas de Contador (Impulsadas por eventos):

- epdg_ikev2_session_initiated_count - Intercambios IKE_SA_INIT iniciados
- epdg_ikev2_session_established_count - SAs IKE establecidos con éxito

- `epdg_ikev2_session_failed_count` - Fallos en el establecimiento de SA IKE (por razón)
- `epdg_eap_identity_count` - Solicitudes de identidad EAP
- `epdg_eap_aka_challenge_count` - Desafíos EAP-AKA enviados
- `epdg_eap_aka_success_count` - Autenticaciones EAP-AKA exitosas
- `epdg_eap_aka_failure_count` - Fallos en autenticaciones EAP-AKA (por razón)
- `epdg_eap_aka_sync_failure_count` - Fallos de sincronización de SQN EAP-AKA
- `epdg_diameter_swx_mar_count` - Solicitudes de autenticación multimedia (por resultado)
- `epdg_diameter_swx_sar_count` - Solicitudes de asignación del servidor (por resultado)
- `epdg_diameter_s6b_aar_count` - Solicitudes AA manejadas (por resultado)
- `epdg_diameter_s6b_str_count` - Solicitudes de terminación de sesión
- `epdg_session_created_count` - Sesiones creadas (por vpn_mode)
- `epdg_session_terminated_count` - Sesiones terminadas (por razón)
- `epdg_esp_packets_in_count` - Paquetes ESP descifrados
- `epdg_esp_packets_out_count` - Paquetes ESP cifrados
- `epdg_ip_allocated_count` - Direcciones IP asignadas (por tipo)
- `epdg_ip_released_count` - Direcciones IP liberadas (por tipo)

Métricas de Medición (Sondeadas cada 5s):

- `epdg_sessions_active_count` - Total de sesiones activas
- `epdg_sessions_by_state_count` - Sesiones por estado de FSM
- `epdg_ip_pool_allocated_count` - IPs actualmente asignadas
- `epdg_ip_pool_available_count` - IPs disponibles en el pool
- `epdg_ip_pool_utilization_ratio` - Utilización del pool (0.0-1.0)
- `epdg_diameter_swx_pending_count` - Solicitudes SWx pendientes
- `epdg_diameter_s6b_active_sessions_count` - Sesiones S6b activas

Métricas de Histograma (Seguimiento de latencia):

- `epdg_auth_duration_ms` - Duración total del flujo de autenticación

- `epdg_diameter_swx_mar_latency_ms` - Tiempo de respuesta MAR
- `epdg_diameter_swx_sar_latency_ms` - Tiempo de respuesta SAR
- `epdg_session_duration_seconds` - Vida útil de la sesión

Métricas de VM:

- `vm_memory_total` - Memoria total de VM
- `vm_memory_processes` - Memoria de procesos
- `vm_memory_binary` - Memoria binaria
- `vm_memory_ets` - Memoria de tabla ETS
- `vm_system_info_process_count` - Procesos en ejecución
- `vm_system_info_port_count` - Puertos abiertos
- `vm_statistics_run_queue` - Cola de ejecución del programador

Configuración de Sondeo de Prometheus

```
scrape_configs:  
  - job_name: 'omniepdg'  
    static_configs:  
      - targets: ['localhost:9568']
```

Referencia de Tiempo de Espera

Todos los tiempos de espera de FSM internos están codificados. Estos determinan cuánto tiempo las máquinas de estado esperan respuestas antes de considerarlas fallidas.

Tiempo de Espera	Valor	Modo	Contexto	Descripción
Respuesta GTP	10,000 ms	GTP	FSM UE ePDG	Máximo tiempo de espera para la respuesta de creación/eliminación de sesión GTPv2-C del PGW.
Respuesta SWm	10,000 ms	Ambos	FSM UE ePDG	Máximo tiempo de espera para la respuesta interna de Diámetro SWm (DER/DEA, STR/STA).
Respuesta S6b	10,000 ms	GTP	FSM UE AAA	Máximo tiempo de espera para la respuesta de Diámetro S6b (ASR/ASA).

Referencia de Variables de Entorno

Las variables de entorno se leen en `config/runtime.exs` y sobrescriben los valores predeterminados en tiempo de compilación.

Servidor IKEv2

Variable	Predeterminado	Descripción
EPDG_LISTEN_IP	"0.0.0.0"	Dirección de vinculación del servidor IKEv2 (formato decimal con puntos, por ejemplo, "10.0.0.1").
EPDG_PORT_500	"500"	Puerto del protocolo IKE.
EPDG_PORT_4500	"4500"	Puerto de Traversal NAT de IKE.
EPDG_CERT_FILE	"/etc/omniepdg/certs/epdg.crt"	Ruta al certificado del servidor IKEv2 (PEM).
EPDG_KEY_FILE	"/etc/omniepdg/certs/epdg.key"	Ruta a la clave privada del servidor IKEv2 (PEM).
EPDG_SESSION_TIMEOUT	"300000"	Tiempo de espera por inactividad de sesión en milisegundos.

Modo VPN

Variable	Predeterminado	Descripción
EPDG_VPN_MODE	"simple"	Modo VPN: "simple" o "gtp".

Diámetro

Variable	Predeterminado	Descripción
DIA_LISTEN_IP	"0.0.0.0"	Dirección de vinculación del oyente de Diámetro.
DIA_LISTEN_PORT	"3868"	Puerto del oyente de Diámetro.
DIA_HOST	"epdg"	Host de origen de Diámetro (sin dominio).
DIA_REALM	"epc.mnc001.mcc001.3gppnetwork.org"	Dominio de origen de Diámetro.

Par HSS

Variable	Predeterminado	Descripción
<code>HSS_HOST</code>	<code>"hss"</code>	Identidad de Diámetro HSS (Origin-Host).
<code>HSS_IP</code>	<code>"127.0.0.1"</code>	Dirección IP del HSS.
<code>HSS_PORT</code>	<code>"3868"</code>	Puerto de Diámetro del HSS.

Licencia, Panel de Control y Métricas

Variable	Predeterminado	Descripción
<code>LICENSE_SERVER_URL</code>	-	URL de la API del servidor de licencias (requerido).
<code>CONTROL_PANEL_PORT</code>	<code>"4000"</code>	Puerto HTTP del panel de control.
<code>PROMETHEUS_PORT</code>	<code>"9568"</code>	Puerto HTTP de métricas de Prometheus (punto final <code>/metrics</code>).

Ejemplo: Docker Compose

```
services:
  omniepdg:
    image: omniepdg:latest
    environment:
      # IKEv2
      EPDG_LISTEN_IP: "0.0.0.0"
      EPDG_CERT_FILE: "/certs/epdg.crt"
      EPDG_KEY_FILE: "/certs/epdg.key"

      # Modo VPN
      EPDG_VPN_MODE: "simple"

      # Diámetro
      DIA_HOST: "epdg"
      DIA_REALM: "epc.mnc001.mcc001.3gppnetwork.org"
      HSS_HOST: "hss"
      HSS_IP: "10.74.0.21"
      HSS_PORT: "3868"

      # Licencia
      LICENSE_SERVER_URL: "https://license.example.com/api"

      # Panel de control
      CONTROL_PANEL_PORT: "4000"

      # Métricas de Prometheus
      PROMETHEUS_PORT: "9568"
    ports:
      - "500:500/udp"
      - "4500:4500/udp"
      - "4000:4000"
      - "9568:9568"
    volumes:
      - ./certs:/certs:ro
    cap_add:
      - NET_ADMIN
```

OmniEPDG Panel de Control

OmniEPDG incluye un panel de control basado en la web para el monitoreo en tiempo real de sesiones, pares Diameter y registros del sistema. El panel de control proporciona vistas que se actualizan en vivo sin necesidad de refrescar la página.

Tabla de Contenidos

- [Accediendo al Panel de Control](#)
- [Tablero](#)
- [Vista de Sesiones](#)
- [Vista de Pares Diameter](#)
- [Vista de Registros](#)
- [Vista de Documentos](#)
- [Vista de Recursos](#)
- [Vista de Configuración](#)

Accediendo al Panel de Control

El panel de control se sirve en el puerto HTTP configurado (por defecto 4000):

```
http://<host>:4000/dashboard
```

Navegación

El panel de control proporciona una barra lateral con enlaces a todas las vistas:

Ruta	Vista	Descripción
<code>/dashboard</code>	Tablero	Resumen del sistema y enlaces rápidos
<code>/sessions</code>	Sesiones	Lista de sesiones UE activas
<code>/diameter</code>	Pares Diameter	Estado de conexión de pares Diameter
<code>/logs</code>	Registros	Transmisión de registros en tiempo real
<code>/docs</code>	Documentos	Navegador de documentación integrada
<code>/resources</code>	Recursos	Información sobre BEAM VM y aplicaciones
<code>/configuration</code>	Configuración	Visor de configuración del sistema

Tablero

El Tablero proporciona una visión general de alto nivel del estado de OmniEPDG con métricas clave y navegación rápida.

Tarjetas de Estadísticas

El tablero muestra cuatro estadísticas principales:

Estadística	Descripción
Sesiones Activas	Número actual de sesiones UE establecidas
Datos Recibidos (UL)	Total de bytes recibidos de UEs (dirección de subida)
Datos Enviados (DL)	Total de bytes enviados a UEs (dirección de bajada)
Pares Diameter	Pares conectados / total de pares configurados

Los valores de datos se escalan automáticamente a las unidades apropiadas (B, KB, MB, GB).

Enlaces Rápidos

Navegación directa a vistas detalladas:

- **Ver Sesiones** - Navegar a la vista de Sesiones para información detallada de UE
- **Pares Diameter** - Navegar a la vista de Pares Diameter para estado de conectividad
- **Registros del Sistema** - Navegar a la vista de Registros para transmisión de registros en tiempo real
- **Configuración** - Navegar a la vista de Configuración para ajustes del sistema

Información del Sistema

Muestra la configuración operativa actual:

Campo	Descripción
Modo VPN	Modo actual: <input type="radio"/> GTP o <input type="radio"/> SIMPLE
Puertos IKEv2	Puertos estándar: 500 (IKE), 4500 (NAT-T)
Estado Diameter	Si la señalización Diameter está habilitada
Pool de IP (IPv4)	CIDR del pool de IP configurado (solo modo VPN Simple)

Auto-Actualización

El tablero se actualiza automáticamente cada segundo para mostrar estadísticas actuales.

Vista de Sesiones

La vista de Sesiones muestra todas las sesiones UE activas con información detallada para cada suscriptor.

OmniEPDG v0.1.0 Licensed to Omnitouch
© 2020 Omnitouch

Dashboard

Sessions **UE Sessions** 1 Session 1 Active : 8.53 KB / : 12.17 KB

Diameter

Logs

Docs


Resources

Configuration

License

IMSI	UE IP	SOURCE	APN	STATUS	DURATION	TRAFFIC
[REDACTED]	100.64.34.84	10.7.7.50:14500	*	Active	4m 50s	: 8.53 KB / : 12.17 KB

SESSION	NETWORK & TIMING	TRAFFIC
IMSI	DNS	10.4.10.195, 10.4.10.196 Bytes In (UL)
NAI	3gppnetwork.org P-CSCF	10.4.12.165 Bytes Out (DL)
UE IP	100.64.34.84 Connected	2026-03-08 21:39:16 Packets In
Source	10.7.7.50:14500 Last Activity	2026-03-08 21:41:48 Packets Out
APN	* Duration	4m 50s
Child SA SPI	0x4E54838A	



La vista de Sesiones muestra conexiones UE activas con estadísticas de tráfico en tiempo real y duración de la sesión.

Lista de Sesiones

Cada fila de sesión muestra:

Columna	Descripción
IMSI	Identidad Internacional del Suscriptor Móvil del suscriptor
UE IP	Dirección IPv4/IPv6 asignada
FUENTE	IP y puerto externos del UE (dirección NAT)
APN	Nombre del Punto de Acceso para la conexión
ESTADO	Estado actual de la sesión (Activa/Inactiva)
DURACIÓN	Tiempo desde el establecimiento de la sesión
TRÁFICO	Bytes recibidos / enviados (UL/DL)

Indicadores de Estado

Las sesiones muestran el estado con insignias codificadas por colores:

Estado	Color	Descripción
Activa	Verde	Sesión completamente establecida y operativa
Conectando	Amarillo	Establecimiento de sesión en progreso
Inactiva	Rojo	Sesión terminada o fallida

Detalles de la Sesión

Haga clic en cualquier fila de sesión para expandir información detallada:

Vista de sesión expandida mostrando IMSI, NAI, configuración de red y estadísticas de tráfico.

Sección de Sesión

Campo	Descripción
IMSI	Valor completo de IMSI
NAI	Identificador de Acceso a la Red (formato 3GPP)
UE IP	Dirección IPv4/IPv6 asignada
Fuente	IP y puerto externos del UE (dirección NAT)
APN	Nombre del Punto de Acceso para la conexión PDN
Child SA SPI	Índice de Parámetro de Seguridad de SA Hijo IPsec

Sección de Red y Tiempos

Campo	Descripción
DNS	Servidores DNS proporcionados al UE
P-CSCF	Servidores Proxy-CSCF para señalización IMS
Conectado	Marca de tiempo cuando se estableció la sesión
Última Actividad	Marca de tiempo de la actividad de paquete más reciente
Duración	Tiempo desde el establecimiento de la sesión

Sección de Tráfico

Campo	Descripción
Bytes Entrantes (UL)	Total de bytes recibidos del UE (subida)
Bytes Salientes (DL)	Total de bytes enviados al UE (bajada)
Paquetes Entrantes	Total de paquetes recibidos del UE
Paquetes Salientes	Total de paquetes enviados al UE

Estado Vacío

Cuando no hay sesiones activas, la vista muestra:

- Mensaje "No hay sesiones activas"
- Indica si se deben intentar conexiones UE

Auto-Actualización

La lista de sesiones se actualiza automáticamente cada segundo.

Vista de Pares Diameter

La vista de Pares Diameter muestra el estado de todos los pares Diameter configurados (HSS para SWx, PGW para S6b).

Lista de Pares

Cada fila de par muestra:

Columna	Descripción
Par	Identidad Diameter (Origin-Host)
Dominio	Dominio Diameter (Origin-Realm)
Dirección IP	Dirección de transporte en formato <code>protocol://ip:port</code>
Estado	Estado de conexión

Indicadores de Estado

Estado	Color	Descripción
Conectado	Verde	Conexión de par Diameter establecida
Desconectado	Rojo	Par no conectado
Desconocido	Gris	El estado no puede ser determinado

Resumen de Conteo de Pares

El encabezado muestra conteos agregados:

- **X Conectados** - Número de pares con conexiones activas
- **Y Desconectados** - Número de pares sin conexiones

Detalles del Par

Haga clic en cualquier fila de par para expandir información detallada:

Campo	Descripción
Iniciación de Conexión	Quién inicia: <code>local</code> (nosotros conectamos al par) o <code>remoto</code> (el par se conecta a nosotros)
Transporte	Protocolo: <code>tcp</code> o <code>sctp</code>
Nombre del Producto	Nombre del producto publicitado del par desde CER/CEA
Aplicaciones Publicitadas	IDs de Aplicación Diameter soportadas por el par

Estado Vacío

Cuando no hay pares configurados, la vista muestra:

- "No hay Pares Diameter configurados" si Diameter está habilitado
- "Diameter está deshabilitado" con sugerencia de configuración si está deshabilitado

Auto-Actualización

La lista de pares se actualiza automáticamente cada segundo.

Vista de Registros

La vista de Registros proporciona transmisión en tiempo real de los registros del sistema con capacidades de filtrado y búsqueda.

Visualización de Registros

Los registros aparecen en un contenedor de desplazamiento con las entradas más recientes en la parte inferior. Cada entrada de registro muestra:

Elemento	Descripción
Marca de tiempo	Cuándo se generó la entrada de registro
Nivel	Nivel de severidad con codificación de color
Mensaje	Contenido del mensaje de registro

Niveles de Registro

Los registros están codificados por colores según la severidad:

Nivel	Color	Descripción
debug	Gris	Información diagnóstica detallada
info	Azul	Mensajes informativos generales
warning	Amarillo	Condiciones de advertencia
error	Rojo	Condiciones de error

Filtrado por Nivel

Filtrar registros por nivel de severidad mínimo usando el menú desplegable:

Filtro	Muestra
Todos los Niveles	debug, info, warning, error
Info+	info, warning, error
Warning+	warning, error
Error Solo	error

Búsqueda

El cuadro de búsqueda filtra registros en tiempo real:

- Ingrese cualquier texto para filtrar mensajes de registro
- La coincidencia no distingue entre mayúsculas y minúsculas
- Se borra cuando se vacía el cuadro de búsqueda

Controles

Control	Descripción
Pausar/Reanudar	Alternar transmisión de registros encendido/apagado
Limpiar	Eliminar todos los registros mostrados
Desplazamiento automático	Alternar desplazamiento automático a las entradas más nuevas

Búfer de Registros

- Se retienen un máximo de 1000 entradas de registro
- Las entradas más antiguas se eliminan cuando se alcanza el límite
- Limpiar registros elimina todas las entradas de la visualización

Estado Vacío

Cuando no hay registros que coincidan con los filtros actuales:

- Mensaje "No hay registros para mostrar"
- Verifique la configuración de filtros si se esperan registros

Auto-Actualización

Nuevos registros aparecen automáticamente a medida que se generan (cuando no están en pausa).

Vista de Documentos

La vista de Documentos proporciona un navegador de documentación integrada, permitiendo a los operadores acceder a toda la documentación de OmniEPDG directamente desde el panel de control.

Selección de Documentos

Seleccione entre los archivos de documentación disponibles usando la barra de botones:

Documento	Descripción
OPERATIONS.md	Guía de operaciones con inicio rápido y procedimientos
README.md	Resumen del proyecto e instrucciones de configuración
architecture.md	Arquitectura del sistema y flujos de llamadas
configuration.md	Referencia completa de configuración
control-panel.md	Esta guía del panel de control
metrics.md	Referencia de métricas de Prometheus
troubleshooting.md	Problemas comunes y pasos de resolución

Renderización de Markdown

La documentación se renderiza con soporte completo para Markdown, incluyendo:

- Encabezados y formato de texto
- Bloques de código con resaltado de sintaxis
- Tablas
- Enlaces (internos y externos)
- Listas y citas

Vista de Recursos

La vista de Recursos muestra estadísticas de BEAM VM y aplicaciones OTP en ejecución.

Métricas del Sistema

Métrica	Descripción
Uso de Memoria	Memoria total utilizada por BEAM VM
Procesos BEAM	Número de procesos Erlang/Elixir en ejecución
Tiempo de Actividad	Tiempo desde que se inició la aplicación

Aplicaciones en Ejecución

Lista todas las aplicaciones OTP cargadas agrupadas por categoría:

Categoría	Descripción
Principal	La aplicación OmniEPDG
Sistema	Aplicaciones centrales de Erlang/OTP y Elixir

Haga clic en una aplicación para ver sus detalles, incluyendo versión, descripción y dependencias.

Vista de Configuración

La vista de Configuración muestra la configuración en tiempo de ejecución y las aplicaciones cargadas.

Información del Entorno

Campo	Descripción
Entorno	Entorno Mix actual (Desarrollo/Producción)
Versión de Elixir	Versión de Elixir en ejecución

Lista de Aplicaciones

Muestra todas las aplicaciones OTP cargadas con sus versiones. Seleccione una aplicación para ver:

- Descripción de la aplicación
- Información de versión
- Dependencias
- Parámetros de configuración

Configuración del Panel de Control

Puerto HTTP

Configure el puerto del panel de control en `config/runtime.exs`:

```
config :omniepdg, OmniEpdg.Web.Endpoint,  
  http: [port: 4000]
```

Parámetro	Tipo	Predeterminado	Descripción
<code>port</code>	Entero	4000	Puerto HTTP para el panel de control

Deshabilitar el Panel de Control

El panel de control se puede deshabilitar al no iniciar el punto final web en producción si no es necesario. Comuníquese con su integrador de sistemas para obtener configuración específica de implementación.

Referencia de Métricas de OmniEPDG

OmniEPDG expone métricas de Prometheus para monitorear flujos de autenticación, ciclo de vida de sesiones, señalización de Diameter y salud del sistema. Las métricas se sirven a través de HTTP para la recolección por parte de Prometheus.

Tabla de Contenidos

- [Endpoint de Métricas](#)
- [Configuración](#)
- [Categorías de Métricas](#)
 - [Métricas de Sesión IKEv2](#)
 - [Métricas de Autenticación EAP](#)
 - [Métricas de Seguridad de Autenticación](#)
 - [Métricas de Diameter SWx](#)
 - [Métricas de Diameter S6b](#)
 - [Métricas de Ciclo de Vida de Sesiones](#)
 - [Métricas de Plano de Datos ESP](#)
 - [Métricas de Pool de IP](#)
 - [Métricas de VM](#)
- [Integración con Prometheus](#)
- [Consultas de Ejemplo](#)
- [Reglas de Alerta](#)

Endpoint de Métricas

OmniEPDG expone métricas en:

```
http://<host>:9568/metrics
```

El endpoint devuelve métricas en formato de exposición de Prometheus, compatible con Prometheus, Grafana y otras herramientas de monitoreo.

Configuración

Configura el endpoint de métricas en `config/runtime.exs`:

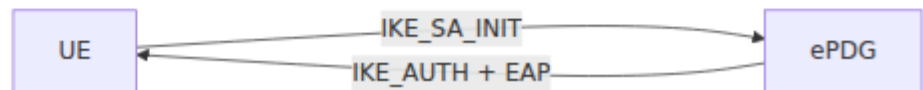
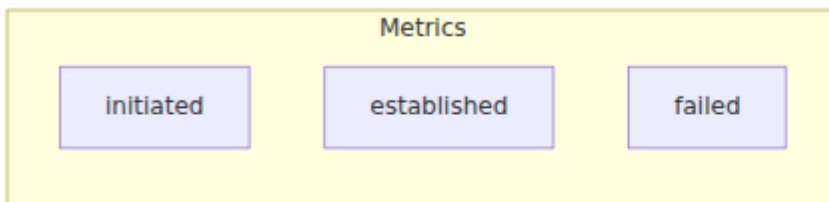
```
config :omniepdg,  
  prometheus: %{  
    port: 9568  
  }
```

Parámetro	Tipo	Predeterminado	Var. de Entorno	Descripción
<code>port</code>	Entero	<code>9568</code>	<code>PROMETHEUS_PORT</code>	Puerto HTTP para el endpoint <code>/metrics</code>

Categorías de Métricas

Métricas de Sesión IKEv2

Métricas que rastrean el establecimiento de túneles IKEv2 en la interfaz SWu.



Métrica: `epdg_ikev2_session_initiated_count`

Tipo: Contador

Descripción: Total de intercambios IKE_SA_INIT iniciados. Se incrementa cuando un UE inicia el establecimiento del túnel.

Métrica: `epdg_ikev2_session_established_count`

Tipo: Contador

Descripción: Total de IKE SAs establecidos con éxito. Se incrementa después de una autenticación EAP-AKA exitosa y la creación de Child SA.

Métrica: `epdg_ikev2_session_failed_count`

Tipo: Contador

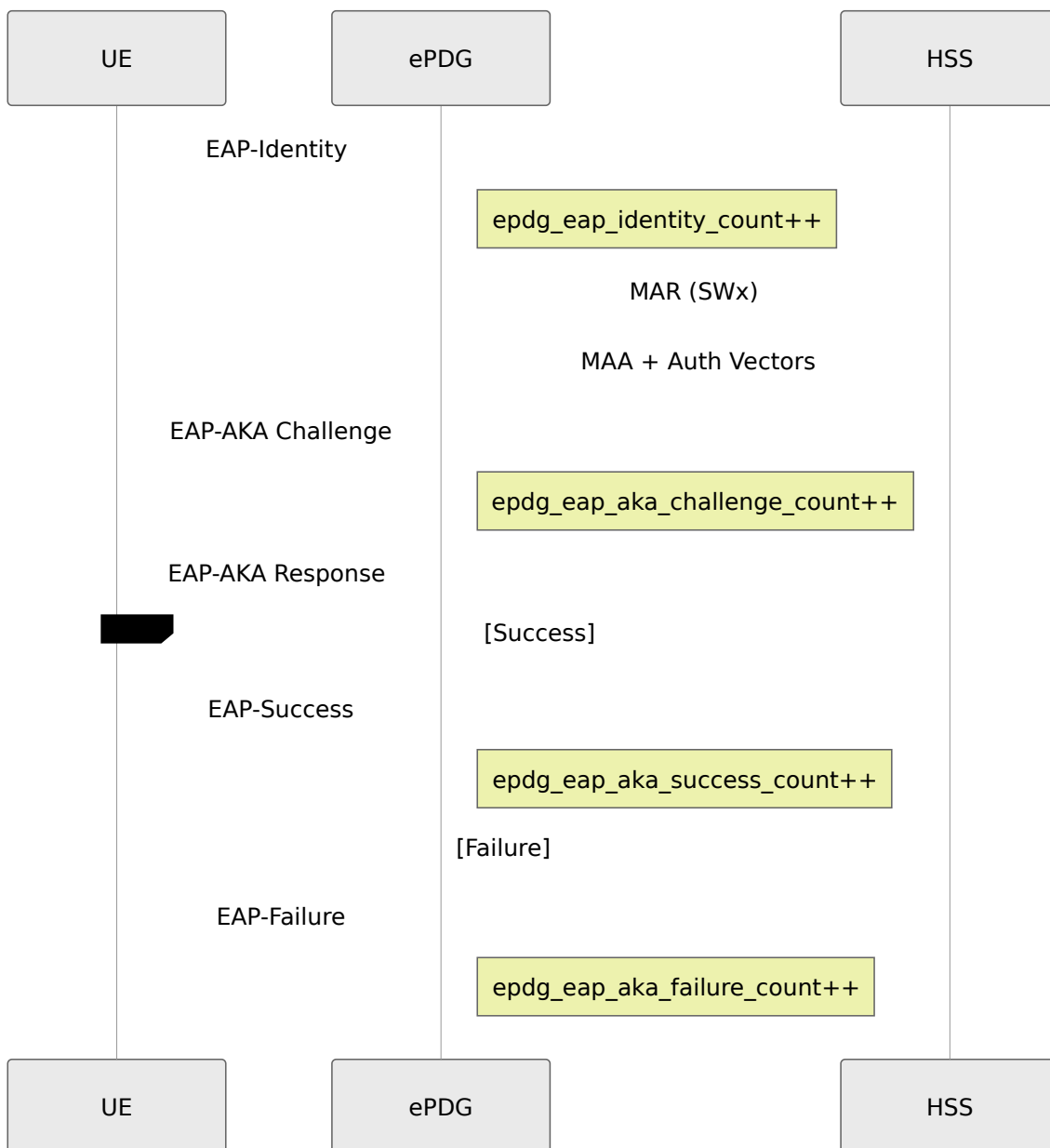
Descripción: Total de fallos en el establecimiento de IKE SA

Etiquetas:

- `reason` - Razón de la falla (por ejemplo, `auth_failed`, `timeout`, `invalid_proposal`)

Métricas de Autenticación EAP

Métricas que rastrean los flujos de autenticación EAP-AKA según [RFC 4187](#). OmniEPDG también soporta EAP-AKA' según [RFC 5448](#), con el tipo de autenticación seleccionado automáticamente en función del prefijo de identidad NAI del UE.



Métrica: `epdg_eap_identity_count`

Tipo: Contador

Descripción: Total de solicitudes EAP-Identity recibidas de los UEs

Métrica: `epdg_eap_aka_challenge_count`

Tipo: Contador

Descripción: Total de desafíos EAP-AKA enviados a los UEs

Métrica: `epdg_eap_aka_success_count`

Tipo: Contador

Descripción: Total de autenticaciones EAP-AKA exitosas

Métrica: `epdg_eap_aka_failure_count`

Tipo: Contador

Descripción: Total de autenticaciones EAP-AKA fallidas

Etiquetas:

- `reason` - Razón de la falla (por ejemplo, `res_mismatch`, `invalid_identity`, `authentication_rejected`)
-

Métrica: `epdg_eap_aka_sync_failure_count`

Tipo: Contador

Descripción: Total de fallos de sincronización del número de secuencia (SQN) EAP-AKA. Indica un desajuste en el número de secuencia USIM/HSS que requiere resincronización.

Métricas de Seguridad de Autenticación

Métricas para la capa de seguridad de autenticación. Consulta la [Guía de Seguridad](#) para detalles de configuración.

Métrica: `epdg_auth_verification_failed_count`

Tipo: Contador

Descripción: Total de fallos en la verificación de la carga útil AUTH. Indica posibles ataques de hombre en el medio o errores de implementación.

Métrica: `epdg_auth_rate_limited_count`

Tipo: Contador

Descripción: Total de intentos de autenticación bloqueados por limitación de tasa

Etiquetas:

- `type` - Razón del bloqueo: `ip` (límite por IP excedido) o `imsi` (límite por IMSI excedido)

Consultas de ejemplo:

```
# Intentos limitados por tasa por minuto
rate(epdg_auth_rate_limited_count[1m])

# Limitados por tipo
sum by (type) (rate(epdg_auth_rate_limited_count[5m]))
```

Métrica: `epdg_auth_geoip_blocked_count`

Tipo: Contador

Descripción: Total de intentos de autenticación bloqueados por filtrado de país GeoIP

Etiquetas:

- `country` - Código de país ISO 3166-1 alpha-2 (por ejemplo, `CN`, `RU`), o `UNKNOWN` para IPs que no pudieron ser geolocalizadas

Consultas de ejemplo:

```
# Bloqueos GeoIP por minuto
rate(epdg_auth_geoip_blocked_count[1m])

# Principales países bloqueados
topk(10, sum by (country) (epdg_auth_geoip_blocked_count))
```

Métrica: `epdg_esp_replay_detected_count`

Tipo: Contador

Descripción: Total de paquetes ESP rechazados debido a la detección de repetición (según RFC 4303). Indica posibles ataques de repetición o problemas de red que causan reordenamiento de paquetes.

Métricas de Diameter SWx

Métricas para la interfaz SWx entre ePDG y HSS según [3GPP TS 29.273](#).

Métrica: `epdg_diameter_swx_mar_count`

Tipo: Contador

Descripción: Total de Multimedia-Auth-Requests enviados al HSS para la recuperación de vectores de autenticación

Etiquetas:

- `result` - Resultado de la solicitud: `success` o `failure`
-

Métrica: `epdg_diameter_swx_sar_count`

Tipo: Contador

Descripción: Total de Server-Assignment-Requests enviados al HSS para registro/deregistro

Etiquetas:

- `result` - Resultado de la solicitud: `success` o `failure`
-

Métrica: `epdg_diameter_swx_mar_latency_ms`

Tipo: Histograma

Descripción: Tiempo de respuesta MAR en milisegundos

Buckets: 50, 100, 250, 500, 1000, 2500 ms

Métrica: `epdg_diameter_swx_sar_latency_ms`

Tipo: Histograma

Descripción: Tiempo de respuesta SAR en milisegundos

Buckets: 50, 100, 250, 500, 1000, 2500 ms

Métrica: `epdg_diameter_swx_pending_count`

Tipo: Gauge

Descripción: Número actual de solicitudes SWx pendientes a la espera de respuesta. Valores altos indican congestión en el HSS o problemas de conectividad.

Métricas de Diameter S6b

Métricas para la interfaz S6b entre el servidor AAA y el PGW según [3GPP TS 29.273](#). Solo aplicable en modo GTP.

Métrica: `epdg_diameter_s6b_aar_count`

Tipo: Contador

Descripción: Total de AA-Requests manejados para autorización de sesión

Etiquetas:

- `result` - Resultado de la solicitud: `success` o `failure`
-

Métrica: `epdg_diameter_s6b_str_count`

Tipo: Contador

Descripción: Total de Session-Termination-Requests procesados

Métrica: `epdg_diameter_s6b_active_sessions_count`

Tipo: Gauge

Descripción: Número actual de sesiones S6b activas

Métricas de Ciclo de Vida de Sesiones

Métricas que rastrean la creación y terminación de sesiones PDN.

Métrica: `epdg_session_created_count`

Tipo: Contador

Descripción: Total de sesiones creadas

Etiquetas:

- `vpn_mode` - Modo VPN: `simple` o `gtp`
-

Métrica: `epdg_session_terminated_count`

Tipo: Contador

Descripción: Total de sesiones terminadas

Etiquetas:

- `reason` - Razón de la terminación: `user_request`, `timeout`, `error`, `admin`
-

Métrica: `epdg_sessions_active_count`

Tipo: Gauge

Descripción: Número actual de sesiones activas. Se consulta cada 5 segundos.

Métrica: `epdg_sessions_by_state_count`

Tipo: Gauge

Descripción: Sesiones agrupadas por estado de FSM

Etiquetas:

- `state` - Estado de la sesión (por ejemplo, `init`, `eap_identity`, `eap_aka_challenge`, `authenticated`, `established`)
-

Métrica: `epdg_auth_duration_ms`

Tipo: Histograma

Descripción: Duración del flujo de autenticación completo desde IKE_SA_INIT hasta la sesión establecida

Buckets: 100, 250, 500, 1000, 2500, 5000, 10000 ms

Métrica: `epdg_session_duration_seconds`

Tipo: Histograma

Descripción: Tiempo de vida de la sesión desde el establecimiento hasta la terminación

Buckets: 60, 300, 900, 1800, 3600, 7200, 14400 segundos (1 min a 4 horas)

Métricas de Plano de Datos ESP

Métricas para el procesamiento de paquetes ESP según [RFC 4303](#).

Métrica: `epdg_esp_packets_in_count`

Tipo: Contador

Descripción: Total de paquetes ESP descifrados con éxito (dirección UE → red)

Métrica: `epdg_esp_packets_out_count`

Tipo: Contador

Descripción: Total de paquetes ESP cifrados (dirección red → UE)

Métrica: `epdg_esp_bytes_in_total`

Tipo: Gauge

Descripción: Total de bytes descifrados de paquetes ESP

Métrica: `epdg_esp_bytes_out_total`

Tipo: Gauge

Descripción: Total de bytes cifrados en paquetes ESP

Métricas de Pool de IP

Métricas para la gestión de direcciones IP en modo VPN Simple.

Métrica: `epdg_ip_allocated_count`

Tipo: Contador

Descripción: Total de direcciones IP asignadas

Etiquetas:

- `type` - Tipo de dirección: `ipv4` o `ipv6`
-

Métrica: `epdg_ip_released_count`

Tipo: Contador

Descripción: Total de direcciones IP liberadas

Etiquetas:

- `type` - Tipo de dirección: `ipv4` o `ipv6`
-

Métrica: `epdg_ip_pool_allocated_count`

Tipo: Gauge

Descripción: Número actual de direcciones IP asignadas

Métrica: `epdg_ip_pool_available_count`

Tipo: Gauge

Descripción: Número actual de direcciones IP disponibles en el pool

Métrica: `epdg_ip_pool_utilization_ratio`

Tipo: Gauge

Descripción: Utilización del pool de IP como una proporción de 0.0 a 1.0. Valores cercanos a 1.0 indican riesgo de agotamiento del pool.

Métricas de VM

Métricas de la máquina virtual Erlang/BEAM para el monitoreo de la salud del sistema.

Métrica: `vm_memory_total`

Tipo: Gauge

Unidad: Bytes

Descripción: Total de memoria asignada por la VM

Métrica: `vm_memory_processes`

Tipo: Gauge

Unidad: Bytes

Descripción: Memoria utilizada por procesos Erlang

Métrica: `vm_memory_binary`

Tipo: Gauge

Unidad: Bytes

Descripción: Memoria utilizada para binarios (incluidos los búferes de paquetes)

Métrica: `vm_memory_ets`

Tipo: Gauge

Unidad: Bytes

Descripción: Memoria utilizada por tablas ETS (estado de sesión, registros)

Métrica: `vm_system_info_process_count`

Tipo: Gauge

Descripción: Número de procesos Erlang en ejecución

Métrica: `vm_system_info_port_count`

Tipo: Gauge

Descripción: Número de puertos abiertos (sockets, manejadores de archivos)

Métrica: `vm_statistics_run_queue`

Tipo: Gauge

Descripción: Longitud total de las colas de ejecución del programador. Valores altos indican saturación de CPU.

Integración con Prometheus

Configuración de Recolección

Agrega OmniEPDG a tu `prometheus.yml` de Prometheus:

```
scrape_configs:
  - job_name: 'omniepdg'
    scrape_interval: 15s
    static_configs:
      - targets: ['epdg-host:9568']
        labels:
          instance: 'epdg-01'
          environment: 'production'
```

Descubrimiento de Servicios

Para implementaciones en Kubernetes, utiliza el descubrimiento de servicios:

```
scrape_configs:
  - job_name: 'omniepdg'
    kubernetes_sd_configs:
      - role: pod
    relabel_configs:
      - source_labels: [__meta_kubernetes_pod_label_app]
        action: keep
        regex: omniepdg
      - source_labels:
          [__meta_kubernetes_pod_annotation_prometheus_io_port]
        action: replace
        target_label: __address__
        regex: (.+)
        replacement: ${1}:9568
```

Consultas de Ejemplo

Tasa de Éxito de Autenticación

```
# Tasa de éxito durante 5 minutos
sum(rate(epdg_eap_aka_success_count[5m]))
/
(sum(rate(epdg_eap_aka_success_count[5m])) +
sum(rate(epdg_eap_aka_failure_count[5m])))
```

Tasa de Establecimiento de Sesiones

```
# Sesiones establecidas por segundo
rate(epdg_ikev2_session_established_count[5m])
```

Latencia de Autenticación (p95)

```
histogram_quantile(0.95,
sum(rate(epdg_auth_duration_ms_bucket[5m]))) by (le))
```

Latencia de HSS (p99)

```
histogram_quantile(0.99,  
sum(rate(epdg_diameter_swx_mar_latency_ms_bucket[5m])) by (le))
```

Sesiones Activas

```
epdg_sessions_active_count
```

Utilización del Pool de IP

```
epdg_ip_pool_utilization_ratio * 100
```

Rendimiento de ESP

```
# Bytes por segundo (entrante)  
rate(epdg_esp_bytes_in_total[5m])  
  
# Paquetes por segundo (ambas direcciones)  
rate(epdg_esp_packets_in_count[5m]) +  
rate(epdg_esp_packets_out_count[5m])
```

Desglose de Fallos por Razón

```
# Fallos EAP por razón  
sum by (reason) (rate(epdg_eap_aka_failure_count[5m]))  
  
# Terminaciones de sesión por razón  
sum by (reason) (rate(epdg_session_terminated_count[5m]))
```

Reglas de Alerta

Ejemplo de reglas de alerta de Prometheus para OmniEPDG:

```
groups:
- name: omniepdg
  rules:
    # Alta tasa de fallos de autenticación
    - alert: OmniEPDGHIGHAuthFailureRate
      expr: |
        sum(rate(epdg_eap_aka_failure_count[5m]))
        /
        (sum(rate(epdg_eap_aka_success_count[5m])) +
        sum(rate(epdg_eap_aka_failure_count[5m])))
        > 0.1
      for: 5m
      labels:
        severity: warning
      annotations:
        summary: "Alta tasa de fallos de autenticación EAP-AKA"
        description: "La tasa de fallos de autenticación es {{
        $value | humanizePercentage }} durante los últimos 5 minutos"

    # Pool de IP cerca del agotamiento
    - alert: OmniEPDGIPPoolLow
      expr: epdg_ip_pool_utilization_ratio > 0.9
      for: 5m
      labels:
        severity: warning
      annotations:
        summary: "Utilización del pool de IP por encima del 90%"
        description: "El pool de IP está {{ $value |
        humanizePercentage }} utilizado"

    # Pool de IP agotado
    - alert: OmniEPDGIPPoolExhausted
      expr: epdg_ip_pool_available_count == 0
      for: 1m
      labels:
        severity: critical
      annotations:
        summary: "Pool de IP agotado"
        description: "No hay direcciones IP disponibles para
        nuevas sesiones"

    # Latencia alta de HSS
    - alert: OmniEPDGHSSLatencyHigh
```

```
    expr: |
      histogram_quantile(0.95,
sum(rate(epdg_diameter_swx_mar_latency_ms_bucket[5m])) by (le))
      > 1000
    for: 5m
    labels:
      severity: warning
    annotations:
      summary: "Alta latencia de HSS (SWx)"
      description: "La latencia del percentil 95 de MAR es {{
$value }}ms"

# Acumulación de solicitudes SWx pendientes
- alert: OmniEPDGSWxBacklog
  expr: epdg_diameter_swx_pending_count > 100
  for: 2m
  labels:
    severity: warning
  annotations:
    summary: "Acumulación de solicitudes SWx en aumento"
    description: "{{ $value }} solicitudes SWx pendientes"

# Alta memoria de VM
- alert: OmniEPDGMemoryHigh
  expr: vm_memory_total > 2147483648
  for: 10m
  labels:
    severity: warning
  annotations:
    summary: "Uso de memoria de OmniEPDG alto"
    description: "El uso de memoria de la VM es {{ $value |
humanize1024 }}"

# Sobrecarga del programador
- alert: OmniEPDGSchedulerOverload
  expr: vm_statistics_run_queue > 10
  for: 5m
  labels:
    severity: warning
  annotations:
    summary: "Cola de ejecución del programador Erlang alta"
    description: "La longitud de la cola de ejecución es {{
$value }}, indicando saturación de CPU"
```

```
# Sin sesiones (posible problema de servicio)
- alert: OmniEPDGNoSessions
  expr: epdg_sessions_active_count == 0 and
epdg_ikev2_session_initiated_count > 0
  for: 10m
  labels:
    severity: warning
  annotations:
    summary: "Sin sesiones activas a pesar de los intentos
de conexión"
    description: "Se están iniciando sesiones pero ninguna
está activa"

# Alta actividad de limitación de tasa (posible ataque)
- alert: OmniEPDGHIGHRateLimiting
  expr: rate(epdg_auth_rate_limited_count[5m]) > 10
  for: 5m
  labels:
    severity: warning
  annotations:
    summary: "Alta tasa de intentos de autenticación
bloqueados"
    description: "{{ $value | printf \"%.1f\" }} intentos de
autenticación bloqueados por segundo"

# Aumento en el bloqueo de GeoIP (posible ataque desde una
región específica)
- alert: OmniEPDGGeoIPBlockingSpike
  expr: |
    rate(epdg_auth_geoip_blocked_count[5m]) > 5
  for: 5m
  labels:
    severity: warning
  annotations:
    summary: "Actividad de bloqueo GeoIP elevada"
    description: "{{ $value | printf \"%.1f\" }} conexiones
bloqueadas por segundo por GeoIP"

# Ataques de repetición de ESP detectados
- alert: OmniEPDGReplayAttack
  expr: rate(epdg_esp_replay_detected_count[5m]) > 0
  for: 2m
  labels:
    severity: warning
```

```
annotations:
  summary: "Ataques de repetición de ESP detectados"
  description: "{{ $value | printf \"%.1f\" }}" intentos de
repetición por segundo"

# Fallos en la verificación de AUTH (posible MITM)
- alert: OmniEPDGAUTHVerificationFailures
  expr: rate(epdg_auth_verification_failed_count[5m]) > 0
  for: 2m
  labels:
    severity: critical
  annotations:
    summary: "Fallos en la verificación de la carga útil
AUTH detectados"
    description: "Posible ataque de hombre en el medio o
error de implementación"
```

Requisitos de Red

Este documento cubre los puertos del firewall y las entradas DNS requeridas para desplegar OmniEPDG para llamadas WiFi.

Puertos del Firewall

Puertos de Internet (UE ↔ ePDG)

Estos puertos deben estar abiertos a Internet para que los dispositivos móviles establezcan conexiones de llamadas WiFi.

Puerto	Protocolo	Dirección	Propósito
500	UDP	Entrante	Intercambio inicial IKEv2 (IKE_SA_INIT, IKE_AUTH)
4500	UDP	Entrante	NAT-Traversal IKEv2 y encapsulación ESP-en-UDP

Puerto 500/UDP maneja la negociación inicial de IKEv2. Si se detecta NAT entre el UE y el ePDG (lo cual es casi siempre el caso para llamadas WiFi), la conexión se migra automáticamente al puerto 4500.

Puerto 4500/UDP transporta tanto la señalización IKEv2 como los datos de usuario cifrados por ESP cuando NAT-T está activo. Este es el camino de datos principal para todo el tráfico de llamadas WiFi.

Puertos de Red Interna (ePDG ↔ Núcleo)

Estos puertos se utilizan para la comunicación entre OmniEPDG y la red central móvil. Deben ser accesibles desde el ePDG pero no expuestos a Internet.

Puerto	Protocolo	Dirección	Propósito	Par
3868	TCP	Bidireccional	Diameter SWx (autenticación)	HSS / DRA
3868	TCP	Bidireccional	Diameter S6b (autorización de sesión)	PGW / AAA
2123	UDP	Bidireccional	Plano de control GTPv2-C (S2b)	PGW
2152	UDP	Bidireccional	Plano de usuario GTP-U (S2b-U)	PGW

Puertos de Gestión

Estos puertos son para monitoreo operativo y deben estar restringidos a redes de gestión.

Puerto	Protocolo	Propósito
4000	TCP	Interfaz web del panel de control (HTTP)
443	TCP	Interfaz web del panel de control (HTTPS, producción)
9568	TCP	Punto final de métricas de Prometheus

Requisitos DNS

Registro DNS de Descubrimiento de ePDG

Los dispositivos móviles descubren el ePDG utilizando una convención de nomenclatura DNS estandarizada definida en 3GPP TS 23.003. El formato FQDN

es:

```
epdg.epc.mnc<MNC>.mcc<MCC>.pub.3gppnetwork.org
```

Donde:

- `<MCC>` es el código de país móvil de 3 dígitos (por ejemplo, `505` para Australia)
- `<MNC>` es el código de red móvil de 2 o 3 dígitos, con ceros a la izquierda hasta 3 dígitos (por ejemplo, `001`)

El registro DNS debe ser un **registro A** (o AAAA para IPv6) que apunte a la dirección IP pública de OmniEPDG.

```
epdg.epc.mnc999.mcc999.pub.3gppnetwork.org. IN A 203.0.113.10
```

Nombre Común del Certificado

El certificado TLS del ePDG debe tener un Nombre Alternativo del Sujeto (SAN) que coincida con el FQDN del ePDG al que se conectarán los dispositivos. Esto es validado por el UE durante la autenticación IKEv2.

Requisitos del certificado:

- El SAN debe incluir el FQDN de descubrimiento del ePDG (por ejemplo, `epdg.epc.mnc001.mcc001.pub.3gppnetwork.org`)
- El certificado debe estar firmado por una CA de confianza (los dispositivos validan la cadena)
- Mínimo RSA de 2048 bits o ECDSA P-256

Dominio DNS de Diameter

Para un enrutamiento adecuado de Diameter, el dominio debe resolverse a través de registros DNS NAPTR/SRV según RFC 6408. El formato del dominio es:

epc.mnc<MNC>.mcc<MCC>.3gppnetwork.org

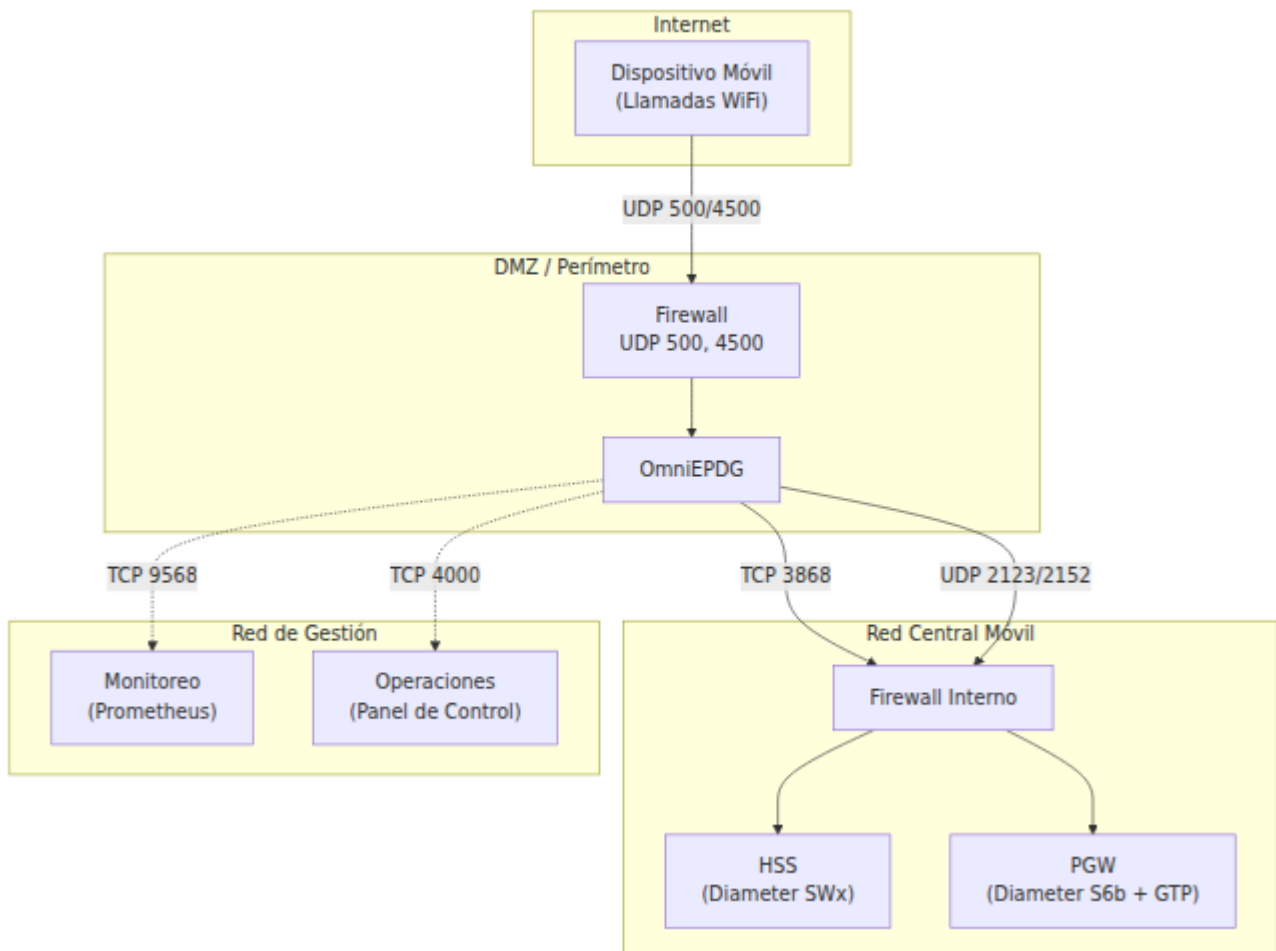
Ejemplo:

epc.mnc001.mcc001.3gppnetwork.org

Este dominio se utiliza en:

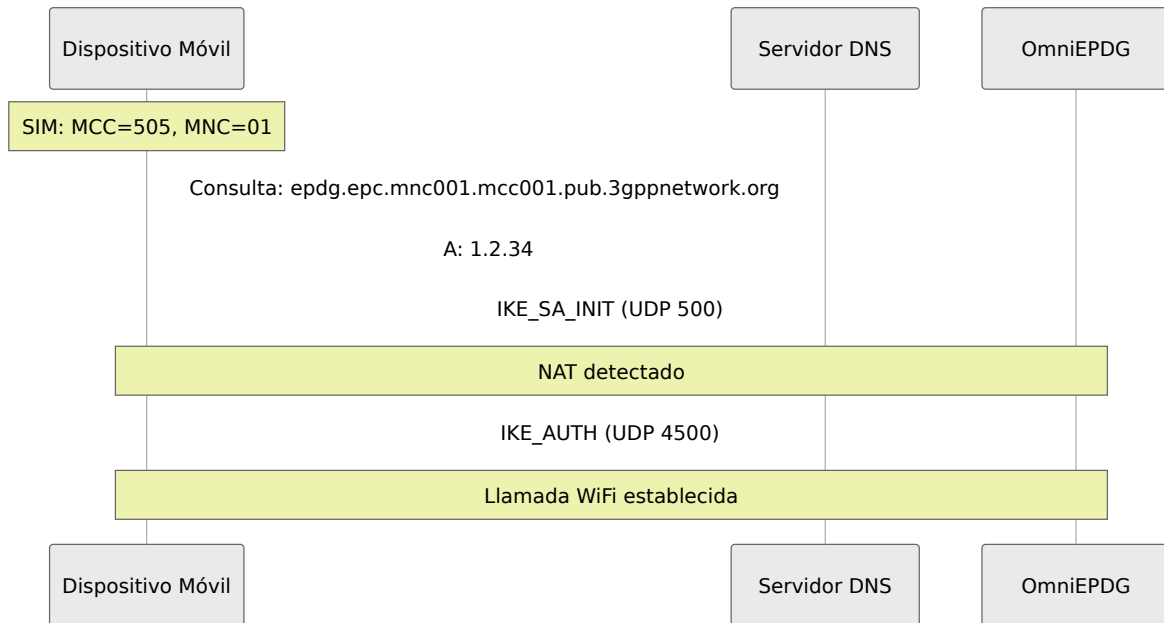
- NAI (Identificador de Acceso a la Red) enviado por el UE durante la autenticación
- AVPs de Diameter Origin-Realm y Destination-Realm
- Decisiones de enrutamiento de Diameter

Topología de Red



Flujo de Búsqueda DNS

Cuando un dispositivo móvil inicia una llamada WiFi, se produce la siguiente resolución DNS:



Lista de Verificación

Requisitos de Internet

- UDP 500 abierto entrante a OmniEPDG
- UDP 4500 abierto entrante a OmniEPDG
- Registro DNS A: `epdg.epc.mnc<MNC>.mcc<MCC>.pub.3gppnetwork.org`
→ IP pública de ePDG
- Certificado TLS con SAN coincidente instalado

Requisitos de la Red Central

- TCP 3868 abierto entre OmniEPDG y HSS/DRA
- TCP 3868 abierto entre OmniEPDG y PGW/AAA (solo modo GTP)
- UDP 2123 abierto entre OmniEPDG y PGW (solo modo GTP)
- UDP 2152 abierto entre OmniEPDG y PGW (solo modo GTP)

Requisitos de Gestión

- TCP 4000/443 accesible desde la red de operaciones
- TCP 9568 accesible desde la infraestructura de monitoreo

Referencias

- [3GPP TS 23.003](#) - Numeración, direccionamiento e identificación (formato FQDN de ePDG)
- [3GPP TS 23.402](#) - Mejoras de arquitectura para accesos no 3GPP
- [RFC 7296](#) - Protocolo IKEv2
- [RFC 3948](#) - Encapsulación UDP de paquetes ESP de IPsec (NAT-T)
- [RFC 6733](#) - Protocolo Base de Diameter

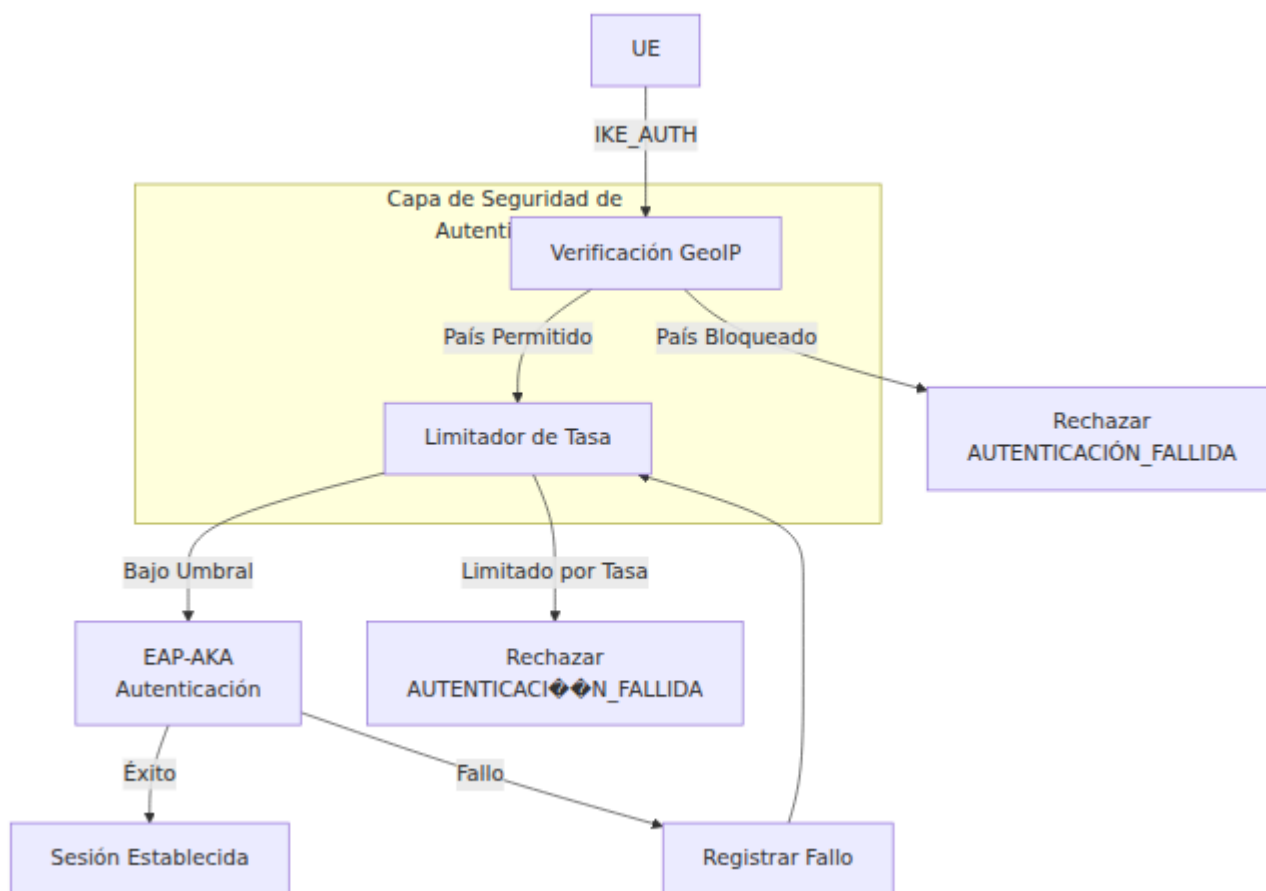
Seguridad de Autenticación de OmniEPDG

OmniEPDG implementa múltiples capas de seguridad de autenticación para proteger contra ataques de fuerza bruta, relleno de credenciales y acceso no autorizado desde regiones restringidas.

Tabla de Contenidos

- [Descripción General](#)
- [Limitación de Tasa de Autenticación](#)
- [Bloqueo de Países GeoIP](#)
- [Flujo de Seguridad](#)
- [Métricas](#)
- [Solución de Problemas](#)

Descripción General



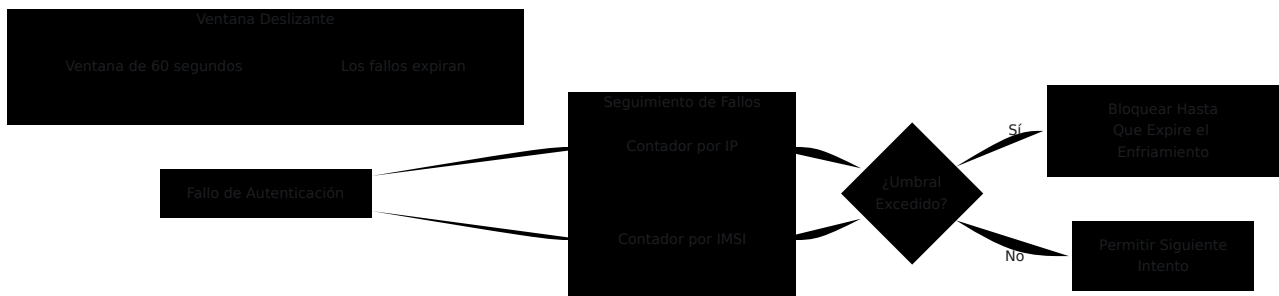
OmniEPDG realiza verificaciones de seguridad al inicio del intercambio IKE_AUTH, antes de operaciones criptográficas costosas:

1. **Verificación GeolIP** (opcional) - Verifica que la IP de origen sea de un país permitido
2. **Verificación de Límite de Tasa** - Asegura que la IP/IMSI no haya excedido los umbrales de fallo
3. **Autenticación EAP-AKA** - La autenticación estándar 3GPP procede si las verificaciones son satisfactorias

Limitación de Tasa de Autenticación

La limitación de tasa protege contra ataques de fuerza bruta al rastrear intentos de autenticación fallidos por IP de origen y por IMSI. Cuando se superan los umbrales, se bloquean temporalmente los intentos adicionales.

Cómo Funciona



El limitador de tasa utiliza un **algoritmo de ventana deslizante**:

- Cada intento fallido se registra con una marca de tiempo
- Los intentos más antiguos que la ventana configurada se expiran automáticamente
- Cuando los fallos en la ventana superan el umbral, se bloquea la fuente
- Los bloqueos expiran después del período de enfriamiento configurado

Seguimiento Dual

Se aplican simultáneamente dos límites independientes:

Tipo de Seguimiento	Propósito	Umbral Predeterminado	Bloqueo Predeterminado
Por IP	Captura escáneres de puertos y ataques distribuidos de fuentes únicas	10 fallos / minuto	5 minutos
Por IMSI	Captura ataques dirigidos a suscriptores específicos	5 fallos / minuto	10 minutos

Ambas verificaciones deben pasar para que un intento de autenticación proceda. Si se supera cualquiera de los umbrales, el intento es rechazado.

Configuración

```
config :omniepdg,  
  # Limitación de tasa por IP  
  auth_rate_limit_per_ip: 10,          # Máx. fallos antes de  
bloquear  
  auth_rate_limit_ip_window_ms: 60_000, # Tamaño de ventana (1  
minuto)  
  auth_rate_limit_ip_block_ms: 300_000, # Duración de bloqueo (5  
minutos)  
  
  # Limitación de tasa por IMSI  
  auth_rate_limit_per_imsi: 5,        # Máx. fallos antes de  
bloquear  
  auth_rate_limit_imsi_window_ms: 60_000, # Tamaño de ventana (1  
minuto)  
  auth_rate_limit_imsi_block_ms: 600_000 # Duración de bloqueo  
(10 minutos)
```

Parámetros por IP

Parámetro	Tipo	Requerido	Predeterminado
<code>auth_rate_limit_per_ip</code>	Entero	No	10
<code>auth_rate_limit_ip_window_ms</code>	Entero	No	60000
<code>auth_rate_limit_ip_block_ms</code>	Entero	No	300000

Parámetros por IMSI

Parámetro	Tipo	Requerido	Predeterminac
auth_rate_limit_per_imsi	Entero	No	5
auth_rate_limit_imsi_window_ms	Entero	No	60000
auth_rate_limit_imsi_block_ms	Entero	No	600000

Parámetro	Tipo	Requerido	Predeterminac

Comportamiento en Caso de Éxito

Cuando la autenticación tiene éxito, el limitador de tasa borra todo el historial de fallos para ese par IP/IMSI. Esto permite a los usuarios legítimos que experimentaron fallos transitorios (por ejemplo, problemas de red) recuperarse sin ser penalizados permanentemente.

Ejemplos de Configuración

Entorno de Alta Seguridad

Límites estrictos para entornos con baja tolerancia a intentos fallidos:

```
config :omniepdg,
  auth_rate_limit_per_ip: 5,
  auth_rate_limit_ip_window_ms: 120_000,    # Ventana de 2 minutos
  auth_rate_limit_ip_block_ms: 900_000,     # Bloqueo de 15 minutos

  auth_rate_limit_per_imsi: 3,
  auth_rate_limit_imsi_window_ms: 120_000,
  auth_rate_limit_imsi_block_ms: 1_800_000 # Bloqueo de 30
minutos
```

Cómo funciona: Solo se permiten 5 fallos por IP o 3 fallos por IMSI dentro de una ventana de 2 minutos. Los bloqueos duran de 15 a 30 minutos respectivamente.

Caso de uso: Implementaciones empresariales, bases de suscriptores de alto valor o redes bajo ataque activo.

Entorno Relajado

Límites más permisivos para desarrollo o pruebas:

```
config :omniepdg,  
  auth_rate_limit_per_ip: 50,  
  auth_rate_limit_ip_window_ms: 60_000,  
  auth_rate_limit_ip_block_ms: 60_000,      # Bloqueo de 1 minuto  
  
  auth_rate_limit_per_imsi: 20,  
  auth_rate_limit_imsi_window_ms: 60_000,  
  auth_rate_limit_imsi_block_ms: 120_000   # Bloqueo de 2 minutos
```

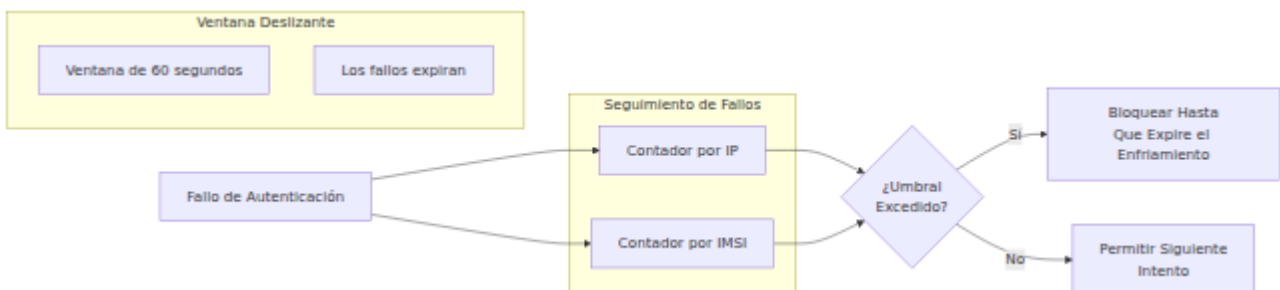
Cómo funciona: Umbrales más altos y bloqueos más cortos permiten mayor flexibilidad en las pruebas.

Caso de uso: Entornos de desarrollo, pruebas de integración.

Bloqueo de Países GeoIP

El bloqueo GeoIP restringe el acceso a llamadas WiFi según la ubicación geográfica de la dirección IP de conexión. Esto es útil para operadores que necesitan limitar el servicio a países específicos por razones regulatorias o comerciales.

Descripción General



Base de Datos MaxMind GeoLite2

Las verificaciones GeoIP utilizan la base de datos de País GeoLite2 de MaxMind, una base de datos de geolocalización IP gratuita con actualizaciones semanales.

Para habilitar el bloqueo GeoIP:

1. Regístrate para obtener una cuenta gratuita en [MaxMind GeoLite2 Signup](#)
2. Descarga el archivo de base de datos `GeoLite2-Country.mmdb`
3. Coloca el archivo en la ruta configurada (predeterminado: `/etc/omniepdg/GeoLite2-Country.mmdb`)
4. Habilita GeoIP en la configuración

Configuración

```
config :omniepdg,  
  # Habilitar bloqueo GeoIP  
  geoip_enabled: true,  
  
  # Ruta a la base de datos de MaxMind  
  geoip_database_path: "/etc/omniepdg/GeoLite2-Country.mmdb",  
  
  # Modo de control de acceso  
  geoip_mode: :whitelist,  
  
  # Lista de países (códigos ISO 3166-1 alpha-2)  
  geoip_countries: ["AU", "NZ"],  
  
  # Manejar IPs desconocidas  
  geoip_allow_unknown: false,  
  
  # Comportamiento cuando la base de datos no está disponible  
  geoip_fail_open: true
```

Parámetros

Parámetro	Tipo	Requerido	Predeterminado
<code>geoup_enabled</code>	Booleano	No	<code>false</code>
<code>geoup_database_path</code>	Cadena	No	<code>"/etc/omniepdg/GeoLite2Country.mmdb"</code>
<code>geoup_mode</code>	Átomo	No	<code>:whitelist</code>
<code>geoup_countries</code>	Lista	No	<code>[]</code>

Parámetro	Tipo	Requerido	Predeterminado
<code>geoup_allow_unknown</code>	Booleano	No	Ver a continuación
<code>geoup_fail_open</code>	Booleano	No	<code>true</code>

Modos de Control de Acceso

Modo de Lista Blanca (Recomendado para Llamadas WiFi)

Solo se permiten conexiones desde países especificados. Todos los demás países son bloqueados.

```
config :omniepdg,  
  geoip_enabled: true,  
  geoip_mode: :whitelist,  
  geoip_countries: ["AU", "NZ", "FJ"] # Australia, Nueva Zelanda,  
  Fiyi
```

Cómo funciona: Solo las UEs que se conectan desde direcciones IP australianas, neozelandesas o fijianas pueden autenticarse. Todos los demás países son rechazados.

Caso de uso: Operadores que desean restringir las llamadas WiFi a sus áreas de servicio licenciadas.

Modo de Lista Negra

Bloquear conexiones desde países especificados. Todos los demás países son permitidos.

```
config :omniepdg,  
  geoip_enabled: true,  
  geoip_mode: :blacklist,  
  geoip_countries: ["CN", "RU", "KP", "IR"] # China, Rusia, Corea  
  del Norte, Irán
```

Cómo funciona: Las UEs que se conectan desde los países listados son rechazadas. Todos los demás países pueden autenticarse.

Caso de uso: Bloquear regiones de alto riesgo mientras se permite el roaming global.

Manejo de Países Desconocidos

Algunas direcciones IP no se pueden geolocalizar:

- Rangos de IP privadas (10.x.x.x, 192.168.x.x, etc.)
- Bloques de IP recién asignados que aún no están en la base de datos
- Nodos de salida de Tor y algunas VPNs

El parámetro `geoip_allow_unknown` controla el comportamiento:

Modo	Valor Predeterminado de <code>geoip_allow_unknown</code>	Comportamiento
Lista Blanca	<code>false</code>	Desconocido = no está en la lista blanca = bloqueado
Lista Negra	<code>true</code>	Desconocido = no está en la lista negra = permitido

Para anular el valor predeterminado:

```
config :omniepdg,  
  geoip_mode: :whitelist,  
  geoip_allow_unknown: true # Permitir IPs desconocidas incluso  
  en modo de lista blanca
```

Actualizaciones de Base de Datos

MaxMind actualiza la base de datos GeoLite2 semanalmente. Para actualizar:

1. Descarga el nuevo archivo `GeoLite2-Country.mmdb`
2. Reemplaza el archivo existente en la ruta configurada
3. La base de datos se recarga automáticamente en la próxima verificación (no se requiere reinicio)

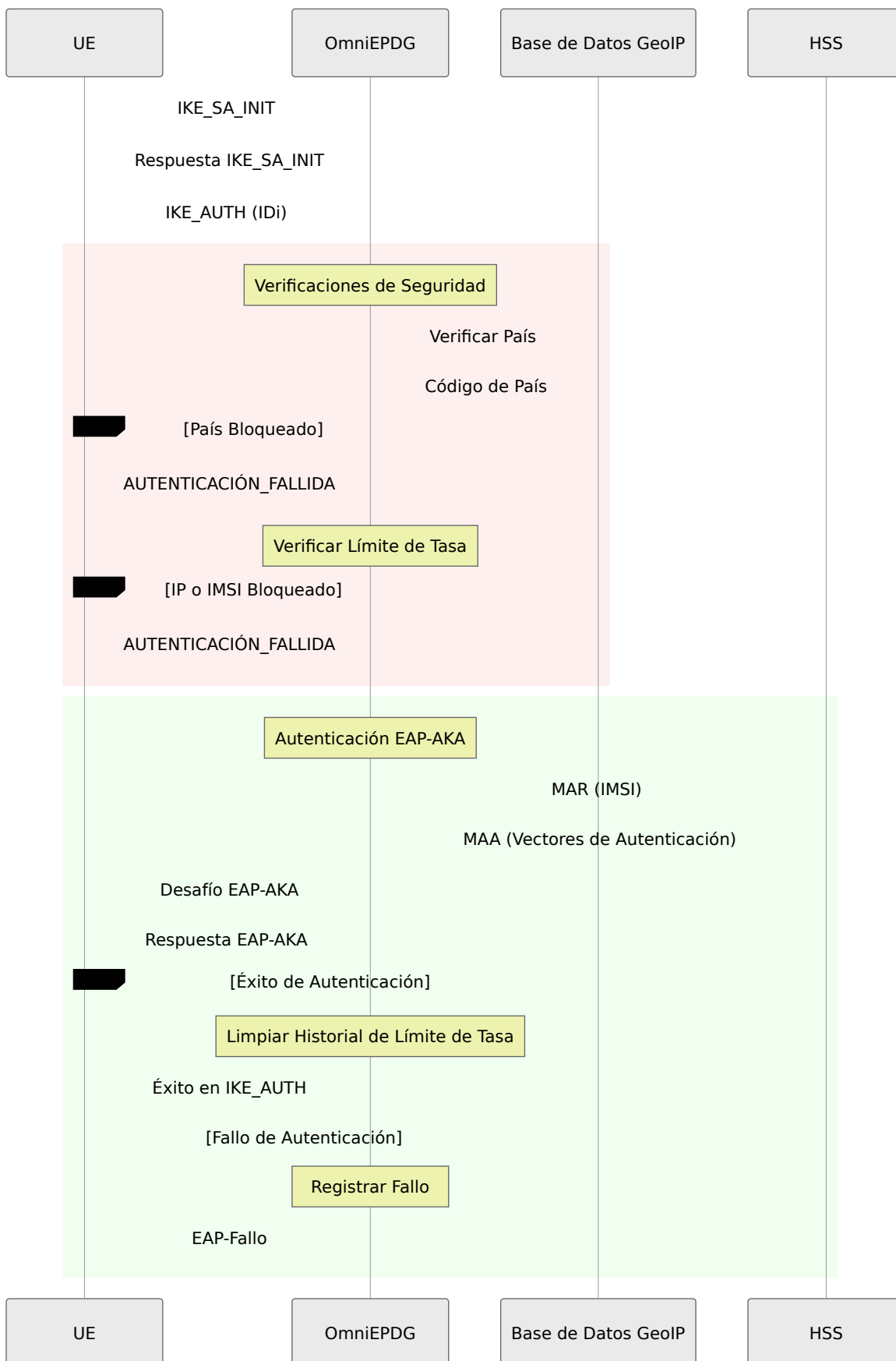
Códigos de País Comunes

Código	País	Código	País
AU	Australia	US	Estados Unidos
NZ	Nueva Zelanda	GB	Reino Unido
CA	Canadá	DE	Alemania
FR	Francia	JP	Japón
SG	Singapur	HK	Hong Kong
IN	India	CN	China

Lista completa: [ISO 3166-1 alpha-2](#)

Flujo de Seguridad

El flujo completo de seguridad de autenticación:



Métricas

Métricas de Limitación de Tasa

Métrica: `epdg_auth_rate_limited_count` **Tipo:** Contador **Descripción:** Número de intentos de autenticación bloqueados por limitación de tasa

Etiquetas:

- `type` - Razón del bloqueo: `ip` (umbral de IP excedido) o `imsi` (umbral de IMSI excedido)

Consultas de ejemplo:

```
# Intentos limitados por tasa por minuto
rate(epdg_auth_rate_limited_count[1m])

# Limitados por tipo
sum by (type) (rate(epdg_auth_rate_limited_count[5m]))

# Alerta: Alta actividad de limitación de tasa
rate(epdg_auth_rate_limited_count[5m]) > 10
```

Métricas GeoIP

Métrica: `epdg_auth_geoip_blocked_count` **Tipo:** Contador **Descripción:** Número de intentos de autenticación bloqueados por GeoIP **Etiquetas:**

- `country` - Código de país ISO 3166-1 alpha-2, o `UNKNOWN` para IPs no resolubles

Consultas de ejemplo:

```
# Bloqueos GeoIP por minuto
rate(epdg_auth_geoip_blocked_count[1m])

# Principales países bloqueados
topk(10, sum by (country) (epdg_auth_geoip_blocked_count))

# Alerta: País inusual intentando acceso
increase(epdg_auth_geoip_blocked_count{country="XX"}[1h]) > 100
```

Solución de Problemas

Problemas de Limitación de Tasa

Usuarios Legítimos Siendo Bloqueados

Síntomas: Los usuarios informan que no pueden conectarse después de intentos fallidos

Causas posibles:

- El usuario ingresó credenciales incorrectas varias veces
- Problemas de red causaron tiempos de espera de autenticación contados como fallos
- Umbrales configurados demasiado bajos para el entorno

Resolución:

1. Verificar métricas para la IP/IMSI afectada
2. Considerar aumentar los umbrales si los falsos positivos son comunes
3. Después de solucionar la causa raíz, el bloqueo expirará automáticamente

Alta Tasa de Intentos Bloqueados

Síntomas: `epdg_auth_rate_limited_count` aumentando rápidamente

Causas posibles:

- Ataque de fuerza bruta en progreso

- UE mal configurada fallando repetidamente la autenticación
- Ataque de relleno de credenciales

Resolución:

1. Revisar IPs de origen en los registros para patrones
2. Considerar implementar reglas de firewall a nivel de IP para atacantes persistentes
3. Verificar conectividad HSS si los usuarios legítimos se ven afectados

Problemas GeolP

Todas las Conexiones Siendo Bloqueadas

Síntomas: Ninguna UE puede conectarse después de habilitar GeolP

Causas posibles:

- Archivo de base de datos no encontrado o corrupto
- Códigos de país incorrectos en la configuración
- `geolp_allow_unknown: false` bloqueando IPs privadas en entorno de laboratorio

Resolución:

1. Verificar que el archivo de base de datos exista en la ruta configurada
2. Comprobar que los códigos de país sean correctos (mayúsculas, 2 letras)
3. Para laboratorio/desarrollo, establecer `geolp_allow_unknown: true`
4. Revisar registros para advertencias relacionadas con GeolP

Base de Datos GeolP No Cargando

Síntomas: Advertencia en los registros: "Base de datos GeolP no encontrada"

Causas posibles:

- Ruta del archivo incorrecta
- Permisos de archivo que impiden la lectura

- El archivo no es un formato MMDB válido

Resolución:

1. Verificar que el archivo exista: `ls -la /etc/omniepdg/GeoLite2-Country.mmdb`
2. Comprobar permisos: `chmod 644 /etc/omniepdg/GeoLite2-Country.mmdb`
3. Verificar la integridad del archivo descargando una copia nueva de MaxMind

Bloqueos de Países Inesperados

Síntomas: Usuarios de países permitidos siendo bloqueados

Causas posibles:

- VPN/proxy haciendo que la IP aparezca de un país diferente
- Base de datos GeoIP desactualizada
- Salida de red corporativa en ubicación inesperada

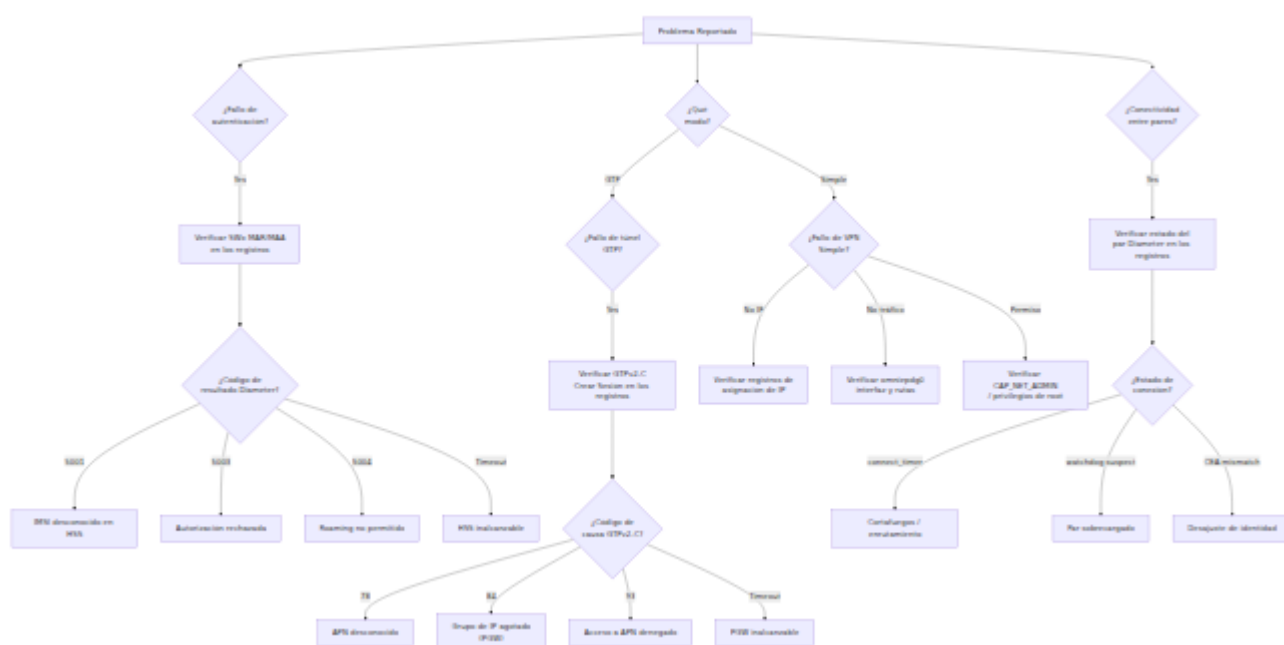
Resolución:

1. Actualizar la base de datos GeoIP a la última versión
2. Comprobar la IP de salida real del usuario frente al país esperado
3. Considerar agregar países adicionales si los usuarios navegan a través de redes corporativas

Solución de Problemas de OmniEPDG

Esta guía cubre problemas operativos comunes, procedimientos de diagnóstico y pasos de resolución para OmniEPDG.

Descripción General del Diagnóstico



Archivos de Registro

OmniEPDG escribe registros en el directorio `log/` relativo al directorio de trabajo de la aplicación. Consulte la [Referencia de Configuración](#) para obtener detalles sobre la configuración de registros.

Archivo	Propósito	Cuándo Verificar
<code>log/console.log</code>	Todos los mensajes de la aplicación a nivel de depuración	Primer punto de investigación para cualquier problema
<code>log/error.log</code>	Solo errores	Escaneo rápido de problemas activos
<code>log/crash.log</code>	Caídas del proceso OTP	Cuando los procesos se reinician inesperadamente
<code>log/erlang.log</code>	Registrador del núcleo Erlang	Problemas de bajo nivel de Erlang/OTP

Patrones Clave de Registro

Eventos de conexión de pares Diameter:

- `peer_up` - Par Diameter conectado y capacidades intercambiadas
- `peer_down` - Par Diameter desconectado

Transiciones de estado de FSM de UE:

- `ue_fsm state_<name> event=<event>` - FSM procesando un evento en un estado dado
- `ue_fsm init(<IMSI>)` - Nueva instancia de FSM creada para el suscriptor
- `terminating epdg_ue_fsm with reason <reason>` - FSM apagándose

Eventos de tiempo de espera:

- `Timeout swm_der_timeout` - Respuesta SWm DER agotada
- `Timeout create_session_timeout` - Respuesta GTPv2-C Crear Sesión agotada
- `Timeout s2b_delete_session_timeout` - Respuesta GTPv2-C Eliminar Sesión agotada

- `Timeout cancel_location_timeout` - Respuesta Cancelar Ubicación agotada

Problemas de Conectividad Diameter

Fallo de Conexión HSS (SWx)

Síntomas: Ningún suscriptor puede autenticarse. Los registros muestran intentos de conexión repetidos al HSS.

Causas posibles:

- Cortafuegos bloqueando el puerto SCTP 3868 entre OmniEPDG y HSS
- `dia_swx_remote_ip` o `dia_swx_remote_port` incorrectos en la configuración
- HSS no funcionando o no aceptando conexiones Diameter
- SCTP no habilitado en la ruta de red (algunos cortafuegos bloquean SCTP por defecto)
- Desajuste de Origin-Host o Origin-Realm causando rechazo de CEA

Resolución:

1. Verificar la conectividad de red a la IP y puerto del HSS
2. Confirmar que `dia_swx_remote_ip` y `dia_swx_remote_port` coinciden con la configuración del HSS
3. Verificar que el tráfico SCTP esté permitido a través de todos los cortafuegos. Si SCTP está bloqueado, establecer `dia_swx_proto` a `tcp` como alternativa
4. Verificar que `dia_swx_origin_host` sea un FQDN resolvable y coincida con lo que espera el HSS
5. Revisar los registros del HSS para fallos de negociación Diameter CER/CEA

Fallo de Conexión PGW (S6b)

Síntomas: La autenticación tiene éxito pero la creación del túnel GTP falla o nunca llega un AAR S6b del PGW. Los registros no muestran ningún evento peer_up de S6b.

Causas posibles:

- PGW no configurado para conectarse al oyente S6b de OmniEPDG
- Cortafuegos bloqueando el puerto SCTP 3868 en la dirección de enlace S6b de OmniEPDG
- `dia_s6b_local_ip` no es accesible desde el PGW
- Desajuste de Origin-Host o Origin-Realm

Resolución:

1. Confirmar que el PGW esté configurado para conectarse a OmniEPDG en `dia_s6b_local_ip:dia_s6b_local_port`
2. Verificar que la dirección de enlace S6b sea accesible desde la red del PGW
3. Comprobar que las reglas del cortafuegos permitan SCTP entrante en el puerto 3868 en la dirección S6b
4. Verificar que `dia_s6b_origin_host` y `dia_s6b_origin_realm` coincidan con lo que espera el PGW

Fallos del Watchdog de Diameter

Síntomas: Las conexiones Diameter establecidas se caen intermitentemente. Los registros muestran transiciones del watchdog a estado SUSPECT o DOWN.

Causas posibles:

- Inestabilidad en la ruta de red o pérdida de paquetes
- Par sobrecargado y no respondiendo a DWR dentro de `dia_swx_watchdog_timer`
- Configuración agresiva del watchdog (demasiados pocos reintentos antes de declarar sospechoso)

Resolución:

1. Verificar la calidad de la ruta de red (pérdida de paquetes, latencia) entre OmniEPDG y el par
2. Si se espera pérdida de paquetes, aumentar los umbrales de `dia_swx_watchdog_config` / `dia_s6b_watchdog_config` (por ejemplo, `[{okay, 5}, {suspect, 3}]`)
3. Verificar la salud del sistema del par (CPU, memoria, conteo de conexiones)

Fallos de Autenticación

IMSI Desconocido (Diameter 5001)

Síntomas: Suscriptores específicos fallan en la autenticación EAP-AKA. Los registros muestran SWx MAA con código de resultado 5001 (DIAMETER_ERROR_USER_UNKNOWN).

Causas posibles:

- Suscriptor no provisionado en el HSS
- Desajuste de IMSI entre la SIM del UE y la base de datos del HSS
- Formato NAI incorrecto, causando que la extracción de IMSI falle

Resolución:

1. Verificar que el IMSI del suscriptor exista en la base de datos del HSS
2. Comprobar que el formato NAI en los registros coincida con el patrón esperado:
`0<IMSI>@nai.epc.mnc<MNC>.mcc<MCC>.3gppnetwork.org`
3. Confirmar que el IMSI de la tarjeta SIM coincida con el valor provisionado en el HSS

Autorización Rechazada (Diameter 5003)

Síntomas: El suscriptor se autentica pero es rechazado durante la asignación del servidor. Los registros muestran SWx SAA con código de resultado 5003.

Causas posibles:

- Suscriptor no autorizado para el servicio de llamadas WiFi
- APN no permitido para este suscriptor
- Restricciones en el perfil de suscripción

Resolución:

1. Verificar el perfil de servicio del suscriptor en el HSS
2. Confirmar que el acceso a llamadas WiFi / ePDG esté habilitado para el suscriptor
3. Verificar que el APN solicitado esté en la lista de APN permitidos del suscriptor

Roaming No Permitido (Diameter 5004)

Síntomas: Suscriptores en roaming fallan en la autenticación. Los registros muestran SWx MAA o SAA con código de resultado 5004.

Causas posibles:

- La política de roaming del HSS rechaza la ubicación actual del suscriptor
- Llamadas WiFi no permitidas para suscriptores en roaming

Resolución:

1. Revisar las políticas de roaming del HSS para la combinación HPLMN/VPLMN del suscriptor
2. Verificar si las llamadas WiFi están permitidas bajo los acuerdos de roaming

Tiempo de Espera de Autenticación

Síntomas: La autenticación se queda colgada y luego falla después de 10 segundos. Los registros muestran `Timeout swm_der_timeout` en `state_wait_auth_resp`.

Causas posibles:

- HSS no responde a SWx MAR dentro de 10 segundos
- Conexión Diameter SWx caída durante la solicitud

- HSS sobrecargado

Resolución:

1. Verificar la capacidad de respuesta y carga del HSS
2. Confirmar que el par Diameter SWx esté en estado OKAY (no SUSPECT o DOWN)
3. Verificar que `dia_swx_transmit_timer` sea adecuado para la latencia de red hacia el HSS

Desajuste de Tipo EAP-AKA

Síntomas: La autenticación falla con un error "type_mismatch" en los registros. El prefijo de identidad del UE no coincide con el método EAP utilizado.

Causas posibles:

- UE envía identidad con prefijo 0 (EAP-AKA) pero la red espera EAP-AKA', o viceversa
- HSS devuelve vectores de autenticación para el tipo EAP incorrecto

Antecedentes: Según 3GPP TS 23.003, el prefijo de identidad NAI indica el tipo de autenticación esperado:

- El prefijo 0 indica EAP-AKA
- El prefijo 6 indica EAP-AKA'

OmniEPDG selecciona automáticamente el método de autenticación basado en el prefijo de identidad del UE. La mayoría de los UEs de llamadas WiFi utilizan el prefijo 0 (EAP-AKA).

Resolución:

1. Verificar la identidad NAI del UE en los registros para confirmar el prefijo
2. Asegurarse de que el HSS esté configurado para devolver vectores de autenticación apropiados
3. Verificar que la tarjeta SIM esté provisionada correctamente para el tipo de autenticación esperado

Desajuste de RES EAP-AKA

Síntomas: La autenticación falla después del desafío/respuesta. Los registros muestran error "RES mismatch" o "res_mismatch".

Causas posibles:

- Fallo de autenticación de la tarjeta SIM
- Desajuste de derivación de clave entre el UE y la red
- Vectores de autenticación corruptos del HSS

Resolución:

1. Verificar que la tarjeta SIM sea válida y no esté dañada
2. Comprobar que el HSS devolvió vectores de autenticación válidos (RAND, AUTN, XRES, CK, IK)
3. Habilitar el registro de depuración para comparar el XRES esperado con el RES recibido
4. Si se utilizan SIM de prueba, verificar que los valores Ki y OP/OPc coincidan entre la SIM y el HSS

Fallos de Túnel GTP (Solo Modo GTP)

Crear Sesión Rechazada por PGW

Síntomas: La autenticación tiene éxito pero la creación del túnel falla. Los registros muestran Respuesta de Crear Sesión GTPv2-C con código de error.

Códigos de causa comunes y acciones:

Código de Causa	Nombre	Acción
78	APN Faltante o Desconocido	Verificar que el APN esté configurado en el PGW y coincida con el perfil del suscriptor
82	Denegado en RAT	Verificar que la política del PGW permita el tipo de acceso WiFi (no-3GPP)
84	Todas las Direcciones Dinámicas Ocupadas	Grupo de IP del PGW agotado; expandir el grupo o investigar fugas
92	Fallo de Autenticación de Usuario	Fallo de autenticación del lado del PGW; verificar autorización de sesión S6b
93	Acceso a APN Denegado	Suscriptor no autorizado para APN en PGW
96	IMSI/IMEI No Conocido	Suscriptor desconocido para PGW; verificar que la sesión S6b fue autorizada
113	Congestión de APN	APN sobrecargado; reintentar o investigar la capacidad del PGW
120	Congestión de Entidad GTP-C	Plano de control del PGW sobrecargado

Tiempo de Espera para Crear Sesión

Síntomas: La creación del túnel se queda colgada durante 10 segundos y luego falla. Los registros muestran `Timeout create_session_timeout` en `state_wait_create_session_resp`.

Causas posibles:

- PGW no accesible en `gtpc_remote_ip:gtpc_remote_port`
- Cortafuegos bloqueando el puerto UDP 2123 entre OmniEPDG y PGW
- PGW sobrecargado y no respondiendo a solicitudes GTPv2-C

Resolución:

1. Verificar la conectividad de red al PGW en el puerto UDP 2123
2. Comprobar que las reglas del cortafuegos permitan UDP 2123 entre OmniEPDG y PGW
3. Verificar la salud del PGW y la capacidad de procesamiento GTPv2-C

Túnel GTP-U No Transmite Tráfico

Síntomas: El túnel está establecido (Crear Sesión tiene éxito) pero el tráfico del suscriptor no fluye.

Causas posibles:

- Módulo del núcleo GTP-U no cargado
- La IP del socket `gtp_u_kmod` no coincide con la dirección del punto final del túnel GTP-U señalada al PGW
- Enrutamiento no configurado para el dispositivo del túnel GTP
- Cortafuegos bloqueando el puerto UDP 2152 (GTP-U)

Resolución:

1. Verificar que el módulo GTP del núcleo de Linux esté cargado (`lsmod | grep gtp`)
2. Confirmar que el dispositivo del túnel GTP exista (`ip link show gtp0`)
3. Verificar que la `ip` de `gtp_u_kmod` coincida con `gtpc_local_ip` o la dirección señalada en la Solicitud de Crear Sesión
4. Comprobar que la tabla de enrutamiento incluya rutas a través del dispositivo del túnel GTP
5. Verificar que el cortafuegos permita el puerto UDP 2152 entre OmniEPDG y PGW

Fallos de VPN Simple (Solo Modo VPN Simple)

Interfaz TUN No Creada

Síntomas: OmniEPDG se inicia pero no aparece ninguna interfaz `omniepdg0`. Las sesiones fallan en la configuración del túnel. Los registros pueden mostrar errores de `simple_vpn_route` durante el inicio.

Causas posibles:

- El proceso de OmniEPDG carece de la capacidad `CAP_NET_ADMIN` o no se está ejecutando como root
- Módulo del núcleo TUN/TAP no cargado
- Otro proceso ya ha creado una interfaz llamada `omniepdg0`

Resolución:

1. Verificar que el módulo del núcleo TUN esté disponible (`lsmod | grep tun`)
2. Confirmar que OmniEPDG se esté ejecutando con privilegios suficientes para crear interfaces TUN
3. Comprobar si `omniepdg0` ya existe de una instancia anterior (`ip link show omniepdg0`)
4. Revisar `log/crash.log` en busca de errores del proceso del administrador de rutas

Grupo de IP Agotado

Síntomas: La autenticación tiene éxito pero la configuración del túnel falla. Los registros muestran fallo de asignación de IP de `simple_vpn_pool`.

Causas posibles:

- Todas las direcciones en el grupo CIDR configurado están asignadas a sesiones activas
- Las direcciones IP no se están liberando después de la finalización de la sesión (fuga)

- Tamaño del grupo demasiado pequeño para el número de suscriptores concurrentes

Resolución:

1. Verificar el número de procesos `epdg_ue_fsm` activos en comparación con el tamaño del grupo
2. Confirmar que las sesiones se estén finalizando correctamente (comprobar mensajes de registro de `terminating`)
3. Si el grupo está realmente lleno, expandirlo utilizando un prefijo CIDR más grande en `simple_vpn_pool_ipv4` (requiere reinicio)
4. Comprobar si hay caídas de FSM durante la finalización en `log/crash.log` que puedan haber impedido la liberación de IP

Tráfico del Suscriptor No Fluye

Síntomas: La sesión está establecida y el UE recibe una dirección IP, pero el tráfico no fluye a través de la interfaz TUN.

Causas posibles:

- Ruta de host no añadida para la IP del suscriptor en `omniepdg0`
- El reenvío de IP no está habilitado en el host de OmniEPDG
- Reglas de cortafuegos bloqueando el tráfico en la interfaz `omniepdg0`
- Faltan reglas de NAT/mascarado para el tráfico saliente del rango de IP del suscriptor

Resolución:

1. Verificar que la ruta de host exista (`ip route show` y buscar la ruta /32 del suscriptor a través de `omniepdg0`)
2. Confirmar que el reenvío de IP esté habilitado (`sysctl net.ipv4.ip_forward`)
3. Comprobar que las reglas de iptables/nftables permitan el reenvío a través de `omniepdg0`
4. Si los suscriptores necesitan acceso a Internet, verificar que NAT/mascarado esté configurado para el rango de IP del suscriptor (por

```
ejemplo, iptables -t nat -A POSTROUTING -s 10.45.0.0/16 -o <wan-interface> -j MASQUERADE)
```

Rutas Obsoletas Después de un Crash

Síntomas: Las rutas de host para las IP de los suscriptores permanecen en la tabla de enrutamiento después de que OmniEPDG se reinicia o después de que las sesiones terminan anormalmente.

Causas posibles:

- FSM se bloqueó antes de que la ruta pudiera ser eliminada
- Proceso de OmniEPDG fue asesinado sin un apagado ordenado

Resolución:

1. Revisar `log/crash.log` en busca de caídas de procesos durante la finalización
2. Eliminar manualmente rutas obsoletas (`ip route del <subscriber-ip>/32 dev omniepdg0`)
3. Reiniciar OmniEPDG recreará la interfaz `omniepdg0`, lo que eliminará todas las rutas asociadas

Problemas de Finalización de Sesión

La Finalización Se Queda Colgada Durante la Desregistración

Síntomas: La finalización de la sesión no se completa. FSM de UE atascada en un estado `dereg_*` o `wait_*`.

Causas posibles:

- PGW no responde a la Solicitud de Eliminar Sesión
- Par Diameter no responde a STR o ASR

- Tiempo de espera en cascada no completándose debido a múltiples tiempos de espera acumulándose

Resolución:

1. Revisar los registros en busca de mensajes de tiempo de espera en el estado relevante
2. Verificar la conectividad con PGW y HSS
3. Después de 10 segundos, la FSM debería agotar el tiempo de espera y proceder al siguiente paso de finalización o terminar. Si no lo hace, verificar eventos inesperados registrados como `Unexpected call event`

Contextos PDP GTP-U Huérfanos

Síntomas: Las entradas del túnel GTP-U permanecen en el núcleo después de que las sesiones terminan. `ip link show gtp0` muestra que el dispositivo aún tiene contextos PDP activos.

Causas posibles:

- FSM terminó anormalmente antes de eliminar el contexto PDP
- Caída durante la secuencia de finalización

Resolución:

1. Revisar `log/crash.log` en busca de caídas de procesos durante la finalización
2. El callback `terminate/3` de la FSM intenta limpiar el contexto PDP. Si la FSM fue asesinada (por ejemplo, reinicio del supervisor), la limpieza puede haberse omitido
3. Reiniciar OmniEPDG recreará el socket GTP-U y limpiará los contextos obsoletos

Problemas de Proceso y Sistema

Bucles de Reinicio del Supervisor

Síntomas: Los procesos de OmniEPDG se reinician repetidamente. Los registros muestran mensajes de reinicio del supervisor e informes de fallos.

Causas posibles:

- Error de configuración persistente que causa que un controlador se bloquee al inicio
- Dependencia externa no disponible (por ejemplo, biblioteca `gen_socket` no encontrada)
- Par Diameter enviando mensajes malformados que causan bloqueos en el controlador

Resolución:

1. Revisar `log/crash.log` para encontrar la causa raíz del fallo
2. Verificar que la ruta `libdir` de `gen_socket` sea correcta y que los archivos de la biblioteca existan
3. Comprobar que todos los parámetros de configuración requeridos estén presentes en `config/runtime.exs`
4. Buscar mensajes Diameter malformados en el informe de fallos

Alto Uso de Memoria

Síntomas: El consumo de memoria de la VM de Erlang crece con el tiempo.

Causas posibles:

- Procesos FSM de UE no se están limpiando después de la finalización de la sesión
- Acumulación de mensajes de registro en los buzones
- Gran número de sesiones concurrentes

Resolución:

1. Verificar el número de procesos `epdg_ue_fsm` y `aaa_ue_fsm` en ejecución (estos deberían coincidir con el conteo de suscriptores activos)
2. Confirmar que las FSM se estén terminando correctamente después de la finalización de la sesión (comprobar mensajes de registro de `terminating`)
3. Revisar la configuración de rotación de registros para asegurar que los archivos de registro se estén rotando