Comunicación entre Microservicios C++

Antonio Espín Herranz

Contenidos

- Implementación de patrones de mensajería:
  - Uso de **ZeroMQ**, **gRPC** y **RabbitMQ** para comunicación asincrónica.
  - Comparativa entre **REST** y **gRPC** en sistemas de alto rendimiento.
  - Implementación de **WebSockets** para la comunicación en tiempo real.

- Gestión de la **concurrencia** y el **multithreading**:
  - Uso de **std::thread** y **boost::asio** para manejar múltiples solicitudes.
  - Estrategias de sincronización y control de acceso concurrente

Patrones de mensajería

Comunicaciones

- **ZeroMQ**:
  - **No necesita broker**: los procesos se comunican directamente.
  - Extremadamente **rápido** y **ligero**, usado en sistemas financieros y embebidos.
  - Menos soporte para persistencia o reintentos automáticos; lo gestionamos todo nosotros.

- **gRPC**:
  - Diseñado por **Google** para llamadas RPC eficientes.
  - Usa HTTP/2 y **protobuf** para máxima velocidad y eficiencia.
  - Perfecto para APIs modernas y microservicios con contratos bien definidos.
  - Más enfocado a comunicación síncrona, pero se puede utilizar en asíncrono.

- **RabbitMQ**:
  - Ideal para sistemas desacoplados donde los servicios se comunican mediante colas.
  - Ofrece persistencia, reintentos, y enrutamiento avanzado.
  - Requiere un **broker (servidor RabbitMQ)** que puede ser un punto de fallo si no se gestiona bien.

Cuando seleccionar

- **RabbitMQ**: proporciona colas, desacoplamiento, y tolerancia a fallos.
- **ZeroMQ**: velocidad extrema y control total sobre la comunicación.
- **gRPC**: API rápida, segura y bien estructurada entre servicios.

ZeroMQ

ZeroMQ

- Es una **librería de mensajería ultrarrápida y asíncrona** que permite construir sistemas distribuidos, escalables y concurrentes.

- A diferencia de los sistemas tradicionales de colas de mensajes como RabbitMQ o Kafka, **ZeroMQ no necesita un servidor intermedio**: los procesos se comunican directamente entre sí.

- https://zguide.zeromq.org/docs

ZeroMQ

- Proporciona **sockets inteligentes** que pueden manejar múltiples patrones de comunicación:
  - **pub-sub** (publicador-suscriptor)
  - **req-rep** (petición-respuesta)
  - **push-pull** (pipeline)
  - **dealer-router** (para patrones más complejos)

- Soporta múltiples **protocolos de transporte**:
  - TCP
  - IPC (comunicación entre procesos)
  - Inproc (dentro del mismo proceso)
  - Multicast

ZeroMQ

- **Ventajas clave**
  - **Velocidad extrema**: diseñado para alto rendimiento y baja latencia.
  - **Ligero y sin servidor**: no requiere broker central.
  - **Multilenguaje**: disponible en C++, Python, Go, Java, Rust, entre otros.
  - **Flexible**: ideal para arquitecturas de microservicios, sistemas embebidos y telecomunicaciones.

Casos de uso típicos

Sector	Ejemplo de uso con ZeroMQ
Sistemas embebidos	Comunicación entre sensores y controladores
Telecomunicaciones	Enrutamiento de paquetes y señalización
Trading financiero	Difusión de precios en tiempo real
Robótica	Coordinación entre módulos de percepción y control
Microservicios	Comunicación entre servicios sin necesidad de HTTP

Tener en cuenta

- No ofrece persistencia de mensajes por defecto (no es un sistema de colas tradicional).
- Requiere que el desarrollador gestione la **topología de red y la fiabilidad**.
- Es más, una **caja de herramientas** que una solución lista para usar.

Instalación

- vcpkg install zeromq cppzmq
- vcpkg integrate install

- Con esto Visual Studio ya detectará la librería en los proyectos:
- **#include <zmq.hpp>**

Test Servidor

```
#include <zmq.hpp>
#include <string>
#include <iostream>

int main() {
   zmq::context_t context(1);  // Entorno de ejecución para zeromq, el número 1 indica la cantidad de hilos. 4 → 4 hilos
   zmq::socket_t socket(context, zmq::socket_type::rep);
   socket.bind("tcp://*:5555"); // Con el * acepta conexiones desde cualquier interface de red. Cualquier IP por el puerto 5555

   while (true) {
      zmq::message_t request;
      socket.recv(request, zmq::recv_flags::none);
      std::cout << "Recibido: " << request.to_string() << std::endl;

      std::string reply = "Hola desde el servidor";
      socket.send(zmq::buffer(reply), zmq::send_flags::none);
   }
}
```

socket_t declara el socket
socket_ref para pasar el socket por parámetro

Test Cliente

```
#include <zmq.hpp>
#include <string>
#include <iostream>

int main() {
    zmq::context_t context(1);
    zmq::socket_t socket(context, zmq::socket_type::req);
    socket.connect("tcp://localhost:5555");

    std::string mensaje = "Hola servidor";
    socket.send(zmq::buffer(mensaje), zmq::send_flags::none);

    zmq::message_t respuesta;
    socket.recv(respuesta, zmq::recv_flags::none);
    std::cout << "Respuesta: " << respuesta.to_string() << std::endl;
}
```

Flags para send

- A la hora de enviar un mensaje, se pueden indicar flags. Por ejemplo, para enviar un mensaje en partes.

Flag	Descripción
`zmq::send_flags::none`	Envío estándar sin opciones especiales.
`zmq::send_flags::dontwait`	No bloquea si el socket no está listo para enviar. Si no puede enviar, lanza una excepción.
`zmq::send_flags::sndmore`	Indica que **hay más partes del mensaje** por enviar. Se usa para mensajes multipartes.

```
socket.send(zmq::buffer("parte1"), zmq::send_flags::sndmore);
socket.send(zmq::buffer("parte2"), zmq::send_flags::none); // última parte
```

Flags para revc

- A la hora de recibir mensajes también se puede indicar flags.

Flag	Descripción
`zmq::recv_flags::none`	Lectura estándar, bloquea hasta recibir.
`zmq::recv_flags::dontwait`	No bloquea si no hay mensaje disponible. Si no hay datos, lanza excepción o retorna false.

Recepción no bloqueante:

```
zmq::message_t msg;
if (socket.recv(msg, zmq::recv_flags::dontwait)) {
   std::cout << "Recibido: " << msg.to_string() << std::endl;
} else {
   std::cout << "No hay mensaje disponible." << std::endl;
}
```

Integración con microservicios

- **Define el patrón de comunicación**:
  - **REQ/REP** (Request/Reply): para llamadas tipo cliente-servidor.
  - **PUB/SUB** (Publish/Subscribe): para difusión de eventos.
  - **PUSH/PULL**: para procesamiento en paralelo o distribución de tareas.
  - **ROUTER/DEALER**: para sistemas más complejos con múltiples clientes y servidores.

- Se pueden crear sockets en los microservicios y se conecta o vincula a una dirección.
  - Un microservicio de autenticación puede usar REP para responder a solicitudes de login.

- Enviar y recibir mensajes
  - Puede ser una cadena o una estructura en json.
  - ZeroMQ gestiona la cola de mensajes y la reconexión

Al crear el socket se indica el tipo: rep, req, pull, etc

Uso de ZeroMQ en microservicios

Uso común	Descripción
Comunicación entre servicios	Reemplaza HTTP/REST con mensajería binaria más rápida.
Procesamiento distribuido	Divide tareas entre múltiples workers con `PUSH/PULL`.
Difusión de eventos	Usa `PUB/SUB` para enviar actualizaciones a múltiples servicios.
Sistemas embebidos o IoT	Ideal por su bajo overhead y soporte para múltiples protocolos.
Integración con Boost.Asio	Con librerías como azmq puedes combinar ZeroMQ con programación asíncrona [1].

Comunicación Asíncrona

- El **emisor** puede enviar mensajes sin esperar respuesta inmediata.
- El **receptor** puede procesar mensajes cuando esté listo, sin bloquear el flujo.
- ZeroMQ gestiona internamente las **colas**, **buffers** y **reconexiones**.

- Patrones:
  - PUSH/PULL — Distribuye tareas a múltiples workers
  - PUB/SUB — Difunde mensajes a múltiples suscriptores
  - ROUTER/DEALER — Comunicación flexible entre múltiples clientes y servidores.
  - *REQ/REP* — *Bloqueante (síncrono)*

Ejemplo Worker (PULL)

```
#include <zmq.hpp>
#include <string>
#include <iostream>

int main() {
zmq::context_t contexto(1);
zmq::socket_t receiver(contexto, zmq::socket_type::pull);

std::cout << "Preparado para recibir datos ... " << std::endl;

receiver.connect("tcp://localhost:5557");
while (true) {
zmq::message_t msg;

receiver.recv(msg, zmq::recv_flags::none);
std::cout << "Procesando: " << msg.to_string() << std::endl;
}

return 0;
}
```

Ejemplo Dispatcher (PUSH)

```
#include <zmq.hpp>
#include <string>
#include <iostream>

int main() {
zmq::context_t contexto(1);
zmq::socket_t sender(contexto, zmq::socket_type::push);

std::cout << "Preparado para enviar tareas ... " << std::endl;

sender.bind("tcp://*:5557");
for (int i = 0; i < 10; i++) {
sender.send(zmq::buffer("Tarea: " + std::to_string(i + 1)), zmq::send_flags::none);
}

return 0;
}
```

ROUTER / DEALER

- **ROUTER**:
  - Actúa como un servidor inteligente que puede recibir mensajes de múltiples clientes y responder a cada uno individualmente.
  - Mantiene el ID de cada cliente.

- **DEALER**:
  - Es un cliente avanzado que puede enviar mensajes sin esperar respuesta inmediata.
  - Ideal para comunicación asíncrona.

gRPC

Los proyectos con C++ 17

gRPC

- **Google Remote Procedore Call**

- Es un framework de comunicación de alto rendimiento y código abierto que permite a aplicaciones intercambiar datos entre sí de forma eficiente, rápida y estructurada.

- Fue desarrollado por Google y se basa en el protocolo **HTTP/2** y en **Protocol Buffers (protobuf)** para la serialización de datos.

Introducción

- **Streaming bidireccional**
  - gRPC permite:
  - **Streaming del servidor**: el servidor envía múltiples respuestas.
  - **Streaming del cliente**: el cliente envía múltiples peticiones.
  - **Streaming bidireccional**: ambos envían y reciben datos en tiempo real.
  - Ideal para chats, dashboards en vivo, sensores, etc.

- **Interoperabilidad entre lenguajes**
  - Puedes tener:
  - Un servidor en C++
  - Un cliente en Python, Go, JavaScript, etc.
  - Todo gracias a que comparten el mismo **.proto**.

gRPC

- Permite definir **servicios** y sus métodos usando archivos **.proto**.
- Un archivo proto es un IDL (lenguaje de definición de interface) y después se puede generar código en C++
- Genera automáticamente el código cliente y servidor en múltiples lenguajes (C++, Go, Java, Python, etc.).
- Usa **llamadas a procedimientos remotos (RPC)** para que una aplicación pueda ejecutar funciones en otra como si fueran locales.

gRPC: Ventajas

- **Comunicación eficiente**
  - Usa **HTTP/2**, lo que permite multiplexación de conexiones, compresión de cabeceras y streaming bidireccional.

- **Serialización rápida**
  - Utiliza **Protocol Buffers**, que son más compactos y rápidos que JSON o XML.

- **Multilenguaje**
  - Compatible con muchos lenguajes: ideal para arquitecturas de microservicios heterogéneas.

- **Seguridad**
  - Soporta **TLS** para cifrado de extremo a extremo.

Casos de uso típicos

Sector	Ejemplo de uso con gRPC
Microservicios	Comunicación entre servicios backend
Telecomunicaciones	Transmisión de datos entre nodos de red
IoT / sistemas embebidos	Comunicación eficiente entre dispositivos
Juegos online	Sincronización de estado entre cliente y servidor
Machine Learning	Servir modelos de IA con baja latencia

Componentes necesarios

- **protoc** es un compilador que tomará el archivo proto como entrada y generará las estructuras de mensajes y las interfaces de servicio en el lenguaje deseado, en nuestro caso, C++.

- **El archivo .proto** es un archivo IDL donde definimos las estructuras de paso de mensajes y las API de rpc de acuerdo con las especificaciones de Protobuf.

- **Complemento gRPC** para el lenguaje específico: existen complementos gRPC separados para diferentes lenguajes de programación y el protocolo los requerirá para generar los archivos fuente según las interfaces de servicio definidas en el IDL.

Instalación

- Se instala con el gestor de paquetes: **vcpkg**
  - **vcpkg install grpc**
  - **vcpkg integrate install**

- Visual Studio debería de reconocer:

```
#include <grpcpp/grpcpp.h>
#include <grpcpp/server.h>
#include <grpcpp/server_builder.h>
```

- Para la compilación de archivos **.proto**

- Necesitamos instalar:
  - **vcpkg install protobuf**
  - **vcpkg integrate install**

Instalación

- Dentro de la instalación de **vcpkg** tenemos que localizar el comando **protoc** y añadirlo al **PATH**.

- Por ejemplo:
  - C:\vcpkg**installed\x64-windows\tools\protobuf\protoc.exe**

- Hay un plugin **grpc_cpp_plugin.exe** que se utiliza para generar código C++, y debería de estar también en:

  - C:\vcpkg**installed\x64-windows\tools\grpc\grpc_cpp_plugin.exe**

  - **Si no se instaló correctamente lanzar estos comandos:**
    - **vcpkg remove grpc**
    - **vcpkg install grpc --recurse**
    - **vcpkg integrate install**

¿Cómo se usa?

- El servicio se define en un archivo **.proto**

```
service Saludo {
  rpc DiHola (Mensaje) returns (Respuesta);
}
```

- Se compila con **protoc**
- Implementar el servidor y el cliente en el lenguaje elegido.

- gRPC genera código a partir de contratos.
- El archivo .proto define la estructura y servicios y protoc genera la parte de comunicación.
- La lógica de que hace el cliente y el servidor la escribimos nosotros.

Estructura básica del archivo: **saludo.proto**

```
syntax = "proto3";            // Versión del lenguaje de Protobuf
package saludo;               // Nombre del paquete (opcional pero recomendable)

service Saludo {              // Definición del servicio gRPC
  rpc DiHola (Solicitud) returns (Respuesta);  // Método RPC
}

message Solicitud {           // Mensaje de entrada
  string nombre = 1;
}

message Respuesta {           // Mensaje de salida
  string mensaje = 1;
}
```

Generar código

protoc

--cpp_out=.

--grpc_out=.

--plugin=protoc-gen-grpc=D:\vcpkg\installed\x64-windows\tools\grpc\grpc_cpp_plugin.exe

saludo.proto

- El comando genera:
  - **saludo.pb.h** y **saludo.pb.cc**: clases para los mensajes (Solicitud, Respuesta)
  - **saludo.grpc.pb.h y saludo.grpc.pb.cc**: clases para el servicio (**Saludo::Service**, **Saludo::Stub**)

Escribir el servidor

- Crea una clase que herede de **Saludo::Service**.
- Implementa la lógica del método.
- Usa grpc::ServerBuilder para iniciar el servidor.

Escribir el cliente

- Usa **Saludo::Stub** para conectarte al servidor.
- Llama a DiHola() pasando una instancia de **Solicitud**.
- Recibe la respuesta en una instancia de **Respuesta**.

En Visual Studio

- Crear una solución:
  - En la carpeta Proto mantener el fichero .proto y los ficheros generados, se llamarán:
    - **saludo.pb.h**
    - **saludo.pb.cc**
    - **saludo.grpc.pb.h**
    - **saludo.grpc.pb.cc**
  - Crear dos proyectos en la solución:
    - **Servidor** y **Cliente**
  - En cada proyecto hay que vincular los ficheros generados con protoc
  - Se pueden agregar como elementos existentes con botón derecho sobre cada proyecto.
  - **Después en propiedades de cada proyecto, ir a C/C++ → General → Directorios de inclusión adicionales y añadir $(SolutionDir)Proto**

saludo.pb.h

- Encabezado de Protocol Buffers

- Define las clases C++ para los mensajes que has declarado en el .proto, como:
  - **Solicitud**
  - **Respuesta**

- Incluye métodos para:
  - Acceder y modificar campos (set_nombre(), nombre(), etc.)
  - Serializar y deserializar los mensajes
  - Comparar, copiar, limpiar, etc.

saludo.pb.cc

- Implementación de Protocol Buffers
- Contiene el código fuente que implementa las clases declaradas en saludo.pb.h
- Incluye la lógica de serialización, construcción de objetos, y manejo interno de campos

saludo.grpc.h

- Encabezado de gRPC

- Define las interfaces para el servicio gRPC que declaraste en el .proto, por ejemplo:
  - Clase abstracta Saludo::**Service** con métodos virtuales como DiHola(...)
  - Clase Saludo::**Stub** para que el cliente invoque el servicio

- También incluye definiciones para el contexto de llamada (grpc::ServerContext, grpc::ClientContext)

saludo.grpc.pb.cc

- Implementación de gRPC
- Implementa el stub del cliente y el registro del servicio en el servidor
- Contiene el código que conecta los métodos RPC con el transporte gRPC
- Maneja la serialización de mensajes entre cliente y servidor usando Protocol Buffers

- **Tipos de datos más ricos**
  - int32, int64, float, double, bool, bytes
  - enum para valores constantes y repeated para listas

```
message Usuario {
  string nombre = 1;
  int32 edad = 2;
  repeated string intereses = 3;
}
```

- **Streaming de datos (gRPC permite streaming bidireccional)**

```
service Chat {
        rpc Conversacion(stream Mensaje) returns (stream Mensaje);
}
```

- **Mensajes anidados y reutilizables:**

```
message Direccion {
  string calle = 1;
  string ciudad = 2;
}

message Perfil {
  string nombre = 1;
  Direccion direccion = 2;
}
```

IDL

- Enums para estados o tipos:

```
enum Estado {
        ACTIVO = 0;
        INACTIVO = 1;
        SUSPENDIDO = 2;
}
```

- Opciones personalizadas y extensiones
  - Opciones para definir metadatos, como validaciones o documentación extra.

```
message Producto {
  string nombre = 1 [(validate.rules).string.min_len = 3];
}
```

IDL

- Los números de los campos son identificadores únicos (en formato binario)

- Permite que sean compactos y eficientes:
  - **Solo se transmiten los números**, no los nombres. Esto:
    - Reduce el tamaño del mensaje.
    - Permite renombrar campos sin romper compatibilidad.
    - Hace que el protocolo sea más rápido y eficiente.

- Es crítico para la compatibilidad, cambiar el número rompe la compatibilidad con versiones anteriores.

IDL

- Los números deben estar entre 1 y 2^29 -1 (excepto los reservados).
- No se deben reutilizar ni cambiar una vez en uso.
- Se pueden reservar números: reserved 3,4,5;
- Los números se reservan dentro del mensaje.
  - Se suelen reservar cuando se elimina un campo y su número correspondiente, en este caso es mejor reservarlo para no volver a utilizarlo.

Aplicaciones comunes entre gRPC / C++

- **Sistemas distribuidos y microservicios**
  - Comunicación entre servicios en arquitecturas modernas.
  - Sustituto de REST cuando se necesita eficiencia.
  - Ejemplo: backend de una plataforma de streaming o e-commerce.

- **Redes y telecomunicaciones**
  - Transmisión de datos en tiempo real.
  - Control de dispositivos de red, routers, switches.
  - Ejemplo: gestión de infraestructura 5G o SDN (Software Defined Networking).

Aplicaciones comunes entre gRPC / C++

- **IoT y dispositivos embebidos**
  - Comunicación entre sensores, gateways y servidores.
  - gRPC es ligero y eficiente, ideal para dispositivos con recursos limitados.

- **Gaming y simulaciones**
  - Sincronización de estado entre cliente y servidor.
  - Envío de eventos en tiempo real (movimiento, colisiones, etc.).
  - Ejemplo: juegos multijugador con servidores dedicados.

- **Machine Learning y procesamiento de datos**
  - Comunicación entre modelos, servidores de inferencia y clientes.
  - Ejemplo: un cliente C++ que envía imágenes a un servidor Python con TensorFlow.

Aplicaciones comunes entre gRPC / C++

- **Finanzas y trading algorítmico**
  - Envío de datos de mercado en tiempo real.
  - Ejecución de órdenes con baja latencia.
  - Ejemplo: plataformas de trading de alta frecuencia.

- **Automoción y robótica**
  - Comunicación entre módulos de control (sensores, actuadores, navegación).
  - Ejemplo: vehículos autónomos que intercambian datos entre subsistemas.

gRPC vs REST

Característica	gRPC	REST
Protocolo	HTTP/2	HTTP/1.1
Serialización	Binaria (Protobuf)	Texto (JSON)
Rendimiento	Alto	Medio
Streaming	Bidireccional	Limitado
Tipado	Fuerte (IDL)	Débil
Soporte multilenguaje	Excelente	Bueno

Servicio con streaming

```
syntax = "proto3";
package chat;

service ChatService {
  rpc Conversacion(stream Mensaje) returns (stream Mensaje);
}

message Mensaje {
  string usuario = 1;
  string texto = 2;
}
```

Servidor simplificado

```
class ChatServiceImpl final : public ChatService::Service {
  Status Conversacion(ServerContext* context,
                      ServerReaderWriter<Mensaje, Mensaje>* stream) override {
    Mensaje mensaje;
    while (stream->Read(&mensaje)) {
      std::cout << "Recibido de " << mensaje.usuario() << ": " << mensaje.texto() << std::endl;

      Mensaje respuesta;
      respuesta.set_usuario("Servidor");
      respuesta.set_texto("Hola " + mensaje.usuario() + ", recibí tu mensaje.");
      stream->Write(respuesta);
    }
    return Status::OK;
  }
};
```

Cliente simplificado

- std::unique_ptr<ChatService::Stub> stub = ChatService::NewStub(channel);
- ClientContext context;
- std::shared_ptr<ClientReaderWriter<Mensaje, Mensaje>> stream(stub->Conversacion(&context));

- Mensaje mensaje;
- mensaje.set_usuario("Cliente1");
- mensaje.set_texto("¡Hola servidor!");
- stream->Write(mensaje);

- Mensaje respuesta;
- while (stream->Read(&respuesta)) {
- std::cout << "Respuesta: " << respuesta.texto() << std::endl;
- }

Enlaces

- Configurar **gRPC** en **Windows**:
  - https://sanoj.in/2020/05/07/working-with-grpc-in-windows.html

RabbitMQ

RabbitMQ

- **RabbitMQ** es un sistema de **mensajería intermedia (message broker)** que permite a diferentes aplicaciones comunicarse entre sí de forma **asíncrona, confiable y escalable**.

- Funciona como un **intermediario** que recibe mensajes de un productor (emisor) y los entrega a uno o varios consumidores (receptores), siguiendo distintos patrones de distribución.

RabbitMQ

- **Desacoplar servicios**: los emisores no necesitan saber quién consume los mensajes.
- **Distribuir carga**: balancea el trabajo entre múltiples consumidores.
- **Persistencia**: puede almacenar mensajes hasta que sean entregados.
- **Escalabilidad**: permite añadir más productores o consumidores sin cambiar la lógica del sistema.

RabbitMQ

- RabbitMQ se basa en el protocolo **AMQP (Advanced Message Queuing Protocol)** y utiliza tres componentes clave:
  - **Producer**: envía mensajes.
  - **Exchange**: decide cómo enrutar los mensajes.
  - **Queue**: almacena los mensajes hasta que un consumidor los procesa.

Patrones de Uso

Patrón	Descripción
Work Queue	Distribuye tareas entre múltiples trabajadores
Publish/Subscribe	Un mensaje se envía a múltiples receptores
Routing	Mensajes se envían según claves específicas
Topic	Enrutamiento basado en patrones de temas
RPC	Simula llamadas remotas entre servicios

Casos de Uso

- Procesamiento de tareas en segundo plano (ej. generación de PDFs, envío de correos).
- Comunicación entre microservicios.
- Sistemas de monitoreo y logging.
- Integración entre sistemas heterogéneos (Java, Python, C++, etc.).
- Control de flujo en sistemas embebidos o IoT.

Lenguajes que soportan RabbitMQ

- RabbitMQ tiene clientes oficiales y comunitarios para:
- C++
- Python
- Java
- Go
- Node.js
- Rust, entre otros

RabbitMQ

- Hay que tener **Erlang** y luego descargar e instalar RabbitMQ
  - https://www.rabbitmq.com/docs/download

- Mejor opción con **Docker**:

  # latest RabbitMQ 4.x

  docker run -it --rm --name rabbitmq -p 5672:5672 -p 15672:15672 rabbitmq:4-management

  - Para conectar microservicios mediante el protocolo AMQP: 5672
  - Panel de administración Web: http://localhost:15672
    - User / Pass por defecto es: **guest** / **guest**

Instalación de las librerías

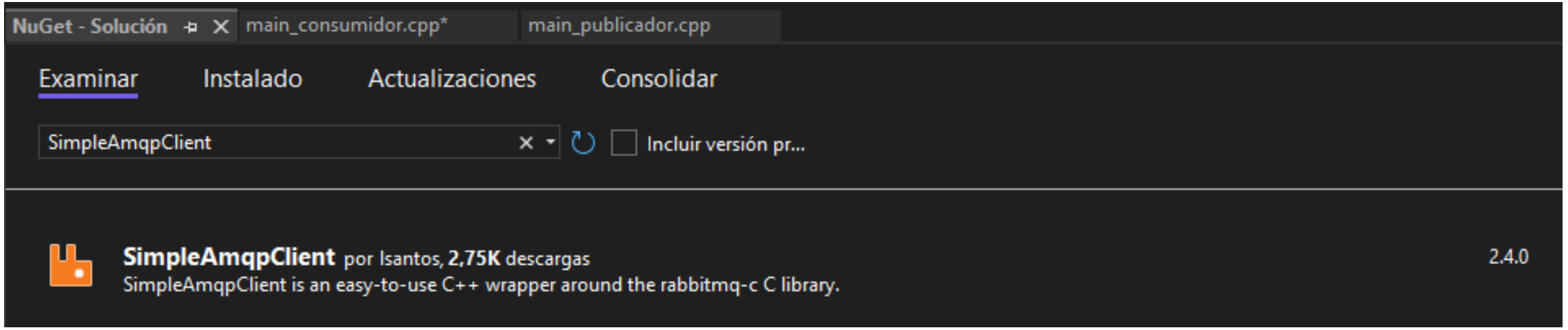
- A diferencia de ZeroMQ y gRPC. RabbitMQ no es una librería, es un servidor de mensajería.

- Con vcpkg se pueden instalar librerías cliente compatibles con RabbitMQ

- **vcpkg install librabbitmq (librería oficial) ← en C**
- **vcpkg integrate install**
  - Depende de Boost y rabbitmq-c, pero el gestor vcpkg ya instala las dependencias.

SimpleAmqpClient

- Utilizar NuGet para instalar los paquetes necesarios en la solución.
- Botón derecho sobre la solución → Administrar paquetes NuGet para la solución.
- En examinar y a la derecha botón instalar.



- Se puede instalar en Docker.
- **#include <SimpleAmqpClient/SimpleAmqpClient.h>**

- **La opción mas moderna y eficiente: AMQP-CPP → OJO C++ 17**
  - **vcpkg install amqpcpp**
  - **vcpkg integrate install**

Ejemplos

- Utilizarlo en:
  - Procesamiento de tareas en segundo plano.
  - Arquitectura de microservicios.
  - Sistemas que requieren alta fiabilidad.
  - Integración de sistemas heterogéneos.
  - Control de flujo y balanceo de carga.

- No utilizarlo en:
  - Comunicación en tiempo real → WebSockets o gRPC.
  - Sistemas simples que no requieren desacoplamiento.
  - Modelos de comunicación más ligeros.

Librerías AMQP

- **AMQP (Advanced Message Queuing Protocol)** es el protocolo estándar que usa RabbitMQ para enviar y recibir mensajes.
- RabbitMQ es un **broker** que implementa AMQP, pero **no proporciona directamente una librería oficial para C++**.

Comparativa entre REST y gRPC

Comparativa

- Son dos enfoques típicos para la comunicación entre servicios, especialmente en arquitecturas distribuidas y microservicios:

Característica	REST (HTTP/JSON)	gRPC (HTTP/2 + Protobuf)
🔌 Protocolo	HTTP/1.1	HTTP/2
📦 Formato de datos	JSON	Protocol Buffers (binario)
📜 Definición de API	Manual (OpenAPI/Swagger opcional)	Automática con archivos `.proto`
🔄 Comunicación	Sincrónica (por defecto)	Sincrónica y asíncrona (streaming bidireccional)
🧪 Validación	Manual	Validación automática por esquema `.proto`
🌐 Compatibilidad	Universal (navegadores, herramientas web)	Limitada en navegadores, ideal para backend
🚀 Rendimiento	Medio	Alto (más rápido y eficiente)
🧩 Multilenguaje	Muy buena	Excelente (con generación automática)
🔐 Seguridad	TLS, OAuth, JWT	TLS, autenticación personalizada

REST

- **Ideal para:**
  - APIs públicas o abiertas.
  - Aplicaciones web y móviles.
  - Sistemas donde la compatibilidad con navegadores es clave.

- **Evítalo si:**
  - Necesitas rendimiento extremo o streaming bidireccional.
  - Quieres evitar la sobrecarga de JSON en servicios internos

gRPC

- **Ideal para:**
  - Comunicación entre microservicios backend.
  - Sistemas embebidos, telecomunicaciones, alto rendimiento.
  - Streaming de datos en tiempo real (IoT, juegos, ML).

- **Evítalo si:**
  - Tu cliente es un navegador (gRPC no funciona directamente en ellos).
  - No quieres depender de herramientas como protoc para generar código.

Uso por sectores

Sector	REST	gRPC
Web pública	Ok	Limitado en navegadores
Microservicios	Ok	Más eficiente
Sistemas Embebidos	Pesado	Ligero y rápido
Telecomunicaciones	No	Streaming, binario, eficiente
IA / ML	Para Dashboards	Para inferencia distribuida

Implementación

- **gRPC no usa directamente los verbos HTTP como POST, GET, PUT o DELETE.**

- **Se puede modelar esas operaciones típicas de un microservicio** en C++ usando gRPC, pero con un enfoque diferente.
  - Hay que diseñar un fichero .proto que sea equivalente a REST

Ejemplo .proto

```
service ProductoService {
    rpc CrearProducto (Producto) returns (Respuesta);      // POST
    rpc ObtenerProducto (ProductoID) returns (Producto);    // GET
    rpc ActualizarProducto (Producto) returns (Respuesta);  // PUT
    rpc EliminarProducto (ProductoID) returns (Respuesta);  // DELETE
}
```

Peticiones

REST (HTTP)	gRPC (RPC)
GET /producto/123	ObtenerProducto(ProductoID)
POST /producto	CrearProducto(Producto)
PUT /producto/123	ActualizarProducto(Producto)
DELETE /producto/123	EliminarProducto(ProductoID)

Compilar fichero .proto

- Al compilar se generan clases C++ con métodos virtuales para su implementación:

```
class ProductoServiceImpl final : public ProductoService::Service {
  grpc::Status CrearProducto(grpc::ServerContext* context,
                             const Producto* request,
                             Respuesta* response) override {
    // lógica de creación
    return grpc::Status::OK;
  }
};
```

Ventajas

- Tipado fuerte y validación automática.
- Comunicación binaria, más rápida que JSON.
- Streaming bidireccional si lo necesitas.
- Generación automática de cliente y servidor.

WebSockets

WebSockets

- Dentro de la librería boost.beast con **WebSockets** podemos implementar:
  - Un **cliente WebSocket**: conectar con un servidor WebSocket remoto (para consumir datos en tiempo real).
  - Un **Servidor WebSocket**: crear un servidor que escuche conexiones WebSocket entrantes y gestionar múltiples clientes simultáneamente.

Realizar el handshake

- Gestiona el **handshake HTTP** inicial que convierte una conexión HTTP en una conexión WebSocket.

- Permite personalizar los encabezados del handshake para añadir autenticación, tokens, etc.

Enviar y recibir mensajes

- Lectura y escritura síncrona (read, write)
- Lectura y escritura asíncrona (async_read, async_write)
- Compatible con mensajes de texto y binarios
- Se pueden utilizar buffers dinámicos o estáticos, y gestionar los mensajes con precisión.

Soporte para webSocket seguro (WSS)

- Integración con SSL / TLS mediante Boost.Asio
- Establecer conexiones seguras usando certificados y clases privadas
- Ideal para aplicaciones que requieren confidencialidad (como chats, trading, IoT)

Control de flujo y gestión de errores

- Manejo de errores detallado con boost::system::error_code
- Control de cierre de conexión (close) con códigos estándar WebSocket
- Detección de desconexiones, timeouts, y errores de protocolo

Personalización avanzada

- Puedes acceder directamente a los **encabezados HTTP** del handshake
- Configurar opciones como:
  - **Fragmentación de mensajes**
  - **Tamaño máximo de buffer**
  - **Control de ping/pong** para mantener viva la conexión

Integración con otras tecnologías

- Compatible con **Boost.Asio coroutines** (co_spawn, awaitable)
- Puedes combinar WebSockets con **HTTP/REST**, **TCP**, o **SSL** en una misma aplicación
- Ideal para servidores híbridos que ofrecen tanto APIs como canales WebSocket

Ejemplos de uso

- Chat en tiempo real
- Streaming de datos financieros
- Juegos multijugador
- Comunicación entre dispositivos IoT
- Actualización en vivo de interfaces web.

Ejemplo: Cliente WebSocket con Boost.Beast

- Pasos:
  - Resolver el host y el puerto
  - Establecer la conexión TCP
  - Realiza el handshake WebSocket
  - Enviar un mensaje
  - Recibe la respuesta
  - Cierra la conexión

  - Disponemos de un servidor público por el puerto 80:
  - **echo.websocket.events**
  - Para probar los WebSockets

Ejemplo

- asio::io_context ioc; **// Definir el contexto de in-out**
- tcp::resolver resolver(ioc); **// Resolver DNS:**
- **auto const results = resolver.resolve("echo.websocket.events", "80");**
- websocket::stream<tcp::socket> ws(ioc); **// Crear el WebSocket:**

- **// Conectar al Servidor: intenta conectar con el primer endpoint disponible**
- asio::connect(ws.next_layer(), results.begin(), results.end()); ws.handshake("echo.websocket.events", "/"); **// Handshake WebSocket:**
- std::string msg = "Mensaje de Boost.Beast"; **// Enviar el mensaje:**
- ws.write(asio::buffer(msg));

- beast::flat_buffer buffer; **// Leer la respuesta:**
- ws.read(buffer);
- std::cout << "Respuesta del Servidor: " << beast::make_printable(buffer.data()) << std::endl;

- beast::flat_buffer buffer2; **// Leer una segunda respuesta:**
- ws.read(buffer2);
- std::cout << "Respuesta 2 del Servidor: " << beast::make_printable(buffer2.data()) << std::endl;

- ws.close(websocket::close_code::normal); **// Cerrar la conexion:**

results

- **results** es un objeto de tipo **tcp::resolver::results_type**, que es básicamente una colección de **tcp::endpoint + metadatos**.

- De cada elemento representa una posible dirección IP y puerto a la que puedes conectarte.

- De cada elemento puedes extraer:
- Dirección IP (endpoint.address()): Por ejemplo, 93.184.216.34

- Puerto (endpoint.port()): En este caso, 80 (puerto HTTP)

- Familia de protocolo (endpoint.protocol()): Por ejemplo, tcp::v4() o tcp::v6()

- Nombre del host y servicio (si accedes a los metadatos): Puedes obtener el nombre original que se resolvió (host_name(), service_name())

Inspeccionar

```
for (auto const& entry : results) {
    auto endpoint = entry.endpoint();
    std::cout << "IP: " << endpoint.address().to_string()
              << ", Puerto: " << endpoint.port()
              << ", Protocolo: " << (endpoint.protocol() == tcp::v4() ? "IPv4" : "IPv6")
              << std::endl;
}
```

Ejemplo: Servidor WebSocket con Boost.Beast

- Este servidor:
  - Escucha en un puerto TCP.
  - Acepta conexiones WebSocket.
  - Lee mensajes del cliente.
  - Los devuelve tal cual (eco).
  - Cierra la conexión cuando el cliente lo solicita.

Testear Servidor WebSocket

- Disponemos de una herramienta online para testear el servidor:
- https://piehost.com/websocket-tester

- Y luego nos conectamos a:
- ws://localhost:8080

Web Socket Secure

WSS

WSS (WebSocket Secure)

- Necesitamos hacer algunos cambios:
- Crear un contexto ssl:context
- Cambiar el tipo WebSocket stream
- Realizar el handshake SSL antes del handshake WebSocket
- El puerto tiene que ser 443

- Necesitamos la herramienta **openssl**, y generar un certificado

Tipos de certificado

Tipo de certificado	¿Quién lo emite?	¿Dónde se usa?	¿Requiere hardware?
DNI electrónico (DNIe)	Gobierno (Policía Nacional en España)	Trámites oficiales, firma electrónica	Sí, lector de tarjetas
Certificado FNMT	Fábrica Nacional de Moneda y Timbre	Administración pública, firma digital	No
Certificado local (OpenSSL)	Tú mismo con OpenSSL	Desarrollo, pruebas, servidores propios	No
Certificados SSL/TLS	Autoridades de certificación (CA)	Sitios web seguros (HTTPS)	No
Certificados de firma de código	CA como DigiCert, Sectigo	Firmar software, garantizar integridad	No

CA: Autoridad de certificación

openssl

- Comando***: openssl req -x509 -newkey rsa:2048 -keyout key.pem -out cert.pem -days 365***

- El comando:
  - Crea un certificado autofirmado (no emitido por una CA).
  - Clave privada RSA de 2048 bits
  - Pide una serie de datos

  - Así como una contraseña para encriptar la clave:
    - Se genera como resultado dos archivos:
      - **key.pem → clave privada**
      - **cert.pem → tu certificado público autofirmado**
    - **Estos dos ficheros son necesarios para WSS**

openssl

- Permite activar HTTPS / WSS
- Cifrar comunicaciones entre dispositivos
- Probar servicios sin tener que tener certificados oficiales

- Al comando se le puede añadir un parámetro para evitar que nos pida la información
- -subj “…”

openssl

Campo	Descripción
`C`	País (Country)
`ST`	Estado o provincia (State)
`L`	Localidad o ciudad (Locality)
`O`	Organización (Organization)
`OU`	Unidad organizativa (Organizational Unit)
`CN`	Nombre común (Common Name)
`emailAddress`	Correo electrónico

- Cada inicial lleva una barra / delante del campo.
- En el comando si añadimos **–nodes** no encripta la clave privada **key.pem**

```
openssl req -x509 -newkey rsa:2048 -keyout key.pem -out cert.pem -days 365 -nodes \
-subj "/C=ES/ST=Madrid/L=Madrid/O=AntonioTech/OU=IoT/CN=raspberry.local/emailAddress=antonio@ex.com"
```

Servidor WSS

- **El primer paso es configurar el contexto para SSL.**
- Tenemos que indicar los dos ficheros generados anteriormente.

```
boost::asio::ssl::context ctx(boost::asio::ssl::context::tlsv12);

ctx.set_options(
   boost::asio::ssl::context::default_workarounds |
   boost::asio::ssl::context::no_sslv2 |
   boost::asio::ssl::context::no_sslv3 |
   boost::asio::ssl::context::single_dh_use
);

ctx.use_certificate_file("cert.pem", boost::asio::ssl::context::pem);
ctx.use_private_key_file("key.pem", boost::asio::ssl::context::pem);
```

Diferencias entre: boost::asio::**io_context** / boost::asio::**ssl::context**

- **boost::asio::io_context**
  - El motor principal de I/O (asincrónas)
  - Coordinar eventos en conexiones TCP, temporizadores y lectura / escritura de sockets.
  - Ejecutar los handlers cuando ocurren eventos
- **boost::asio::ssl::context**
  - Contexto de configuración para TLS/SSL, para cifrar comunicaciones con HTTPS / WSS
  - Certificados a utilizar
  - Que claves privadas cargar
  - Protocolos TLS como TLS 1.2 o 1.3)
  - Opciones de seguridad

Servidor WSS

```
void run_server_1_mensaje(net::io_context& ioc, ssl::context& ctx, unsigned short port) {
   tcp::acceptor acceptor(ioc, tcp::endpoint(tcp::v4(), port));

for (;;) {
      tcp::socket socket(ioc);
      acceptor.accept(socket);

      ssl::stream<tcp::socket> ssl_stream(std::move(socket), ctx);
      ssl_stream.handshake(ssl::stream_base::server);

      websocket::stream<ssl::stream<tcp::socket>> ws(std::move(ssl_stream));
      ws.accept();

      beast::flat_buffer buffer;
      ws.read(buffer);
      ws.text(ws.got_text());
      std::cout << "Mensaje recibido: " << beast::make_printable(buffer.data()) << std::endl;

      ws.write(buffer.data());
   }
```

Servidor WSS - Pasos

- **Pasos**
  - **1 – Inicializar io_context, configurar SSL/TLS e indicar el puerto**

  - **2 – Inicializar el servidor**
  - tcp::acceptor acceptor(ioc, tcp::endpoint(tcp::v4(), port));
  - Crea un acceptor TCP para escuchar por el puerto indicado
  - Y utilizamos IPv4

  - **3 – Bucle principal para aceptar clientes:**
  - for (;;) {
  - tcp::socket socket(ioc); // Acepta conexiones
  - acceptor.accept(socket); // y crea un socket TCP

Servidor WSS – Pasos II

- **4 – HandShake TLS**
  - **// Crea un stream SSL sobre TCP**
  - ssl::stream<tcp::socket> ssl_stream(std::move(socket), ctx);
  - **// Realiza el handshake TLS como servidor**
  - ssl_stream.handshake(ssl::stream_base::server);

- **5 – HandShake WebSocket**
  - **// Crea un stream WebSocket sobre el canal TLS**
  - websocket::stream<ssl::stream<tcp::socket>> ws(std::move(ssl_stream));
  - **// Realiza el handshake WebSocket, para completar la conexión WSS**
  - ws.accept();

Servidor WSS – Pasos III

- **6 – lectura del mensaje**
  - **// El buffer se utiliza para los datos entrantes**
  - beast::flat_buffer buffer;
  - **// Lee un mensaje del buffer.**
  - ws.read(buffer);

- **7 – Procesamiento y eco**
  - // Configura el mensaje para tratarlo como texto no binario
  - ws.text(ws.got_text());
  - **// Imprime el mensaje recibido en un formato legible**
  - std::cout << "Mensaje recibido: " << beast::make_printable(buffer.data()) << std::endl;
  - **// De Vuelta al cliente, hace el eco**
  - ws.write(buffer.data());

Cliente WSS - Pasos

- Utilizaríamos: **Boost.Beast + Boost.Asio + OpenSSL**
- **Pasos**:

  - **1- Configurar el contexto SSL**
  - boost::asio::ssl::context ctx(boost::asio::ssl::context::tlsv12);
  - **// Para certificados autofirmados**
  - ctx.set_verify_mode(boost::asio::ssl::verify_none);

  - **2- Resolver y conectar**
  - boost::asio::io_context ioc;
  - tcp::resolver resolver(ioc);
  - auto const results = resolver.resolve("localhost", "9002");

  - boost::asio::ssl::stream<tcp::socket> stream(ioc, ctx);
  - boost::asio::connect(stream.next_layer(), results);
  - stream.handshake(boost::asio::ssl::stream_base::client);

Cliente WSS – Pasos II

- **Pasos**:
  - **3 – Handshake WebSocket**
  - beast::websocket::stream<boost::asio::ssl::stream<tcp::socket>> ws(std::move(stream));
  - ws.handshake("localhost", "/");

  - **4 – Enviar y recibir**
  - ws.write(boost::asio::buffer("Hola servidor"));
  - beast::flat_buffer buffer;
  - ws.read(buffer);
  - std::cout << "Respuesta: " << beast::make_printable(buffer.data()) << std::endl;

Concurrencia & multithreading

std::thread / Boost.Asio

- **std::thread** es la clase estándar de C++ para crear y manejar hilos. Te permite ejecutar funciones en paralelo.
  - Necesitas manejar sincronización con std::mutex, std::condition_variable, etc.
  - No escala bien para miles de conexiones simultáneas (como en servidores web).

- **Boost.Asio** es una librería para **programación asíncrona y basada en eventos**, ideal para manejar múltiples conexiones de red sin bloquear hilos.
  - Manejo eficiente de miles de conexiones con pocos hilos.
  - Compatible con std::thread, std::future.
  - Ideal para microservicios, servidores HTTP, y sistemas embebidos.

Comparativa

Herramienta	Ideal para...	Evítalo si...
`std::thread`	Tareas paralelas simples, procesamiento	Necesitas escalabilidad o IO intensiva
`Boost.Asio`	Servidores concurrentes, IO no bloqueante	Tu aplicación es muy simple o CPU-bound

CPU-bound:
El programa **consume mucho tiempo de CPU** realizando cálculos intensivos.
El cuello de botella está en la **velocidad de procesamiento**, no en la espera por datos externos.
Aumentar el número de núcleos o la frecuencia del procesador puede mejorar el rendimiento.

std:thread

Contenidos

- Clase thread
- Paso de parámetros a los hilos.
- Regiones críticas, interbloqueos, condiciones de carrera.
- Mecanismos de sincronización en hilos:
  - Mutex
- Variables de condición.
- Esquema productor / consumidor.
- Futures y tareas asíncronas.

threads

- Soporte en C++11
- Para trabajar con hilos, incluir el fichero .H
  - **#include <thread>**

- Para compilar con g++:
  - **g++ –std=c++11 fichero.cpp –o fichero –lpthread**

- Para compilar con make:
  - set(CMAKE_CXX_FLAGS "${CMAKE_CXX_FLAGS} -lpthread")
  - set (CMAKE_CXX_STANDARD 11)
  - set (CMAKE_CXX_STANDARD_REQUIRED ON)

Lanzamiento de Hilos

- En C++11 un hilo se puede lanzar de 3 formas distintas:
  - Con una función.
    - La función puede tener parámetros o no.
  - Con un objeto de una clase que implemente el operador ()
    - También puede ser una estructura con la implementación de dicho operador.
  - Con una función lambda.

Con una función

- Primero se define una función:

```
void funcion_hello(){
        int i;
        for (i = 0 ; i < 10 ; i++)
                std::cout << "Hello " << i << std::endl;
}

std::thread h1(funcion_hello);
h1.join();
```

- También se puede inicializar el hilo con las {}
  std::thread h2 {función_hello}

Con una clase + operador ()

```
class MiFuncion {
        public:
                void operator()(){
                        for (int i = 0 ; i < 10 ; i++)
                                std::cout << "Operador () " << i << std::endl;
                }
};

std::thread h2( (MiFuncion()) );
h2.join();

// Ojo, se instancia la clase MiFuncion() se necesitan los paréntesis extras.
```

Con una función lambda

```
std::thread h3([]{
        for (int i = 0 ; i < 10 ; i++)
                std::cout << "Lambda " << i << std::endl;
        });

h3.join();
```

Condiciones de carrera

```
int x = 42;
void f () { ++x; }
void g() { x=0; }
void h() { cout << "Hola" << endl; }
void i () { cout << "Adios" << endl; }

// La variable x las comparten dos hilos sin ningún tipo de protección.
void carrera() {
    thread t1{ f };
    thread t2{g};
    t1.join () ;
    t2.join () ;
    thread t3{h};
    thread t4{ i };
    t3.join ();
    t4.join () ;
}
```

Paso de argumentos a un hilo

- A un hilo se le pueden pasar un número indeterminado de argumentos.
- La función que ejecute el hilo tiene que tener todos esos argumentos.
- Al instanciar el hilo se le manda como primer parámetro la función que tiene que ejecutar.

```
void funcion(int x, std::string s){
	std::cout << "Parametro int: " << x << std::endl;
	std::cout << "Parametro string: " << s << std::endl;
}

// suele hacer un casting automático de const char * a std::string
std::thread hilo(funcion, 1, std::string("hola"));
hilo.join()
```

Paso de argumentos a un hilo

- La definición de la clase thread:
- El constructor recibe una función y un número indeterminado de argumentos, que pueden ser 0 o n
- **thread thread(Function&& *f*, Args&&... *args*);**

- Un hilo termina cuando finaliza la rutina que ejecuta (por ejemplo, realiza un proceso n veces y termina) y llama a la instrucción **return**.

Paso de parámetros por referencia

- Cuando queremos pasar un parámetro a un hilo por referencia se tiene que indicar en la construcción del hilo.
- Para ello se dispone de la función std::ref(param)

- #include <functional>
- #include <thread>

- **void** f (registro & r) ;

- **void** g(registro & s) {
  - thread t1{ f ,s}; // Copia de s
  - thread t2{ f , std::ref (s) }; // Referencia a s
  - Thread t3 {[&] { f (s) ; }}; // Referencia a s, con la lambda también se puede indicar.

Esperar a que termine un hilo: **join**()

- Siempre se lanza un hilo principal (desde main) y a partir de este se van creando el resto de hilos.

- Para esperar a que un hilo termine se dispone del método **join**().

- Sólo se puede llamar una vez al método **join**.

- Se dispone de la función en thread: **joinable**() se aplica sobre un objeto thread y devuelve true / false para indicar si se puede hacer join a un hilo o no.

Vectores de hilos

- Los hilos se pueden combinar con la clase **vector** para tener varios hilos.

```
#include <vector>
#include <thread>


class Hilo {
        public:
        void operator()(){                  // Muestra el identificador del hilo
                std::cout << "Dentro del hilo: " << std::this_thread::get_id() << " esta ejecutando" << std::endl;
        }
};

std::vector<std::thread> hilos;
// Creamos 10 hilos y se añaden al vector:
for (int i = 0 ; i < 10 ; i++)
        hilos.push_back(std::thread( (Hilo()) ));


// Ahora esperamos a que acaben todos los hilos:
std::cout << std::endl << "Esperamos por todos los hilos" << std::endl;
for (auto &h : hilos)
        h.join();
```

mutex

- Al igual que en POSIX los **mutex** (cerrojo) nos sirven para sincronizar el acceso de varios hilos a un recurso compartido para evitar condiciones de carrera y que se corrompa la memoria.

  - La 1ª forma: más propensa a errores se puede olvidar el desbloqueo del mutex:

```
#include <mutex>
miMutex.lock();      // Adquiere el cerrojo
// Actualizar el recurso;
miMutex.unlock();            // Libera el cerrojo
```

  - La 2ª forma: es más segura, se evita el posible error de la primera forma. El mutex se libera automáticamente.

```
std::lock_guard<std::mutex> guard(miMutex);
// Actualizar el recurso y después se libera automáticamente.
```

  - La 3ª forma: es equivalente a lock_guard → unique_lock
  - **unique_lock**<mutex> milock {miMutex};
  - // Actualizar el recurso y después se libera automáticamente.

lock_guard vs unique_lock

- **lock_guard** y **unique_lock** son más o menos lo mismo; lock_guard es una versión restringida con una interfaz limitada.

- **lock_guard** siempre tiene un candado desde su construcción hasta su destrucción.

- **unique_lock** puede crearse sin bloqueo inmediato, puede desbloquearse en cualquier momento de su existencia y puede transferir la propiedad del bloqueo de una instancia a otra.

- Por lo tanto, siempre utilizaremos lock_guard, a menos que se necesiten las capacidades de unique_lock.
- Una variable condition_variable necesita a unique_lock.

detach: Hilos no asociados

- Se puede indicar que un hilo sigue ejecutando después de que el destructor se ejecute con **detach()**.

- Útil para tareas que se ejecutan como demonios.

```
void actualiza () {
    for (;;) {
    muestra_reloj(stead_clock::now());
    this_thread :: sleep_for(second{1});
    }
}
void f () {
    thread t { actualiza };
    t .detach();
}
```

Problemas con hilos no asociados

- Inconvenientes:
  - Se pierde el control de qué hilos están activos.
  - No se sabe si se puede usar el resultado generado por un hilo.
  - No se sabe si un hilo ha liberado sus recursos.
  - Se podría acabar accediendo a objetos que han sido destruidos.

Variables de condición

- Mecanismo para sincronizar hilos en acceso a recursos compartidos:
  - wait(): Espera en un mutex.
  - notify_one(): Despierta a un hilo en espera.
  - notify_all(): Despierta a todos los hilos en espera.

- Productor / Consumidor
  - **class** peticion ;
  - queue<peticion> cola; // Cola de peticiones
  - condition_variable cv;
  - mutex m;
  - **void** productor();
  - **void** consumidor();

Consumidor

```
void consumidor() {
    for (;;) {
        unique_lock<mutex> l{m};
        while (cv.wait( l ) ) ;
        auto p = cola. front () ;
        cola.pop();
        l .unlock() ;
        procesa(p);
    };
}
```

- Efecto de **wait**
  - Libera el cerrojo y espera una notificación.
  - Adquiere el cerrojo al despertarse.

Productor

- **void** productor() {
  - **for** (;;) {
    - peticion p = genera();
    - unique_lock<mutex> l{m};
    - cola.push(p);
    - cv.notify_one() ;
  - }
- }

- Efecto de notify_one()
  - Despierta a uno de los hilos que están esperando en la condición.

Tareas asíncronas y future

- Una tarea **asíncrona** permite el lanzamiento simple de la ejecución de una tarea:
  - **En otro hilo** de ejecución.
  - Como una **tarea diferida**.

- Un **futuro** es un objeto que permite que un hilo pueda devolver un valor a la sección de código que lo invocó

Invocación de tareas asíncronas

```
#include <future>
#include <iostream>


int main() {
    std :: future<int> r = std :: async(tarea, 1, 10);
    otra_tarea() ;
    std :: cout << "Resultado= " << r.get() << std :: endl;
    return 0;
}
```

Uso de futuros

- **Idea general**:
  - Cuando un hilo necesita pasar un valor a otro hilo pone el valor en una **promesa**.
  - La implementación hace que el valor esté disponible en el correspondiente **futuro**.

- Acceso al **futuro** mediante **f.get()**:
  - Si se ha asignado un valor → obtiene el valor.
  - En otro caso → el hilo llamante se bloquea hasta que esté disponible.
  - Permite la transferencia transparente de excepciones entre hilos.

Boost.Asio

¿Qué es Boost.Asio?

- **Boost.Asio** es una librería de C++ para **programación asíncrona y basada en eventos**, especialmente útil para:
  - **Redes TCP/UDP**
  - **Timers**
  - **Serialización**
  - **Multithreading**
  - **I/O no bloqueante**
- Está diseñada para construir aplicaciones **eficientes, escalables y concurrentes**, como servidores web, microservicios, sistemas embebidos o clientes de red.

Características

- **Modelo asíncrono**: evita bloqueos usando callbacks.
- **Sin dependencias externas**: todo se basa en C++ estándar y Boost.
- **Multiplataforma**: funciona en Windows, Linux, macOS.
- **Integración con** std::thread **y** std::future para concurrencia moderna.
- **Timers y señales**: ideal para tareas periódicas o eventos del sistema.

Ejemplo

```
boost::asio::io_context io;
tcp::acceptor acceptor(io, tcp::endpoint(tcp::v4(), 1234));

while (true) {
    tcp::socket socket(io);
    acceptor.accept(socket);
    // Manejar la conexión
}
```

Uso de Boost.Asio

Sector	Aplicación típica
Microservicios	Servidores HTTP, gRPC, ZeroMQ integrados
Sistemas embebidos	Comunicación entre sensores y controladores
Telecomunicaciones	Procesamiento de paquetes y señalización
Juegos en red	Sincronización de estado y eventos

Cuando elegir Boost.Asio

- Manejar miles de conexiones simultáneas sin bloquear hilos.
- Trabajar en sistemas de alto rendimiento o embebidos.
- Solución ligera y sin dependencias externas como gRPC o RabbitMQ

Multicliente con boost.asio

- Tenemos que utilizar
  - **async_read** y **async_write**
  - Para no bloquear el flujo del servidor.

  - El servidor escucha por un puerto:
  - Acepta múltiple conexiones TCP
  - Leer solicitudes HTTP
  - Responder un mensaje
  - Cierra la conexión después de enviar la respuesta.

- **Flujo de ejecución:**
- **main**():
  - Crea el io_context, el endpoint y el acceptor.
  - Llama a do_accept() para comenzar a aceptar conexiones.
  - Ejecuta el bucle de eventos con ioc.run().

- **do_accept**():
  - Espera una conexión entrante.
  - Cuando llega, crea una nueva session y llama a start().

- **session::start**():
  - Inicia la lectura de la solicitud HTTP con http::async_read.

- **session::handle_request**():
  - Procesa la solicitud y prepara una respuesta HTTP

- **session::write_response**():
  - Envía la respuesta al cliente y cierra el socket.

Objetos del Servidor

Objeto / Clase	Descripción
`asio::io_context`	Motor de eventos de Boost.Asio. Coordina operaciones asíncronas.
`tcp::endpoint`	Representa la dirección IP y el puerto donde el servidor escucha (en este caso, `0.0.0.0:8080`).
`tcp::acceptor`	Acepta conexiones entrantes de clientes TCP.
`tcp::socket`	Canal de comunicación con el cliente. Se usa para leer y escribir datos.
`session`	Clase que maneja la comunicación con un cliente individual. Se crea una instancia por conexión.
`beast::flat_buffer`	Buffer de Boost.Beast para almacenar datos leídos del socket.
`http::request<http::string_body>`	Representa la solicitud HTTP recibida del cliente.
`http::response<http::string_body>`	Representa la respuesta HTTP que se enviará al cliente.

Multicliente

- La clave está en cómo se manejan las conexiones:
  - Usa tcp::acceptor::async_accept() para aceptar conexiones **de forma asíncrona**.
  - Cada vez que se acepta una conexión, se crea una nueva instancia de **session** con **std::make_shared<session>(...).**
  - Dentro de **do_accept**(), se llama recursivamente a sí mismo para seguir aceptando más clientes:
    - do_accept(acceptor); // vuelve a aceptar otra conexión
  - Cada session maneja su propia conexión de forma independiente usando **shared_from_this**().

session::start()

- **No son un hilo en sí**, pero **funcionan como una unidad de trabajo asíncrona**, muy parecida a lo que haría un hilo en un servidor multicliente.
  - ***Se crea una sesión por cada conexión entrante***

- Usa operaciones **asíncronas** (async_read, async_write) que se ejecutan dentro del asio::io_context.

- No crea un hilo nuevo, pero se comporta como una tarea independiente que puede ejecutarse en paralelo con otras sesiones si el **io_context** tiene varios hilos activos.

session

- Cada cliente tiene su propia session, con su propio socket, buffer, solicitud y respuesta.

- Esto permite que múltiples clientes se atiendan en paralelo, sin interferencias entre ellos.

- Como las operaciones son asíncronas, no necesitas un hilo por cliente, lo que permite escalar a miles de conexiones

Dentro de la session

- Representa una sesión HTTP individual.
  - Leer solicitud HTTP
  - Procesarla
  - Enviar respuesta
  - Cerrar la conexión

Varios threads

- **Se pueden usar varios núcleos del procesador**:

```
std::vector<std::thread> threads;
for (int i = 0; i < std::thread::hardware_concurrency(); ++i) {
  // Construye el thread dentro del vector para evitar copias
   threads.emplace_back([&ioc] { ioc.run(); });
}
for (auto& t : threads) t.join();
```