Informe final

***Rodrigo Mansilla 22611**
Redes
Semestre 2. año 2025
Ingeniería en ciencias de la computación y tecnologías de la información

Objetivo

Permitir que un LLM:

1. **Controle Spotify** (búsqueda, recomendaciones).
2. **Genere playlists contextuales**.

Modelo MCP local

Conexión

Servidor Filesystem (basado en `@modelcontextprotocol/server-filesystem`)

- **Propósito:** Manipulación básica de archivos y directorios locales.
- **Inicialización:**

```
{ "method": "initialize", "params": {} }
```

- Al iniciar, se define un conjunto de directorios permitidos (`allowed_dirs`).
- **Endpoints / Tools disponibles:**
  1. `create_directory`
     - **Parámetros:**
       - `path: str` → ruta absoluta del directorio a crear.
     - **Respuesta:** éxito o error (ej. permisos).
  2. `write_file`
     - **Parámetros:**
       - `path: str` → ruta absoluta del archivo.
       - `content: str` → contenido completo a escribir.
     - **Precondición:** el directorio padre debe existir (se garantiza con `create_directory`).
     - **Respuesta:** confirmación de escritura.
- **Notas:**
  - El cliente `execute_plan` garantiza el orden canónico → `create_directory → write_file` .
  - Seguridad: restringido a los directorios explícitamente permitidos.

Creación de MCP Local

Servidor Spotify (basado en `spotipy` + OAuth 2.0)

- **Propósito:** Integración con la API de Spotify para búsqueda, recomendaciones, creación de playlists y control de reproducción.
- **Inicialización:**

```
{ "method": "initialize", "params": {} }
```

- El servidor carga credenciales desde `.env` (`SPOTIFY_CLIENT_ID` , `SPOTIFY_CLIENT_SECRET` , `SPOTIFY_REDIRECT_URI`).
- **Autenticación:**
  - **App Client:** acceso básico (search, audio features, recomendaciones).
  - **User OAuth (con scopes):** requerido para crear playlists, añadir canciones, reproducir música.
- **Scopes soportados:**
  - `playlist-modify-public` , `playlist-modify-private`
  - `user-read-playback-state` , `user-modify-playback-state`
  - `user-top-read` , `user-read-recently-played` , `user-read-currently-playing` , `user-read-private`
- **Endpoints / Tools disponibles:**
  1. `whoami` → estado de sesión (usuario conectado o no).
  2. `auth_begin` → genera `authorize_url` para login en Spotify.
  3. `auth_complete` → completa OAuth con `code` o `redirect_url` .
  4. `search_track`
     - `query: str` , `market?: str` , `limit?: int`
     - Devuelve `{id, name, artists[], uri, preview_url}` .
  5. `analyze_mood`
     - `prompt: str` → texto de intención.
     - Devuelve una estructura `Mood` con `valence` , `energy` , `tags` .
  6. `get_recommendations`
     - `seed_tracks?: [str]` , `mood?: str` , `energy?: float` , `valence?: float` , `danceability?: float` , `tempo?: float` , `limit?: int` .
     - Devuelve lista de canciones recomendadas.
  7. `explain_selection`
     - `tracks: List[Track]` , `context: ExplainContext` .
     - Devuelve texto explicativo de la selección.
  8. `build_playlist_from_profile`
     - `mood_prompt: str` , `name?: str` , `public?: bool` , `limit?: int` .
     - Usa top tracks/artistas del perfil para armar playlist.
  9. `create_playlist`
     - `name: str` , `description?: str` , `public?: bool` .
     - Devuelve `{playlist_id, url}` .
  10. `create_playlist_with_tracks`
     - Igual que `create_playlist` pero con lista de `track_ids` .
  11. `add_to_playlist`
     - `playlist_id: str` , `track_ids: List[str]` .
     - Devuelve `{added: int}` .
  12. `ensure_device_ready`
     - Verifica dispositivos disponibles.
     - Devuelve `{status: "no_devices"|"ready"|"transferred"|"not_premium"}` .
  13. `create_public_mix` (modo bot)
     - `mood_prompt: str` , `name?: str` , `limit?: int` .
     - Genera playlist pública sin necesidad de OAuth.

MCP REMOTO

Servidor Remoto (Google Cloud Run – FastAPI)

- **Propósito:** Implementar un servidor MCP accesible públicamente, desplegado en la nube. Su funcionalidad es **trivial**: devolver la hora actual en UTC.
- **Despliegue:**
  - Imagen Docker basada en `python:3.11-slim`.
  - Servidor con **FastAPI** y **Uvicorn** expuesto en el puerto `8080`.
  - Deploy realizado en **Google Cloud Run**, con URL pública:

```
https://mcp-remote-XXXXXXXX-uc.a.run.app/mcp/jsonrpc
```

Endpoints / Tools disponibles:

1. `initialize`
   - **Método:** `POST /mcp/jsonrpc`
   - **Entrada:**
     ```
     { "jsonrpc": "2.0", "id": 1, "method": "initialize", "params": {} }
     ```
   - **Respuesta:**
   - ```
     { "jsonrpc": "2.0", "id": 1, "result": { "status": "ok" }
     ```
   - **Función:** Confirma la inicialización de la sesión.
2. `tools/call` → **current_time**

- **Método:** `POST /mcp/jsonrpc`
- **Entrada:**

```
{
    "jsonrpc": "2.0",
    "id": 2,
    "method": "tools/call",
    "params": { "name": "current_time" }
}
```

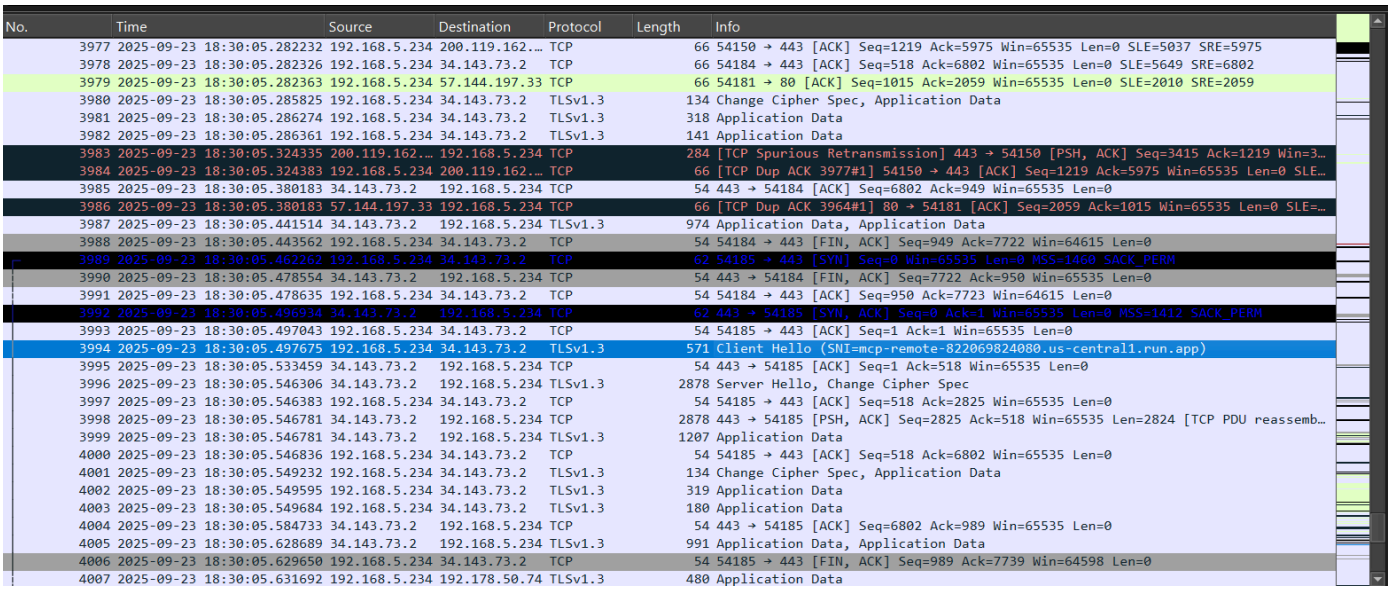
- **Respuesta:**

```
{
  "jsonrpc": "2.0",
  "id": 2,
  "result": { "result": "2025-09-23 15:45:56 UTC" }
}
```

- **Función:** Devuelve la hora actual en UTC.

Captura y análisis de tráfico

Para iniciar la comunicación entre el cliente MCP y el servidor remoto en **Google Cloud Run**, primero se establece una conexión confiable mediante el protocolo **TCP**. Este proceso se conoce como **3-way handshake** y asegura que ambos extremos estén listos para intercambiar datos.
```



No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
3977	2025-09-23 18:30:05.282232	192.168.5.234	200.119.162.…	TCP	66	54150 → 443 [ACK] Seq=1219 Ack=5975 Win=65535 Len=0 SLE=5037 SRE=5975
3978	2025-09-23 18:30:05.282326	192.168.5.234	34.143.73.2	TCP	66	54184 → 443 [ACK] Seq=518 Ack=6802 Win=65535 Len=0 SLE=5649 SRE=6802
3979	2025-09-23 18:30:05.282363	192.168.5.234	57.144.197.33	TCP	66	54181 → 80 [ACK] Seq=1015 Ack=2059 Win=65535 Len=0 SLE=2010 SRE=2059
3980	2025-09-23 18:30:05.285825	192.168.5.234	34.143.73.2	TLSv1.3	134	Change Cipher Spec, Application Data
3981	2025-09-23 18:30:05.286274	192.168.5.234	34.143.73.2	TLSv1.3	318	Application Data
3982	2025-09-23 18:30:05.286361	192.168.5.234	34.143.73.2	TLSv1.3	141	Application Data
3983	2025-09-23 18:30:05.324335	200.119.162.…	192.168.5.234	TCP	284	[TCP Spurious Retransmission] 443 → 54150 [PSH, ACK] Seq=3415 Ack=1219 Win=3…
3984	2025-09-23 18:30:05.324383	192.168.5.234	200.119.162.…	TCP	66	[TCP Dup ACK 3977#1] 54150 → 443 [ACK] Seq=1219 Ack=5975 Win=65535 Len=0 SLE…
3985	2025-09-23 18:30:05.380183	34.143.73.2	192.168.5.234	TCP	54	443 → 54184 [ACK] Seq=6802 Ack=949 Win=65535 Len=0
3986	2025-09-23 18:30:05.380183	57.144.197.33	192.168.5.234	TCP	66	[TCP Dup ACK 3964#1] 80 → 54181 [ACK] Seq=2059 Ack=1015 Win=65535 Len=0 SLE=…
3987	2025-09-23 18:30:05.441514	34.143.73.2	192.168.5.234	TLSv1.3	974	Application Data, Application Data
3988	2025-09-23 18:30:05.443562	192.168.5.234	34.143.73.2	TCP	54	54184 → 443 [FIN, ACK] Seq=949 Ack=7722 Win=64615 Len=0
3989	2025-09-23 18:30:05.462262	192.168.5.234	34.143.73.2	TCP	62	54185 → 443 [SYN] Seq=0 Win=65535 Len=0 MSS=1460 SACK_PERM
3990	2025-09-23 18:30:05.478554	34.143.73.2	192.168.5.234	TCP	54	443 → 54184 [FIN, ACK] Seq=7722 Ack=950 Win=65535 Len=0
3991	2025-09-23 18:30:05.478635	192.168.5.234	34.143.73.2	TCP	54	54184 → 443 [ACK] Seq=950 Ack=7723 Win=64615 Len=0
3992	2025-09-23 18:30:05.496934	34.143.73.2	192.168.5.234	TCP	62	443 → 54185 [SYN, ACK] Seq=0 Ack=1 Win=65535 Len=0 MSS=1412 SACK_PERM
3993	2025-09-23 18:30:05.497043	192.168.5.234	34.143.73.2	TCP	54	54185 → 443 [ACK] Seq=1 Ack=1 Win=65535 Len=0
3994	2025-09-23 18:30:05.497675	192.168.5.234	34.143.73.2	TLSv1.3	571	Client Hello (SNI=mcp-remote-822069824080.us-central1.run.app)
3995	2025-09-23 18:30:05.533459	34.143.73.2	192.168.5.234	TCP	54	443 → 54185 [ACK] Seq=1 Ack=518 Win=65535 Len=0
3996	2025-09-23 18:30:05.546306	34.143.73.2	192.168.5.234	TLSv1.3	2878	Server Hello, Change Cipher Spec
3997	2025-09-23 18:30:05.546383	192.168.5.234	34.143.73.2	TCP	54	54185 → 443 [ACK] Seq=518 Ack=2825 Win=65535 Len=0
3998	2025-09-23 18:30:05.546781	34.143.73.2	192.168.5.234	TCP	2878	443 → 54185 [PSH, ACK] Seq=2825 Ack=518 Win=65535 Len=2824 [TCP PDU reassemb…
3999	2025-09-23 18:30:05.546781	34.143.73.2	192.168.5.234	TLSv1.3	1207	Application Data
4000	2025-09-23 18:30:05.546836	192.168.5.234	34.143.73.2	TCP	54	54185 → 443 [ACK] Seq=518 Ack=6802 Win=65535 Len=0
4001	2025-09-23 18:30:05.549232	192.168.5.234	34.143.73.2	TLSv1.3	134	Change Cipher Spec, Application Data
4002	2025-09-23 18:30:05.549595	192.168.5.234	34.143.73.2	TLSv1.3	319	Application Data
4003	2025-09-23 18:30:05.549684	192.168.5.234	34.143.73.2	TLSv1.3	180	Application Data
4004	2025-09-23 18:30:05.584733	34.143.73.2	192.168.5.234	TCP	54	443 → 54185 [ACK] Seq=6802 Ack=989 Win=65535 Len=0
4005	2025-09-23 18:30:05.628689	34.143.73.2	192.168.5.234	TLSv1.3	991	Application Data, Application Data
4006	2025-09-23 18:30:05.629650	192.168.5.234	34.143.73.2	TCP	54	54185 → 443 [FIN, ACK] Seq=989 Ack=7739 Win=64598 Len=0
4007	2025-09-23 18:30:05.631692	192.168.5.234	192.178.50.74	TLSv1.3	480	Application Data

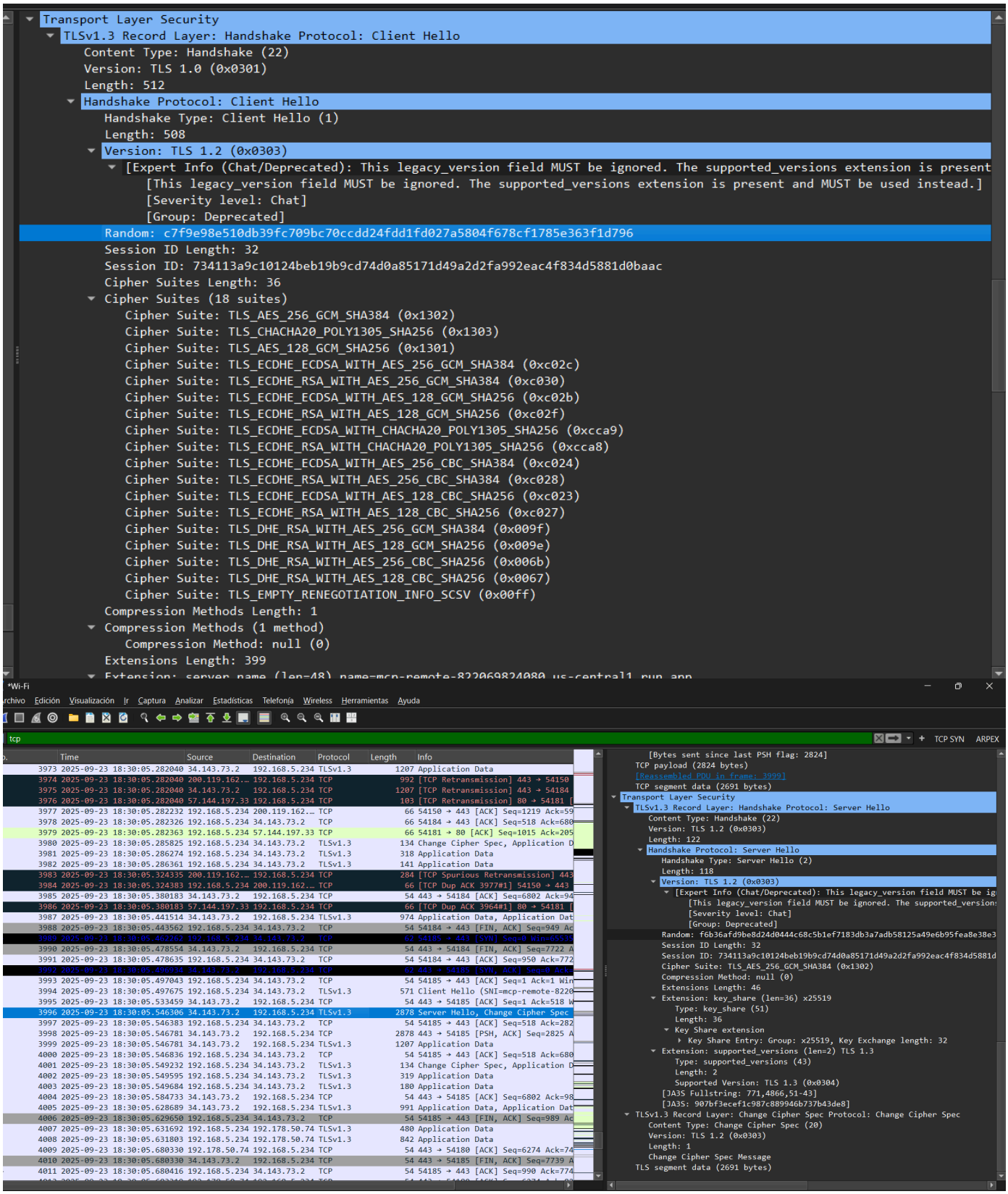
- **SYN**
  - Paquete **3990**:
    - `Source: 192.168.5.234` → `Destination: 34.143.73.2` (Cloud Run).
    - **Info:** `54185 → 443 [SYN] Seq=0 Win=65535 Len=0 MSS=1460`
- **SYN, ACK**
  - Paquete **3992**:
    - `Source: 34.143.73.2` (Cloud Run) → `Destination: 192.168.5.234`
    - **Info:** `443 → 54185 [SYN, ACK] Seq=0 Ack=1 Win=65535 Len=0 MSS=1412`.
- **ACK**
  - Paquete **3993**:
    - `Source: 192.168.5.234` → `Destination: 34.143.73.2`.
    - **Info:** `54185 → 443 [ACK] Seq=1 Ack=1 Win=65535 Len=0`.

En la captura de Wireshark se observa lo siguiente:

1. **SYN (Synchronize)**
   - Paquete No. **3990**
   - Origen: `192.168.5.234` (cliente) → Destino: `34.143.73.2` (servidor Cloud Run)
   - Descripción: El cliente envía un segmento TCP con el flag **SYN=1**, solicitando iniciar la conexión.
2. **SYN, ACK (Synchronize + Acknowledge)**
   - Paquete No. **3992**
   - Origen: `34.143.73.2` (servidor) → Destino: `192.168.5.234` (cliente)
   - Descripción: El servidor responde con **SYN=1, ACK=1**, indicando que acepta la conexión y confirma la recepción del SYN del cliente.
3. **ACK (Acknowledge)**
   - Paquete No. **3993**
   - Origen: `192.168.5.234` (cliente) → Destino: `34.143.73.2` (servidor)
   - Descripción: El cliente responde con un **ACK=1**, confirmando la respuesta del servidor.

Negociación TLS

Después de completar el establecimiento de la conexión TCP, el cliente y el servidor inician el proceso de **negociación TLS (Transport Layer Security)** con el fin de cifrar la comunicación.
Este proceso asegura que los mensajes JSON-RPC viajen de forma confidencial e íntegra entre el cliente MCP y el servidor remoto en Google Cloud Run.



1. **Client Hello**
   - El cliente anuncia las versiones de TLS que soporta (TLS 1.3 y 1.2).
   - Propone múltiples *cipher suites* (`TLS_AES_256_GCM_SHA384` , `TLS_CHACHA20_POLY1305_SHA256` , entre otros).
   - Incluye la extensión **SNI (Server Name Indication)** con el nombre del servidor remoto: `mcp-remote-822069824080.us-central1.run.app` .
2. **Server Hello**
   - El servidor responde seleccionando la versión **TLS 1.3**.

- Elige el *cipher suite* `TLS_AES_256_GCM_SHA384` como mecanismo de cifrado.
- Se incluye el intercambio de claves basado en curvas elípticas (`x25519`).
- Posteriormente aparecen los mensajes **Change Cipher Spec**, indicando que todo el tráfico posterior viajará cifrado.

Requests JSON-RPC

Con el canal TLS ya establecido, el cliente MCP comienza a enviar solicitudes en formato **JSON-RPC** hacia el servidor remoto desplegado en Google Cloud Run.

En Wireshark, estos mensajes aparecen como **TLSv1.3 Application Data**, ya que el contenido JSON está cifrado y no es visible directamente. No obstante, a partir de las pruebas realizadas en el cliente se sabe que las solicitudes transmitidas corresponden a:

```
{
  "jsonrpc": "2.0",
  "id": 1,
  "method": "initialize",
  "params": {}
}
```

Esta petición corresponde al primer mensaje que establece la sesión con el servidor remoto.

```
{
  "jsonrpc": "2.0",
  "id": 2,
  "method": "tools/call",
  "params": { "name": "current_time" }
}
```

Esta petición instruye al servidor remoto a ejecutar la herramienta definida (`current_time`), que devuelve la hora UTC actual.

Responses JSON-RPC

Una vez recibidas las solicitudes JSON-RPC, el servidor remoto responde con los resultados correspondientes.

Respuesta a la inicialización

```
{
  "jsonrpc": "2.0",
  "id": 1,
  "result": { "status": "ok" }
}
```

Respuesta a la llamada de herramienta (`tools/call`)

```
{
  "jsonrpc": "2.0",
  "id": 2,
  "result": { "result": "2025-09-23 15:45:56 UTC" }
}
```

El servidor ejecuta la herramienta solicitada (`current_time`) y devuelve como resultado la hora UTC actual.

Observaciones a nivel de capas

Capa de Enlace de Datos

- Se observa la transmisión de tramas **Ethernet II**.
- Cada trama contiene las direcciones **MAC origen y destino**:
  - Origen: interfaz de red del cliente local.
  - Destino: gateway/router (MAC de la puerta de enlace).
- El protocolo de nivel superior encapsulado es IPv4.
- Esta capa se encarga de la **entrega punto a punto** dentro de la red local.

Capa de Red

- El protocolo utilizado es **IPv4**.
- Direcciones identificadas:
  - Cliente: `192.168.5.234` (IP privada local).
  - Servidor: `34.143.73.2` (IP pública de Google Cloud Run).
- Se observa el enrutamiento de paquetes desde la red privada hasta Internet.
- Esta capa gestiona la **dirección lógica y el encaminamiento** de los paquetes.

Capa de Transporte

- El protocolo es **TCP**.
- Establecimiento de conexión mediante el **3-way handshake**:
  - SYN → SYN/ACK → ACK.
- El puerto destino es el **443 (HTTPS)**.
- Una vez establecida la conexión TCP, se negocia una sesión **TLSv1.3**, que asegura la confidencialidad e integridad de los datos.
- TCP proporciona transmisión **fiable y orientada a conexión**.

Capa de Aplicación

- El tráfico de aplicación corresponde al protocolo **HTTPS**, dentro del cual viajan mensajes **JSON-RPC 2.0**.
- Solicitudes detectadas:
  - `initialize` (sincronización de la sesión).
  - `tools/call` con parámetro `current_time` .
- Respuestas del servidor:
  - Confirmación de inicialización (`status=ok`).
  - Resultado de la herramienta (`hora UTC`).
- Aunque en Wireshark se ve como **TLS Application Data** (cifrado), mediante pruebas directas se confirma el contenido JSON.
- Esta capa se encarga de la **lógica de negocio y la comunicación entre cliente-servidor**.

Conclusiones y opinión

El desarrollo e implementación de servidores MCP permitió comprender a cómo se estructura y se lleva a cabo la comunicación basada en el protocolo JSON-RPC, tanto en un entorno local como remoto. Se trabajó con diferentes servicios en la nube, en particular **Google Cloud Run**, lo que aportó experiencia en despliegue de aplicaciones en entornos gestionados y en la integración de servicios distribuidos.

A nivel técnico, se observaron las distintas capas de comunicación (enlace, red, transporte y aplicación), comprobando el proceso completo desde la **sincronización TCP**, la **negociación TLS**, hasta el intercambio de **mensajes JSON-RPC**. Asimismo, la captura y análisis con **Wireshark** permitió visualizar el tráfico y relacionar la teoría con la práctica de forma tangible.

En cuanto a la integración de servidores desarrollados por compañeros (Filesystem, Spotify, Movies, League of Legends), se evidenció la versatilidad del estándar MCP para soportar escenarios diversos, desde la manipulación de archivos hasta la recomendación de películas o configuraciones en videojuegos. Esto demuestra el potencial de MCP para interoperar con múltiples servicios y aplicaciones en un mismo ecosistema.

Desde el punto de vista personal, el proyecto resultó **relevante y actual**, al estar alineado con las tendencias de protocolos abiertos e integración modular de servicios. Sin embargo, la experiencia también mostró algunas dificultades: las **instrucciones en ciertos momentos no son del todo intuitivas**, lo que demandó mayor tiempo de interpretación y prueba. Además, la **implementación de los servidores de los compañeros se volvió complicada**, debido a que cada persona organizó y documentó su proyecto de forma distinta, lo que generó inconsistencias y dificultó la integración final.

En síntesis, el proyecto fue valioso tanto por el aprendizaje técnico como por la experiencia de trabajo colaborativo, aunque se resalta la importancia de mejorar la **estandarización de instrucciones y documentación** para que la integración entre equipos sea más fluida.