Comprehensive Rust 🦀

Martin Geisler

Índice

Te damos la bienvenida a Comprehensive Rust 🦀

Este es un curso de Rust de tres días que ha desarrollado el equipo de Android de Google. El curso abarca todo lo relacionado con Rust, desde la sintaxis básica hasta temas avanzados como los genéricos y la gestión de errores. También incluye contenidos específicos de Android el último día.

> La última versión del curso se puede encontrar en https://google.github.io/comprehensive-rust/. Si lo estás leyendo en otro lugar, consulta allí para obtener actualizaciones.
>
> Este curso está disponible en otros idiomas. Seleccione su idioma preferido en la esquina superior a la derecha, o navega a la página de [Tradduciones](Translations](running-the-course/translations.md) para una lista de todas las traducciones disponibles.
>
> Este curso tambien está disponible como un PDF.

El objetivo del curso es enseñarte Rust. Suponemos que no sabes nada sobre Rust y esperamos lograr lo siguiente:

- Darte un entendimiento comprensivo de la sintaxis y lenguaje Rust.
- Permitirte modificar programas de Rust y escribir otros nuevos.
- Enseñarte idiomática propia de Rust.

Llamamos a los cuatro primeros días del curso Fundamentos de Rust.

Basándonos en esto, te invitamos a profundizar en uno o más temas especializados:

- Android: un curso de medio día sobre el uso de Rust en el desarrollo de la plataforma Android (AOSP). En él se incluye la interoperabilidad con C, C++ y Java.
- Chromium: una clase de medio día sobre el uso de Rust dentro del navegador Chromium. Incluye interoperabilidad con C++ y como incorporar bibliotecas de tercer partido (”crates”) en Chromium.
- Bare Metal: una clase de un día sobre el uso de Rust para el desarrollo bare-metal (insertado). Se tratarán tanto los microcontroladores como los procesadores de aplicaciones.
- Concurrencia: una clase de un día sobre concurrencia en Rust. Abordaremos tanto la concurrencia clásica (programación interrumpible mediante hilos y exclusiones mutuas), como la concurrencia async / await (multitarea cooperativa mediante traits future).

Objetivos que no trataremos

Rust es un lenguaje muy amplio y no podremos abarcarlo todo en unos pocos días. Algunos de los objetivos que no se plantean en este curso son los siguientes:

- Aprender a desarrollar macros: consulta el capítulo 19.5 del Libro de Rust y Rust by Example.

Suposiciones

El curso presupone que ya sabes programar. Rust es un lenguaje estáticamente tipado y, a veces, haremos comparaciones con C y C++ para explicarlo mejor o contrastar nuestro enfoque.

Si sabes programar en un lenguaje dinámicamente tipado, como Python o JavaScript, podrás seguir el ritmo sin problema.

Este es un ejemplo de una *nota del orador*. Las utilizaremos para añadir información adicional a las diapositivas. Puede tratarse de puntos clave que el instructor debería tratar, así como de respuestas a preguntas frecuentes que surgen en clase.

Capítulo 1

Desarrollo del curso

> Esta página está dirigida al instructor del curso.

A continuación, te ofrecemos información general sobre cómo se ha desarrollado el curso en Google.

Normalmente impartimos las clases de 09:00 a 16:00, con una pausa para almorzar de una hora. Esto deja 3 horas para la clase de la mañana y 3 horas para la clase de la tarde. Ambas sesiones incluyen varias pausas y tiempo para que los estudiantes completen los ejercicios.

Antes de impartir el curso, te recomdamos hacer lo siguiente:

1. Familiarízate con el material del curso. Hemos incluido notas del orador para destacar los puntos clave (ayúdanos a añadir más notas de este tipo). Cuando hagas una presentación, asegúrate de abrir las notas del orador en una ventana emergente (haz clic en el enlace que tiene una pequeña flecha junto a ”Notas del orador”). De esta manera, tendrás una pantalla despejada para mostrar a la clase.
2. Decide bien las fechas. Dado que el curso dura cuatro días, te recomendamos que repartas los días a lo largo de dos semanas. Los participantes del curso han dicho que les resulta útil hacer pausas durante el curso, ya que les ayuda a procesar toda la información que les proporcionamos.
3. Busca una sala con capacidad suficiente para los participantes presenciales. Recomendamos una sala para entre 15 y 25 personas. Es el tamaño ideal para que los alumnos se sientan cómodos haciendo preguntas y para que el profesor tenga tiempo de responderlas. Asegúrate de que en la sala haya *mesas* para ti y para los alumnos: todos necesitaréis sentaros y trabajar con vuestros portátiles. Además, como instructor, programarás mucho en directo, por lo que un atril no te resultará muy útil.
4. El mismo día del curso, llega con antelación a la clase para preparar todo lo necesario. Te recomendamos que realices la presentación directamente desde `mdbook serve` en tu portátil (consulta las [instrucciones de instalación][3]). Así conseguirás un rendimiento óptimo y que no haya demoras al pasar de una página a otra. También podrás corregir las erratas a medida que tú o los participantes del curso las detectéis.
5. Deja que los alumnos resuelvan los ejercicios por sí mismos o en pequeños grupos. Solemos dedicar entre 30 y 45 minutos a los ejercicios por la mañana y por la tarde (incluido el tiempo para revisar las soluciones). Asegúrate de preguntar a los asistentes si les está costando hacerlo o si hay algo en lo que puedas ayudarles. Cuando veas

que varias personas tienen el mismo problema, coméntalo delante de la clase y ofrece una solución. Por ejemplo, enséñales dónde encontrar la información importante en la biblioteca estándar.

Eso es todo. ¡Buena suerte con el curso, y esperamos que te diviertas tanto como nosotros!

Después, envíanos un comentario para que podamos seguir mejorando el curso. Estaremos encantados de que nos cuentes qué aspectos destacarías y qué se puede mejorar. Tus alumnos también pueden enviarnos sus sugerencias!

1.1 Estructura del curso

Esta página está dirigida al instructor del curso.

Fundamentos de Rust

Los primeros cuatro días forman los Fundamentos de Rust. ¡Los días son muy intensos y cubrimos mucho terreno!

Horario del curso:

- Día 1 por la mañana (2 horas y 5 minutos, incluidos los descansos)

Sección	Duración
Te damos la bienvenida	5 minutos
Hola, Mundo	15 minutos
Tipos y valores	40 minutos
Básicos de Control de Flujo	40 minutos

- Día 1 por la tarde (2 horas y 35 minutos, incluidos los descansos)

Sección	Duración
Tuplas y arrays	35 minutos
Referencias	55 minutos
Tipos definidos por el usuario	50 minutos

- Día 2 por la mañana (2 horas y 10 minutos, incluidos los descansos)

Sección	Duración
Te damos la bienvenida	3 minutos
Correspondencia de Patrones	1 hora
Métodos y Traits	50 minutos

- Día 2 por la tarde (3 horas y 15 minutos, incluidos los descansos)

Sección	Duración
Genéricos	45 minutos
Tipos de la Biblioteca Estándar	1 hora
Traits de la biblioteca estándar	1 hora y 10 minutos

- Día 3 por la mañana (2 horas y 20 minutos, incluidos los descansos)

Sección	Duración
Te damos la bienvenida	3 minutos
Manejo de Memoria	1 hora
Punteros inteligentes	55 minutos

- Día 3 por la tarde (1 hora y 55 minutos, incluidos los descansos)

Sección	Duración
Préstamos (Borrowing)	55 minutos
Duraciones de vida	50 minutos

- Día 4 por la mañana (2 horas y 40 minutos, incluidos los descansos)

Sección	Duración
Te damos la bienvenida	3 minutos
Iteradores	45 minutos
Módulos	40 minutos
Probando	45 minutos

- Día 4 por la tarde (2 horas y 15 minutos, incluidos los descansos)

Sección	Duración
Manejo de Errores	1 hora
Unsafe Rust	1 hora y 5 minutos

Información más detallada

Además de la clase de 4 días sobre los fundamentos de Rust, abordamos algunos temas más especializados:

Rust en Android

Rust en Android es un curso de medio día sobre el uso de Rust para el desarrollo de la plataforma Android. En él se incluye la interoperabilidad con C, C++ y Java.

Necesitarás conseguir el AOSP. Descarga el repositorio del curso en el mismo ordenador y mueve el directorio `src/android/` a la raíz del AOSP. De esta forma, el sistema de compilación de Android verá los archivos `Android.bp` en `src/android/`.

Asegúrate que `adb sync` funciona con tu emulador o en un dispositivo físico y haz pre-build en todos los ejemplos de Android usando `src/android/build_all.sh`. Lee el script para ver los comandos que corren y asegúrate que funcionan cuando lo corres a mano.

Rust en Chromium

Rust en Chromium es una clase en profundidad de medio día sobre el uso de Rust como parte del navegador Chromium. Incluye el uso de Rust en el sistema de compilación gn de Chromium e incorpora bibliotecas de terceros (”crates”) e interoperabilidad en C++.

Deberás poder compilar Chromium: [recomendamos] una compilación de depuración de componentes (../chromium/setup.md) por cuestiones de velocidad, pero cualquier compilación funcionará de forma correcta. Asegúrate de que puedes ejecutar el navegador Chromium que has compilado.

Bare Metal Rust

Bare Metal Rust es una clase de un día sobre cómo usar Rust para el desarrollo bare-metal (insertado). Se tratarán tanto microcontroladores como procesadores de aplicaciones.

Para la parte de los microcontroladores, necesitarás comprar con antelación la segunda versión de la placa programable BBC micro:bit. Todo el mundo deberá instalar una serie de paquetes, tal como se describe en la página de bienvenida.

Concurrencia en Rust

Concurrencia en profundidad es una clase de un día sobre la concurrencia clásica y la concurrencia `async`/`await`.

Necesitarás configurar un nuevo crate, y descargar y preparar las dependencias. A continuación, podrás copiar y pegar los ejemplos en `src/main.rs` para experimentar con ellos:

```
cargo init concurrency
cd concurrency
cargo add tokio --features full
cargo run
```

Horario del curso:

- Mañana (3 horas y205 minutos, incluidos los descansos)

Sección	Duración
Hilos	30 minutos
Canales	20 minutos
Send y Sync	15 minutos
Estado compartido	30 minutos
Ejercicios	1 hora y 10 minutos

- Por la tarde (3 horas y 20 minutos, incluidos los descansos)

Sección	Duración
Conceptos básicos de Async	30 minutos
Canales y Control de Flujo	20 minutos
Inconvenientes	55 minutos
Ejercicios	1 hora y 10 minutos

Formato

El curso está diseñado para ser muy interactivo, por lo que te recomendamos que dejes que las preguntas guíen el aprendizaje de Rust.

1.2 Combinaciones de teclas

Existen varias combinaciones de teclas útiles en mdBook:

- Arrow-Left

  : Navegar a la página anterior.

- Arrow-Right

  : Navegar a la siguiente página.

- Ctrl + Enter

  : Ejecutar el código de ejemplo seleccionado.

- s

  : Activar la barra de búsqueda.

1.3 Traducciones

El curso se ha traducido a otros idiomas gracias a grupo de maravillosos voluntarios:

- Portugués Brasileño por @rastringer, @hugojacob, @joaovicmendes y @henrif75.
- Chino (simplificado) por @suetfei, @wnghl, @anlunx, @kongy, @noahdragon, @superwhd, @SketchK y @nodmp.
- Chino (tradicional) por @hueich, @victorhsieh, @mingyc, @kuanhungchen y @johnathan79717.
- Japonés por @CoinEZ-JPN, @momotaro1105, @HidenoriKobayashi y @kantasv.
- Coreano por @keispace, @jiyongp, @jooyunghan, y @namhyung.
- Español por @deavid.
- Ucranio por @git-user-cpp, @yaremam, y @reta.

Cambia el idioma con el seleccionador situado en la esquina superior derecha.

Traducciones Incompletas

Hay muchas traducciones todavía en curso. A continuación, incluimos enlaces a las traducciones más actualizadas:

- Árabe por @younies
- Bengalí por @raselmandol.
- Francés por @KookaS, @vcaen, y @AdrienBaudemont.
- Alemán por @Throvn y @ronaldfw.
- Italiano por @henrythebuilder y @detro.

La lista completa de traducciones con su estado corriente también esta disponible a partir de su ultima actualización o sincronizado a la versión mas reciente del curso.

Si quieres ayudar en esta iniciativa, consulta nuestras instrucciones para empezar. Las traducciones se coordinan en la herramienta de seguimiento de incidencias.

Capítulo 2

Usando Cargo

Cuando empieces a informarte sobre Rust, conocerás Cargo, la herramienta estándar que se utiliza en el ecosistema de Rust para crear y ejecutar sus aplicaciones. En este artículo, te ofrecemos una breve descripción de lo que es Cargo, cómo se integra en el ecosistema más amplio y cómo encaja en esta formación.

Instalación

> **Sigue las instrucciones que se indican en https://rustup.rs/.**

Esto te dará la herramienta de compilación Cargo (`cargo`) y el compilador Rust (`rustc`). También obtendrás `rustup`, una utilidad de línea de comandos que puedes utilizar para instalar diferentes versiones del compilador.

Después de instalar Rust, debes configurar tu editor o IDE para utilizar Rust. La mayoría de los editores lo hacen con rust-analyzer, que ofrece funciones de autocompletado y salto a la definición para VS Code, Emacs y Vim/Neovim, entre otros. También hay disponible otro IDE denominado RustRover.

- En Debian o Ubuntu, también puedes instalar Cargo, el código fuente de Rust y el formateador de Rust a través de `apt`. Sin embargo, solo podrás conseguir una versión de Rust obsoleta que podría dar lugar a comportamientos inesperados. El comando es el siguiente:

  ```
  sudo apt install cargo rust-src rustfmt
  ```

- En macOS, puedes usar Homebrew para instalar Rust, pero esto podría proveer una versión anticuada. Por lo tanto, es recomendad instalar Rust del sitio oficial.

2.1 El ecosistema de Rust

El ecosistema de Rust se compone de varias herramientas, entre las que se incluyen las siguientes:

- `rustc`: el compilador de Rust que convierte archivos `.rs` en binarios y otros formatos intermedios.

- `cargo`: herramienta de compilación y gestión de dependencias de Rust. Cargo sabe cómo descargar dependencias, que normalmente se alojan en https://crates.io, y las transfiere a `rustc` al crear el proyecto. Cargo también incorpora un ejecutor de pruebas que se utiliza para realizar pruebas unitarias.
- `rustup`: el instalador y actualizador de cadenas de herramientas de Rust. Esta herramienta se utiliza para instalar y actualizar `rustc` y `cargo` cuando se lanzan nuevas versiones de Rust. Además, `rustup` también puede descargar documentación de la biblioteca estándar. Puedes tener varias versiones de Rust instaladas a la vez y `rustup` te permitirá cambiar de una a otra según lo necesites.

Puntos clave:

- Rust cuenta con un programa de lanzamiento rápido en el que se publica una nueva versión cada seis semanas. Las nuevas versiones mantienen la retrocompatibilidad con las versiones anteriores, además de habilitar nuevas funciones.
- Hay tres canales de lanzamiento: ”stable”, ”beta” y ”nightly”.
- Las funciones nuevas se prueban en ”nightly”, y ”beta” es lo que se convierte en ”estable” cada seis semanas.
- Las dependencias también pueden resolverse desde [registros] alternativos, git, carpetas, etc.
- Rust también tiene varias [ediciones]: la más actual es Rust 2021. Las ediciones anteriores son Rust 2015 y Rust 2018.
  - Las ediciones pueden introducir cambios de incompatibilidad con versiones anteriores en el lenguaje.
  - Para evitar que se rompa el código, las ediciones son opcionales: selecciona la edición para tu crate a través del archivo `Cargo.toml`.
  - Para evitar la división del ecosistema, los compiladores de Rust pueden mezclar el código escrito para distintas ediciones.
  - Hay que mencionar que es bastante raro utilizar el compilador directamente y no a través de `cargo` (la mayoría de los usuarios nunca lo hacen).
  - Vale la pena mencionar que Cargo en sí es una herramienta extremadamente poderosa e integral. Es capaz de hacer muchas cosas avanzadas y no limitadas a:
    * Estructura del proyecto/paquete
    * workspaces
    * Manejo/Cache de Dependencias de Desarrollo y de Runtime
    * build scripting
    * Instalación global
    * También es extensible con plugins de subcomandos (como cargo clippy).
  - Consulta más información en el libro oficial de Cargo

2.2 Código de ejemplo en esta formación

En esta formación, aprenderemos el lenguaje Rust principalmente con ejemplos que podrás ejecutar con tu navegador. De este modo, la configuración es mucho más sencilla y se asegura una experiencia homogénea para todos.

Se recomienda instalar Cargo, ya que facilitará la realización de los ejercicios. El último día realizaremos un ejercicio más largo en el que se mostrará cómo trabajar con dependencias, y para eso se necesita Cargo.

Los bloques de código de este curso son totalmente interactivos:

```
fn main() {
    println!("¡Edítame!");
}
```

Puedes usar

Ctrl + Enter

para ejecutar el código cuando el cursor esté en el cuadro de texto.

La mayoría de los códigos de ejemplo se pueden editar, como se muestra arriba, pero hay algunos que no se pueden editar por varios motivos:

- Los playgrounds insertados no pueden ejecutar pruebas unitarias. Copia y pega el código y ábrelo en la página del playground para mostrar pruebas unitarias.
- Los playgrounds insertados pierden su estado en cuanto sales e de la página. Por este motivo, los alumnos deben resolver los ejercicios con una versión local de Rust o a través del playground.

2.3 Ejecutar código de forma local con Cargo

Si quieres experimentar con el código en tu propio sistema, primero tendrás que instalar Rust. Para ello, sigue las instrucciones del Libro de Rust. De este modo, obtendrás un `rustc` y un `cargo` que funcionen. En el momento de escribir esto, la última versión estable de Rust tiene estos números de versión:

```
% rustc --version
rustc 1.69.0 (84c898d65 2023-04-16)
% cargo --version
cargo 1.69.0 (6e9a83356 2023-04-12)
```

También puedes usar cualquier versión posterior, ya que Rust mantiene la retrocompatibilidad.

Una vez hecho lo anterior, sigue estos pasos para compilar un binario de Rust a partir de uno de los ejemplos de la formación:

1. Haz clic en el botón ”Copiar en el portapapeles” del ejemplo que quieras copiar.
2. Usa `cargo new exercise` para crear un directorio `exercise/` para tu código:

   ```
   $ cargo new exercise
        Created binary (application) `exercise` package
   ```

3. Ve a `exercise/` y usa `cargo run` para compilar y ejecutar tu binario:

   ```
   $ cd exercise
   $ cargo run
      Compiling exercise v0.1.0 (/home/mgeisler/tmp/exercise)
       Finished dev [unoptimized + debuginfo] target(s) in 0.75s
        Running `target/debug/exercise`
   Hello, world!
   ```

4. Sustituye el código de plantilla en `src/main.rs` con tu propio código. Por ejemplo, usando el ejemplo de la página anterior, haz que `src/main.rs` tenga el siguiente aspecto:

   ```
   fn main() {
       println!("¡Edítame!");
   }
   ```

5. Usa `cargo run` para hacer build y ejecutar tu binario actualizado:

   ```
   $ cargo run
      Compiling exercise v0.1.0 (/home/mgeisler/tmp/exercise)
       Finished dev [unoptimized + debuginfo] target(s) in 0.24s
        Running `target/debug/exercise`
   Edit me!
   ```

6. Comprueba que no haya errores en el proyecto con `cargo check`. Compílalo sin ejecutarlo con `cargo build`. Encontrarás la salida en `target/debug/` para una versión de depuración normal. Usa `cargo build --release` para generar una compilación de lanzamiento optimizada en `target/release/`.

7. Edita `Cargo.toml` para añadir dependencias a tu proyecto. Cuando ejecutes comandos `cargo`, se descargarán y compilarán automáticamente las dependencias que falten.

Anima a los participantes de la clase a instalar Cargo y utilizar un editor local. Les facilitará mucho las cosas, ya que dispondrán de un entorno de desarrollo normal.

Parte I

Día 1: mañana

Capítulo 3

Te damos la bienvenida al Día 1

Este es el primer día de Comprehensive Rust. Hoy trataremos muchos temas:

- Sintaxis básica Rust: variables, scalar y tipos compuestos, enums, structs, references, funciones, y métodos.
- Inferencia de tipos.
- Construcciones de flujos de control: bucles, condicionales, etc.
- Tipos definidos por el usuario: estructuras y enumeraciones.
- Emparejamiento de Patrones: desestructuración de enums, structs y arrays.

Horario

Contando con los descansos de 10 minutos, la duración prevista de la sesión es de unas 2 horas y 5 minutos. Esta sesión contiene:

Sección	Duración
Te damos la bienvenida	5 minutos
Hola, Mundo	15 minutos
Tipos y valores	40 minutos
Básicos de Control de Flujo	40 minutos

Recuerda a los alumnos lo siguiente:

- Deben hacer las preguntas cuando surgen, no las guarden hasta el final.
- El curso está diseñado para ser muy interactivo, ¡las discusiones son muy recomendadas!
  - Como instructor, debes intentar llevar discusiones relevantes, por ejemplo, mantener relación de cómo Rust hace las cosas vs otros lenguajes. Puede costar encontrar un balance adecuado, pero generalmente permite las discusiones ya que captan la atención de la gente mas que los discursos unidireccionales.
- Las preguntas deberían ser sobre cosas acerca del contenido de los slides.
  - Esto está perfecto! Repetir es una parte importante del aprendizaje. Recuerda que los slides son solo un soporte y tienes libertad de saltearlos cuando quieras.

El objetivo del primer día es mostrar los aspectos ”básicos” de Rust que podrían tener paralelismos inmediatos con otros lenguajes de programación. A lo largo del curso se estudiarán los aspectos más avanzados de Rust.

Si estás impartiendo el curso en un aula, este un buen lugar para repasar el calendario. Debes tener en cuenta que hay un ejercicio al final de cada parte, seguido de una pausa. Organiza las sesiones de forma que se explique la solución del ejercicio después de la pausa. Las horas que se indican son una sugerencia para que el curso se ciña al horario establecido. ¡No dudes en modificar el calendario y hacer los cambios que consideres necesarios!

Capítulo 4

Hola, Mundo

Esta sección tiene una duración aproximada de 15 minutos y contiene:

Diapositiva	Duración
¿Qué es Rust?	10 minutos
Ventajas de Rust	3 minutos
Playground	2 minutos

4.1 ¿Qué es Rust?

Rust es un nuevo lenguaje de programación que lanzó su versión 1.0 en el 2015:

- Rust es un lenguaje compilado estático similar a C++
  - `rustc` usa LLVM como backend.
- Rust es compatible con muchas plataformas y arquitecturas:
  - x86, ARM, WebAssembly, ...
  - Linux, Mac, Windows, ...
- Rust se utiliza en una gran variedad de dispositivos:
  - firmware y cargadores de inicio,
  - pantallas inteligentes,
  - teléfonos móviles,
  - ordenadores,
  - servidores.

Rust satisface las mismas necesidades que C++:

- Gran flexibilidad.
- Nivel alto de control.
- Se puede reducir verticalmente a dispositivos muy limitados, como los microcontroladores.
- No tiene *runtime* ni *garbage collection*.
- Se centra en la fiabilidad y la seguridad sin sacrificar el rendimiento.

4.2 Ventajas de Rust

Estas son algunas de las ventajas competitivas de Rust:

- *Seguridad de la memoria durante el tiempo de compilación:* se evitan clases completas de errores de memoria durante el tiempo de compilación
  - No hay variables no inicializadas.
  - No hay errores double free.
  - No hay errores use-after-free.
  - No hay punteros `NULL`.
  - No se olvidan las exclusiones mutuas bloqueadas.
  - No hay condiciones de carrera de datos entre hilos.
  - No se invalidan los iteradores.
- *No hay comportamientos indefinidos en el tiempo de ejecución:* es decir, una instrucción de Rust nunca queda sin especificar
  - Se comprueban los límites de acceso a los arrays.
  - Se define el desbordamiento de enteros (*panic* o *wrap-around*).
- *Características de los lenguajes modernos:* es tan expresivo y ergonómico como los lenguajes de nivel superior
  - Enumeraciones (*Enums*) y coincidencia de patrones.
  - Genéricos.
  - Sin *overhead* de FFI.
  - Abstracciones sin coste.
  - Excelentes errores de compilación.
  - Gestor de dependencias integrado.
  - Asistencia integrada para pruebas.
  - Compatibilidad excelente con el protocolo del servidor de lenguaje.

No le dediques mucho tiempo a este punto. Todos estos aspectos se tratarán de forma más detallada más adelante.

Asegúrate de preguntar a la clase en qué lenguajes tienen experiencia. Dependiendo de la respuesta puedes destacar diferentes características de Rust:

- Experiencia con C o C++: Rust elimina una clase completa de *errores de runtime* mediante el *borrow checker*. Obtienes un rendimiento similar al de C y C++, pero no tienes problemas de seguridad en la memoria. Además, obtienes un lenguaje moderno con elementos como la coincidencia de patrones y la gestión de dependencias integrado.
- Experiencia con Java, Go, Python, JavaScript, etc.: Consigues la misma seguridad de memoria que en éstos lenguajes, además de una experiencia similar a la de un lenguaje de alto nivel. También consigues un rendimiento rápido y predecible como en C y C++ (sin recolector de memoria residual), así como acceso a hardware de bajo nivel (si lo necesitas).

4.3 Playground

El playground de Rust ofrece una forma sencilla de ejecutar programas cortos de Rust y es la base de los ejemplos y ejercicios de este curso. Prueba a ejecutar el programa ”hello-world” con el que empieza. Incluye algunas funciones útiles:

- En ”Tools”, usa la opción `rustfmt` para dar formato al código de forma ”estándar”.
- Rust cuenta con dos ”perfiles” principales para generar código: Debug (comprobaciones adicionales del tiempo de ejecución, menor optimización) y Release (menos comprobaciones del tiempo de ejecución y mayor optimización). Puedes acceder a ellos haciendo clic en ”Debug”, en la parte superior.
- Si te interesa, utiliza la opción ”ASM” en ”...” para ver el código de ensamblado que se ha generado.

Cuando sea la hora del descanso, anima a los asistentes a abrir el playground para que experimenten un poco. Hazles saber que pueden mantener la pestaña abierta y probar cosas durante el resto del curso. Resulta especialmente útil para los participantes con un nivel avanzado que quieran obtener más información sobre las optimizaciones o el ensamblaje generado de Rust.

Capítulo 5

Tipos y valores

Esta sección tiene una duración aproximada de 40 minutos y contiene:

Diapositiva	Duración
Hola, Mundo	5 minutos
Variables	5 minutos
Valores	5 minutos
Aritmética	3 minutos
Inferencia de tipos	3 minutos
Ejercicio: Fibonacci	15 minutos

5.1 Hola, Mundo

Vamos a hablar del programa Rust más simple, un clásico Hola Mundo:

```
fn main() {
    println!("Hola, 🌍");
}
```

Lo que ves:

- Las funciones se introducen con `fn`.
- Los bloques se delimitan con llaves, como en C y C++.
- La función `main` es el punto de entrada del programa.
- Rust tiene macros higiénicas, como por ejemplo `println!`.
- Las cadenas de Rust están codificadas en UTF-8 y pueden contener caracteres Unicode.

Con esta diapositiva se intenta que los alumnos se sientan cómodos con el código de Rust. En los próximos tres días lo verán mucho, así que empezaremos con algo reconocible.

Puntos clave:

- Rust es muy similar a otros lenguajes, como C, C++ o Java. Es imperativo y no intenta reinventar las cosas a menos que sea absolutamente necesario.
- Rust es moderno y totalmente compatible con sistemas como Unicode.

- Rust utiliza macros en situaciones en las que se desea un número variable de argumentos (sin sobrecarga de funciones).
- Que las macros sean 'higiénicas' significa que no capturan accidentalmenteidentificadores del ámbito en el que se utilizan. En realidad, las macros de Rust solo son parcialmente higiénicas.
- Rust es un lenguaje multiparadigma. Por ejemplo, cuenta con funciones de programación orientadas a objetos y, aunque no es un lenguaje funcional, incluye una serie de conceptos funcionales.

5.2 Variables

Rust ofrece seguridad de tipos mediante tipado estático. Los enlaces a variables son hechos con `let`:

```
fn main() {
    let x: i32 = 10;
    println!("x: {x}");
    // x = 20;
    // println!("x: {x}");
}
```

- Elimina el comentario de `x = 20` para demostrar que las variables son inmutables de forma predeterminada. Añade la palabra clave `mut` para que se puedan hacer cambios.
- En este ejemplo, `i32` es el tipo de la variable. Se debe conocer durante el tiempo de compilación, pero la inferencia de tipos (véase más adelante) permite al programador omitirla en muchos casos.

5.3 Valores

A continuación, se muestran algunos tipos integrados básicos, así como la sintaxis de los valores literales de cada tipo.

	Tipos	Literales
Enteros con signo	`i8`, `i16`, `i32`, `i64`, `i128`, `isize`	`-10`, `0`, `1_000`, `123_i64`
Enteros sin signo	`u8`, `u16`, `u32`, `u64`, `u128`, `usize`	`0`, `123`, `10_u16`
Números de coma flotante	`f32`, `f64`	`3.14`, `-10.0e20`, `2_f32`
Valores escalares Unicode	`char`	`'a'`, `'α'`, `'∞'`
Booleanos	`bool`	`true`, `false`

Los tipos tienen la siguiente anchura:

- `iN`, `uN`, and `fN` son *N* bits de capacidad,
- `isize` y `usize` tienen el ancho de un puntero,
- `char` tiene un tamaño de 32 bits,
- `bool` tiene 8 bits de ancho.

Hay algunas sintaxis que no se han mostrado anteriormente:

- Todos guiones bajos en los números pueden no utilizarse, ya que solo sirven para facilitar la lectura. Por lo tanto, `1_000` se puede escribir como `1000` (o `10_00`), y `123_i64` se puede escribir como `123i64`.

5.4 Aritmética

```
fn interproduct(a: i32, b: i32, c: i32) -> i32 {
    return a * b + b * c + c * a;
}

fn main() {
    println!("resultado: {}", interproduct(120, 100, 248));
}
```

Es la primera vez que vemos una función distinta a `main`, pero el significado debería quedar claro: utiliza tres números enteros y devuelve uno. Más adelante, hablaremos sobre las funciones con más profundidad.

La aritmética es muy similar a otros idiomas, al igual que su precedencia.

¿Qué pasa con el desbordamiento de enteros? En C y C++, el desbordamiento de números enteros *con signo* no está definido, y podría tener diferentes resultados en diferentes plataformas o compiladores. En Rust sí está definido.

Cambia el `i32` a `i16` para observar un desbordamiento de un número entero, lo que da error (pánico) en una versión de depuración, pero lo envuelve en una compilación de lanzamiento. Hay otras opciones disponibles, como el desbordamiento, la saturación y el acarreo, a las que se accede mediante la sintaxis del método, por ejemplo, `(a * b).saturating_add(b * c).saturating_add(c * a)`.

De hecho, el compilador detectará si existe un desbordamiento de expresiones constantes, por ello el ejemplo requiere una función independiente.

5.5 Inferencia de tipos

Rust consultará cómo se *usa* la variable para determinar el tipo:

```
fn takes_u32(x: u32) {
    println!("u32: {x}");
}

fn takes_i8(y: i8) {
    println!("i8: {y}");
}

fn main() {
```

```
    let x = 10;
    let y = 20;

    takes_u32(x);
    takes_i8(y);
    // takes_u32(y);
}
```

Esta diapositiva muestra cómo el compilador de Rust infiere tipos basándose en restricciones proporcionadas por declaraciones y usos de variables.

Es muy importante subrayar que las variables que se declaran así no son de un "tipo cualquiera" dinámico que pueda contener cualquier dato. El código máquina generado por tal declaración es idéntico a la declaración explícita de un tipo. El compilador hace el trabajo por nosotros y nos ayuda a escribir código más conciso.

Cuando ningún elemento restringe el tipo de un literal entero, Rust lo define de forma predeterminada como `i32`. A veces aparece como `{integer}` en los mensajes de error. Del mismo modo, los literales de punto flotante se definen como `f64` de forma predeterminada.

```
fn main() {
    let x = 3.14;
    let y = 20;
    assert_eq!(x, y);
    // ERROR: no hay implementación para `{float} == {integer}`
}
```

5.6 Ejercicio: Fibonacci

La secuencie de Fibonacci empieza con `[0, 1]`. Para n>1, el número de Fibonacci en la posición n se calcula de forma recursiva como la suma de los números de Fibonacci n-1 y n-2.

Escribe una función `fib(n)` que calcule el número n de Fibonacci. ¿Cuándo da error pánico esta función?

```
fn fib(n: u32) -> u32 {
    if n < 2 {
        // El caso base.
        todo!("Implementar esto")
    } else {
        // El caso recursivo.
        todo!("Implementar esto")
    }
}

fn main() {
    let n = 20;
    println!("fib({n}) = {}", fib(n));
}
```

5.6.1 Solución

```rust
fn fib(n: u32) -> u32 {
    if n < 2 {
        return n;
    } else {
        return fib(n - 1) + fib(n - 2);
    }
}

fn main() {
    let n = 20;
    println!("fib({n}) = {}", fib(n));
}
```

Capítulo 6

Básicos de Control de Flujo

Esta sección tiene una duración aproximada de 40 minutos y contiene:

Diapositiva	Duración
Expresiones if	4 minutos
Bucles	5 minutos
break y continue	4 minutos
Bloques y ámbitos	5 minutos
Funciones	3 minutos
Macros	2 minutos
Ejercicio: secuencia de Collatz	15 minutos

6.1 Expresiones `if`

Puedes usar expresiones `if` de la misma forma que en otros lenguajes:

```
fn main() {
    let x = 10;
    if x == 0 {
        println!("cero!");
    } else if x < 100 {
        println!("muy grande");
    } else {
        println!("enorme");
    }
}
```

Además, puedes utilizar `if` como expresión. La última expresión de cada bloque se convierte en el valor de la expresión `if`:

```
fn main() {
    let x = 10;
    let size = if x < 20 { "pequeño" } else { "grande" };
    println!("tamaño del número: {}", size);
}
```

Dado que `if` es una expresión y debe tener un tipo concreto, ambos de sus bloques de ramas deben tener el mismo tipo. En el segundo ejemplo, muestra lo que sucede al añadir `;` después de `"small"`.

Cuando se utiliza `if` en una expresión, esta debe tener un `;` para separarla de la siguiente instrucción. Elimina `;` antes de `println!` para ver el error del compilador.

6.2 Bucles

Hay tres palabras clave de bucle en Rust: `while`, `loop` y `for`:

Bucles `while`

La palabra clave `while` es muy similar a la de otros lenguajes y ejecuta el cuerpo del bucle mientras que la condición sea valida.

```
fn main() {
    let mut x = 200;
    while x >= 10 {
        x = x / 2;
    }
    println!("x final: {x}");
}
```

6.2.1 `for`

El bucle `for` itera sobre rangos de valores o las entradas de una colección:

```
fn main() {
    for x in 1..5 {
        println!("x: {x}");
    }

    for elem in [1, 2, 3, 4, 5] {
        println!("elem: {elem}");
    }
}
```

- Los bucles `for` utilizan un concepto llamado ”iteradores” para iterar sobre diferentes tipos de rangos/colecciones. Los iteradores serán discutidos en mas detalle mas adelante.
- Ten en cuenta que el bucle `for` solo se itera a `4`. Muestra la sintaxis `1..=5` para un intervalo inclusivo.

6.2.2 `loop`

El bucle `loop` repite hasta encontrar un `break`.

```
fn main() {
    let mut i = 0;
    loop {
        i += 1;
        println!("{i}");
```

```
        if i > 100 {
            break;
        }
    }
}
```

6.3 `break` y `continue`

Si quieres iniciar inmediatamente la siguiente iteración, usa `continue`.

Si quieres salir de un bucle antes de que termine, usa `break`. Para `loop`, este puede tomar una expresión opcional que se vuelve el valor de la expresión `loop`.

```
fn main() {
    let mut i = 0;
    loop {
        i += 1;
        if i > 5 {
            break;
        }
        if i % 2 == 0 {
            continue;
        }
        println!("{}", i);
    }
}
```

6.3.1 Etiquetas

De forma opcional, tanto `continue` como `break` pueden utilizar un argumento de etiqueta para interrumpir los bucles anidados:

```
fn main() {
    let s = [[5, 6, 7], [8, 9, 10], [21, 15, 32]];
    let mut elements_searched = 0;
    let target_value = 10;
    'outer: for i in 0..=2 {
        for j in 0..=2 {
            elements_searched += 1;
            if s[i][j] == target_value {
                break 'outer;
            }
        }
    }
    print!("elementos travesados: {elements_searched}");
}
```

- Ten en cuenta que `loop` es la única construcción de bucle que devuelve un valor no trivial. Esto se debe a que es inevitable que se introduzca al menos una vez (a diferencia de los bucles `while` y `for`).

6.4 Bloques y ámbitos

Bloques

En Rust, un bloque contiene una secuencia de expresiones rodeados por llaves `{}`. Cada bloque tiene el tipo y valor de la última expresión del bloque:

```
fn main() {
    let z = 13;
    let x = {
        let y = 10;
        println!("y: {y}");
        z - y
    };
    println!("x: {x}");
}
```

Si la última expresión termina con `;`, el tipo y el valor resultante será `()`.

- Puedes mostrar cómo cambia el valor del bloque cambiando su última línea. Por ejemplo, añade o quita un punto y coma, o utiliza la expresión `return`.

6.4.1 Ámbitos y Shadowing

El ámbito de una variable se limita al bloque que la contiene.

Puedes sombrear variables, tanto las de ámbitos externos como las del propio ámbito:

```
fn main() {
    let a = 10;
    println!("antes: {a}");
    {
        let a = "hola";
        println!("ámbito interno: {a}");

        let a = true;
        println!("sombreado en el ámbito interno: {a}");
    }

    println!("después: {a}");
}
```

- Para demostrar que el ámbito de una variable está limitado, añade una b en el bloque interno del último ejemplo y, a continuación, intenta acceder a ella desde fuera de ese bloque.
- Definición: *Shadowing* (sombreado) es distinto de la mutación, ya que después de sombrear las ubicaciones de memoria de las dos variables existen al mismo tiempo. Ambas están disponibles bajo el mismo nombre, en función de dónde se utiliza en el código.
- Una variable sombreada puede tener un tipo diferente.
- Al principio, el sombreado no es fácil, pero resulta útil para conservar valores después de `.unwrap()`.

6.5 Funciones

```
fn gcd(a: u32, b: u32) -> u32 {
    if b > 0 {
        gcd(b, a % b)
    } else {
        a
    }
}

fn main() {
    println!("gcd: {}", gcd(143, 52));
}
```

- Los parámetros de declaración van seguidos de un tipo (al contrario que en algunos lenguajes de programación) y, a continuación, de un tipo de resultado devuelto.
- La última expresión del cuerpo de una función (o de cualquier bloque) se convierte en el valor devuelto. Basta con omitir el carácter `;` al final de la expresión. La palabra clave `return` puede ser utilizado para devolver valores antes del fin de la función, pero la sintaxis de "valor desnudo" es idiomático al fin de una función.
- Algunas funciones no devuelven ningún valor, devuelven el "tipo unitario", `()`. El compilador deducirá esto si se omite el tipo de retorno `-> ()`.
- El sobrecargo de funciones no existe en Rust -- cada función tiene una única implementación.
  - Siempre toma un número fijo de parámetros. No se admiten argumentos predeterminados. Las macros se pueden utilizar para admitir funciones variádicas.
  - Siempre se utiliza un solo conjunto de tipos de parámetros. Estos tipos pueden ser genéricos, lo cual discutiremos mas tarde.

6.6 Macros

Las macros se amplían a código de Rust durante la compilación y pueden adoptar un número variable de argumentos. Se distinguen por utilizar un símbolo `!` al final. La biblioteca estándar de Rust incluye una serie de macros útiles.

- `println!(format, ..)` imprime una linea a la salida estándar ("standard output"), aplicando el formato descrito en `std::fmt`.
- `format!(format, ..)` funciona igual que `println!`, pero devuelve el resultado en forma de cadena.
- `dbg!(expression)` registra el valor de la expresión y lo devuelve.
- `todo!()` marca un fragmento de código como no implementado todavía. Si se ejecuta, activará un error pánico.
- `unreachable!()` marca un fragmento de código como inaccesible. Si se ejecuta, activará un error pánico.

```
fn factorial(n: u32) -> u32 {
    let mut product = 1;
    for i in 1..=n {
        product *= dbg!(i);
    }
    product
```

```
}

fn fizzbuzz(n: u32) -> u32 {
    todo!()
}

fn main() {
    let n = 4;
    println!("{n}! = {}", factorial(n));
}
```

El objetivo de esta sección es mostrar que existen estos elementos útiles y cómo usarlos. Por qué se definen como macros y a qué se expanden no es muy importante.

En el curso no se imparte la definición de macros, pero en una sección posterior se describirá el uso de las macros de derivación.

6.7 Ejercicio: secuencia de Collatz

La secuencia de Collatz se define de la siguiente manera, para n

1

arbitrario mayor que cero:

- Si _n

  i

  _es 1, la secuencia termina en *n

  i

  *.
- Si *n

  i

  * es par, *n

  i+1

  = n

  i

  / 2*.
- Si *n

  i

  * es impar, *n

  i+1

  = 3 * n

  i

+ 1*.

Por ejemplo, empezando con *n

1

* = 3:

- 3 es impar, entonces *n

  2

  * = 3 * 3 + 1 = 10;
- 10 is par, entonces *n

  3

  * = 10 / 2 = 5;
- 5 es impar, entonces *n

  4

  * = 3 * 5 + 1 = 16;
- 16 es par, entonces *n

  5

  * = 16 / 2 = 8;
- 8 es par, entonces *n

  6

  * = 8 / 2 = 4;
- 44 es par, entonces *n

  7

  * = 4 / 2 = 2;
- 2 es par, entonces *n

  8

  * = 1; and
- la secuencia finaliza.

Escribe una función para calcular la longitud de la secuencia de Collatz para un número n inicial dado.

```
/// Determina la longitud de la secuencia de Collatz que empieza por `n`.
fn collatz_length(mut n: i32) -> u32 {
  todo!("Implementar esto")
}

fn main() {
  todo!("Implementar esto")
}
```

6.7.1 Solución

```rust
/// Determina la longitud de la secuencia de Collatz que empieza por `n`.
fn collatz_length(mut n: i32) -> u32 {
    let mut len = 1;
    while n > 1 {
        n = if n % 2 == 0 { n / 2 } else { 3 * n + 1 };
        len += 1;
    }
    len
}

fn test_collatz_length() {
    assert_eq!(collatz_length(11), 15);
}

fn main() {
    println!("Longitud: {}", collatz_length(11));
}
```

Parte II

Día 1: Tarde

Capítulo 7

Te damos la bienvenida

Contando con los descansos de 10 minutos, la duración prevista de la sesión es de unas 2 horas y 35 minutos. Contiene:

Sección	Duración
Tuplas y arrays	35 minutos
Referencias	55 minutos
Tipos definidos por el usuario	50 minutos

Capítulo 8

Tuplas y arrays

Esta sección tiene una duración aproximada de 35 minutos. Contiene:

Diapositiva	Duración
Arrays	5 minutos
Tuplas	5 minutos
Iteración de Arreglos (Arrays)	3 minutos
Patrones y Desestructuración	5 minutos
Ejercicio: arrays anidados	15 minutos

8.1 Arrays

```
fn main() {
    let mut a: [i8; 10] = [42; 10];
    a[5] = 0;
    println!("a: {a:?}");
}
```

- Un valor del tipo array `[T; N]` contiene `N` (una constante en tiempo de compilación) elementos del mismo tipo `T`. Ten en cuenta que la longitud del array es _parte de su tipo), lo que significa que `[u8; 3]` y `[u8; 4]` se consideran dos tipos diferentes. Los slices, que tienen un tamaño determinado al tiempo de ejecución, serán discutidos mas tarde.
- Prueba a acceder a un array que esté fuera de los límites. Los accesos a los arrays se comprueban en el tiempo de ejecución. Rust suele optimizar estas comprobaciones y se pueden evitar utilizando Rust inseguro.
- Podemos usar literales para asignar valores a arrays.
- El macro de impresión `println!` solicita la implementación de depuración con el parámetro de formato `?`: `{}` ofrece la salida predeterminada y `{:?}` ofrece la salida de depuración. Tipos como números enteros y cadenas implementan la salida de depuración. Esto significan que tenemos que usar la salida de depuración en este caso.
- Si se añade `#`, por ejemplo `{a:#?}`, se da formato al texto para facilitar la lectura.

8.2 Tuplas

```
fn main() {
    let t: (i8, bool) = (7, true);
    println!("t.0: {}", t.0);
    println!("t.1: {}", t.1);
}
```

- Al igual que los arrays, las tuplas tienen una longitud fija.
- Las tuplas agrupan valores de diferentes tipos en un tipo compuesto.
- Se puede acceder a los campos de una tupla por el punto y el índice del valor, por ejemplo, `t.0`, `t.1`.
- La tupla vacía `()` es llamado el "tipo de unidad" y significa la ausencia de un valor de retorno, parecido a `void` en otros lenguajes.

8.3 Iteración de Arreglos (Arrays)

La instrucción `for` permite iterar sobre arrays, pero no sobre tuplas.

```
fn main() {
    let primes = [2, 3, 5, 7, 11, 13, 17, 19];
    for prime in primes {
        for i in 2..prime {
            assert_ne!(prime % i, 0);
        }
    }
}
```

Esta función usa el trait `IntoIterator`, pero aún no lo hemos estudiado.

La macro `assert_ne!` es nueva. También existen las macros `assert_eq!` y `assert!`. Estas variantes siempre se comprueban mientras las variantes de solo depuración, como `debug_assert!`, no compilan nada en las compilaciones de lanzamiento.

8.4 Patrones y Desestructuración

Cuando uno trabaja con tuplas y otros valores estructurados, es común querer extraer valores interiores a variables locales. Uno puede manualmente acceder los valores interiores:

```
fn print_tuple(tuple: (i32, i32)) {
    let left = tuple.0;
    let right = tuple.1;
    println!("left: {left}, right: {right}");
}
```

Rust también provee la coincidencia de patrones para destructurar un valor en sus partes constituyentes:

```
fn print_tuple(tuple: (i32, i32)) {
    let (left, right) = tuple;
```

```
    println!("left: {left}, right: {right}");
}
```

- Los patrones usados aquí son "irrefutables", es decir que el compilador puede estáticamente verificar que el valor a la derecha del = tiene la misma estructura que el patrón.
- Un nombre de variable es un patrón irrefutable que siempre coincide con cualquier valor, así que también podemos usar `let` para declarar una sola variable.
- Los patrones también se pueden usar en los condicionales, dejando que la comparación de igualdad y el desestructuramiento ocurren al mismo tiempo. Esta forma de coincidencia de patrones sera discutido mas a fondo mas tarde.
- Edita los ejemplos anteriores para enseñar el error de compilador cuando el patrón no coincide con el valor.

8.5 Ejercicio: arrays anidados

Los arrays pueden contener otros arrays:

```
let array = [[1, 2, 3], [4, 5, 6], [7, 8, 9]];
```

¿Cuál es el tipo de esta variable?

Usa el método anterior para escribir una función `transpose` que transpone una matriz (convierte filas en columnas):

```
           ([1 2 3])      [1 4 7]
"transpose"|4 5 6|  "=="|2 5 8|
           ([7 8 9])      [3 6 9]
```

Copia el siguiente fragmento de código en https://play.rust-lang.org/ e implementa la función. Esta función solo opera sobre matrices 3x3.

```
// TODO: borra esto cuando termines de implementarlo.

fn transpose(matrix: [[i32; 3]; 3]) -> [[i32; 3]; 3] {
    unimplemented!()
}

fn test_transpose() {
    let matrix = [
        [101, 102, 103], //
        [201, 202, 203],
        [301, 302, 303],
    ];
    let transposed = transpose(matrix);
    assert_eq!(
        transposed,
        [
            [101, 201, 301], //
            [102, 202, 302],
            [103, 203, 303],
        ]
    );
```

```
}

fn main() {
    let matrix = [
        [101, 102, 103], // <-- el comentario hace que rustfmt añade una nueva línea
        [201, 202, 203],
        [301, 302, 303],
    ];

    println!("matriz: {:#?}", matrix);
    let transposed = transpose(matrix);
    println!("traspuesto: {:#?}", transposed);
}
```

8.5.1 Solución

```
fn transpose(matrix: [[i32; 3]; 3]) -> [[i32; 3]; 3] {
    let mut result = [[0; 3]; 3];
    for i in 0..3 {
        for j in 0..3 {
            result[j][i] = matrix[i][j];
        }
    }
    result
}

fn test_transpose() {
    let matrix = [
        [101, 102, 103], //
        [201, 202, 203],
        [301, 302, 303],
    ];
    let transposed = transpose(matrix);
    assert_eq!(
        transposed,
        [
            [101, 201, 301], //
            [102, 202, 302],
            [103, 203, 303],
        ]
    );
}

fn main() {
    let matrix = [
        [101, 102, 103], // <-- el comentario hace que rustfmt añade una nueva línea
        [201, 202, 203],
        [301, 302, 303],
    ];

    println!("matriz: {:#?}", matrix);
```

```
    let transposed = transpose(matrix);
    println!("traspuesto: {:#?}", transposed);
}
```

Capítulo 9

Referencias

Esta sección tiene una duración aproximada de 55 minutos. Contiene:

Diapositiva	Duración
Enums compartidas	10 minutos
Referencias exclusivas	10 minutos
Slices: &[T]	10 minutos
Cadenas de texto (Strings)	10 minutos
Ejercicio: geometría	15 minutos

9.1 Enums compartidas

Una referencia ofrece una forma de acceder a otro valor sin asumir la responsabilidad del valor. También se denomina ”préstamo”. Las referencias compartidas son de solo lectura y los datos a los que se hace referencia no pueden cambiar.

```
fn main() {
    let a = 'A';
    let b = 'B';
    let mut r: &char = &a;
    println!("r: {}", *r);
    r = &b;
    println!("r: {}", *r);
}
```

Una referencia compartida a un tipo T tiene el tipo &T. Se crea un valor de referencia con el operador &. El operador * ”desreferencia” una referencia, dando lugar a su valor.

Rust prohibirá estáticamente las referencias colgantes:

```
fn x_axis(x: &i32) -> &(i32, i32) {
    let point = (*x, 0);
    return &point;
}
```

- Se dice que una referencia ”toma prestado” el valor al que hace referencia. Este es un buen modelo para los estudiantes que no están familiarizados con los punteros, ya que el código puede usar la referencia para acceder al valor, pero este sigue ”perteneciendo” a la variable original. En el curso hablaremos con más profundidad sobre la propiedad el tercer día.
- Las referencias se implementan como punteros y una ventaja clave es que pueden ser mucho más pequeñas del elemento al que apuntan. Los participantes que estén familiarizados con C o C++ reconocerán las referencias como punteros. A lo largo del curso, hablaremos sobre cómo Rust evita los errores de seguridad en la memoria derivados del uso de punteros sin formato.
- Rust no crea referencias automáticamente, & siempre es obligatorio.
- Rust realizará una desreferencia automática en algunos casos, en especial al invocar métodos (prueba `ref_x.count_ones()`). No hay necesidad para un operador `->` como en C++.
- En este ejemplo, `r` es mutable para que se pueda reasignar (`r = &b`). Debes tener en cuenta que se vuelve a enlazar `r` para que haga referencia a otro elemento. Es distinto de C++, donde la asignación a una referencia modifica el valor referenciado.
- Una referencia compartida no permite modificar el valor al que hace referencia, incluso aunque el valor sea mutable. Prueba con `*r = 'X'`.
- Rust hace un seguimiento del tiempo de vida de todas las referencias para asegurarse de que duran lo suficiente. En Rust seguro no se dan referencias colgantes. `x_axis` devolvería una referencia a `point`, pero `point` se desasignará cuando se devuelva la función, por lo que no se compilará.
- Más adelante hablaremos de los préstamos cuando lleguemos a la parte de propiedad.

9.2 Referencias exclusivas

Las referencias exclusivas, también denominadas referencias mutables, permiten cambiar el valor al que hacen referencia. Tienen el tipo `&mut T`.

```
fn main() {
    let mut point = (1, 2);
    let x_coord = &mut point.0;
    *x_coord = 20;
    println!("point: {point:?}");
}
```

Puntos clave:

- ”Exclusivo” significa que solo se puede utilizar esta referencia para acceder al valor. No pueden existir otras referencias (compartidas o exclusivas) al mismo tiempo y no se puede acceder al valor de referencia mientras exista la referencia exclusiva. Prueba a ejecutar un `&point.0` o a cambiar `point.0` mientras `x_coord` está activo.
- Ten en cuenta la diferencia entre `let mut x_coord: &i32` y `let x_coord: &mut i32`. La primera representa una referencia mutable que se puede vincular a distintos valores, mientras que la segunda representa una referencia a un valor mutable.

9.3 Slices

Un *slice* ofrece una visión de una colección más amplia:

```
fn main() {
    let mut a: [i32; 6] = [10, 20, 30, 40, 50, 60];
    println!("a: {a:?}");

    let s: &[i32] = &a[2..4];

    println!("s: {s:?}");
}
```

- Los slices toman prestados datos del tipo slice.
- Pregunta: ¿Qué ocurre si se modifica `a[3]` justo antes de imprimir `s`?
- Creamos un slice tomando prestado `a` y especificando entre paréntesis los índices de inicio y de fin.
- Si el slice comienza en el índice 0, la sintaxis de rango de Rust nos permite eliminar el índice inicial, lo que significa que `&a[0..a.len()]` y `&a[..a.len()]` son idénticos.
- Lo mismo ocurre con el último índice, por lo que `&a[2..a.len()]` y `&a[2..]` son idénticos.
- Para crear fácilmente un slice del array completo, podemos usar `&a[..]`.
- `s` es una referencia a un slice de `i32`s. Ten en cuenta que el tipo de `s` (`&[i32]`) ya no menciona la longitud del array. Esto nos permite realizar cálculos en slices de diferentes tamaños.
- Los slices siempre tienen préstamos de otros objetos. En este ejemplo, `a` tiene que permanecer "vivo" (en el ámbito) al menos durante el tiempo que dure el slice.
- La cuestión sobre la modificación de `a[3]` puede suscitar un debate interesante, pero la respuesta es que, por razones de seguridad de memoria, no se puede hacer mediante `a` en este punto de la ejecución, pero sí se pueden leer los datos de `a` y `s` de forma segura. Funciona antes de crear el slice y después de `println`, cuando el slice ya no se utiliza.

9.4 Cadenas de texto (Strings)

Ahora podemos entender los dos tipos de cadenas de Rust:

- `&str` es un slice de bytes codificados en UTF-8, parecido a `&[u8]`.
- `String` es un buffer adueñado de bytes codificados en UTF-8, parecido a `Vec<T>`.

```
fn main() {
    let s1: &str = "mundo";
    println!("s1: {s1}");

    let mut s2: String = String::from("¡Hola ");
    println!("s2: {s2}");
    s2.push_str(s1);
    println!("s2: {s2}");
```

```
    let s3: &str = &s2[s2.len() - s1.len()..];
    println!("s3: {s3}");
}
```

- `&str` introduce un slice de cadena, que es una referencia inmutable a los datos de cadena codificados en UTF-8 y almacenados en un bloque de memoria. Los literales de cadena (`"Hello"`) se almacenan en el binario del programa.
- El tipo `String` de Rust es un envoltorio que rodea a un vector de bytes. Como sucede con `Vec<T>`, tiene propietario.
- Al igual que ocurre con muchos otros tipos, `String::from()` crea una cadena a partir de un literal de cadena. `String::new()` crea una cadena vacía a la que se pueden añadir datos de cadena mediante los métodos `push()` y `push_str()`.
- La macro `format!()` es una forma práctica de generar una cadena propia a partir de valores dinámicos. Acepta la misma especificación de formato que `println!()`.
- Puedes tomar prestados slices `&str` de `String` a través de `&` y, de forma opcional, la selección de intervalos. Si seleccionas un intervalo de bytes que no esté alineado con los límites de caracteres, la expresión activará un pánico. El iterador `chars` itera sobre los caracteres y se aconseja esta opción a intentar definir los límites de los caracteres correctamente.
- Para los programadores de C++: piensa en `&str` como el `const char*` de C++, pero uno que siempre apunta a una cadena válida en la memoria. El `String` de Rust es parecido a `std::string` de C++ (la diferencia principal es que solo puede contener bytes codificados en UTF-8 y nunca utilizará una optimización de cadena pequeña).
- Los literales de cadenas de bytes te permiten crear un valor `&[u8]` directamente:

  ```
  fn main() {
      println!("{:?}", b"abc");
      println!("{:?}", &[97, 98, 99]);
  }
  ```

- Las cadenas sin formato te permiten crear un valor `&str` con los escapes inhabilitados: `r"\n" == "\\n"`. Puedes insertar comillas dobles con la misma cantidad de # a cada lado de ellas:

  ```
  fn main() {
      println!(r#"<a href="link.html">link</a>"#);
      println!("<a href=\"link.html\">link</a>");
  }
  ```

9.5 Ejercicio: geometría

Crearemos algunas funciones de utilidad para la geometría tridimensional representando un punto como `[f64;3]`. Debes decidir las firmas de las funciones.

```
// Calcula la magnitud de un vector sumando los cuadrados de sus coordenadas
// y sacando la raíz cuadrada. Usa el método `sqrt()` para calcular la raíz cuadrada
//, como `v.sqrt()`.
```

```rust
fn magnitude(...) -> f64 {
    todo!()
}

// Normaliza un vector calculando su magnitud y dividiendo todas
// sus coordenadas entre esa magnitud.


fn normalize(...) {
    todo!()
}

// Usa `main` para comprobar lo que has hecho.

fn main() {
    println!("Magnitud de un vector unitario: {}", magnitude(&[0.0, 1.0, 0.0]));

    let mut v = [1.0, 2.0, 9.0];
    println!("Magnitud de {v:?}: {}", magnitude(&v));
    normalize(&mut v);
    println!("Magnitud de {v:?} después de la normalización: {}", magnitude(&v));
}
```

9.5.1 Solución

```rust
/// Calcula la magnitud del vector dado.
fn magnitude(vector: &[f64; 3]) -> f64 {
    let mut mag_squared = 0.0;
    for coord in vector {
        mag_squared += coord * coord;
    }
    mag_squared.sqrt()
}

/// Cambia la magnitud del vector a 1.0 sin cambiar su dirección.
fn normalize(vector: &mut [f64; 3]) {
    let mag = magnitude(vector);
    for item in vector {
        *item /= mag;
    }
}

fn main() {
    println!("Magnitud de un vector unitario: {}", magnitude(&[0.0, 1.0, 0.0]));

    let mut v = [1.0, 2.0, 9.0];
    println!("Magnitud de {v:?}: {}", magnitude(&v));
    normalize(&mut v);
    println!("Magnitud de {v:?} después de la normalización: {}", magnitude(&v));
}
```

Capítulo 10

Tipos definidos por el usuario

Esta sección tiene una duración aproximada de 50 minutos. Contiene:

Diapositiva	Duración
Estructuras con nombre	10 minutos
Estructuras de tuplas	10 minutos
Enumeraciones	5 minutos
Estático	5 minutos
Aliases de tipo	2 minutos
Ejercicio: eventos de ascensor	15 minutos

10.1 Estructuras con nombre

Al igual que C y C++, Rust admite estructuras (struct) personalizadas:

```
struct Person {
    name: String,
    age: u8,
}

fn describe(person: &Person) {
    println!("{} tiene {} años", person.name, person.age);
}

fn main() {
    let mut peter = Person { name: String::from("Peter"), age: 27 };
    describe(&peter);

    peter.age = 28;
    describe(&peter);

    let name = String::from("Avery");
    let age = 39;
    let avery = Person { name, age };
```

```
    describe(&avery);

    let jackie = Person { name: String::from("Jackie"), ..avery };
    describe(&jackie);
}
```

Puntos Clave:

- Las estructuras funcionan como en C o en C++.
  - Al igual que en C++, y a diferencia de C, no se necesita typedef para definir un tipo.
  - A diferencia de C++, no existe ninguna herencia entre las estructuras.
- Puede que sea un buen momento para indicar a los alumnos que existen diferentes tipos de estructuras.
  - Las estructuras de tamaño cero, como `struct Foo;`, se pueden utilizar al implementar un trait en algún tipo en cuyo valor no quieres almacenar datos.
  - La siguiente diapositiva presentará las estructuras de tuplas, que se utilizan cuando los nombres de los campos no son importantes.
- Si ya dispones de variables con los nombres adecuados, puedes crear la estructura con un método abreviado.
- La sintaxis `..avery` nos permite copiar la mayoría de los campos de la estructura anterior sin tener que escribirlos explícitamente. Siempre debe ser el último elemento.

10.2 Estructuras de tuplas

Si los nombres de los campos no son importantes, puedes utilizar una estructura de tuplas:

```
struct Point(i32, i32);

fn main() {
    let p = Point(17, 23);
    println!("({}, {})", p.0, p.1);
}
```

Esto se suele utilizar para envoltorios de campo único (denominados newtypes):

```
struct PoundsOfForce(f64);
struct Newtons(f64);

fn compute_thruster_force() -> PoundsOfForce {
    todo!("Pregunta a un científico aeroespacial de la NASA")
}

fn set_thruster_force(force: Newtons) {
    // ...
}

fn main() {
    let force = compute_thruster_force();
    set_thruster_force(force);
}
```

- Los newtypes son una buena forma de codificar información adicional sobre el valor de un tipo primitivo, por ejemplo:

  - El número se mide en algunas unidades: `Newtons` en el ejemplo anterior.
  - El valor ha pasado alguna validación cuando se ha creado, por lo que ya no tendrás que volver a validarlo cada vez que lo uses: `PhoneNumber(String)` u `OddNumber(u32)`.
- Demuestra cómo se añade un valor `f64` a un tipo `Newtons` accediendo al campo único del newtype.
  - Por lo general, a Rust no le gustan los elementos no explícitos, como el desenvolvimiento automático o, por ejemplo, el uso de booleanos como enteros.
  - El día 3 (genéricos), se explicará la sobrecarga del operador.
- El ejemplo es una sutil referencia al fracaso de la sonda Mars Climate Orbiter.

10.3 Enumeraciones

La palabra clave `enum` permite crear un tipo que tiene diferentes variantes:

```
enum Direction {
    Left,
    Right,
}

enum PlayerMove {
    Pass,                          // Variante simple
    Run(Direction),                // Variante de tupla
    Teleport { x: u32, y: u32 }, // Variante de struct
}

fn main() {
    let m: PlayerMove = PlayerMove::Run(Direction::Left);
    println!("En este turno: {:?}", m);
}
```

Puntos Clave:

- Las enumeraciones te permiten colectar un conjunto de valores en un solo tipo.
- `Direction` es un tipo con variantes. Hay dos valores de `Direction`: `Direction::Left` y `Direction::Right`.
- `PlayerMove` es un tipo con tres variantes. Además de las cargas útiles, Rust almacenará un discriminante para saber qué variante se encuentra en un valor `PlayerMove` en el tiempo de ejecución.
- Este es un buen momento para comparar las estructuras y las enumeraciones:
  - En ambas puedes tener una versión sencilla sin campos (estructura unitaria) o una versión con distintos tipos de campos (variantes con carga útil).
  - Incluso podrías implementar las distintas variantes de una enumeración con estructuras diferentes, pero entonces no serían del mismo tipo como lo serían si estuvieran todas definidas en una enumeración.
- Rust usa muy poco espacio para almacenar el discriminante.
  - Si es necesario, almacena un número entero del tamaño más pequeño requerido
  - Si los valores de la variante permitidos no cubren todos los patrones de bits, se utilizarán patrones de bits no válidos para codificar el discriminante (la ”optimización de nicho”). Por ejemplo, `Option<&u8>` almacena un puntero en un número entero o `NULL` para la variante `None`.

- Puedes controlar el discriminante si es necesario (por ejemplo, para asegurar la compatibilidad con C):

```
enum Bar {
    A, // 0
    B = 10000,
    C, // 10001
}

fn main() {
    println!("A: {}", Bar::A as u32);
    println!("B: {}", Bar::B as u32);
    println!("C: {}", Bar::C as u32);
}
```

Sin `repr`, el tipo discriminante ocupa 2 bytes, debido a que 10001 se cabe en 2 bytes.

Más información

Rust cuenta con varias optimizaciones que puede utilizar para hacer que las enums ocupen menos espacio.

- Optimización de puntero nulo: para algunos tipos, Rust asegura que `size_of::<T>()` es igual a `size_of::<Option<T> >()`.

  Fragmento de código de ejemplo si quieres mostrar cómo puede ser la representación bit a bit en la práctica. Es importante tener en cuenta que el compilador no ofrece garantías con respecto a esta representación, por lo tanto es totalmente inseguro.

```
use std::mem::transmute;

macro_rules! dbg_bits {
    ($e:expr, $bit_type:ty) => {
        println!("- {}: {:#x}", stringify!($e), transmute::<_, $bit_type>($e));
    };
}

fn main() {
    unsafe {
        println!("bool:");
        dbg_bits!(false, u8);
        dbg_bits!(true, u8);

        println!("Option<bool>:");
        dbg_bits!(None::<bool>, u8);
        dbg_bits!(Some(false), u8);
        dbg_bits!(Some(true), u8);

        println!("Option<Option<bool>>:");
        dbg_bits!(Some(Some(false)), u8);
        dbg_bits!(Some(Some(true)), u8);
        dbg_bits!(Some(None::<bool>), u8);
        dbg_bits!(None::<Option<bool>>, u8);
```

```
            println!("Option<&i32>:");
            dbg_bits!(None::<&i32>, usize);
            dbg_bits!(Some(&0i32), usize);
        }
    }
```

10.4 `static`

Las variables estáticas vivirán durante toda la ejecución del programa y, por lo tanto, no se moverán:

```
static BANNER: &str = "Bienvenide a RustOS 3.14";

fn main() {
    println!("{BANNER}");
}
```

Tal y como se indica en el libro Rust RFC Book, estas no son insertadas y tienen una ubicación de memoria real asociada. Esto resulta útil para código insertado y no seguro. Además, la variable continúa durante toda la ejecución del programa. Cuando un valor de ámbito global no tiene ningún motivo para necesitar identidad de objeto, se suele preferir `const`.

- Por su parte, `static` se parece a una variable global mutable en C++.
- `static` proporciona la identidad del objeto: una dirección en la memoria y en el estado que requieren los tipos con mutabilidad interior, como `Mutex<T>`.

Más información

Dado que se puede acceder a las variables `static` desde cualquier hilo, deben ser `Sync`. Mutabilidad interior es posible a través de un `Mutex`, atómico o parecido.

Datos locales al hilo se pueden crear con el macro `std::thread_local`.

10.5 `const`

Las variables constantes se evalúan en tiempo de compilación y sus valores se insertan donde sean utilizados:

```
const DIGEST_SIZE: usize = 3;
const ZERO: Option<u8> = Some(42);

fn compute_digest(text: &str) -> [u8; DIGEST_SIZE] {
    let mut digest = [ZERO.unwrap_or(0); DIGEST_SIZE];
    for (idx, &b) in text.as_bytes().iter().enumerate() {
        digest[idx % DIGEST_SIZE] = digest[idx % DIGEST_SIZE].wrapping_add(b);
    }
    digest
}

fn main() {
```

```
    let digest = compute_digest("Hello");
    println!("digest: {digest:?}");
}
```

Según el libro Rust RFC Book, se insertan cuando se utilizan.

Sólo se pueden llamar a las funciones marcadas como `const` en tiempo de compilación para generar valores `const`. Sin embargo, las funciones `const` se pueden llamar en *runtime*.

- Menciona que `const` se comporta semánticamente de forma similar a `constexpr` de C++
- No es muy habitual que se necesite una constante evaluada en *runtime*, pero es útil y más seguro que usar una estática.

10.6 Aliases de tipo

Un alias de tipo crea un nombre para otro tipo. Ambos tipos se pueden utilizar indistintamente.

```
enum CarryableConcreteItem {
    Left,
    Right,
}

type Item = CarryableConcreteItem;

// Los alias resultan de más utilidad con tipos largos y complejos:
use std::cell::RefCell;
use std::sync::{Arc, RwLock};
type PlayerInventory = RwLock<Vec<Arc<RefCell<Item>>>>;
```

Los programadores de C verán un parecido con `typedef`.

10.7 Ejercicio: eventos de ascensor

Crearemos una estructura de datos para representar un evento en un sistema de control de ascensores. Debes definir los tipos y las funciones para crear varios eventos. Usa `#[derive(Debug)]` para permitir que se aplique el formato `{:?}` a los tipos.

Para hacer este ejercicio solo es necesario crear y rellenar estructuras de datos de forma que `main` se ejecute sin errores. En la siguiente parte del curso veremos cómo extraer datos de estas estructuras.

```
/// Un evento en el sistema de ascensores al que debe reaccionar el controlador.
enum Event {
    // TAREAS: añadir variantes obligatorias
}

/// Un sentido de la marcha.
enum Direction {
    Up,
    Down,
}
```

```rust
/// El ascensor ha llegado a la planta indicada.
fn car_arrived(floor: i32) -> Event {
    todo!()
}

/// Las puertas del ascensor se han abierto.
fn car_door_opened() -> Event {
    todo!()
}

/// Las puertas del ascensor se han cerrado.
fn car_door_closed() -> Event {
    todo!()
}

/// Se ha pulsado el botón direccional de un ascensor en la planta indicada.
fn lobby_call_button_pressed(floor: i32, dir: Direction) -> Event {
    todo!()
}

/// Se ha pulsado el botón de una planta en el ascensor.
fn car_floor_button_pressed(floor: i32) -> Event {
    todo!()
}

fn main() {
    println!(
        "Un pasajero de la planta baja ha pulsado el botón para ir hacia arriba: {:?}",
        lobby_call_button_pressed(0, Direction::Up)
    );
    println!("El ascensor ha llegado a la planta baja: {:?}", car_arrived(0));
    println!("Las puertas del ascensor se han abierto: {:?}", car_door_opened());
    println!(
        "Un pasajero ha pulsado el botón de la tercera planta: {:?}",
        car_floor_button_pressed(3)
    );
    println!("Las puertas del ascensor se han cerrado: {:?}", car_door_closed());
    println!("El ascensor ha llegado a la tercera planta: {:?}", car_arrived(3));
}
```

10.7.1 Solución

```rust
/// Un evento en el sistema de ascensores al que debe reaccionar el controlador.
enum Event {
    /// Se ha pulsado un botón.
    ButtonPressed(Button),

    /// El ascensor ha llegado a la planta indicada.
    CarArrived(Floor),
```

```
    /// Las puertas del ascensor se han abierto.
    CarDoorOpened,

    /// Las puertas del ascensor se han cerrado.
    CarDoorClosed,
}

/// Una planta se representa como un número entero.
type Floor = i32;

/// Un sentido de la marcha.
enum Direction {
    Up,
    Down,
}

/// Un botón accesible para el usuario.
enum Button {
    /// Un botón para el ascensor en la planta indicada.
    LobbyCall(Direction, Floor),

    /// Un botón de planta de la cabina del ascensor.
    CarFloor(Floor),
}

/// El ascensor ha llegado a la planta indicada.
fn car_arrived(floor: i32) -> Event {
    Event::CarArrived(floor)
}

/// Las puertas del ascensor se han abierto.
fn car_door_opened() -> Event {
    Event::CarDoorOpened
}

/// Las puertas del ascensor se han cerrado.
fn car_door_closed() -> Event {
    Event::CarDoorClosed
}

/// Se ha pulsado el botón direccional de un ascensor en la planta indicada.
fn lobby_call_button_pressed(floor: i32, dir: Direction) -> Event {
    Event::ButtonPressed(Button::LobbyCall(dir, floor))
}

/// Se ha pulsado el botón de una planta en el ascensor.
fn car_floor_button_pressed(floor: i32) -> Event {
    Event::ButtonPressed(Button::CarFloor(floor))
}

fn main() {
```

```
    println!(
        "Un pasajero de la planta baja ha pulsado el botón para ir hacia arriba: {:?}",
        lobby_call_button_pressed(0, Direction::Up)
    );
    println!("El ascensor ha llegado a la planta baja: {:?}", car_arrived(0));
    println!("Las puertas del ascensor se han abierto: {:?}", car_door_opened());
    println!(
        "Un pasajero ha pulsado el botón de la tercera planta: {:?}",
        car_floor_button_pressed(3)
    );
    println!("Las puertas del ascensor se han cerrado: {:?}", car_door_closed());
    println!("El ascensor ha llegado a la tercera planta: {:?}", car_arrived(3));
}
```

Parte III

Día 2: Mañana

Capítulo 11

Te damos la bienvenida al día 2

Ahora que ya sabemos bastante sobre Rust, continuaremos con un enfoque en el sistema de tipos de Rust:

- Coincidencia de Patrones: desestructuración de enums, structs y arrays.
- Métodos: asociar funciones a tipos.
- Traits: comportamientos que comparten varios tipos.
- Genéricos: parametrizar tipos en otros tipos.
- Tipos y traits de bibliotecas estándar: un recorrido por la amplia biblioteca estándar de Rust.

Horario

Contando con los descansos de 10 minutos, la duración prevista de la sesión es de unas 2 horas y 10 minutos. Contiene:

Sección	Duración
Te damos la bienvenida	3 minutos
Correspondencia de Patrones	1 hora
Métodos y Traits	50 minutos

Capítulo 12

Correspondencia de Patrones

Esta sección tiene una duración aproximada de 1 hora. Contiene:

Diapositiva	Duración
Correspondencia de Valores	10 minutos
Desestructurando Structs	4 minutos
Desestructurando Enums	4 minutos
Control de Flujo Let	10 minutos
Ejercicio: evaluación de expresiones	30 minutos

12.1 Correspondencia de Valores

La palabra clave `match` te permite comparar un valor con uno o varios *patrones*. Las comparaciones se hacen de arriba a abajo y el primer patrón que coincida gana.

Los patrones pueden ser valores simples, del mismo modo que `switch` en C y C++:

```
fn main() {
    let input = 'x';
    match input {
        'q'                       => println!("Salir"),
        'a' | 's' | 'w' | 'd'     => println!("Desplazarse"),
        '0'..='9'                 => println!("Introducción de números"),
        key if key.is_lowercase() => println!("Minúscula: {key}"),
        _                         => println!("Otro"),
    }
}
```

_ es un patrón comodín que coincide con cualquier valor. Las expresiones *deben* ser exhuastivas, lo que significa que deben tener en cuenta todas las posibilidades, por lo que _ a menudo se usa como un caso final que atrapa todo.

Match puede ser usado como una expresión. Al igual que con `if let`, cada brazo de coincidencia debe ser del mismo tipo. El tipo es la última expresión del bloque, si la hay. En el ejemplo anterior, el tipo es `()`.

Una variable del patrón (en este ejemplo, `key`) creará un enlace que se puede usar dentro del brazo de coincidencia.

Un protección de coincidencia hace que la expresión coincida únicamente si se cumple la condición.

Puntos Clave:

- Puedes señalar cómo se usan algunos caracteres concretos en un patrón
  - `|` como `or`
  - `..` puede ampliarse tanto como sea necesario
  - `1..=5` representa un rango inclusivo
  - `_` es un comodín
- Las guardas de coincidencia, como característica sintáctica independiente, son importantes y necesarios cuando queremos expresar de forma concisa ideas más complejas de lo que permitirían los patrones por sí solos.
- No son lo mismo que una expresión `if` independiente dentro del brazo de coincidencias. Una expresión `if` dentro del bloque de ramas (después de `=>`) se produce tras seleccionar el brazo de coincidencias. Si no se cumple la condición `if` dentro de ese bloque, no se tienen en cuenta otros brazos de la expresión `match` original.
- La condición definida en el guarda se aplica a todas las expresiones de un patrón con un `|`.

12.2 Structs

Al igual que las tuplas, las estructuras se pueden desestructurar con la coincidencia:

```
struct Foo {
    x: (u32, u32),
    y: u32,
}

fn main() {
    let foo = Foo { x: (1, 2), y: 3 };
    match foo {
        Foo { x: (1, b), y } => println!("x.0 = 1, b = {b}, y = {y}"),
        Foo { y: 2, x: i }   => println!("y = 2, x = {i:?}"),
        Foo { y, .. }        => println!("y = {y}, se han ignorado otros campos"),
    }
}
```

- Cambia los valores literales de `foo` para que coincidan con los demás patrones.
- Añade un campo nuevo a `Foo` y realiza los cambios necesarios en el patrón.
- La diferencia entre una captura y una expresión constante puede ser difícil de detectar. Prueba a cambiar el `2` del segundo brazo por una variable y observa que no funciona. Cámbialo a `const` y verás que vuelve a funcionar.

12.3 Enumeraciones

Al igual que las tuplas, las enumeraciones también se pueden desestructurar con la coincidencia:

Los patrones también se pueden usar para enlazar variables a partes de los valores. Así es como se inspecciona la estructura de tus tipos. Empecemos con un tipo enum sencillo:

```
enum Result {
    Ok(i32),
    Err(String),
}

fn divide_in_two(n: i32) -> Result {
    if n % 2 == 0 {
        Result::Ok(n / 2)
    } else {
        Result::Err(format!("no se puede dividir {n} en dos partes iguales"))
    }
}

fn main() {
    let n = 100;
    match divide_in_two(n) {
        Result::Ok(half) => println!("{n} dividido entre dos es {half}"),
        Result::Err(msg) => println!("se ha producido un error: {msg}"),
    }
}
```

Aquí hemos utilizado los brazos para *desestructurar* el valor de `Result`. En el primer brazo, `half` está vinculado al valor que hay dentro de la variante `Ok`. En el segundo, `msg` está vinculado al mensaje de error.

- La expresión `if`/`else` devuelve una enumeración que más tarde se descomprime con `match`.
- Puedes probar a añadir una tercera variante a la definición de la enumeración y mostrar los errores al ejecutar el código. Señala los lugares en los que tu código está ahora incompleto y explica cómo el compilador intenta dar sugerencias.
- Solo se puede acceder a los valores de las variantes de enumeración una vez que coincidan con el patrón.
- Demuestra lo que pasa cuando la búsqueda no es exhaustiva. Ten en cuenta la ventaja que ofrece el compilador de Rust al confirmar que se gestionan todos los casos.
- Guarda el resultado de `divide_in_two` en la variable `result` y hazlo coincidir mediante `match` en un bucle. No se compilará porque se utilizará `msg` cuando coincida. Para solucionarlo, haz coincidir `&result` en lugar de `result`. De esta forma, `msg` se convertirá en una referencia y no se utilizará. Esta "ergonomía de coincidencia" apareció en Rust 2018. Si quieres que sea compatible con las versiones anteriores de Rust, sustituye `msg` por `ref msg` en el patrón.

12.4 Control de Flujo Let

Rust tiene algunas construcciones de control de flujo que difieren de otros lenguajes. Se utilizan para el patrón de coincidencia:

- Expresiones `if let`
- Expresiones `let else`
- Expresiones `while let`

Expresiones `if let`

La [expresión `if let`][(https://doc.rust-lang.org/reference/expressions/if-expr.html#if-let-expressions) te permite ejecutar código diferente en función de si un valor coincide con un patrón:

```
use std::time::Duration;

fn sleep_for(secs: f32) {
    if let Ok(dur) = Duration::try_from_secs_f32(secs) {
        std::thread::sleep(dur);
        println!("Horas de sueño: {:?}", dur);
    }
}

fn main() {
    sleep_for(-10.0);
    sleep_for(0.8);
}
```

Expresiones `let else`

En el caso habitual de coincidencia con un patrón y retorno de la función, utiliza `let else`. El caso "else" debe divergir (`return`, `break` o pánico; cualquier acción es válida menos colocarlo al final del bloque).

```
fn hex_or_die_trying(maybe_string: Option<String>) -> Result<u32, String> {
    let s = if let Some(s) = maybe_string {
        s
    } else {
        return Err(String::from("se ha obtenido None"));
    };

    let first_byte_char = if let Some(first_byte_char) = s.chars().next() {
        first_byte_char
    } else {
        return Err(String::from("se ha encontrado una cadena vacía"));
    };

    if let Some(digit) = first_byte_char.to_digit(16) {
        Ok(digit)
```

```
    } else {
        Err(String::from("no es un dígito hexadecimal"))
    }
}

fn main() {
    println!("resultado: {:?}", hex_or_die_trying(Some(String::from("foo"))));
}
```

Al igual que con `if let`, hay una variante `while let` que prueba repetidamente un valor con respecto a un patrón:

```
fn main() {
    let mut name = String::from("Comprehensive Rust 🦀");
    while let Some(c) = name.pop() {
        println!("character: {c}");
    }
    // (There are more efficient ways to reverse a string!)
}
```

Aquí, `String::pop` devolverá `Some(c)` hasta que la cadena este vacía, cuando empezara a devolver `None`. `while let` nos permite seguir iterando a través de todos los elementos.

if-let

- A diferencia de `match`, `if let` no tiene que cubrir todas las ramas, pudiendo así conseguir que sea más conciso que `match`.
- Un uso habitual consiste en gestionar valores `Some` al trabajar con `Option`.
- A diferencia de `match`, `if let` no admite cláusulas guardia para la coincidencia de patrones.

let-else

Las instrucciones `if-let` se pueden apilar, tal y como se muestra. La construcción `let-else` permite aplanar este código anidado. Reescribe esta rara versión para que los participantes puedan ver la transformación.

La versión reescrita es la siguiente:

```
fn hex_or_die_trying(maybe_string: Option<String>) -> Result<u32, String> {
    let Some(s) = maybe_string else {
        return Err(String::from("se ha obtenido None"));
    };

    let Some(first_byte_char) = s.chars().next() else {
        return Err(String::from("se ha encontrado una cadena vacía"));
    };

    let Some(digit) = first_byte_char.to_digit(16) else {
        return Err(String::from("no es un dígito hexadecimal"));
    };
```

```
    return Ok(digit);
}
```

while-let

- Señala que el bucle `while let` seguirá funcionando siempre que el valor coincida con el patrón.
- Puedes reescribir el bucle `while let` como un ciclo infinito con una instrucción if que rompe el bucle si `name.pop()` no devuelve un valor para desenvolver. `while let` proporciona azúcar sintáctico para la situación anterior.

12.5 Ejercicio: evaluación de expresiones

Vamos a escribir un sencillo evaluador recursivo de expresiones aritméticas.

El tipo `Box` es un puntero inteligente y lo veremos con detalle más adelante en el curso. Una expresión puede "estar delimitada" con `Box::new`, tal como se observa en las pruebas. Para evaluar una expresión delimitada, usa el operador de desreferencia (`*`) para "eliminar la delimitación": `eval(*boxed_expr)`.

Algunas expresiones no se pueden evaluar y devuelven un error. El tipo estándar `Result<Value, String>` es una enumeración que representa un valor correcto (`Ok(Value)`) o un error (`Err(String)`). Más adelante hablaremos de este tipo en profundidad.

Copia y pega el código en el playground de Rust y comienza a implementar `eval`. El producto final debe superar las pruebas. Recomendamos utilizar `todo!()` y hacer las pruebas para superar todas las pruebas de forma individual. También puedes saltarte una prueba de forma temporal con `#[ignore]`:

```
#[test]
#[ignore]
fn test_value() { .. }
```

Si terminas antes, prueba a escribir una prueba que dé como resultado la división entre cero o un desbordamiento de números enteros. ¿Cómo podrías gestionarlo con `Result` en vez de con un pánico?

```
/// Operación que se puede llevar a cabo en dos subexpresiones.
enum Operation {
    Add,
    Sub,
    Mul,
    Div,
}

/// Una expresión en forma de árbol.
enum Expression {
    /// Operación en dos subexpresiones.
    Op { op: Operation, left: Box<Expression>, right: Box<Expression> },

    /// Un valor literal
```

```
    Value(i64),
}

fn eval(e: Expression) -> Result<i64, String> {
    todo!()
}

fn test_value() {
    assert_eq!(eval(Expression::Value(19)), Ok(19));
}

fn test_sum() {
    assert_eq!(
        eval(Expression::Op {
            op: Operation::Add,
            left: Box::new(Expression::Value(10)),
            right: Box::new(Expression::Value(20)),
        }),
        Ok(30)
    );
}

fn test_recursion() {
    let term1 = Expression::Op {
        op: Operation::Mul,
        left: Box::new(Expression::Value(10)),
        right: Box::new(Expression::Value(9)),
    };
    let term2 = Expression::Op {
        op: Operation::Mul,
        left: Box::new(Expression::Op {
            op: Operation::Sub,
            left: Box::new(Expression::Value(3)),
            right: Box::new(Expression::Value(4)),
        }),
        right: Box::new(Expression::Value(5)),
    };
    assert_eq!(
        eval(Expression::Op {
            op: Operation::Add,
            left: Box::new(term1),
            right: Box::new(term2),
        }),
        Ok(85)
    );
}

fn test_error() {
    assert_eq!(
        eval(Expression::Op {
            op: Operation::Div,
```

```
            left: Box::new(Expression::Value(99)),
            right: Box::new(Expression::Value(0)),
        }),
        Err(String::from("división entre cero"))
    );
}
```

12.5.1 Solución

```
/// Operación que se puede llevar a cabo en dos subexpresiones.
enum Operation {
    Add,
    Sub,
    Mul,
    Div,
}

/// Una expresión en forma de árbol.
enum Expression {
    /// Operación en dos subexpresiones.
    Op { op: Operation, left: Box<Expression>, right: Box<Expression> },

    /// Un valor literal
    Value(i64),
}

fn eval(e: Expression) -> Result<i64, String> {
    match e {
        Expression::Op { op, left, right } => {
            let left = match eval(*left) {
                Ok(v) => v,
                e @ Err(_) => return e,
            };
            let right = match eval(*right) {
                Ok(v) => v,
                e @ Err(_) => return e,
            };
            Ok(match op {
                Operation::Add => left + right,
                Operation::Sub => left - right,
                Operation::Mul => left * right,
                Operation::Div => {
                    if right == 0 {
                        return Err(String::from("división entre cero"));
                    } else {
                        left / right
                    }
                }
            })
        }
        Expression::Value(v) => Ok(v),
```

```
    }
}

fn test_value() {
    assert_eq!(eval(Expression::Value(19)), Ok(19));
}

fn test_sum() {
    assert_eq!(
        eval(Expression::Op {
            op: Operation::Add,
            left: Box::new(Expression::Value(10)),
            right: Box::new(Expression::Value(20)),
        }),
        Ok(30)
    );
}

fn test_recursion() {
    let term1 = Expression::Op {
        op: Operation::Mul,
        left: Box::new(Expression::Value(10)),
        right: Box::new(Expression::Value(9)),
    };
    let term2 = Expression::Op {
        op: Operation::Mul,
        left: Box::new(Expression::Op {
            op: Operation::Sub,
            left: Box::new(Expression::Value(3)),
            right: Box::new(Expression::Value(4)),
        }),
        right: Box::new(Expression::Value(5)),
    };
    assert_eq!(
        eval(Expression::Op {
            op: Operation::Add,
            left: Box::new(term1),
            right: Box::new(term2),
        }),
        Ok(85)
    );
}

fn test_error() {
    assert_eq!(
        eval(Expression::Op {
            op: Operation::Div,
            left: Box::new(Expression::Value(99)),
            right: Box::new(Expression::Value(0)),
        }),
        Err(String::from("división entre cero"))
```

```
    );
}

fn main() {
    let expr = Expression::Op {
        op: Operation::Sub,
        left: Box::new(Expression::Value(20)),
        right: Box::new(Expression::Value(10)),
    };
    println!("expr: {:?}", expr);
    println!("resultado: {:?}", eval(expr));
}
```

Capítulo 13

Métodos y Traits

Esta sección tiene una duración aproximada de 50 minutos. Contiene:

Diapositiva	Duración
Métodos	10 minutos
Traits	15 minutos
Derivación de Traits	3 minutos
Ejercicio: registro genérico	20 minutos

13.1 Métodos

Rust te permite asociar funciones a los nuevos tipos. Para ello, usa un bloque `impl`:

```
struct Race {
    name: String,
    laps: Vec<i32>,
}

impl Race {
    // No hay receptor, método estático
    fn new(name: &str) -> Self {
        Self { name: String::from(name), laps: Vec::new() }
    }

    // Acceso exclusivo de lectura/escritura prestado a self
    fn add_lap(&mut self, lap: i32) {
        self.laps.push(lap);
    }

    // Acceso compartido y de solo lectura prestado a self
    fn print_laps(&self) {
        println!("Se han registrado {} vueltas de {}:", self.laps.len(), self.name);
        for (idx, lap) in self.laps.iter().enumerate() {
            println!("Vuelta {idx}: {lap} s");
```

```
        }
    }

    // Propiedad exclusiva de self
    fn finish(self) {
        let total: i32 = self.laps.iter().sum();
        println!("La carrera {} ha terminado. Duración total de la vuelta: {}.", self.na
    }
}

fn main() {
    let mut race = Race::new("Gran Premio de Mónaco");
    race.add_lap(70);
    race.add_lap(68);
    race.print_laps();
    race.add_lap(71);
    race.print_laps();
    race.finish();
    // race.add_lap(42);
}
```

El argumento `self` denomina el "receiver" (receptor) - el objeto sobre cual el método actuará. Hay varios receivers comunes para un método:

- `&self`: toma prestado el objeto del llamador utilizando una referencia compartida e inmutable. El objeto se puede volver a utilizar después.
- `&mut self`: toma prestado el objeto del llamador mediante una referencia única y mutable. El objeto se puede volver a utilizar después.
- `self`: asume el *ownership* del objeto y lo aleja del llamador. El método se convierte en el propietario del objeto. El objeto se eliminará (es decir, se anulará la asignación) cuando el método devuelva un resultado, a menos que se transmita su *ownership* de forma explícita. El *ownership* completa no implica automáticamente una mutabilidad.
- `mut self`: igual que lo anterior, pero el método puede mutar el objeto.
- Sin receptor: se convierte en un método estático de la estructura. Normalmente se utiliza para crear constructores que se suelen denominar new.

Puntos Clave:

- Puede resultar útil presentar los métodos comparándolos con funciones.
  - Se llama a los métodos en una instancia de un tipo (como un estructura o una enumeración) y el primer parámetro representa la instancia como `self`.
  - Los desarrolladores pueden optar por utilizar métodos para aprovechar la sintaxis de los receptores de métodos y para ayudar a mantenerlos más organizados. Mediante el uso de métodos podemos mantener todo el código de implementación en un lugar predecible.
- Señala el uso de la palabra clave `self`, el receptor de un método.
  - Indica que se trata de un término abreviado de `self: Self` y tal vez muestra cómo se podría utilizar también el nombre de la estructura.
  - Explica que `Self` es un tipo de alias para el tipo en el que está el bloque `impl` y que se puede usar en cualquier parte del bloque.
  - Ten en cuenta que se puede usar `self` como otras estructuras y que la notación de puntos puede utilizarse para referirse a campos concretos.
  - Puede ser un buen momento para mostrar la diferencia entre `&self` y `self`

modificando el código e intentando ejecutar `finish` dos veces.
  - Además de las variantes `self`, también hay tipos de envoltorios especiales que pueden ser tipos de receptor, como `Box<Self>`.

13.2 Traits

Rust te permite abstraer sobre tipos con *traits*. Son similares a las interfaces:

```
trait Pet {
    /// Devuelve una frase de esta mascota.
    fn talk(&self) -> String;

    /// Imprime un saludo a la mascota en una salida estándar.
    fn greet(&self);
}
```

- Un trait define una serie de métodos que los tipos deben tener para implementar el trait.
- En la sección de "Genéricos" a seguir, veremos como construir funcionalidad que es genérico sobre todos los tipos implementando un trait.

13.2.1 Implementación de Traits

```
trait Pet {
    fn talk(&self) -> String;

    fn greet(&self) {
        println!("¡Eres una monada! ¿Cómo te llamas? {}", self.talk());
    }
}

struct Dog {
    name: String,
    age: i8,
}

impl Pet for Dog {
    fn talk(&self) -> String {
        format!("¡Guau, me llamo {}!", self.name)
    }
}

fn main() {
    let fido = Dog { name: String::from("Fido"), age: 5 };
    fido.greet();
}
```

- Para implementar `Trait` para un tipo `Type`, utiliza un bloque `impl Trait for Type { .. }`.
- A diferencia de los interfases de Go, tener los métodos adecuados no es suficiente: un tipo `Cat` con un método `talk()` no satisface `Pet` automáticamente al menos que este

en un bloque `impl Pet`.

- Los *traits* pueden especificar implementaciones predeterminadas de algunos métodos. Implementaciones predeterminadas pueden usar todos los métodos de un trait (incluso los métodos que los usuarios deben implementar ellos mismos). En este caso, `greet` es predeterminado y utiliza `talk`.

13.2.2 Supertraits

Un trait puede requerir que los tipos que lo implementan también implementen otros traits, llamados *supertraits*. Aquí, cualquier tipo implementando `Pet` también debe implementar `Animal`.

```
trait Animal {
    fn leg_count(&self) -> u32;
}

trait Pet: Animal {
    fn name(&self) -> String;
}

struct Dog(String);

impl Animal for Dog {
    fn leg_count(&self) -> u32 {
        4
    }
}

impl Pet for Dog {
    fn name(&self) -> String {
        self.0.clone()
    }
}

fn main() {
    let puppy = Dog(String::from("Rex"));
    println!("{} tiene {} piernas", puppy.name(), puppy.leg_count());
}
```

Algunas veces esto es llamado ”herencia de traits”, pero los estudiantes no deben esperar que esto se comporte como la herencia OO (object-oriented). Solo especifica un requerimiento adicional sobre las implementaciones de un trait.

13.2.3 Tipos de datos asociados

Tipos asociados son tipos guarda-espacio que han sido proveídos por la implementación del trait.

```
struct Meters(i32);
struct MetersSquared(i32);
```

```
trait Multiply {
    type Output;
    fn multiply(&self, other: &Self) -> Self::Output;
}

impl Multiply for Meters {
    type Output = MetersSquared;
    fn multiply(&self, other: &Self) -> Self::Output {
        MetersSquared(self.0 * other.0)
    }
}

fn main() {
    println!("{:?}", Meters(10).multiply(&Meters(20)));
}
```

- Tipos asociados también son llamados ”tipos de salida”. La observación clave es que el implementador, no el ejecutor, escoge este tipo.
- Muchos traits de la biblioteca estándar tienen tipos asociados, incluyendo operadores aritméticos y `Iterator`.

13.3 Derivación de Traits

Los traits compatibles se pueden implementar de forma automática en los tipos personalizados de la siguiente manera:

```
struct Player {
    name: String,
    strength: u8,
    hit_points: u8,
}

fn main() {
    let p1 = Player::default(); // El trait predeterminado añade el constructor `default
    let mut p2 = p1.clone(); // El trait clonado añade el método `clone`.
    p2.name = String::from("EldurScrollz");
    // El trait Debug permite que sea compatible con imprimir con `{:?}`.
    println!("{:?} contra {:?}", p1, p2);
}
```

La derivación se implementa con macros y muchos crates ofrecen macros de derivación útiles para añadir funciones. Por ejemplo, `serde` puede derivar la compatibilidad con la serialización para una struct con `#[derive(Serialize)]`.

13.4 Ejercicio: trait de registro

Vamos a diseñar una sencilla utilidad de registro mediante un trait `Logger` con un método `log`. El código que podría registrar su progreso puede usar `&impl Logger`. En las pruebas, esta acción colocaría mensajes en el archivo de registro de la prueba, mientras que en una compilación de producción enviaría los mensajes a un servidor de registro.

Sin embargo, el elemento `StderrLogger` que aparece a continuación registra todos los mensajes, independientemente de su verbosidad. Tu tarea es escribir un tipo `VerbosityFilter` que ignore los mensajes que superen el máximo de verbosidad.

Este es un patrón común: una struct que envuelve una implementación de traits e implementa ese mismo trait, añadiendo comportamiento en el proceso. ¿Qué otros tipos de envoltorios pueden ser útiles en una utilidad de registro?

```
use std::fmt::Display;

pub trait Logger {
    /// Registra un mensaje con el nivel de verbosidad determinado.
    fn log(&self, verbosity: u8, message: impl Display);
}

struct StderrLogger;

impl Logger for StderrLogger {
    fn log(&self, verbosity: u8, message: impl Display) {
        eprintln!("verbosidad={verbosity}: {message}");
    }
}

fn do_things(logger: &impl Logger) {
    logger.log(5, "Para tu información");
    logger.log(2, "Oh, oh");
}

// TAREA: Define e implementa `VerbosityFilter`.

fn main() {
    let l = VerbosityFilter { max_verbosity: 3, inner: StderrLogger };
    do_things(&l);
}
```

13.4.1 Solución

```
use std::fmt::Display;

pub trait Logger {
    /// Registra un mensaje con el nivel de verbosidad determinado.
    fn log(&self, verbosity: u8, message: impl Display);
}

struct StderrLogger;

impl Logger for StderrLogger {
    fn log(&self, verbosity: u8, message: impl Display) {
        eprintln!("verbosidad={verbosity}: {message}");
    }
}
```

```rust
fn do_things(logger: &impl Logger) {
    logger.log(5, "Para tu información");
    logger.log(2, "Oh, oh");
}

/// Registra solo los mensajes que cumplan el nivel de verbosidad determinado.
struct VerbosityFilter {
    max_verbosity: u8,
    inner: StderrLogger,
}

impl Logger for VerbosityFilter {
    fn log(&self, verbosity: u8, message: impl Display) {
        if verbosity <= self.max_verbosity {
            self.inner.log(verbosity, message);
        }
    }
}

fn main() {
    let l = VerbosityFilter { max_verbosity: 3, inner: StderrLogger };
    do_things(&l);
}
```

Parte IV

Día 2: tarde

Capítulo 14

Te damos la bienvenida

Incluyendo descansos de 10 minutos, esta sesión debería durar unas 3 horas y 15 minutos. Contiene:

Sección	Duración
Genéricos	45 minutos
Tipos de la Biblioteca Estándar	1 hora
Traits de la biblioteca estándar	1 hora y 10 minutos

Capítulo 15

Genéricos

Esta sección tiene una duración aproximada de 45 minutos. Contiene:

Diapositiva	Duración
Funciones genéricas	5 minutos
Tipos de Datos Genéricos	10 minutos
Trait Bounds	10 minutos
impl Trait	5 minutos
dyn Trait	5 minutos
Ejercicio: min genérico	10 minutos

15.1 Funciones genéricas

Rust admite el uso de genéricos, lo que permite abstraer los algoritmos o las estructuras de datos (como el ordenamiento o un árbol binario) sobre los tipos utilizados o almacenados.

```
/// Elige `even` u `odd` en función de si `n` es par o impar.
fn pick<T>(n: i32, even: T, odd: T) -> T {
    if n % 2 == 0 {
        even
    } else {
        odd
    }
}

fn main() {
    println!("número elegido: {:?}", pick(97, 222, 333));
    println!("tupla elegida: {:?}", pick(28, ("perro", 1), ("gato", 2)));
}
```

- Rust infiere un tipo para T en función de los tipos de los argumentos y del valor devuelto.
- Es similar a las plantillas de C++, pero Rust compila de forma parcial la función genérica de forma inmediata, por lo que debe ser válida para todos los tipos que coincidan con las restricciones. Por ejemplo, prueba a modificar `pick` para que devuelva `even + odd`

si `n == 0`. Aunque solo se use la instanciación `pick` con números enteros, Rust seguirá considerando que no es válida. En cambio, C++ lo permitiría.

- Código genérico es convertido en código no genérico basada en los sitios de ejecución .Se trata de una abstracción sin coste: se obtiene exactamente el mismo resultado que si se hubiesen programado de forma manual las estructuras de datos sin la abstracción.

15.2 Tipos de Datos Genéricos

Puedes usar genéricos para abstraer el tipo de campo concreto:

```
struct Point<T> {
    x: T,
    y: T,
}

impl<T> Point<T> {
    fn coords(&self) -> (&T, &T) {
        (&self.x, &self.y)
    }

    fn set_x(&mut self, x: T) {
        self.x = x;
    }
}

fn main() {
    let integer = Point { x: 5, y: 10 };
    let float = Point { x: 1.0, y: 4.0 };
    println!("{integer:?} y {float:?}");
    println!("coordenadas: {:?}", integer.coords());
}
```

- *P:* ¿Por qué `T` se especifica dos veces en `impl<T> Point<T> {}`? ¿No es redundante?
  - Esto se debe a que es una sección de implementación genérica para un tipo genérico. Son genéricos de forma independiente.
  - Significa que estos métodos están definidos para cualquier `T`.
  - Es posible escribir `impl Point<u32> { .. }`.
    - `Point` sigue siendo genérico y puedes usar `Point<f64>`, pero los métodos de este bloque solo estarán disponibles para `Point<u32>`.
- Prueba a declarar una nueva variable `let p = Punto { x: 5, y: 10.0 };`. Actualiza el código para permitir que haya puntos que tengan elementos de diferentes tipos con dos variables de tipo, por ejemplo, `T` y `U`.

15.3 Traits Genéricos

Los traits también pueden ser genéricos, como los tipos y las funciones. Los parámetros de un trait obtienen tipos concretos cuando es usado.

```
struct Foo(String);

impl From<u32> for Foo {
    fn from(from: u32) -> Foo {
        Foo(format!("Convertido del numero entero: {from}"))
    }
}

impl From<bool> for Foo {
    fn from(from: bool) -> Foo {
        Foo(format!("Convertido del bool: {from}"))
    }
}

fn main() {
    let from_int = Foo::from(123);
    let from_bool = Foo::from(true);
    println!("{from_int:?}, {from_bool:?}");
}
```

- El trait `From` sera discutido mas tarde, pero su definición en la documentación `std` es simple.
- Las implementaciones del trait no necesitan cubrir todos los parámetros de tipo posibles. Aquí, `Foo::from("hello")` no compilaría porque no hay una implementación `From<&str>` para `Foo`.
- Tipos genéricos toman tipos como entradas, mientras tipos asociados son tipos de salida. Un trait puede tener varias implementaciones para diferentes tipos de entrada.
- De hecho, Rust requiere que a lo más solo una implementación de un trait coincida con cualquier tipo T. A diferencia de otros lenguajes, Rust no tiene una heurística para escoger la coincidencia "más especifica". Hay trabajo corriente para implementar esta heurística, llamado especialización.

15.4 Trait Bounds

Cuando se trabaja con genéricos, a menudo se prefiere que los tipos implementen algún trait, de forma que se pueda llamar a los métodos de este trait.

Puedes hacerlo con `T: Trait` o `impl Trait`:

```
fn duplicate<T: Clone>(a: T) -> (T, T) {
    (a.clone(), a.clone())
}

// struct NotClonable;

fn main() {
    let foo = String::from("foo");
    let pair = duplicate(foo);
    println!("{pair:?}");
}
```

- Prueba a crear un `NonClonable` y pásalo a `duplicable`.
- Si se necesitan varios traits, usa `+` para unirlos.
- Muestra una cláusula `where` para que los alumnos la encuentren al leer el código.

```
fn duplicate<T>(a: T) -> (T, T)
where
    T: Clone,
{
    (a.clone(), a.clone())
}
```

  - Despeja la firma de la función si tienes muchos parámetros.
  - Tiene funciones adicionales para que sea más potente.
    * Si alguien pregunta, la función adicional es que el tipo que está a la izquierda de ":" puede ser arbitrario, como `Option<T>`.
- Ten en cuenta que Rust (todavía) no admite especialización. Por ejemplo, dado el `duplicate`, original, no es válido añadir un `duplicate(a: u32)` especializado.

15.5 `impl Trait`

De forma similar a los límites de *traits*, se puede usar la sintaxis `impl Trait` en argumentos de funciones y valores devueltos:

```
// Azúcar sintáctico para:
//   fn add_42_millions<T: Into<i32>>(x: T) -> i32 {
fn add_42_millions(x: impl Into<i32>) -> i32 {
    x.into() + 42_000_000
}

fn pair_of(x: u32) -> impl std::fmt::Debug {
    (x + 1, x - 1)
}

fn main() {
    let many = add_42_millions(42_i8);
    println!("{many}");
    let many_more = add_42_millions(10_000_000);
    println!("{many_more}");
    let debuggable = pair_of(27);
    println!("depurable: {debuggable:?}");
}
```

`impl Trait` te deja trabajar con tipos que no puedes nombrar. El significado de `impl Trait` es un poco diferente dependiendo de su posición.

- En el caso de los parámetros, `impl Trait` es como un parámetro genérico anónimo con un límite de trait.
- En el caso de un tipo de resultado devuelto, significa que este es un tipo concreto que implementa el trait, sin nombrar el tipo. Esto puede ser útil cuando no quieres exponer el tipo concreto en una API pública.

La inferencia es más complicada en la posición de retorno. Una función que devuelve `impl Foo` elige el tipo concreto que devuelve, sin escribirlo en el código fuente. Una función que devuelve un tipo genérico como `collect<B>() -> B` puede devolver cualquier tipo que cumpla `B`, y es posible que el llamador tenga que elegir uno, como con `let x: Vec<_> = foo.collect()` o con la sintaxis turbofish, `foo.collect::<Vec<_>>()`.

¿Cuál es el tipo de debuggable? Prueba con `let debuggable: () = ..` para ver lo que muestra el mensaje de error.

15.6 dyn Trait

En adición a ser usados para despacho estático con genéricos, los traits también se pueden usar para despacho dinámico/tipo-borrado con objetos de trait:

```
struct Dog {
    name: String,
    age: i8,
}
struct Cat {
    lives: i8,
}

trait Pet {
    fn talk(&self) -> String;
}

impl Pet for Dog {
    fn talk(&self) -> String {
        format!("¡Guau, me llamo {}!", self.name)
    }
}

impl Pet for Cat {
    fn talk(&self) -> String {
        String::from("¡Miau!")
    }
}

// Utiliza genéricos y despacho estático.
fn generic(pet: &impl Pet) {
    println!("Hola, quien eres? {}", pet.talk());
}

// Utiliza borradura de tipos y despacho dinámico.
fn dynamic(pet: &dyn Pet) {
    println!("Hola, quien eres? {}", pet.talk());
}

fn main() {
    let cat = Cat { lives: 9 };
```

```
    let dog = Dog { name: String::from("Fido"), age: 5 };

    generic(&cat);
    generic(&dog);

    dynamic(&cat);
    dynamic(&dog);
}
```

- Genéricos, incluyendo `impl Trait`, utilizan monomorphización para crear una instancia especializada de la funcionan para cada tipo con el cual el genérico es instanciando. Esto significa que llamar un método de trait dentro de una función generica todavía usa despacho estático, ya que el compilador tiene todo la información necesaria para determinar el tipo cuya implementación debería de usar.
- `dyn Trait` utiliza despacho dinámico con una tabla virtual de metodos (vtable). Esto significa que solo hay una sola version de `fn dynamic` que es utilizado independientemente del tipo de `Pet` que es proveído.
- Cuando uno usa `dyn Trait`, el objeto trait necesita estar detrás algún tipo de indirección. En este caso es una referencia, pero tipos de puntador inteligentes como `Box` también pueden ser usados (demostraremos este durante el día 3).
- Durante el tiempo de ejecución, un `&dyn Pet` es representado como un ”puntador gordo”, es decir un par de dos puntadores: Un puntador apunta al objeto concreto que implementa `Pet`, y el otra apunta al vtable para la implementación del trait para ese tipo. Cuando uno llama el método `talk` sobre `&dyn Pet`, el compilador busca el puntador de función para `talk` en el vtable y ejecuta la función, pasando el puntador al `Dog` o `Cat` a esa función. El compilador no necesita saber el tipo concreto del `Pet` para hacer esto.
- Un `dyn Trait` es considerado ser ”tipo-borrado”, ya que no tenemos información sobre el tipo concreto del objeto al tiempo de compilación.

15.7 Ejercicio: `min` genérico

En este breve ejercicio, implementarás una función `min` genérica que determina el mínimo de dos valores mediante el trait `Ord`.

```
use std::cmp::Ordering;

// TAREA: implementar la función `min` usada en `main`.

fn main() {
    assert_eq!(min(0, 10), 0);
    assert_eq!(min(500, 123), 123);

    assert_eq!(min('a', 'z'), 'a');
    assert_eq!(min('7', '1'), '1');

    assert_eq!(min("hola", "adios"), "adios");
    assert_eq!(min("murciélago", "armadillo"), "armadillo");
}
```

- Enseña a los estudiantes el trait `Ord` y el enum `Ordering`.

15.7.1 Solución

```rust
use std::cmp::Ordering;

fn min<T: Ord>(l: T, r: T) -> T {
    match l.cmp(&r) {
        Ordering::Less | Ordering::Equal => l,
        Ordering::Greater => r,
    }
}

fn main() {
    assert_eq!(min(0, 10), 0);
    assert_eq!(min(500, 123), 123);

    assert_eq!(min('a', 'z'), 'a');
    assert_eq!(min('7', '1'), '1');

    assert_eq!(min("hola", "adios"), "adios");
    assert_eq!(min("murciélago", "armadillo"), "armadillo");
}
```

Capítulo 16

Tipos de la Biblioteca Estándar

Esta sección tiene una duración aproximada de 1 hora. Contiene:

Diapositiva	Duración
Biblioteca estándar	3 minutos
Documentación	5 minutos
Option	10 minutos
Result	5 minutos
String	5 minutos
Vec (Vectores)	5 minutos
HashMap	5 minutos
Ejercicio: Contador	20 minutos

Dedica un tiempo a revisar las páginas de la documentación de cada una de las diapositivas de esta sección para destacar algunos de los métodos que más se usan.

16.1 Biblioteca estándar

Rust viene con una biblioteca estándar que ayuda a establecer un conjunto de tipos comunes que se usan en la biblioteca y los programas de Rust. De esta forma, dos bibliotecas pueden funcionar juntas sin problemas, puesto que ambas utilizan el mismo tipo `String`.

De hecho, Rust contiene varias capas de la biblioteca estándar: `core`, `alloc` y `std`.

- `core` incluye los tipos y funciones más básicos que no dependen de `libc`, de un *allocator* (asignador de memoria) ni de la presencia de un sistema operativo.
- `alloc` incluye tipos que requieren un *allocator* de *heap* global, como `Vec`, `Box` y `Arc`.
- Las aplicaciones embebidas en Rust menudo solo usan `core` y a algunas veces `alloc`.

16.2 Documentación

Rust incluye una amplia documentación. Por ejemplo:

- Todos los detalles sobre bucles.
- Tipos primitivos como u8.
- Tipos de la biblioteca estándar como Option o BinaryHeap.

De hecho, puedes documentar tu propio código:

```
/// Determina si el primer argumento es divisible por el segundo argumento.
///
/// Si el segundo es cero, el resultado será false.
fn is_divisible_by(lhs: u32, rhs: u32) -> bool {
    if rhs == 0 {
        return false;
    }
    lhs % rhs == 0
}
```

El contenido se trata como Markdown. Todos los crates de la biblioteca de Rust publicados se documentan automáticamente en docs.rs mediante la herramienta rustdoc. Es propio documentar todos los elementos públicos de una API usando este patrón.

Para documentar un elemento desde dentro (por ejemplo, dentro de un módulo), utiliza `//!` o `/*! .. */`, denominado como "comentarios internos del documento":

```
//! Este módulo contiene funciones relacionadas con la divisibilidad de números enteros
```

- Muestra a los alumnos los documentos generados para el crate `rand` en https://docs.rs/rand.

16.3 Option

Ya hemos visto algunos usos de `Option<T>`. Almacena un valor de tipo `T` o nada. Por ejemplo, `String::find` devuelve un `Option<usize>`.

```
fn main() {
    let name = "Löwe 老虎 Léopard Gepardi";
    let mut position: Option<usize> = name.find('é');
    println!("buscar {position:?} devuelto");
    assert_eq!(position.unwrap(), 14);
    position = name.find('Z');
    println!("buscar {position:?} devuelto");
    assert_eq!(position.expect("No se ha encontrado el carácter"), 0);
}
```

- `Option` se usa en muchos contextos, no solo en la biblioteca estándar.
- `unwrap` devolverá el valor en un elemento `Option` o un error pánico. `expect` funciona de forma similar, pero muestra un mensaje de error.
  - Puedes obtener un pánico en None, pero no puedes olvidarte "de forma accidental" de seleccionar None.
  - Es habitual usar `unwrap`/`expect` por todas partes, pero el código de producción suele gestionar None de una forma más adecuada.
- La "optimización de nicho" significa que `Option<T>` a menudo tiene el mismo tamaño en memoria que `T`.

16.4 Result

`Result` es parecido a `Option`, pero indica si una operación se ha completado de forma correcta o ha fallado, cada una con un tipo diferente. Es genérico: `Result<T, E>` donde `T` es usado en el variante `Ok` y `E` en el variante `Err`.

```
use std::fs::File;
use std::io::Read;

fn main() {
    let file: Result<File, std::io::Error> = File::open("diary.txt");
    match file {
        Ok(mut file) => {
            let mut contents = String::new();
            if let Ok(bytes) = file.read_to_string(&mut contents) {
                println!("Querido diario: {contents} ({bytes} bytes)");
            } else {
                println!("No se ha podido leer el contenido del archivo");
            }
        }
        Err(err) => {
            println!("No se ha podido abrir el diario: {err}");
        }
    }
}
```

- Al igual que con `Option`, el valor correcto se encuentra dentro de `Result`, lo que obliga al desarrollador a extraerlo de forma explícita. Esto fomenta la comprobación de errores. En el caso de que nunca se produzca un error, se puede llamar a `unwrap()` o a `expect()`, y esto también es una señal de la intención del desarrollador.
- La documentación sobre `Result` es una lectura recomendada. Aunque no se vea durante este curso, merece la pena mencionarlo. Contiene muchos métodos y funciones prácticos que ayudan a seguir un estilo de programación funcional.
- `Result` es el tipo estándar para implementar la gestión de errores, tal y como veremos el día 4.

16.5 String

`String` es el búfer de cadena ampliable UTF-8 estándar:

```
fn main() {
    let mut s1 = String::new();
    s1.push_str("Hola");
    println!("s1: longitud = {}, capacidad = {}", s1.len(), s1.capacity());

    let mut s2 = String::with_capacity(s1.len() + 1);
    s2.push_str(&s1);
    s2.push('!');
    println!("s2: longitud= {}, capacidad = {}", s2.len(), s2.capacity());

    let s3 = String::from("🇨🇭");
```

```
    println!("s3: longitud = {}, número de caracteres = {}", s3.len(), s3.chars().count
}
```

`String` implementa [`Deref<Target = str>`][2], lo que significa que puedes llamar a todos los métodos `str` en una `String`.

- `String::new` devuelve una nueva cadena vacía. Usa `String::with_capacity` cuando sepas cuántos datos quieres guardar.
- `String::len` devuelve el tamaño de `String` en bytes (que puede ser diferente de su longitud en caracteres).
- `String::chars` devuelve un iterador sobre los caracteres reales. Ten en cuenta que un `char` puede ser diferente de lo que un humano consideraría un "caracter", debido a los grupos de grafemas.
- Cuando la gente se refiere a una cadena, pueden estar hablando de `&str` o de `String`.
- Cuando un tipo implementa `Deref<Target = T>`, el compilador te permite llamar a métodos de forma transparente desde `T`.
  - Todavía no hemos abordado el trait `Deref`, por lo que en este momento esto explica principalmente la estructura de la barra lateral de la documentación.
  - `String` implementa `Deref<Target = str>`, que le proporciona acceso transparente a los métodos de `str`.
  - Escribe y compara `let s3 = s1.deref();` y `let s3 = &*s1;`.
- `String` se implementa como un envoltorio alrededor de un vector de bytes. Muchas de las operaciones que ves como compatibles con vectores también lo son con `String`, pero con algunas garantías adicionales.
- Compara las diferentes formas de indexar `String`:
  - A un carácter mediante `s3. chars().nth(i).unwrap()`, donde `i` está dentro o fuera de los límites.
  - A una cadena secundaria mediante `s3[0..4]`, donde el slice está en los límites de caracteres o no.
- Muchos tipos pueden ser convertidos a una cadena con el método `to_string`. Este trait es automáticamente implementado para cualquier tipo que implemente `Display`, entonces cualquier objeto que pueda ser formateado también puede ser convertido a una cadena.

16.6 Vec (*Vectores*)

`Vec` es el búfer estándar redimensionable asignado al *heap*:

```
fn main() {
    let mut v1 = Vec::new();
    v1.push(42);
    println!("v1: longitud= {}, capacidad = {}", v1.len(), v1.capacity());

    let mut v2 = Vec::with_capacity(v1.len() + 1);
    v2.extend(v1.iter());
    v2.push(9999);
    println!("v2: longitud= {}, capacidad = {}", v2.len(), v2.capacity());

    // Macro canónica para inicializar un vector con elementos.
    let mut v3 = vec![0, 0, 1, 2, 3, 4];
```

```
    // Conserva solo los elementos pares.
    v3.retain(|x| x % 2 == 0);
    println!("{v3:?}");

    // Elimina los duplicados consecutivos.
    v3.dedup();
    println!("{v3:?}");
}
```

`Vec` implementa `Deref<Target = [T]>`, lo que significa que puedes llamar a métodos slice en un `Vec`.

- `Vec` es un tipo de colección, junto con `String` y `HashMap`. Los datos que contiene se almacenan en el *heap*. Esto significa que no es necesario conocer el tamaño de los datos durante la compilación. Puede aumentar o disminuir durante la ejecución.
- Ten en cuenta que `Vec<T>` también es un tipo genérico, pero no tienes que especificar `T` de forma explícita. Como siempre sucede con la inferencia de tipos de Rust, `T` se estableció durante la primera llamada a `push`.
- `vec![...]` es una macro canónica para usarla en lugar de `Vec::new()` y admite que se añadan elementos iniciales al vector.
- Para indexar el vector, se utiliza `[ ]`, pero entrará en pánico si se sale de los límites. También se puede usar `get` para obtener una `Option`. La función `pop` eliminará el último elemento.
- Se estudiarán los slices el tercer día del curso. Por ahora, los participantes solo necesitan saber que un valor del tipo `Vec` también da acceso a todos los métodos de slice documentados.

16.7 HashMap

Mapa hash estándar con protección frente a ataques HashDoS:

```
use std::collections::HashMap;

fn main() {
    let mut page_counts = HashMap::new();
    page_counts.insert("Las aventuras de Huckleberry Finn", 207);
    page_counts.insert("Los cuentos de los hermanos Grimm", 751);
    page_counts.insert("Orgullo y prejuicio", 303);

    if !page_counts.contains_key("Los miserables") {
        println!(
            "Tenemos información acerca de {} libros, pero no de Los miserables.",
            page_counts.len()
        );
    }

    for book in ["Orgullo y prejuicio", "Las aventuras de Alicia en el país de las marav
        match page_counts.get(book) {
            Some(count) => println!("{book}: {count} páginas"),
            None => println!("{book} es desconocido."),
        }
```

```
    }

    // Utiliza el método .entry() para insertar un valor si no se encuentra ningún resul
    for book in ["Orgullo y prejuicio", "Las aventuras de Alicia en el país de las marav
        let page_count: &mut i32 = page_counts.entry(book).or_insert(0);
        *page_count += 1;
    }

    println!("{page_counts:#?}");
}
```

- `HashMap` no se ha explicado en el preludio y debe conocerse.
- Prueba las siguientes líneas de código. La primera línea comprobará si un libro está incluido en el hashmap y, si no, devolverá un valor alternativo. La segunda línea insertará el valor alternativo en el hashmap si el libro no se encuentra.

  ```
  let pc1 = page_counts
      .get("Harry Potter y la piedra filosofal")
      .unwrap_or(&336);
  let pc2 = page_counts
      .entry("Los juegos del hambre".to_string())
      .or_insert(374);
  ```

- A diferencia de `vec!`, por desgracia no hay ninguna macro estándar de `hashmap!`.
  - Sin embargo, desde la versión 1.56 de Rust, HashMap implementa [`From<[(K, V); N]>`](https://doc.rust-lang.org/std/collections/hash_map/struct.HashMap.html#impl-From%3C%5B(K,+V);+N%5D%3E-for-HashMap%3CK,+V,+RandomState%, que nos permite inicializar fácilmente un mapa hash a partir de un *array* literal:

    ```
    let page_counts = HashMap::from([
      ("Harry Potter y la piedra filosofal".to_string(), 336),
      ("Los juegos del hambre".to_string(), 374),
    ]);
    ```

- HashMap también se puede crear a partir de cualquier `Iterator` que genere tuplas de pares clave-valor.
- Mostraremos `HashMap<String, i32>` y evitaremos utilizar `&str` para que los ejemplos sean más sencillos. Por supuesto, se pueden usar las referencias en las colecciones, pero pueden dar problemas con el *borrow checker*.
  - Prueba a eliminar `to_string()` del ejemplo anterior para ver si aún sigue compilando. ¿Dónde crees que podríamos encontrar problemas?
- Este tipo tiene varios tipos de devolución "específicos del método", como `std::collections::hash_map::`. Estos tipos a menudo aparecen en las búsquedas de la documentación de Rust. Muestra a los estudiantes la documentación de este tipo y el enlace útil de vuelta al método `keys`.

16.8 Ejercicio: Contador

En este ejercicio habrá una estructura de datos muy sencilla y la convertirás en genérica. Utiliza un `std::collections::HashMap` para hacer un seguimiento de los valores se han visto y cuántas veces ha aparecido cada uno.

La versión inicial de `Counter` está codificada para que solo funcione con los valores u32. Haz que struct y sus métodos sean genéricos sobre el tipo de valor del que se está haciendo un seguimiento, de manera que `Counter` pueda hacer el seguimiento de cualquier tipo de valor.

Si te sobra tiempo, prueba a usar el método `entry` para reducir a la mitad el número de búsquedas de hash que se necesita para implementar el método `count`.

```
use std::collections::HashMap;

/// Counter cuenta el número de veces que se ha visto cada valor de tipo T.
struct Counter {
    values: HashMap<u32, u64>,
}

impl Counter {
    /// Crea un nuevo Counter.
    fn new() -> Self {
        Counter {
            values: HashMap::new(),
        }
    }

    /// Cuenta una repetición del valor dado.
    fn count(&mut self, value: u32) {
        if self.values.contains_key(&value) {
            *self.values.get_mut(&value).unwrap() += 1;
        } else {
            self.values.insert(value, 1);
        }
    }

    /// Devuelve el número de veces que se ha visto el valor dado.
    fn times_seen(&self, value: u32) -> u64 {
        self.values.get(&value).copied().unwrap_or_default()
    }
}

fn main() {
    let mut ctr = Counter::new();
    ctr.count(13);
    ctr.count(14);
    ctr.count(16);
    ctr.count(14);
    ctr.count(14);
    ctr.count(11);

    for i in 10..20 {
        println!("se han visto {} valores iguales a {}", ctr.times_seen(i), i);
    }

    let mut strctr = Counter::new();
    strctr.count("manzana");
```

```
    strctr.count("naranja");
    strctr.count("manzana");
    println!("se han visto {} manzanas", strctr.times_seen("manzana"));
}
```

16.8.1 Solución

```
use std::collections::HashMap;
use std::hash::Hash;

/// Counter cuenta el número de veces que se ha visto cada valor de tipo T.
struct Counter<T> {
    values: HashMap<T, u64>,
}

impl<T: Eq + Hash> Counter<T> {
    /// Crea un nuevo Counter.
    fn new() -> Self {
        Counter { values: HashMap::new() }
    }

    /// Cuenta una repetición del valor dado.
    fn count(&mut self, value: T) {
        *self.values.entry(value).or_default() += 1;
    }

    /// Devuelve el número de veces que se ha visto el valor dado.
    fn times_seen(&self, value: T) -> u64 {
        self.values.get(&value).copied().unwrap_or_default()
    }
}

fn main() {
    let mut ctr = Counter::new();
    ctr.count(13);
    ctr.count(14);
    ctr.count(16);
    ctr.count(14);
    ctr.count(14);
    ctr.count(11);

    for i in 10..20 {
        println!("se han visto {} valores iguales a {}", ctr.times_seen(i), i);
    }

    let mut strctr = Counter::new();
    strctr.count("manzana");
    strctr.count("naranja");
    strctr.count("manzana");
    println!("se han visto {} manzanas", strctr.times_seen("manzana"));
}
```

Capítulo 17

Traits de la biblioteca estándar

Esta sección tiene una duración aproximada de 1 hora y 10 minutos. Contiene:

Diapositiva	Duración
Comparaciones	5 minutos
Operadores	5 minutos
From e Into	5 minutos
Probando	5 minutos
Read y Write	5 minutos
Default, sintaxis de actualización de structs	5 minutos
Cierres	10 minutos
Ejercicio: ROT13	30 minutos

Al igual que con los tipos de biblioteca estándar, dedica tiempo a revisar la documentación de cada trait.

Esta parte es larga, por lo que recomendamos tomar un descanso al llegar a la mitad.

17.1 Comparaciones

Estos traits permiten comparar valores. Se pueden derivar todos los traits de los tipos que contengan campos que implementen estos traits.

`PartialEq` y `Eq`

`PartialEq` es una relación de equivalencia parcial, con el método requerido `eq` y el método proporcionado `ne`. Los operadores `==` y `!=` llamarán a estos métodos.

```
struct Key {
    id: u32,
    metadata: Option<String>,
}
impl PartialEq for Key {
    fn eq(&self, other: &Self) -> bool {
```

```
        self.id == other.id
    }
}
```

Eq es una relación de equivalencia completa (reflexiva, simétrica y transitiva) e implica `PartialEq`. Las funciones que requieren una equivalencia total usan `Eq` como límite del trait.

`PartialOrd` y `Ord`

`PartialOrd` define un orden parcial, con un método `partial_cmp`. Se usa para implementar los operadores <, <=, >= y >.

```
use std::cmp::Ordering;
struct Citation {
    author: String,
    year: u32,
}
impl PartialOrd for Citation {
    fn partial_cmp(&self, other: &Self) -> Option<Ordering> {
        match self.author.partial_cmp(&other.author) {
            Some(Ordering::Equal) => self.year.partial_cmp(&other.year),
            author_ord => author_ord,
        }
    }
}
```

`Ord` es un orden total en el que `cmp` devuelve `Ordering`.

`PartialEq` se puede implementar entre diferentes tipos, pero `Eq` no, ya que es reflexivo:

```
struct Key {
    id: u32,
    metadata: Option<String>,
}
impl PartialEq<u32> for Key {
    fn eq(&self, other: &u32) -> bool {
        self.id == *other
    }
}
```

En la práctica, es habitual derivar estos traits, aunque no se suelen implementar.

17.2 Operadores

La sobrecarga de operadores se implementa mediante *traits* en `std::ops`:

```
struct Point {
    x: i32,
    y: i32,
}

impl std::ops::Add for Point {
```

```
    type Output = Self;

    fn add(self, other: Self) -> Self {
        Self { x: self.x + other.x, y: self.y + other.y }
    }
}

fn main() {
    let p1 = Point { x: 10, y: 20 };
    let p2 = Point { x: 100, y: 200 };
    println!("{:?} + {:?} = {:?}", p1, p2, p1 + p2);
}
```

Cuestiones de debate:

- ¿En qué situaciones sería útil implementar `Add` para `&Point`?
  - Respuesta: `Add::add` consume a `self`. Si el tipo `T` para el que se sobrecarga el operador no es `Copy`, deberías plantearte también sobrecargar el operador para `&T`. Así se evita la clonación innecesaria en el sitio de la llamada.
- ¿Por qué `Output` es un tipo asociado? ¿Se podría convertir en un parámetro tipo del método?
  - Respuesta corta: el llamador controla los parámetros tipo de la función, pero los tipos asociados (como `Output`) son controlados por el implementador de un trait.
- Se podría implementar `Add` para dos tipos distintos; por ejemplo, `impl Add<(i32, i32)> for Point` añadiría una tupla a un `Point`.

17.3 `From` e `Into`

Los tipos implementan `From` y `Into` para facilitar las conversiones de tipos:

```
fn main() {
    let s = String::from("hola");
    let addr = std::net::Ipv4Addr::from([127, 0, 0, 1]);
    let one = i16::from(true);
    let bigger = i32::from(123_i16);
    println!("{s}, {addr}, {one}, {bigger}");
}
```

`Into` se implementa automáticamente cuando se implementa `From`:

```
fn main() {
    let s: String = "hola".into();
    let addr: std::net::Ipv4Addr = [127, 0, 0, 1].into();
    let one: i16 = true.into();
    let bigger: i32 = 123_i16.into();
    println!("{s}, {addr}, {one}, {bigger}");
}
```

- Por eso se suele implementar solo `From`, ya que el tipo ya habrá implementado también `Into`.
- Cuando se declara un tipo de entrada de argumento de función como "cualquier elemento que se pueda convertir en `String`", la regla es la contraria y se debe usar `Into`.

La función aceptará tipos que implementen `From` y aquellos que *solo* implementen `Into`.

17.4 Probando

Rust no tiene conversiones de tipo *implícitas*, pero admite conversiones explícitas con `as`. Por lo general, se definen según la semántica de C.

```
fn main() {
    let value: i64 = 1000;
    println!("ya que u16: {}", value as u16);
    println!("ya que i16: {}", value as i16);
    println!("ya que u8: {}", value as u8);
}
```

Los resultados de `as` se definen *siempre* en Rust y son coherentes en todas las plataformas. Es posible que no coincida con tu idea de cambiar el signo o convertirlo a otro de menor tamaño. Consulta los documentos y/o pregunta si tienes cualquier duda.

La conversión con `as` es una herramienta relativamente precisa y fácil de usar de forma incorrecta. Puede ser una fuente de pequeños errores, ya que los futuros trabajos de mantenimiento cambian los tipos que se usan o los intervalos de valores de los tipos. Las conversiones se utilizan únicamente cuando se quiere indicar un truncamiento incondicional (por ejemplo, seleccionando los 32 bits inferiores de un u64 con `as u32`, independientemente del elemento que se encontrase en los bits altos).

En el caso de las conversiones que no sean falibles (por ejemplo, u32 a u64), se recomienda utilizar `From` o `Into` en lugar de `as` para confirmar que la conversión es precisamente infalible. En el caso de las conversiones falibles, `TryFrom` y `TryInto` están disponibles cuando necesitas gestionar conversiones que se ajustan de forma diferente a las que no lo hacen.

Plantéate hacer una pausa después de esta diapositiva.

`as` es similar a una conversión estática de C++. En general, se desaconseja el uso de `as` en los casos en los que puedan perderse datos, o al menos se recomienda dejar un comentario explicativo.

Esto es habitual al convertir números enteros a `usize` para usarlos como índice.

17.5 `Read` y `Write`

Usando Read y BufRead, se puede abstraer sobre fuentes u8:

```
use std::io::{BufRead, BufReader, Read, Result};

fn count_lines<R: Read>(reader: R) -> usize {
    let buf_reader = BufReader::new(reader);
    buf_reader.lines().count()
}

fn main() -> Result<()> {
    let slice: &[u8] = b"foo\nbar\nbaz\n";
    println!("líneas en el slice: {}", count_lines(slice));
```

```
    let file = std::fs::File::open(std::env::current_exe()?)?;
    println!("líneas en el archivo: {}", count_lines(file));
    Ok(())
}
```

De forma similar, `Write` te permite abstraer sobre fuentes u8:

```
use std::io::{Result, Write};

fn log<W: Write>(writer: &mut W, msg: &str) -> Result<()> {
    writer.write_all(msg.as_bytes())?;
    writer.write_all("\n".as_bytes())
}

fn main() -> Result<()> {
    let mut buffer = Vec::new();
    log(&mut buffer, "Hola")?;
    log(&mut buffer, "mundo")?;
    println!("Registrado: {:?}", buffer);
    Ok(())
}
```

17.6 El trait `Default`

El trait `Default` produce un valor predeterminado para un tipo.

```
struct Derived {
    x: u32,
    y: String,
    z: Implemented,
}

struct Implemented(String);

impl Default for Implemented {
    fn default() -> Self {
        Self("John Smith".into())
    }
}

fn main() {
    let default_struct = Derived::default();
    println!("{default_struct:#?}");

    let almost_default_struct =
        Derived { y: "Ya está configurado.".into(), ..Derived::default() };
    println!("{almost_default_struct:#?}");

    let nothing: Option<Derived> = None;
    println!("{:#?}", nothing.unwrap_or_default());
```

```
}
```

- Se puede implementar directamente o se puede derivar a través de `#[derive(Default)]`.
- Una implementación derivada producirá un valor en el que todos los campos tendrán sus valores predeterminados.
  - Esto significa que todos los tipos de la estructura también deberán implementar `Default`.
- Los tipos estándar de Rust suelen implementar `Default` con valores razonables (por ejemplo, `0`, `""`, etc.).
- La inicialización parcial de estructuras funciona bien con los valores predeterminados.
- La biblioteca estándar de Rust tiene en cuenta que los tipos pueden implementar `Default` y, por ello, proporciona métodos prácticos que lo utilizan.
- la sintaxis `..` se denomina sintaxis de actualización de estructuras.

17.7 Cierres

Los cierres o expresiones lambda tienen tipos que no pueden nombrarse. Sin embargo, implementan *traits* especiales `Fn`, `FnMut` y `FnOnce`:

```
fn apply_with_log(func: impl FnOnce(i32) -> i32, input: i32) -> i32 {
    println!("Llamado función sobre {input}");
    func(input)
}

fn main() {
    let add_3 = |x| x + 3;
    println!("add_3: {}", apply_with_log(add_3, 10));
    println!("add_3: {}", apply_with_log(add_3, 20));

    let mut v = Vec::new();
    let mut accumulate = |x: i32| {
        v.push(x);
        v.iter().sum::<i32>()
    };
    println!("accumulate: {}", apply_with_log(&mut accumulate, 4));
    println!("accumulate: {}", apply_with_log(&mut accumulate, 5));

    let multiply_sum = |x| x * v.into_iter().sum::<i32>();
    println!("multiply_sum: {}", apply_with_log(multiply_sum, 3));
}
```

Un `Fn` (por ejemplo, `add_3`) no consume ni modifica los valores capturados, o quizá no captura nada en absoluto. Se puede llamar varias veces al mismo tiempo.

Un `FnMut` (por ejemplo, `accumulate`) puede modificar los valores capturados. Se puede llamar varias veces, pero no de forma simultánea.

Si tienes un `FnOnce` (por ejemplo, `multiply_sum`), solo puedes llamarlo una vez. Puede consumir valores capturados.

`FnMut` es un subtipo de `FnOnce`, mientras que `Fn` es un subtipo de `FnMut` y `FnOnce`. Es decir, puedes utilizar un `FnMut` siempre que se llame a un `FnOnce`, y puedes usar un `Fn` siempre que se llame a un `FnMut` o a un `FnOnce`.

Cuando defines una función que admite un closure, debes usar `FnOnce` si es posible (es decir, se llama una vez) o, en su defecto, `FnMut`. En último lugar estaría `Fn`. De esta forma, se ofrece la máxima flexibilidad al llamador.

Por el contrario, cuando tienes un cierre (closure), lo más flexible que puedes tener es `Fn` (se puede transmitir en todas partes), a continuación `FnMut` y, por último, `FnOnce`.

El compilador también infiere `Copy` (por ejemplo, `add_3`) y `Clone` (por ejemplo, `multiply_sum`), dependiendo de lo que capture el cierre.

De forma predeterminada, los cierres capturan, si pueden, por referencia. La palabra clave `move` hace que capturen por valor.

```
fn make_greeter(prefix: String) -> impl Fn(&str) {
    return move |name| println!("{} {}", prefix, name);
}

fn main() {
    let hi = make_greeter("¿Qué".to_string());
    hi("Greg");
}
```

17.8 Ejercicio: ROT13

En este ejemplo, implementaremos el algoritmo de cifrado clásico "ROT13". Copia este código en el playground e implementa los bits que faltan. Rota únicamente los caracteres alfabéticos ASCII para asegurarte de que el resultado sigue siendo válido en UTF-8.

```
use std::io::Read;

struct RotDecoder<R: Read> {
    input: R,
    rot: u8,
}

// Implementa el trait `Read` para `RotDecoder`.

fn main() {
    let mut rot =
        RotDecoder { input: "Gb trg gb gur bgure fvqr!".as_bytes(), rot: 13 };
    let mut result = String::new();
    rot.read_to_string(&mut result).unwrap();
    println!("{}", result);
}

mod test {
    use super::*;

    fn joke() {
        let mut rot =
            RotDecoder { input: "Gb trg gb gur bgure fvqr!".as_bytes(), rot: 13 };
        let mut result = String::new();
```

```
        rot.read_to_string(&mut result).unwrap();
        assert_eq!(&result, "To get to the other side!");
    }

    fn binary() {
        let input: Vec<u8> = (0..=255u8).collect();
        let mut rot = RotDecoder::<&[u8]> { input: input.as_ref(), rot: 13 };
        let mut buf = [0u8; 256];
        assert_eq!(rot.read(&mut buf).unwrap(), 256);
        for i in 0..=255 {
            if input[i] != buf[i] {
                assert!(input[i].is_ascii_alphabetic());
                assert!(buf[i].is_ascii_alphabetic());
            }
        }
    }
}
```

¿Qué ocurre si encadenas dos instancias `RotDecoder` y cada una de ellas rota 13 posiciones?

17.8.1 Solución

```
use std::io::Read;

struct RotDecoder<R: Read> {
    input: R,
    rot: u8,
}

impl<R: Read> Read for RotDecoder<R> {
    fn read(&mut self, buf: &mut [u8]) -> std::io::Result<usize> {
        let size = self.input.read(buf)?;
        for b in &mut buf[..size] {
            if b.is_ascii_alphabetic() {
                let base = if b.is_ascii_uppercase() { 'A' } else { 'a' } as u8;
                *b = (*b - base + self.rot) % 26 + base;
            }
        }
        Ok(size)
    }
}

fn main() {
    let mut rot =
        RotDecoder { input: "Gb trg gb gur bgure fvqr!".as_bytes(), rot: 13 };
    let mut result = String::new();
    rot.read_to_string(&mut result).unwrap();
    println!("{}", result);
}

mod test {
```

```
    use super::*;

    fn joke() {
        let mut rot =
            RotDecoder { input: "Gb trg gb gur bgure fvqr!".as_bytes(), rot: 13 };
        let mut result = String::new();
        rot.read_to_string(&mut result).unwrap();
        assert_eq!(&result, "To get to the other side!");
    }

    fn binary() {
        let input: Vec<u8> = (0..=255u8).collect();
        let mut rot = RotDecoder::<&[u8]> { input: input.as_ref(), rot: 13 };
        let mut buf = [0u8; 256];
        assert_eq!(rot.read(&mut buf).unwrap(), 256);
        for i in 0..=255 {
            if input[i] != buf[i] {
                assert!(input[i].is_ascii_alphabetic());
                assert!(buf[i].is_ascii_alphabetic());
            }
        }
    }
}
```

Parte V

Día 3: Mañana

Capítulo 18

Te damos la Bienvenida al Día 3

Hoy trataremos los siguientes puntos:

- Gestión de la memoria, *lifetimes* y el *borrow checker*: cómo garantiza Rust la seguridad de la memoria.
- Punteros inteligentes: tipos de punteros de biblioteca estándar.

Horario

Contando con los descansos de 10 minutos, la duración prevista de la sesión es de unas 2 horas y 20 minutos. Contiene:

Sección	Duración
Te damos la bienvenida	3 minutos
Manejo de Memoria	1 hora
Punteros inteligentes	55 minutos

Capítulo 19

Manejo de Memoria

Esta sección tiene una duración aproximada de 1 hora. Contiene:

Diapositiva	Duración
Revisión de la memoria de programas	5 minutos
Métodos de Gestión de Memoria	10 minutos
Ownership	5 minutos
Semántica de movimiento	5 minutos
Trait Clone	2 minutos
Tipos Copy	5 minutos
Trait Drop	10 minutos
Ejercicio: Constructores	20 minutos

19.1 Revisión de la memoria de programas

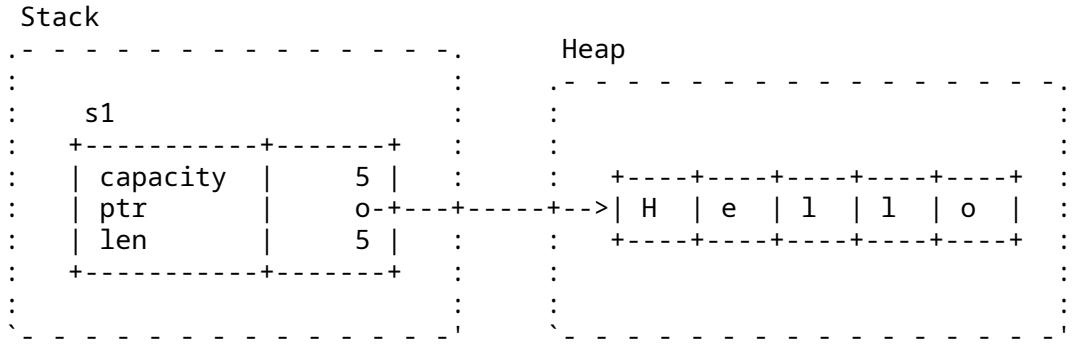
Los programas asignan memoria de dos formas:

- *Stack*: Zona de memoria continua para las variables locales.
  - Los valores tienen tamaños fijos conocidos en tiempo de compilación.
  - Muy rápida: mueve el *stack pointer*.
  - Fácil de gestionar: sigue las llamadas de funciones.
  - Excelente localidad de memoria.
- *Heap*: almacenamiento de valores fuera de las llamadas de funciones.
  - Los valores tienen tamaños dinámicos determinados en *runtime*.
  - Ligeramente más lento que el *stack*: requiere cierta trazabilidad.
  - No se puede asegurar la localidad de la memoria.

Ejemplo

Al crear un `String`, los metadatos de tamaño fijo se colocan en la *stack* y los datos de tamaño dinámico (la cadena real) en el *heap*:

```rust
fn main() {
    let s1 = String::from("Hola");
}
```



- Menciona que un `String` está respaldado por un `Vec`, por lo que tiene capacidad y longitud y, si es mutable, puede crecer mediante reasignación en el *heap*.
- Si los alumnos lo preguntan, puedes mencionar que la memoria subyacente recibe una asignación de *heap* mediante el Asignador del Sistema y que se pueden implementar asignadores personalizados mediante el *Allocator API*.

Más información

Podemos inspeccionar la disposición de la memoria con código `unsafe`. Sin embargo, debes señalar que esto no es seguro.

```rust
fn main() {
    let mut s1 = String::from("Hola");
    s1.push(' ');
    s1.push_str("mundo");
    // ¡NO HAGÁIS ESTO EN CASA! Solo con fines educativos.
    // La cadena no proporciona garantías sobre su diseño, por lo que podría desencadena
    // un comportamiento indefinido.
    unsafe {
        let (capacity, ptr, len): (usize, usize, usize) = std::mem::transmute(s1);
        println!("capacidad = {capacity}, ptr = {ptr:#x}, len = {len}");
    }
}
```

19.2 Métodos de Gestión de Memoria

Tradicionalmente, los lenguajes se dividen en dos grandes categorías:

- Control total a través de la gestión manual de la memoria: C, C++, Pascal, etc.
  - El programador decide cuándo asignar o liberar memoria del montículo.
  - El programador debe determinar si un puntero aún apunta a una memoria válida.
  - Los estudios demuestran que los programadores cometen errores.
- Seguridad total mediante la gestión automática de la memoria en *runtime*: Java, Python, Go, Haskell, etc.

  - Un sistema de tiempo de ejecución asegura que la memoria no se libera hasta que ya no se pueda hacer referencia a ella.
  - Normalmente se implementa con un contador de referencias, la recolección de elementos no utilizados o RAII.

Rust ofrece una mezcla de ambas:

> Control completo *y* seguridad completa gracias a que el compilador se encarga del manejo correcto de la memoria.

Para ello, se utiliza un concepto de *ownership* (propiedad) explícito.

El objetivo de esta diapositiva es ayudar a los estudiantes de otros lenguajes a entender mejor Rust.

- C debe gestionar el montículo de forma manual con `malloc` y `free`. Entre los errores habituales se incluyen olvidarse de llamar a `free`, llamarlo varias veces para el mismo puntero o desreferenciar un puntero después de que se haya liberado la memoria a la que apunta.
- C++ tiene herramientas como los punteros inteligentes (`unique_ptr` y `shared_ptr`) que aprovechan las garantías del lenguaje sobre la llamada a destructores para garantizar que la memoria se libere cuando se devuelva una función. Sin embargo, es fácil hacer un uso inadecuado de estas herramientas y crear errores similares a los de C.
- Java, Go y Python utilizan el recolector de elementos no utilizados para identificar la memoria a la que ya no se puede acceder y descartarla. Esto asegura que se pueda desreferenciar cualquier puntero, de forma que se eliminan los errores use-after-free y otros tipos de errores. Sin embargo, el recolector de elementos no utilizados tiene un coste de tiempo de ejecución y es difícil ajustarlo adecuadamente.

El modelo de propiedad y préstamo de Rust puede, en muchos casos, permitir obtener el rendimiento de C, con operaciones asignadas y libres donde se necesiten y sin coste. También proporciona herramientas similares a los punteros inteligentes de C++. Si es necesario, hay disponibles otras opciones, como el recuento de referencias, e incluso hay crates de terceros que admiten la recolección de elementos no utilizados del tiempo de ejecución (estos elementos no se tratan en esta clase).

19.3 Ownership

Todos los enlaces a variables tienen un *ámbito* donde son válidos y se produce un error cuando se usan fuera de él:

```
struct Point(i32, i32);

fn main() {
    {
        let p = Point(3, 4);
        println!("x: {}", p.0);
    }
    println!("y: {}", p.1);
}
```

Decimos que el valor *pertenece* a la variable. Cada valor en Rust tiene exactamente un dueño en todo tiempo.

Al final del ámbito, la variable *se elimina* y los datos se liberan. Un destructor puede correr en este momento para librar recursos.

Los participantes que estén familiarizados con las implementaciones de recolección de elementos no utilizados sabrán que este tipo de recolector comienza con un conjunto de ”raíces” para buscar toda la memoria disponible. El principio de ”propietario único” de Rust es una idea similar.

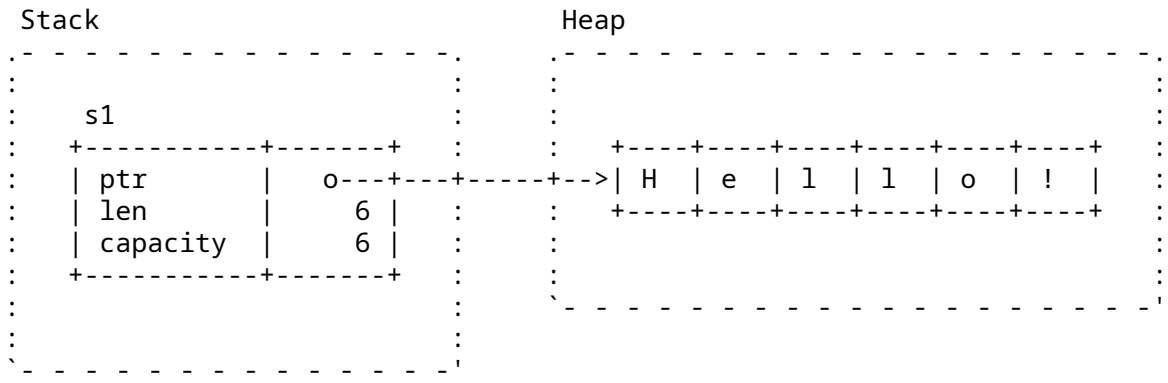
19.4 Semántica de movimiento

Una asignación transferirá su *ownership* entre variables:

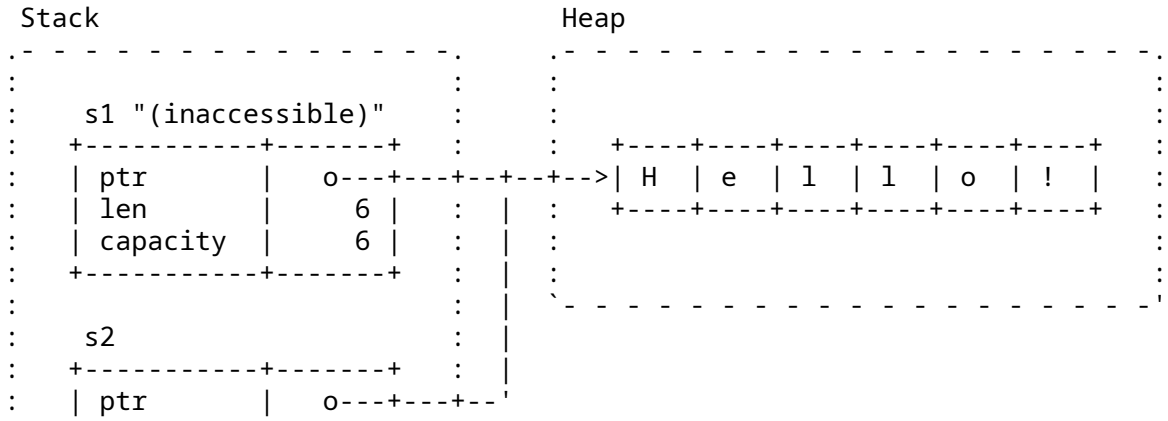
```
fn main() {
    let s1: String = String::from("¡Hola!");
    let s2: String = s1;
    println!("s2: {s2}");
    // println!("s1: {s1}");
}
```

- La asignación de `s1` a `s2` transfiere el *ownership*.
- Cuando `s1` queda fuera del ámbito, no ocurre nada: no le pertenece nada.
- Cuando `s2` sale del ámbito, los datos de la cadena se liberan.

Antes de mover a `s2`:



Después de mover a `s2`:



```
:   | len       |     6 |   :
:   | capacity  |     6 |   :
:   +-----------+-------+   :
:                           :
`- - - - - - - - - - - - - -'
```

Cuando pasas un valor a una función, el valor se asigna al parámetro de la función. Esta acción transfiere el *ownership*:

```
fn say_hello(name: String) {
    println!("Hola {name}")
}

fn main() {
    let name = String::from("Alice");
    say_hello(name);
    // say_hello(name);
}
```

- Menciona que es lo contrario de los valores predeterminados de C++, que se copian por valor, a menos que utilices `std::move` (y que el constructor de movimiento esté definido).
- Es únicamente el ownership el que se mueve. Si se genera algún código máquina para manipular los datos en sí, se trata de una cuestión de optimización, y esas copias se optimizan de forma agresiva.
- Los valores simples (como los enteros) se pueden marcar como `Copy` (consulta las diapositivas posteriores).
- En Rust, la clonación es explícita (usando `clone`).

En el ejemplo de `say_hello`:

- Con la primera llamada a `say_hello`, `main` deja de tener el *ownership* de `name`. Después, ya no se podrá usar `name` dentro de `main`.
- La memoria de *heap* asignada a `name` se liberará al final de la función `say_hello`.
- `main` podrá conservar el _ownership_ si pasa `name` como referencia (`&name`) y si `say_hello` acepta una referencia como parámetro.
- Por otro lado, `main` puede pasar un clon de `name` en la primera llamada (`name.clone()`).
- Rust hace que resulte más difícil que en C++ crear copias por error al definir la semántica de movimiento como predeterminada y al obligar a los programadores a clonar sólo de forma explícita.

Más información

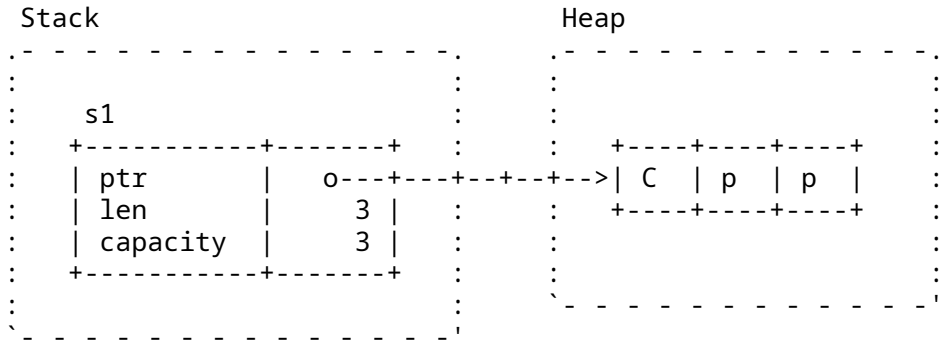
Copias Defensivas en C++ Moderno

La versión moderna de C++ soluciona este problema de forma diferente:

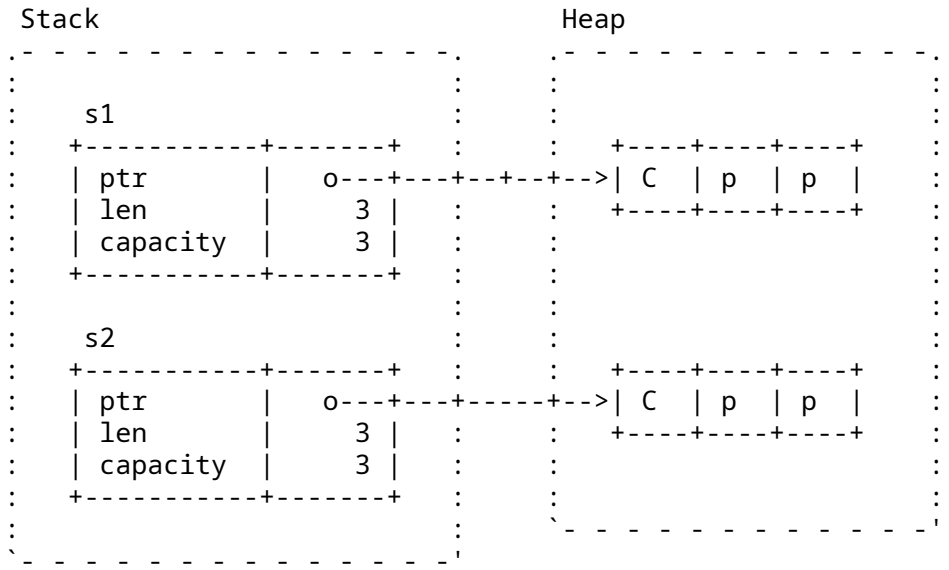
```
std::string s1 = "Cpp";
std::string s2 = s1;  // Duplica los datos en s1.
```

- Los datos de la *stack* de `s1` se duplican y `s2` obtiene su propia copia independiente.
- Cuando `s1` y `s2` salen del ámbito, cada uno libera su propia memoria.

Antes de la asignación de copias:



Después de la asignación de copia:



Puntos clave:

- C++ ha tomado una decisión algo distinta a Rust. Puesto que = copia los datos, los datos de cadena deben clonarse. De lo contrario, obtendríamos un error double free si alguna de las cadenas saliera fuera del ámbito.
- C++ también tiene `std::move`, que se usa para indicar cuándo se puede mover un valor. Si el ejemplo hubiera sido `s2 = std::move(s1)`, no se llevaría a cabo ninguna asignación de montículo. Después del movimiento, `s1` tendría un estado válido, pero no especificado. A diferencia de Rust, el programador puede seguir utilizando `s1`.
- A diferencia de Rust, en C++ se puede ejecutar código arbitrario con = según el tipo que se vaya a copiar o mover.

19.5 Trait Clone

Cuando *queramos* hacer una copia de un valor, podemos hacerlo con el trait `Clone`.

```rust
fn say_hello(name: String) {
    println!("Hola {name}")
}

fn main() {
    let name = String::from("Alice");
    say_hello(name.clone());
    say_hello(name);
}
```

- La función de `Clone` es poder encontrar fácilmente dónde se producen las asignaciones al heap. Busca a `.clone()` y algunos otros como `vec!` o `Box::new`.
- Es habitual "clonar para salir" de los problemas con el verificador de préstamos y volver más tarde para optimizar esos clones.
- `clone` generalmente realiza una copia a fondo del valor. Por ejemplo, si clonas un array, todos los elementos del array tambien son clonados.
- El comportamiento de `clone` es definido por el usuario, entonces puede realizar lógica personalizada de clonación si es necesario.

19.6 Tipos Copy

Aunque la semántica de movimiento es la opción predeterminada, algunos tipos se copian de forma predeterminada:

```rust
fn main() {
    let x = 42;
    let y = x;
    println!("x: {x}"); // would not be accessible if not Copy
    println!("y: {y}");
}
```

Estos tipos implementan el trait `Copy`.

Puedes habilitar tus propios tipos para que usen la semántica de copia:

```rust
struct Point(i32, i32);

fn main() {
    let p1 = Point(3, 4);
    let p2 = p1;
    println!("p1: {p1:?}");
    println!("p2: {p2:?}");
}
```

- Después de la asignación, tanto `p1` como `p2` tienen sus propios datos.
- También podemos utilizar `p1.clone()` para copiar los datos de forma explícita.

Copiar y clonar no es lo mismo:

- Copiar hace referencia a las copias bit a bit de regiones de memoria y no funciona en cualquier objeto.

- Copiar no permite lógica personalizada (a diferencia de los constructores de copias de C++).
- Clonar es una operación más general y que permite un comportamiento personalizado implementando el trait `Clone`.
- Copiar no funciona en los tipos que implementan el trait `Drop`.

En el ejemplo anterior, prueba lo siguiente:

- Añade un campo `String` a `struct Point`. No se compilará porque `String` no es de tipo `Copy`.
- Elimina `Copy` del atributo `derive`. El error del compilador se encuentra ahora en `println!` para `p1`.
- Demuestra que funciona si clonas `p1`.

Más información

- Referencias compartidas son `Copy`/`Clone`, pero referencias mutables no lo son. Esto es porque Rust requiere que las referencias mutables sean exclusivas. Esto significa que es valido hacer una copia de una referencia compartida, pero hacer lo mismo para una referencia mutable violaría las reglas de préstamo de Rust.

19.7 El Trait `Drop`

Los valores que implementan `Drop` pueden especificar el código que se ejecutará cuando salgan del ámbito:

```
struct Droppable {
    name: &'static str,
}

impl Drop for Droppable {
    fn drop(&mut self) {
        println!("Suprimiendo {}", self.name);
    }
}

fn main() {
    let a = Droppable { name: "a" };
    {
        let b = Droppable { name: "b" };
        {
            let c = Droppable { name: "c" };
            let d = Droppable { name: "d" };
            println!("Saliendo del bloque B");
        }
        println!("Saliendo del bloque A");
    }
    drop(a);
    println!("Saliendo de la página principal");
}
```

- Ten en cuenta que `std::mem::drop` no es igual que `std::ops::Drop::drop`.
- Los valores se suprimen automáticamente cuando salen del ámbito.
- Cuando se elimina un valor, si implementa `std::ops::Drop`, se llamará a su implementación `Drop::drop`.
- También se suprimirán todos sus campos, independientemente de si implementa o no `Drop`.
- `std::mem::drop` es solo una función vacía que toma cualquier valor. Es importante saber que toma la propiedad del valor, por lo que se descarta al final de su ámbito. Se trata de una forma sencilla de suprimir los valores de forma explícita antes que si se salen de su ámbito.
  - Esta acción puede ser útil para los objetos que trabajan con `drop`, como liberando bloqueos, cerrando archivos, etc.

Cuestiones de debate:

- ¿Por qué `Drop::drop` no acepta `self`?
  - Respuesta corta: si lo hiciera, `std::mem::drop` sería llamado al final del bloque, lo que daría como resultado otra llamada a `Drop::drop`, ¡y un desbordamiento del *stack*!
- Prueba a sustituir `drop(a)` por `a.drop()`.

19.8 Ejercicio: Constructores

En este ejemplo, implementaremos un tipo de datos complejo que posee todos sus datos. Utilizaremos el "patrón de compilación" para permitir la compilación de un nuevo valor parte por parte mediante funciones prácticas.

Rellena las partes que faltan.

```
enum Language {
    Rust,
    Java,
    Perl,
}

struct Dependency {
    name: String,
    version_expression: String,
}

/// Una representación de un paquete de software.
struct Package {
    name: String,
    version: String,
    authors: Vec<String>,
    dependencies: Vec<Dependency>,
    language: Option<Language>,
}

impl Package {
    /// Devuelve una representación de este paquete como una dependencia para usarla
    /// en la compilación de otros paquetes.
```

```
    fn as_dependency(&self) -> Dependency {
        todo!("1")
    }
}

/// Un compilador para un Package. Usa `build()` para crear el `Package`.
struct PackageBuilder(Package);

impl PackageBuilder {
    fn new(name: impl Into<String>) -> Self {
        todo!("2")
    }

    /// Define la versión del paquete.
    fn version(mut self, version: impl Into<String>) -> Self {
        self.0.version = version.into();
        self
    }

    /// Define los autores del paquete.
    fn authors(mut self, authors: Vec<String>) -> Self {
        todo!("3")
    }

    /// Añade una dependencia adicional.
    fn dependency(mut self, dependency: Dependency) -> Self {
        todo!("4")
    }

    /// Define el idioma. Si no se define, el idioma predeterminado será None.
    fn language(mut self, language: Language) -> Self {
        todo!("5")
    }

    fn build(self) -> Package {
        self.0
    }
}

fn main() {
    let base64 = PackageBuilder::new("base64").version("0.13").build();
    println!("base64: {base64:?}");
    let log =
        PackageBuilder::new("log").version("0.4").language(Language::Rust).build();
    println!("registro: {log:?}");
    let serde = PackageBuilder::new("serde")
        .authors(vec!["djmitche".into()])
        .version(String::from("4.0"))
        .dependency(base64.as_dependency())
        .dependency(log.as_dependency())
        .build();
```

```
    println!("serde: {serde:?}");
}
```

19.8.1 Solución

```
enum Language {
    Rust,
    Java,
    Perl,
}

struct Dependency {
    name: String,
    version_expression: String,
}

/// Una representación de un paquete de software.
struct Package {
    name: String,
    version: String,
    authors: Vec<String>,
    dependencies: Vec<Dependency>,
    language: Option<Language>,
}

impl Package {
    /// Devuelve una representación de este paquete como una dependencia para usarla
    /// en la compilación de otros paquetes.
    fn as_dependency(&self) -> Dependency {
        Dependency {
            name: self.name.clone(),
            version_expression: self.version.clone(),
        }
    }
}

/// Un compilador para un Package. Usa `build()` para crear el `Package`.
struct PackageBuilder(Package);

impl PackageBuilder {
    fn new(name: impl Into<String>) -> Self {
        Self(Package {
            name: name.into(),
            version: "0.1".into(),
            authors: vec![],
            dependencies: vec![],
            language: None,
        })
    }

    /// Define la versión del paquete.
```

```
    fn version(mut self, version: impl Into<String>) -> Self {
        self.0.version = version.into();
        self
    }

    /// Define los autores del paquete.
    fn authors(mut self, authors: Vec<String>) -> Self {
        self.0.authors = authors;
        self
    }

    /// Añade una dependencia adicional.
    fn dependency(mut self, dependency: Dependency) -> Self {
        self.0.dependencies.push(dependency);
        self
    }

    /// Define el idioma. Si no se define, el idioma predeterminado será None.
    fn language(mut self, language: Language) -> Self {
        self.0.language = Some(language);
        self
    }

    fn build(self) -> Package {
        self.0
    }
}

fn main() {
    let base64 = PackageBuilder::new("base64").version("0.13").build();
    println!("base64: {base64:?}");
    let log =
        PackageBuilder::new("log").version("0.4").language(Language::Rust).build();
    println!("registro: {log:?}");
    let serde = PackageBuilder::new("serde")
        .authors(vec!["djmitche".into()])
        .version(String::from("4.0"))
        .dependency(base64.as_dependency())
        .dependency(log.as_dependency())
        .build();
    println!("serde: {serde:?}");
}
```

Capítulo 20

Punteros inteligentes

Esta sección tiene una duración aproximada de 55 minutos. Contiene:

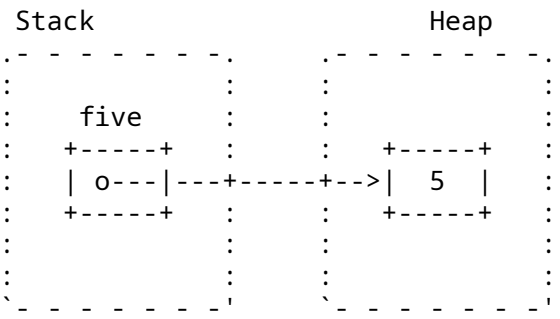
Diapositiva	Duración
Box	

|10 minutos| |Rc|5 minutos| |Objetos Trait Poseídos|10 minutos| |Ejercicio: Árbol binario|30 minutos|

20.1 Box<T>

Box es un puntero propio de datos en el *heap*:

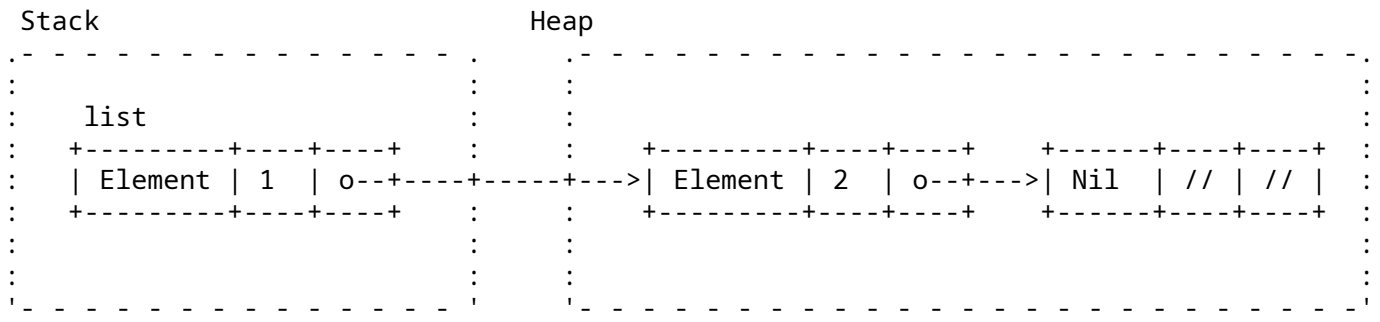
```
fn main() {
    let five = Box::new(5);
    println!("cinco: {}", *five);
}
```



Box<T> implementa Deref<Target = T>, lo que significa que puedes llamar a métodos desde T directamente en un Box<T>.

Los tipos de datos recursivos o los tipos de datos con tamaños dinámicos deben utilizar un Box:

```rust
enum List<T> {
    /// Una lista no vacía: el primer elemento y el resto de la lista.
    Element(T, Box<List<T>>),
    /// Una lista vacía.
    Nil,
}

fn main() {
    let list: List<i32> =
        List::Element(1, Box::new(List::Element(2, Box::new(List::Nil))));
    println!("{list:?}");
}
```



- Box es igual que `std::unique_ptr` en C++, salvo que está asegurado que no será nulo.
- Un Box puede resultar útil en los siguientes casos:
  - tiene un tipo cuyo tamaño no se conoce durante la compilación, pero el compilador de Rust quiere saber el tamaño exacto.
  - quieres transferir la propiedad (”ownership”) de una gran cantidad de datos. Para evitar que se copien grandes cantidades de datos en el *stack*, almacena los datos del *heap* en un Box para que solo se mueva el puntero.
- Si no utilizamos Box e intentamos insertar un `List` directamente dentro de `List`, el compilador no podría calcular un tamaño fijo de la estructura en la memoria (`List` tendría un tamaño infinito).
- Box resuelve este problema, ya que tiene el mismo tamaño que un puntero normal y solo apunta al siguiente elemento de la `List` en el *heap*.
- Elimina Box de la definición de la lista y muestra el error del compilador. El mensaje ”recursivo con indirección” es una sugerencia de que debes usar un Box o referencia de algún tipo en lugar de almacenar un valor directamente.

Más información

Optimización de la Memoria

Aunque Box se parece a `std::unique_ptr` en C++, no puede ser vació o nulo. Esto hace Box uno de los tipos que permite que el compilador optimice el almacenaje de ciertas enumeraciones.

Por ejemplo, `Option<Box<T>>` tiene el mismo tamaño que `Box<T>`, ya que el compilador usa el valor nulo para discriminar variantes en vez de usar una etiqueta explicita ("Null Pointer Optimization"):

```
use std::mem::size_of_val;

struct Item(String);

fn main() {
    let just_box: Box<Item> = Box::new(Item("Solo box".into()));
    let optional_box: Option<Box<Item>> =
        Some(Box::new(Item("Box opcional".into())));
    let none: Option<Box<Item>> = None;

    assert_eq!(size_of_val(&just_box), size_of_val(&optional_box));
    assert_eq!(size_of_val(&just_box), size_of_val(&none));

    println!("Tamaño de just_box: {}", size_of_val(&just_box));
    println!("Tamaño de optional_box: {}", size_of_val(&optional_box));
    println!("Tamaño de none: {}", size_of_val(&none));
}
```

20.2 Rc

Rc es un puntero compartido de referencia contada. Utilízalo cuando necesites hacer referencia a los mismos datos desde varios lugares:

```
use std::rc::Rc;

fn main() {
    let a = Rc::new(10);
    let b = Rc::clone(&a);

    println!("a: {a}");
    println!("b: {b}");
}
```

- Consulta Arc y Mutex si te encuentras en un contexto multihilo.
- Puedes *degradar* un puntero compartido en un puntero Weak para crear ciclos que se abandonarán.

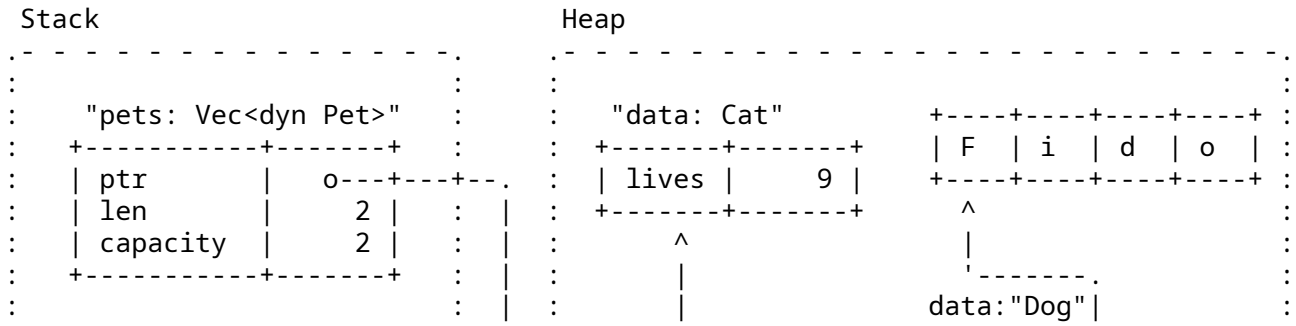
- El recuento de Rc asegura que el valor que contiene sea válido mientras haya referencias.
- Rc en Rust es como `std::shared_ptr` en C++.
- `Rc::clone` es simple: crea un puntero en la misma asignación y aumenta el recuento de referencias. No hace clones completos y, por lo general, se puede ignorar cuando se buscan problemas de rendimiento en el código.
- `make_mut` clona el valor interno si es necesario ("copiar al escribir") y devuelve una referencia mutable.
- Comprueba el recuento de referencias con `Rc::strong_count`.
- `Rc::downgrade` ofrece un objeto *de referencia contada debil* para crear ciclos que que se borraran propiamente (probablemente en combinación con `RefCell`).

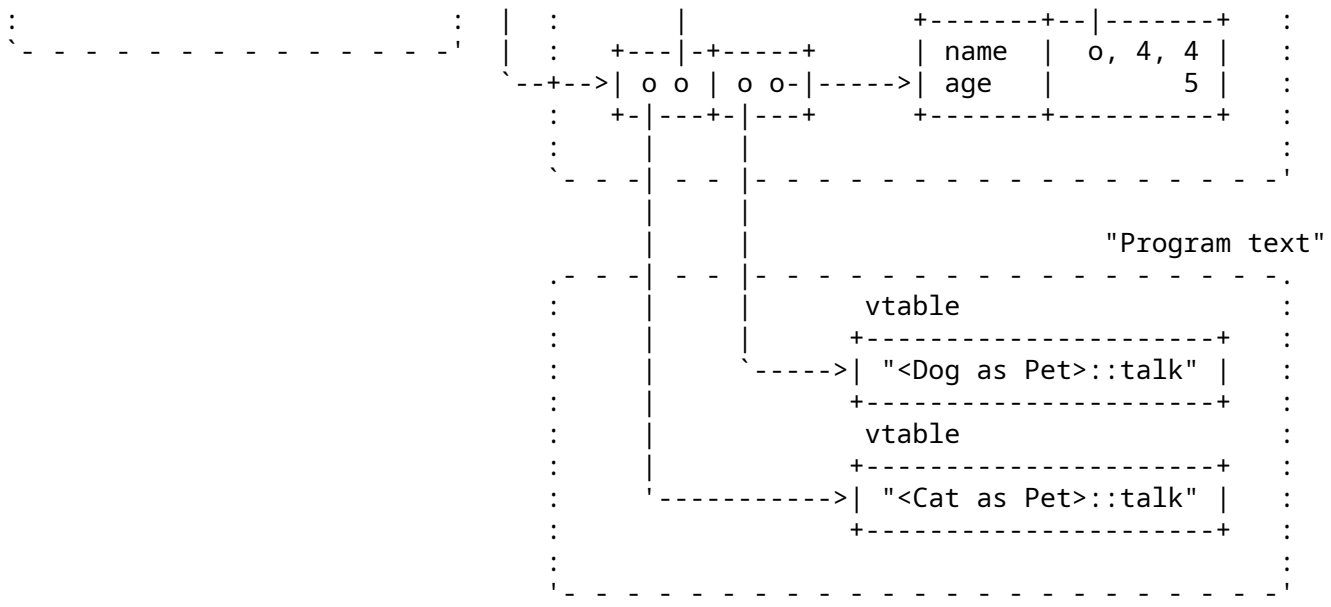
20.3 Objetos Trait Poseídos

Previamente vimos que objetos de trait se pueden usar con referencias, e.g. `&dyn Pet`. También podemos usar objetos de trait con punteros inteligentes como `Box` para crear objetos de trait con dueño: `Box<dyn Pet>`.

```
struct Dog {
    name: String,
    age: i8,
}
struct Cat {
    lives: i8,
}

trait Pet {
    fn talk(&self) -> String;
}

impl Pet for Dog {
    fn talk(&self) -> String {
        format!("¡Guau, me llamo {}!", self.name)
    }
}

impl Pet for Cat {
    fn talk(&self) -> String {
        String::from("¡Miau!")
    }
}

fn main() {
    let pets: Vec<Box<dyn Pet>> = vec![
        Box::new(Cat { lives: 9 }),
        Box::new(Dog { name: String::from("Fido"), age: 5 }),
    ];
    for pet in pets {
        println!("Hola, quien eres? {}", pet.talk());
    }
}
```

Diseño de la memoria después de asignar `pets`:





- Los tipos que implementan un trait pueden tener diferentes tamaños. Esto hace imposible tener elementos como `Vec<dyn Pet>` en el ejemplo anterior.
- `dyn Pet` es una forma de indicar al compilador un tipo de tamaño dinámico que implementa `Pet`.
- En este ejemplo, `pets` es alocado sobre el stack y los datos del vector sobre el heap. Los dos elementos del vector son *punteros gordos*:
  - Un puntero gordo es un puntero de tamaño doble. Tiene dos componentes: un puntero al objeto y un puntero a la tabla virtual de métodos (vtable) para la implementación de `Pet` de ese objeto.
  - Los datos para el `Dog` llamado Fido son los campos `name` y `age`. El `Cat` tiene un campo `lives`.
- Compara estas salidas en el ejemplo anterior:

```
println!("{} {}", std::mem::size_of::<Dog>(), std::mem::size_of::<Cat>());
println!("{} {}", std::mem::size_of::<&Dog>(), std::mem::size_of::<&Cat>());
println!("{}", std::mem::size_of::<&dyn Pet>());
println!("{}", std::mem::size_of::<Box<dyn Pet>>());
```

20.4 Ejercicio: Árbol binario

Un árbol binario es una estructura de datos de tipo árbol en la que cada nodo tiene dos elementos secundarios (izquierda y derecha). Crearemos un árbol en el que cada nodo almacene un valor. Para un nodo N dado, todos los nodos del subárbol izquierdo de N contienen valores más pequeños, mientras que todos los nodos del subárbol derecho de N contendrán valores de mayor tamaño.

Implementa los siguientes tipos para superar las pruebas correspondientes.

Ejercicio adicional: implementar un iterador sobre un árbol binario que devuelva los valores en orden.

```
/// Un nodo del árbol binario.
struct Node<T: Ord> {
```

```
    value: T,
    left: Subtree<T>,
    right: Subtree<T>,
}

/// Un subárbol posiblemente vacío.
struct Subtree<T: Ord>(Option<Box<Node<T>>>);

/// Contenedor que almacena un conjunto de valores mediante un árbol binario.
///
/// Si se añade el mismo valor varias veces, solo se almacena una vez.
pub struct BinaryTree<T: Ord> {
    root: Subtree<T>,
}

impl<T: Ord> BinaryTree<T> {
    fn new() -> Self {
        Self { root: Subtree::new() }
    }

    fn insert(&mut self, value: T) {
        self.root.insert(value);
    }

    fn has(&self, value: &T) -> bool {
        self.root.has(value)
    }

    fn len(&self) -> usize {
        self.root.len()
    }
}

// Implementa `new`, `insert`, `len` y `has` para `Subtree`.

mod tests {
    use super::*;

    fn len() {
        let mut tree = BinaryTree::new();
        assert_eq!(tree.len(), 0);
        tree.insert(2);
        assert_eq!(tree.len(), 1);
        tree.insert(1);
        assert_eq!(tree.len(), 2);
        tree.insert(2); // No es un elemento único.
        assert_eq!(tree.len(), 2);
    }

    fn has() {
        let mut tree = BinaryTree::new();
```

```
        fn check_has(tree: &BinaryTree<i32>, exp: &[bool]) {
            let got: Vec<bool> =
                (0..exp.len()).map(|i| tree.has(&(i as i32))).collect();
            assert_eq!(&got, exp);
        }

        check_has(&tree, &[false, false, false, false, false]);
        tree.insert(0);
        check_has(&tree, &[true, false, false, false, false]);
        tree.insert(4);
        check_has(&tree, &[true, false, false, false, true]);
        tree.insert(4);
        check_has(&tree, &[true, false, false, false, true]);
        tree.insert(3);
        check_has(&tree, &[true, false, false, true, true]);
    }

    fn unbalanced() {
        let mut tree = BinaryTree::new();
        for i in 0..100 {
            tree.insert(i);
        }
        assert_eq!(tree.len(), 100);
        assert!(tree.has(&50));
    }
}
```

20.4.1 Solución

```
use std::cmp::Ordering;

/// Un nodo del árbol binario.
struct Node<T: Ord> {
    value: T,
    left: Subtree<T>,
    right: Subtree<T>,
}

/// Un subárbol posiblemente vacío.
struct Subtree<T: Ord>(Option<Box<Node<T>>>);

/// Contenedor que almacena un conjunto de valores mediante un árbol binario.
///
/// Si se añade el mismo valor varias veces, solo se almacena una vez.
pub struct BinaryTree<T: Ord> {
    root: Subtree<T>,
}

impl<T: Ord> BinaryTree<T> {
    fn new() -> Self {
        Self { root: Subtree::new() }
```

```
    }

    fn insert(&mut self, value: T) {
        self.root.insert(value);
    }

    fn has(&self, value: &T) -> bool {
        self.root.has(value)
    }

    fn len(&self) -> usize {
        self.root.len()
    }
}

impl<T: Ord> Subtree<T> {
    fn new() -> Self {
        Self(None)
    }

    fn insert(&mut self, value: T) {
        match &mut self.0 {
            None => self.0 = Some(Box::new(Node::new(value))),
            Some(n) => match value.cmp(&n.value) {
                Ordering::Less => n.left.insert(value),
                Ordering::Equal => {}
                Ordering::Greater => n.right.insert(value),
            },
        }
    }

    fn has(&self, value: &T) -> bool {
        match &self.0 {
            None => false,
            Some(n) => match value.cmp(&n.value) {
                Ordering::Less => n.left.has(value),
                Ordering::Equal => true,
                Ordering::Greater => n.right.has(value),
            },
        }
    }

    fn len(&self) -> usize {
        match &self.0 {
            None => 0,
            Some(n) => 1 + n.left.len() + n.right.len(),
        }
    }
}

impl<T: Ord> Node<T> {
```

```
    fn new(value: T) -> Self {
        Self { value, left: Subtree::new(), right: Subtree::new() }
    }
}

fn main() {
    let mut tree = BinaryTree::new();
    tree.insert("foo");
    assert_eq!(tree.len(), 1);
    tree.insert("bar");
    assert!(tree.has(&"foo"));
}

mod tests {
    use super::*;

    fn len() {
        let mut tree = BinaryTree::new();
        assert_eq!(tree.len(), 0);
        tree.insert(2);
        assert_eq!(tree.len(), 1);
        tree.insert(1);
        assert_eq!(tree.len(), 2);
        tree.insert(2); // No es un elemento único.
        assert_eq!(tree.len(), 2);
    }

    fn has() {
        let mut tree = BinaryTree::new();
        fn check_has(tree: &BinaryTree<i32>, exp: &[bool]) {
            let got: Vec<bool> =
                (0..exp.len()).map(|i| tree.has(&(i as i32))).collect();
            assert_eq!(&got, exp);
        }

        check_has(&tree, &[false, false, false, false, false]);
        tree.insert(0);
        check_has(&tree, &[true, false, false, false, false]);
        tree.insert(4);
        check_has(&tree, &[true, false, false, false, true]);
        tree.insert(4);
        check_has(&tree, &[true, false, false, false, true]);
        tree.insert(3);
        check_has(&tree, &[true, false, false, true, true]);
    }

    fn unbalanced() {
        let mut tree = BinaryTree::new();
        for i in 0..100 {
            tree.insert(i);
        }
```

```
        assert_eq!(tree.len(), 100);
        assert!(tree.has(&50));
    }
}
```

Parte VI

Día 3: Tarde

Capítulo 21

Te damos la bienvenida

Contando con los descansos de 10 minutos, la duración prevista de la sesión es de una horas y 55 minutos. Contiene:

Sección	Duración
Préstamos (Borrowing)	55 minutos
Duraciones de vida	50 minutos

Capítulo 22

Préstamos (Borrowing)

Esta sección tiene una duración aproximada de 55 minutos. Contiene:

Diapositiva	Duración
Emprestar (borrow) un valor	10 minutos
Verificación de Préstamos	10 minutos
Errores de Préstamo	3 minutos
Mutabilidad Interior	10 minutos
Ejercicio: Estadísticas de Salud	20 minutos

22.1 Emprestar (borrow) un valor

En lugar de transferir el *ownership* (posesión) al llamar a una función, puedes permitir que una función *tome prestado* el valor:

```
struct Point(i32, i32);

fn add(p1: &Point, p2: &Point) -> Point {
    Point(p1.0 + p2.0, p1.1 + p2.1)
}

fn main() {
    let p1 = Point(3, 4);
    let p2 = Point(10, 20);
    let p3 = add(&p1, &p2);
    println!("{p1:?} + {p2:?} = {p3:?}");
}
```

- La función add *toma prestados* dos puntos y devuelve uno nuevo.
- El llamador conserva el *ownership* de las entradas.

En esta diapositiva se repasará el material de las referencias desde día 1 y se ampliará un poco para incluir los argumentos de las funciones y los valores devueltos.

Más información

Notas sobre la devolución de resultados de la *stack*:

- Demuestra que la instrucción de retorno de add es barato porque el compilador puede eliminar la operación de copia. Cambia el código anterior para imprimir las direcciones de la *stack* y ejecutarlas en el Playground o consulta el ensamblador en Godbolt. En el nivel de optimización "DEBUG", las direcciones deberían cambiar. Sin embargo, deberían mantenerse igual modificar la configuración "RELEASE":

```
struct Point(i32, i32);

fn add(p1: &Point, p2: &Point) -> Point {
    let p = Point(p1.0 + p2.0, p1.1 + p2.1);
    println!("&p.0: {:p}", &p.0);
    p
}

pub fn main() {
    let p1 = Point(3, 4);
    let p2 = Point(10, 20);
    let p3 = add(&p1, &p2);
    println!("&p3.0: {:p}", &p3.0);
    println!("{p1:?} + {p2:?} = {p3:?}");
}
```

- El compilador Rust puede hacer enlineamiento automático que puede ser deshabilitado al nivel de una función con `#[inline(never)]`.
- Una vez deshabilitado, la dirección impresa cambiara en todos los niveles de optimización. Mirando en Godbolt o Playground, uno puede ver que en este caso el valor de retorno dependen del ABI, e.g. en amd64 los dos i32 que constituyen el punto son regresados en 2 registros (eax y edx).

22.2 Verificación de Préstamos

El *borrow checker* de Rust limita las formas en que se pueden tomar prestados valores. Para un dado valor, en cualquier tiempo:

- Puedes tener uno o varios valores `&T`, *o*
- Solo puedes tener exactamente una referencia exclusiva al valor.

```
fn main() {
    let mut a: i32 = 10;
    let b: &i32 = &a;

    {
        let c: &mut i32 = &mut a;
        *c = 20;
    }

    println!("a: {a}");
```

```
    println!("b: {b}");
}
```

- Ten en cuenta que el requisito es que las referencias que están en conflicto no *se encuentren* en el mismo punto. No importa en el lugar en el que se desreferencie la referencia.
- El código anterior no se compila porque a se toma prestada como mutable (a través de c) y como inmutable (a través de b) al mismo tiempo.
- Mueve la instrucción `println!` de b antes del ámbito que introduce c para que el código compile.
- Después de ese cambio, el compilador se da cuenta de que b solo se usa antes del nuevo préstamo mutable de a a través de c. Se trata de una función del verificador de préstamos denominada ”tiempo de vida no léxico”.
- La restricción de referencia exclusiva es bastante sólida. Rust la utiliza para asegurarse de que no se produzcan data races. Rust también *se basa* en esta restricción para optimizar el código. Por ejemplo, el valor de una referencia compartida se puede almacenar en caché de forma segura en un registro durante el tiempo de vida de dicha referencia.
- El verificador de préstamos está diseñado para adaptarse a muchos patrones comunes, como tomar referencias exclusivas en diferentes campos de un struct al mismo tiempo. Sin embargo, hay algunas situaciones en las que ”no lo entiende del todo”, lo que suele dar lugar a ”conflictos con el comprobador de préstamos.”

22.3 Errores de Préstamo

Como un ejemplo concreto de como estas reglas de préstamo previenen errores de memoria, considera el caso de modificar una colección cuando existen referencias a sus elementos:

```
fn main() {
    let mut vec = vec![1, 2, 3, 4, 5];
    let elem = &vec[2];
    vec.push(6);
    println!("{elem}");
}
```

Considera este caso parecido de invalidación de iterador:

```
fn main() {
    let mut vec = vec![1, 2, 3, 4, 5];
    for elem in &vec {
        vec.push(elem * 2);
    }
}
```

- En ambos casos, añadir elementos a la colección puede invalidar referencias pre-existentes a los elementos de la colección si es necesario realizar reasignación.

22.4 Mutabilidad Interior

En algunas situaciones, es necesario modificar los datos subyacentes a una referencia compartida (de solo lectura). Por ejemplo, una estructura de datos compartida puede contar

con una caché interna y pretender actualizarla con métodos de solo lectura.

El patrón "mutabilidad interior" permite el acceso exclusivo (mutable) desde una referencia compartida. La biblioteca estándar ofrece varias formas de hacerlo y, al mismo tiempo, garantiza la seguridad, normalmente mediante una comprobación del tiempo de ejecución.

`RefCell`

```
use std::cell::RefCell;

fn main() {
    // Nota que `cell` NO es declarado como mutable.
    let cell = RefCell::new(5);

    {
        let mut cell_ref = cell.borrow_mut();
        *cell_ref = 123;

        // Esto causa un error al tiempo de ejecución.
        // let other = cell.borrow();
        // println!("{}", *other);
    }

    println!("{cell:?}");
}
```

`Cell`

`Cell` envuelve un valor y permite obtenerlo o definirlo, incluso con una referencia compartida a `Cell`. Sin embargo, no permite obtener referencias al valor. Como no hay referencias, las reglas de préstamos no pueden quebrantarse.

```
use std::cell::Cell;

fn main() {
    // Nota que `cell` NO es declarado como mutable.
    let cell = Cell::new(5);

    cell.set(123);
    println!("{}", cell.get());
}
```

Lo más importante de esta diapositiva es que Rust ofrece formas *seguras* de modificar los datos subyacentes a una referencia compartida. Hay varias formas de garantizar la seguridad, como `RefCell` y `Cell`.

- `RefCell` implementa las reglas de préstamos habituales de Rust (varias referencias compartidas o una única referencia exclusiva) con una comprobación del tiempo de ejecución. En este caso, todos los préstamos son muy cortos y nunca se solapan, por lo que las comprobaciones siempre se llevan a cabo de forma correcta.
  - El bloque extra en el ejemplo `RefCell` existe para terminar el préstamo creado por la llamada a `borrow_mut` antes de que imprimimos cal celda. Intentando imprimir

una celda `RefCell` solo enseña el mensaje `"{borrowed}"`.

- `Cell` es un medio más sencillo de garantizar la seguridad: tiene un método `set` que utiliza `&self`. No es necesario comprobar el tiempo de ejecución, pero sí es necesario transferir los valores, lo que puede tener su propio coste.
- Ambos `RefCell` y `Cell` son `!Sync`, que significa que `&RefCell` y `&Cell` no pueden ser pasados entre hilos. Esto previene que dos hilos intenten acceder la celda al mismo tiempo.

22.5 Ejercicio: Estadísticas de Salud

Estás trabajando en la implementación de un sistema de monitorización de salud. Por ello, debes realizar un seguimiento de las estadísticas de salud de los usuarios.

Comenzarás con algunas funciones stub en un bloque `impl`, así como con una definición de estructura `User`. Tu objetivo es implementar métodos en el `struct User` definida en el bloque `impl`.

Copia el fragmento de código que aparece más abajo en la página a https://play.rust-lang.org/ y rellena el método que falta:

```
// TODO: borra esto cuando termines de implementarlo.


pub struct User {
    name: String,
    age: u32,
    height: f32,
    visit_count: usize,
    last_blood_pressure: Option<(u32, u32)>,
}

pub struct Measurements {
    height: f32,
    blood_pressure: (u32, u32),
}

pub struct HealthReport<'a> {
    patient_name: &'a str,
    visit_count: u32,
    height_change: f32,
    blood_pressure_change: Option<(i32, i32)>,
}

impl User {
    pub fn new(name: String, age: u32, height: f32) -> Self {
        Self { name, age, height, visit_count: 0, last_blood_pressure: None }
    }

    pub fn visit_doctor(&mut self, measurements: Measurements) -> HealthReport {
        todo!("Actualiza las estadísticas de un usuario en función de las mediciones ob
```

```
    }
}

fn main() {
    let bob = User::new(String::from("Bob"), 32, 155.2);
    println!("Me llamo {} y tengo {} años", bob.name, bob.age);
}

fn test_visit() {
    let mut bob = User::new(String::from("Bob"), 32, 155.2);
    assert_eq!(bob.visit_count, 0);
    let report =
        bob.visit_doctor(Measurements { height: 156.1, blood_pressure: (120, 80) });
    assert_eq!(report.patient_name, "Bob");
    assert_eq!(report.visit_count, 1);
    assert_eq!(report.blood_pressure_change, None);

    let report =
        bob.visit_doctor(Measurements { height: 156.1, blood_pressure: (115, 76) });

    assert_eq!(report.visit_count, 2);
    assert_eq!(report.blood_pressure_change, Some((-5, -4)));
}
```

22.5.1 Solución

```
pub struct User {
    name: String,
    age: u32,
    height: f32,
    visit_count: usize,
    last_blood_pressure: Option<(u32, u32)>,
}

pub struct Measurements {
    height: f32,
    blood_pressure: (u32, u32),
}

pub struct HealthReport<'a> {
    patient_name: &'a str,
    visit_count: u32,
    height_change: f32,
    blood_pressure_change: Option<(i32, i32)>,
}

impl User {
    pub fn new(name: String, age: u32, height: f32) -> Self {
        Self { name, age, height, visit_count: 0, last_blood_pressure: None }
    }
```

```
    pub fn visit_doctor(&mut self, measurements: Measurements) -> HealthReport {
        self.visit_count += 1;
        let bp = measurements.blood_pressure;
        let report = HealthReport {
            patient_name: &self.name,
            visit_count: self.visit_count as u32,
            height_change: measurements.height - self.height,
            blood_pressure_change: match self.last_blood_pressure {
                Some(lbp) => {
                    Some((bp.0 as i32 - lbp.0 as i32, bp.1 as i32 - lbp.1 as i32))
                }
                None => None,
            },
        };
        self.height = measurements.height;
        self.last_blood_pressure = Some(bp);
        report
    }
}

fn main() {
    let bob = User::new(String::from("Bob"), 32, 155.2);
    println!("Me llamo {} y tengo {} años", bob.name, bob.age);
}

fn test_visit() {
    let mut bob = User::new(String::from("Bob"), 32, 155.2);
    assert_eq!(bob.visit_count, 0);
    let report =
        bob.visit_doctor(Measurements { height: 156.1, blood_pressure: (120, 80) });
    assert_eq!(report.patient_name, "Bob");
    assert_eq!(report.visit_count, 1);
    assert_eq!(report.blood_pressure_change, None);

    let report =
        bob.visit_doctor(Measurements { height: 156.1, blood_pressure: (115, 76) });

    assert_eq!(report.visit_count, 2);
    assert_eq!(report.blood_pressure_change, Some((-5, -4)));
}
```

Capítulo 23

Duraciones de vida

Esta sección tiene una duración aproximada de 50 minutos. Contiene:

Diapositiva	Duración
Anotaciones de duración de vida	10 minutos
Elisión de duración de vida	5 minutos
Duraciones de vida de estructuras (structs)	5 minutos
Ejercicio: Análisis de Protobuf	30 minutos

23.1 Anotaciones de duración de vida

Una referencia tiene un valor de *tiempo de vida* que no debe ”superar” el valor al que hace referencia. El verificador de préstamos se encarga de comprobarlo.

El tiempo de vida puede ser implícito, como hemos visto hasta ahora, pero también explícito, como es el caso de `&'a Point` y `&'document str`. Los tiempos de vida empiezan por `'` y `'a` es el nombre predeterminado que se suele usar. Lee `&'a Point` como ”un `Point` prestado que es válido al menos durante el tiempo de vida `a`”.

Los tiempos de vida siempre son inferidos por el compilador: no es posible asignar un tiempo de vida manualmente. Las anotaciones explicitas de tiempo de vida crean restricciones cuando hay ambigüedad; el compilador verifica que hay una solución válida.

Los tiempos de vida se vuelven más complejos cuando se tiene en cuenta la transferencia y devolución de valores a las funciones.

```
struct Point(i32, i32);

fn left_most(p1: &Point, p2: &Point) -> &Point {
    if p1.0 < p2.0 {
        p1
    } else {
        p2
    }
}
```

```
fn main() {
    let p1: Point = Point(10, 10);
    let p2: Point = Point(20, 20);
    let p3 = left_most(&p1, &p2); // ¿Cuál es el tiempo de vida de p3?
    println!("p3: {p3:?}");
}
```

En este ejemplo, el compilador no conoce el tiempo de vida que se debe inferir para p3. Al examinar el cuerpo de la función, se puede suponer con seguridad que el tiempo de vida de p3 es menor quep1 y p2. Sin embargo, como sucede con los tipos, Rust requiere anotaciones explícitas de los tiempos de vida en los argumentos de las funciones y los valores devueltos.

Añade `'a` correctamente a `left_most`:

```
fn left_most<'a>(p1: &'a Point, p2: &'a Point) -> &'a Point {
```

Por tanto, ”dado p1 y p2, que superan el tiempo de vida de `'a`, el valor devuelto tiene una duración de al menos `'a`.

De forma habitual, los tiempos de vida se pueden omitir, tal como se describe en la siguiente diapositiva.

23.2 Tiempos de Vida en Llamadas a Función

El tiempo de vida de los argumentos de las funciones y los valores devueltos se deben especificar de manera completa, pero Rust permite que se puedan eludir en la mayoría de los casos con unas reglas sencillas. Esto no es inferencia -- solo es un atajo de sintaxis.

- A cada argumento que no tenga una anotación de tiempo de vida se le proporciona uno.
- Si solo hay un tiempo de vida de un argumento, se le asigna a todos los valores devueltos que no estén anotados.
- Si existen varios tiempos de vida de argumentos, pero el primero es para `self`, ese tiempo de vida se asigna a todos los valores devueltos que no estén anotados.

```
struct Point(i32, i32);

fn cab_distance(p1: &Point, p2: &Point) -> i32 {
    (p1.0 - p2.0).abs() + (p1.1 - p2.1).abs()
}

fn nearest<'a>(points: &'a [Point], query: &Point) -> Option<&'a Point> {
    let mut nearest = None;
    for p in points {
        if let Some((_, nearest_dist)) = nearest {
            let dist = cab_distance(p, query);
            if dist < nearest_dist {
                nearest = Some((p, dist));
            }
        } else {
            nearest = Some((p, cab_distance(p, query)));
        };
    }
```

```
    nearest.map(|(p, _)| p)
}

fn main() {
    println!(
        "{:?}",
        nearest(
            &[Point(1, 0), Point(1, 0), Point(-1, 0), Point(0, -1),],
            &Point(0, 2)
        )
    );
}
```

En este ejemplo, `cab_distance` se ha suprimido sin que suponga un problema.

La función `nearest` proporciona otro ejemplo de una función con múltiples referencias en sus argumentos que requiere una anotación explícita.

Prueba a ajustar la firma para ”mentir” sobre los tiempos de vida devueltos:

```
fn nearest<'a, 'q>(points: &'a [Point], query: &'q Point) -> Option<&'q Point> {
```

No se hará la compilación, lo que demuestra que el compilador comprueba la validez de las anotaciones. Debes tener en cuenta que este no es el caso de los punteros sin formato (inseguros), y es uno de los motivos por los que se cometen errores con Rust inseguro.

Puede que los participantes pregunten cuándo se deben usar los tiempos de vida. Los préstamos de Rust *siempre* tienen tiempos de vida. En la mayoría de las ocasiones, la omisión y la inferencia de tipos hacen que no sea necesario escribirlos. En casos más complicados, las anotaciones de tiempos de vida pueden ayudar a resolver la ambigüedad. A menudo, sobre todo cuando se llevan a cabo prototipos, resulta más fácil trabajar únicamente con datos propios, clonando valores siempre que sea necesario.

23.3 Tiempos de vida en estructuras de datos

Si un tipo de datos almacena datos prestados, se debe anotar con tiempo de vida:

```
struct Highlight<'doc>(&'doc str);

fn erase(text: String) {
    println!("¡Adiós, {text}!");
}

fn main() {
    let text = String::from("El veloz murciélago hindú comía feliz cardillo y kiwi. La c
    let fox = Highlight(&text[4..19]);
    let dog = Highlight(&text[35..43]);
    // erase(text);
    println!("{fox:?}");
    println!("{dog:?}");
}
```

- En el ejemplo anterior, la anotación en `Highlight` hace que los datos subyacentes a la `&str` contenida tengan al menos la misma duración que cualquier instancia de

`Highlight` que utilice esos datos.
- Si `text` se consume antes de que acabe el tiempo de vida de `fox` (o dog), el *borrow checker* (verificador de préstamos) muestra un error.
- Los tipos con datos prestados (*borrowed*) obligan a los usuarios a conservar los datos originales. Esto puede ser útil para crear vistas ligeras aunque, por lo general, hace que sean un poco más difíciles de usar.
- Siempre que sea posible, haz que las estructuras de datos sean propietarias directas de sus datos.
- Algunas estructuras con varias referencias dentro pueden tener más de una anotación de tiempo de vida. Esto puede ser necesario si hay que describir las relaciones de tiempo de vida entre las propias referencias, además del tiempo de vida de la propia estructura. Estos son casos prácticos muy avanzados.

23.4 Ejercicio: Análisis de Protobuf

En este ejercicio, vas a compilar un analizador para la codificación binaria de protobuf. No hay nada de lo que preocuparse, es más sencillo de lo que parece. En este ejemplo se muestra un patrón de análisis muy habitual que consiste en transferir fracciones de datos. Los datos subyacentes nunca se copian.

Para poder llevar a cabo un análisis completo de un mensaje de protobuf, es necesario conocer los tipos de campos, indexados por el número de campo. Se suelen proporcionar en un archivo `proto`. En este ejercicio, codificaremos esa información en declaraciones `match` en funciones a las que se llama para cada campo.

Usaremos el proto que sigue:

```
message PhoneNumber {
  optional string number = 1;
  optional string type = 2;
}

message Person {
  optional string name = 1;
  optional int32 id = 2;
  repeated PhoneNumber phones = 3;
}
```

Un mensaje proto se codifica como una serie de campos, uno detrás del otro. Cada uno se implementa como una ”etiqueta” seguida del valor. La etiqueta contiene un número de campo (por ejemplo, 2 para el campo `id` de un mensaje de `Person`) y un tipo de wire que define cómo se debe definir la carga útil a partir del flujo de bytes.

Los números enteros, incluida la etiqueta, se representan con una codificación de longitud variable denominada VARINT. A continuación puedes consultar la definición de `parse_varint`. El código dado también define retrollamadas para gestionar los campos `Person` y `PhoneNumber`, así como analizar un mensaje en una serie de llamadas a dichas retrollamadas.

Ahora solo tienes que implementar la función `parse_field` y el trait `ProtoMessage` para `Person` y `PhoneNumber`.

```
/// Tipo de wire como se observa en el wire.
```

```rust
enum WireType {
    /// Varint WireType indica que el valor es un único VARINT.
    Varint,
    //I64,  -- no es necesario para este ejercicio
    /// El Len WireType indica que el valor es una longitud representada como
    /// VARINT seguida exactamente de ese número de bytes.
    Len,
    /// El WireType I32 indica que el valor es de 4 bytes en
    /// el orden little endian que contiene un número entero con signo de 32 bits.
    I32,
}

/// Valor de un campo, escrito en función del tipo de wire.
enum FieldValue<'a> {
    Varint(u64),
    //I64(i64),  -- no es necesario para este ejercicio
    Len(&'a [u8]),
    I32(i32),
}

/// Campo que contiene el número de campo y su valor.
struct Field<'a> {
    field_num: u64,
    value: FieldValue<'a>,
}

trait ProtoMessage<'a>: Default {
    fn add_field(&mut self, field: Field<'a>);
}

impl From<u64> for WireType {
    fn from(value: u64) -> Self {
        match value {
            0 => WireType::Varint,
            //1 => WireType::I64, no es necesario para este ejercicio
            2 => WireType::Len,
            5 => WireType::I32,
            _ => panic!("Tipo de wire no válido: {value}"),
        }
    }
}

impl<'a> FieldValue<'a> {
    fn as_string(&self) -> &'a str {
        let FieldValue::Len(data) = self else {
            panic!("Cadena era esperado ser un campo `Len`");
        };
        std::str::from_utf8(data).expect("Cadena no válida")
    }

    fn as_bytes(&self) -> &'a [u8] {
```

```
        let FieldValue::Len(data) = self else {
            panic!("Bytes eran esperados ser un campo `Len`");
        };
        data
    }

    fn as_u64(&self) -> u64 {
        let FieldValue::Varint(value) = self else {
            panic!("`u64` era esperado ser un campo `Varint`");
        };
        *value
    }

    fn as_i32(&self) -> i32 {
        let FieldValue::I32(value) = self else {
            panic!("`i32` era esperado ser un campo `I32`");
        };
        *value
    }
}

/// Analiza un VARINT, que devuelve el valor analizado y los bytes restantes.
fn parse_varint(data: &[u8]) -> (u64, &[u8]) {
    for i in 0..7 {
        let Some(b) = data.get(i) else {
            panic!("No hay suficientes bytes para un varint");
        };
        if b & 0x80 == 0 {
            // Este es el último byte de VARINT, así que conviértelo en
            // u64 y haz que lo devuelva.
            let mut value = 0u64;
            for b in data[..=i].iter().rev() {
                value = (value << 7) | (b & 0x7f) as u64;
            }
            return (value, &data[i + 1..]);
        }
    }

    // Un número mayor de 7 bytes no es válido.
    panic!("Demasiados bytes para un varint");
}

/// Convierte una etiqueta en un número de campo y un WireType.
fn unpack_tag(tag: u64) -> (u64, WireType) {
    let field_num = tag >> 3;
    let wire_type = WireType::from(tag & 0x7);
    (field_num, wire_type)
}


/// Analiza un campo y haz que devuelva los bytes restantes.
```

```
fn parse_field(data: &[u8]) -> (Field, &[u8]) {
    let (tag, remainder) = parse_varint(data);
    let (field_num, wire_type) = unpack_tag(tag);
    let (fieldvalue, remainder) = match wire_type {
        _ => todo!("En función del tipo de wire, crea un campo que utilice todos los by
    };
    todo!("Devuelve el campo y los bytes que no se hayan utilizado.")
}

/// Analiza un mensaje de los datos proporcionados, llamando a `T::add_field` para cada
/// del mensaje.
///
/// Se utilizan todos los datos introducidos.
fn parse_message<'a, T: ProtoMessage<'a>>(mut data: &'a [u8]) -> T {
    let mut result = T::default();
    while !data.is_empty() {
        let parsed = parse_field(data);
        result.add_field(parsed.0);
        data = parsed.1;
    }
    result
}

struct PhoneNumber<'a> {
    number: &'a str,
    type_: &'a str,
}

struct Person<'a> {
    name: &'a str,
    id: u64,
    phone: Vec<PhoneNumber<'a>>,
}

// TAREA: implementar ProtoMessage para Person y PhoneNumber.

fn main() {
    let person: Person = parse_message(&[
        0x0a, 0x07, 0x6d, 0x61, 0x78, 0x77, 0x65, 0x6c, 0x6c, 0x10, 0x2a, 0x1a,
        0x16, 0x0a, 0x0e, 0x2b, 0x31, 0x32, 0x30, 0x32, 0x2d, 0x35, 0x35, 0x35,
        0x2d, 0x31, 0x32, 0x31, 0x32, 0x12, 0x04, 0x68, 0x6f, 0x6d, 0x65, 0x1a,
        0x18, 0x0a, 0x0e, 0x2b, 0x31, 0x38, 0x30, 0x30, 0x2d, 0x38, 0x36, 0x37,
        0x2d, 0x35, 0x33, 0x30, 0x38, 0x12, 0x06, 0x6d, 0x6f, 0x62, 0x69, 0x6c,
        0x65,
    ]);
    println!("{:#?}", person);
}
```

- En este ejercicio hay varios casos en los cuales la lección del protobuf puede fallar, e.g. si intentas leer un `i32` cuando hay menos de 4 bytes restantes en el buffer de datos. Normalmente usaríamos el enum `Result`, pero para simplificar el ejercicio inducimos

pánico si ocurre un error. En el día 4 cubriremos el manejo de errores en Rust en mas detall

23.4.1 Solución

```rust
/// Tipo de wire como se observa en el wire.
enum WireType {
    /// Varint WireType indica que el valor es un único VARINT.
    Varint,
    //I64,  -- no es necesario para este ejercicio
    /// El Len WireType indica que el valor es una longitud representada como
    /// VARINT seguida exactamente de ese número de bytes.
    Len,
    /// El WireType I32 indica que el valor es de 4 bytes en
    /// el orden little endian que contiene un número entero con signo de 32 bits.
    I32,
}

/// Valor de un campo, escrito en función del tipo de wire.
enum FieldValue<'a> {
    Varint(u64),
    //I64(i64),  -- no es necesario para este ejercicio
    Len(&'a [u8]),
    I32(i32),
}

/// Campo que contiene el número de campo y su valor.
struct Field<'a> {
    field_num: u64,
    value: FieldValue<'a>,
}

trait ProtoMessage<'a>: Default {
    fn add_field(&mut self, field: Field<'a>);
}

impl From<u64> for WireType {
    fn from(value: u64) -> Self {
        match value {
            0 => WireType::Varint,
            //1 => WireType::I64, no es necesario para este ejercicio
            2 => WireType::Len,
            5 => WireType::I32,
            _ => panic!("Tipo de wire no válido: {value}"),
        }
    }
}

impl<'a> FieldValue<'a> {
    fn as_string(&self) -> &'a str {
        let FieldValue::Len(data) = self else {
```

```
            panic!("Cadena era esperado ser un campo `Len`");
        };
        std::str::from_utf8(data).expect("Cadena no válida")
    }

    fn as_bytes(&self) -> &'a [u8] {
        let FieldValue::Len(data) = self else {
            panic!("Bytes eran esperados ser un campo `Len`");
        };
        data
    }

    fn as_u64(&self) -> u64 {
        let FieldValue::Varint(value) = self else {
            panic!("`u64` era esperado ser un campo `Varint`");
        };
        *value
    }

    fn as_i32(&self) -> i32 {
        let FieldValue::I32(value) = self else {
            panic!("`i32` era esperado ser un campo `I32`");
        };
        *value
    }
}

/// Analiza un VARINT, que devuelve el valor analizado y los bytes restantes.
fn parse_varint(data: &[u8]) -> (u64, &[u8]) {
    for i in 0..7 {
        let Some(b) = data.get(i) else {
            panic!("No hay suficientes bytes para un varint");
        };
        if b & 0x80 == 0 {
            // Este es el último byte de VARINT, así que conviértelo en
            // u64 y haz que lo devuelva.
            let mut value = 0u64;
            for b in data[..=i].iter().rev() {
                value = (value << 7) | (b & 0x7f) as u64;
            }
            return (value, &data[i + 1..]);
        }
    }

    // Un número mayor de 7 bytes no es válido.
    panic!("Demasiados bytes para un varint");
}

/// Convierte una etiqueta en un número de campo y un WireType.
fn unpack_tag(tag: u64) -> (u64, WireType) {
    let field_num = tag >> 3;
```

```
    let wire_type = WireType::from(tag & 0x7);
    (field_num, wire_type)
}

/// Analiza un campo y haz que devuelva los bytes restantes.
fn parse_field(data: &[u8]) -> (Field, &[u8]) {
    let (tag, remainder) = parse_varint(data);
    let (field_num, wire_type) = unpack_tag(tag);
    let (fieldvalue, remainder) = match wire_type {
        WireType::Varint => {
            let (value, remainder) = parse_varint(remainder);
            (FieldValue::Varint(value), remainder)
        }
        WireType::Len => {
            let (len, remainder) = parse_varint(remainder);
            let len: usize = len.try_into().expect("len no es un `usize` valido");
            if remainder.len() < len {
                panic!("EOF inesperado");
            }
            let (value, remainder) = remainder.split_at(len);
            (FieldValue::Len(value), remainder)
        }
        WireType::I32 => {
            if remainder.len() < 4 {
                panic!("EOF inesperado");
            }
            let (value, remainder) = remainder.split_at(4);
            // Desenvuelve el error porque `value` tiene 4 bytes.
            let value = i32::from_le_bytes(value.try_into().unwrap());
            (FieldValue::I32(value), remainder)
        }
    };
    (Field { field_num, value: fieldvalue }, remainder)
}

/// Analiza un mensaje de los datos proporcionados, llamando a `T::add_field` para cada
/// del mensaje.
///
/// Se utilizan todos los datos introducidos.
fn parse_message<'a, T: ProtoMessage<'a>>(mut data: &'a [u8]) -> T {
    let mut result = T::default();
    while !data.is_empty() {
        let parsed = parse_field(data);
        result.add_field(parsed.0);
        data = parsed.1;
    }
    result
}

struct PhoneNumber<'a> {
    number: &'a str,
```

```
    type_: &'a str,
}

struct Person<'a> {
    name: &'a str,
    id: u64,
    phone: Vec<PhoneNumber<'a>>,
}

impl<'a> ProtoMessage<'a> for Person<'a> {
    fn add_field(&mut self, field: Field<'a>) {
        match field.field_num {
            1 => self.name = field.value.as_string(),
            2 => self.id = field.value.as_u64(),
            3 => self.phone.push(parse_message(field.value.as_bytes())),
            _ => {} // salta todos los demás pasos
        }
    }
}

impl<'a> ProtoMessage<'a> for PhoneNumber<'a> {
    fn add_field(&mut self, field: Field<'a>) {
        match field.field_num {
            1 => self.number = field.value.as_string(),
            2 => self.type_ = field.value.as_string(),
            _ => {} // salta todos los demás pasos
        }
    }
}

fn main() {
    let person: Person = parse_message(&[
        0x0a, 0x07, 0x6d, 0x61, 0x78, 0x77, 0x65, 0x6c, 0x6c, 0x10, 0x2a, 0x1a,
        0x16, 0x0a, 0x0e, 0x2b, 0x31, 0x32, 0x30, 0x32, 0x2d, 0x35, 0x35, 0x35,
        0x2d, 0x31, 0x32, 0x31, 0x32, 0x12, 0x04, 0x68, 0x6f, 0x6d, 0x65, 0x1a,
        0x18, 0x0a, 0x0e, 0x2b, 0x31, 0x38, 0x30, 0x30, 0x2d, 0x38, 0x36, 0x37,
        0x2d, 0x35, 0x33, 0x30, 0x38, 0x12, 0x06, 0x6d, 0x6f, 0x62, 0x69, 0x6c,
        0x65,
    ]);
    println!("{:#?}", person);
}
```

Parte VII

Día 4: Mañana

Capítulo 24

Bienvenido al Día 4

Hoy vamos a tratar algunos temas relacionados con la construcción de aplicaciones de grande escala en Rust:

- Iteradores: información detallada sobre el trait `Iterator`.
- Módulos y visibilidad.
- Probando.
- Gestión de errores: *panics* (pánicos), `Result` y el operador *try* `?`.
- Rust inseguro: una vía de escape en las situaciones en las que no puedes expresarte en Rust seguro.

Horario

Contando con los descansos de 10 minutos, la duración prevista de la sesión es de unas 2 horas y 40 minutos. Contiene:

Sección	Duración
Te damos la bienvenida	3 minutos
Iteradores	45 minutos
Módulos	40 minutos
Probando	45 minutos

Capítulo 25

Iteradores

Esta sección tiene una duración aproximada de 45 minutos. Contiene:

Diapositiva	Duración
Iterator	5 minutos
IntoIterator	5 minutos
FromIterator	5 minutos
Ejercicio: Encadenamiento de métodos del iterador	30 minutos

25.1 `Iterator`

El trait `Iterator` permite iterar valores en una colección. Requiere un método `next` y proporciona muchos otros métodos. Muchos tipos de bibliotecas estándar implementan `Iterator` y también está a nuestro alcance:

```
struct Fibonacci {
    curr: u32,
    next: u32,
}

impl Iterator for Fibonacci {
    type Item = u32;

    fn next(&mut self) -> Option<Self::Item> {
        let new_next = self.curr + self.next;
        self.curr = self.next;
        self.next = new_next;
        Some(self.curr)
    }
}

fn main() {
    let fib = Fibonacci { curr: 0, next: 1 };
    for (i, n) in fib.enumerate().take(5) {
```

```
        println!("fib({i}): {n}");
    }
}
```

- El trait `Iterator` implementa muchas operaciones comunes de programación funcional en colecciones (por ejemplo, `map`, `filter`, `reduce`, etc.). Este es el trait que te permite encontrar toda la documentación sobre ellas. En Rust, estas funciones deberían generar un código tan eficiente como las implementaciones imperativas equivalentes.
- `IntoIterator` es el trait que hace que los bucles funcionen. Se implementa a través de tipos de colecciones, como `Vec<T>`, y de referencias a ellas, como `&Vec<T>` y `&[T]`. Los rangos también lo implementan. Esta es la razón por la que se puede iterar sobre un vector con `for i in some_vec { .. }`, pero `some_vec.next()` no existe.

25.2 IntoIterator

El trait `Iterator` te indica cómo *iterar* una vez que has creado un iterador. El trait relacionado `IntoIterator` indica cómo crear un iterador para un tipo. Es usado automáticamente por los bucles `for`.

```
struct Grid {
    x_coords: Vec<u32>,
    y_coords: Vec<u32>,
}

impl IntoIterator for Grid {
    type Item = (u32, u32);
    type IntoIter = GridIter;
    fn into_iter(self) -> GridIter {
        GridIter { grid: self, i: 0, j: 0 }
    }
}

struct GridIter {
    grid: Grid,
    i: usize,
    j: usize,
}

impl Iterator for GridIter {
    type Item = (u32, u32);

    fn next(&mut self) -> Option<(u32, u32)> {
        if self.i >= self.grid.x_coords.len() {
            self.i = 0;
            self.j += 1;
            if self.j >= self.grid.y_coords.len() {
                return None;
            }
        }
        let res = Some((self.grid.x_coords[self.i], self.grid.y_coords[self.j]));
```

```
        self.i += 1;
        res
    }
}

fn main() {
    let grid = Grid { x_coords: vec![3, 5, 7, 9], y_coords: vec![10, 20, 30, 40] };
    for (x, y) in grid {
        println!("punto = {x}, {y}");
    }
}
```

Haz clic para leer la documentación para `IntoIterator`. Cada implementación de `IntoIterator` debe declarar dos tipos:

- `Item`: el tipo sobre el que iteramos, como `i8`,
- `IntoIter`: el tipo `Iterator` devuelto por el método `into_iter`.

Ten en cuenta que `IntoIter` y `Item` están vinculados: el iterador debe tener el mismo tipo de `Item`, lo que significa que devuelve `Option<Item>`.

En el ejemplo se itera sobre todas las combinaciones de las coordenadas x e y.

Prueba a iterar sobre la cuadrícula dos veces en `main`. ¿Por qué no funciona? Ten en cuenta que `IntoIterator::into_iter` tiene la propiedad de `self`.

Soluciona este problema implementando `IntoIterator` para `&Grid` y almacenando una referencia a `Grid` en `GridIter`.

Lo mismo puede ocurrir con los tipos de biblioteca estándar: `for e in some_vector` adquirirá la propiedad de `some_vector` e iterará sobre los elementos propios de ese vector. En su lugar, puedes utilizar `for e in &some_vector` para iterar sobre referencias a elementos de `some_vector`.

25.3 FromIterator

`FromIterator` permite construir una colección a partir de un `Iterator`.

```
fn main() {
    let primes = vec![2, 3, 5, 7];
    let prime_squares = primes.into_iter().map(|p| p * p).collect::<Vec<_>>();
    println!("prime_squares: {prime_squares:?}");
}
```

`Iterator` implementa

```
fn collect<B>(self) -> B
where
    B: FromIterator<Self::Item>,
    Self: Sized
```

Hay dos formas de especificar `B` en este método:

- Con ”turbofish”: `some_iterator.collect::<COLLECTION_TYPE>()`, tal como se muestra. La forma abreviada de `_` que se utiliza aquí permite que Rust infiera el tipo de los elementos `Vec`.

- Con inferencia de tipos: `let prime_squares: Vec<_> = some_iterator.collect()`. Reescribe el ejemplo para usar esta opción.

Existen implementaciones básicas de `FromIterator` para `Vec`, `HashMap`, etc. También existen implementaciones mas especializadas que te dejan hacer cosas padres como convertir un `Iterator<Item = Result<V, E>>` a un `Result<Vec<V>, E>`.

25.4 Ejercicio: Encadenamiento de métodos del iterador

En este ejercicio, necesitaras encontrar y usar métodos del trait `Iterator` para implementar una calculación compleja.

Copia el siguiente fragmento de código en la página https://play.rust-lang.org/ y haz que las pruebas sucedan sin error. Usa una expresión de iterador y `collect` para construir el valor devuelto.

```
/// Calcula las diferencias entre los elementos de `values` offset por offset,
/// envolviendo de esta forma los elementos desde el final de `values` hasta el princip
///
/// El elemento `n` del resultado es `values[(n+offset)%len] - values[n]`.
fn offset_differences<N>(offset: usize, values: Vec<N>) -> Vec<N>
where
    N: Copy + std::ops::Sub<Output = N>,
{
    unimplemented!()
}

fn test_offset_one() {
    assert_eq!(offset_differences(1, vec![1, 3, 5, 7]), vec![2, 2, 2, -6]);
    assert_eq!(offset_differences(1, vec![1, 3, 5]), vec![2, 2, -4]);
    assert_eq!(offset_differences(1, vec![1, 3]), vec![2, -2]);
}

fn test_larger_offsets() {
    assert_eq!(offset_differences(2, vec![1, 3, 5, 7]), vec![4, 4, -4, -4]);
    assert_eq!(offset_differences(3, vec![1, 3, 5, 7]), vec![6, -2, -2, -2]);
    assert_eq!(offset_differences(4, vec![1, 3, 5, 7]), vec![0, 0, 0, 0]);
    assert_eq!(offset_differences(5, vec![1, 3, 5, 7]), vec![2, 2, 2, -6]);
}

fn test_custom_type() {
    assert_eq!(
        offset_differences(1, vec![1.0, 11.0, 5.0, 0.0]),
        vec![10.0, -6.0, -5.0, 1.0]
    );
}

fn test_degenerate_cases() {
    assert_eq!(offset_differences(1, vec![0]), vec![0]);
    assert_eq!(offset_differences(1, vec![1]), vec![0]);
    let empty: Vec<i32> = vec![];
```

```
    assert_eq!(offset_differences(1, empty), vec![]);
}
```

25.4.1 Solución

```
/// Calcula las diferencias entre los elementos de `values` offset por offset,
/// envolviendo de esta forma los elementos desde el final de `values` hasta el princip
///
/// El elemento `n` del resultado es `values[(n+offset)%len] - values[n]`.
fn offset_differences<N>(offset: usize, values: Vec<N>) -> Vec<N>
where
    N: Copy + std::ops::Sub<Output = N>,
{
    let a = (&values).into_iter();
    let b = (&values).into_iter().cycle().skip(offset);
    a.zip(b).map(|(a, b)| *b - *a).collect()
}

fn test_offset_one() {
    assert_eq!(offset_differences(1, vec![1, 3, 5, 7]), vec![2, 2, 2, -6]);
    assert_eq!(offset_differences(1, vec![1, 3, 5]), vec![2, 2, -4]);
    assert_eq!(offset_differences(1, vec![1, 3]), vec![2, -2]);
}

fn test_larger_offsets() {
    assert_eq!(offset_differences(2, vec![1, 3, 5, 7]), vec![4, 4, -4, -4]);
    assert_eq!(offset_differences(3, vec![1, 3, 5, 7]), vec![6, -2, -2, -2]);
    assert_eq!(offset_differences(4, vec![1, 3, 5, 7]), vec![0, 0, 0, 0]);
    assert_eq!(offset_differences(5, vec![1, 3, 5, 7]), vec![2, 2, 2, -6]);
}

fn test_custom_type() {
    assert_eq!(
        offset_differences(1, vec![1.0, 11.0, 5.0, 0.0]),
        vec![10.0, -6.0, -5.0, 1.0]
    );
}

fn test_degenerate_cases() {
    assert_eq!(offset_differences(1, vec![0]), vec![0]);
    assert_eq!(offset_differences(1, vec![1]), vec![0]);
    let empty: Vec<i32> = vec![];
    assert_eq!(offset_differences(1, empty), vec![]);
}

fn main() {}
```

Capítulo 26

Módulos

Esta sección tiene una duración aproximada de 40 minutos y contiene:

Diapositiva	Duración
Módulos	3 minutos
Jerarquía del sistema de archivos	5 minutos
Visibilidad	5 minutos
use, super, self	10 minutos
Ejercicio: Módulos para una biblioteca GUI	15 minutos

26.1 Módulos

Hemos visto cómo los bloques `impl` nos permiten asignar espacios de nombres de funciones a un tipo.

Del mismo modo, `mod` nos permite asignar espacios de nombres a funciones y tipos:

```
mod foo {
    pub fn do_something() {
        println!("En el módulo foo");
    }
}

mod bar {
    pub fn do_something() {
        println!("En el módulo bar");
    }
}

fn main() {
    foo::do_something();
    bar::do_something();
}
```

- Los paquetes ofrecen funciones e incluyen un archivo `Cargo.toml` que describe cómo compilar un paquete de más de un crate.
- Los crates son un árbol de módulos, donde un crate binario crea un ejecutable y un crate de biblioteca compila una biblioteca.
- Los módulos definen la organización y el ámbito, y son el centro de esta sección.

26.2 Jerarquía del sistema de archivos

Omitir el contenido del módulo hará que Rust lo busque en otro archivo:

```
mod garden;
```

Esto indica que el contenido del módulo `garden` se encuentra en `src/garden.rs`. Del mismo modo, el módulo `garden::vegetables` se encuentra en `src/garden/vegetables.rs`.

La raíz de `crate` está en:

- `src/lib.rs` (para un crate de biblioteca)
- `src/main.rs` (para un crate binario)

Los módulos definidos en archivos también se pueden documentar mediante "comentarios internos del documento". En ellos se indica el elemento que los contiene, en este caso, un módulo.

```
//! Este módulo implementa el jardín, incluida una germinación de alto rendimiento.
//!

// Vuelve a exportar los tipos de este módulo.
pub use garden::Garden;
pub use seeds::SeedPacket;

/// Siembra los paquetes de semilla determinados.
pub fn sow(seeds: Vec<SeedPacket>) {
    todo!()
}

/// Cosecha el producto en el jardín que esté listo.
pub fn harvest(garden: &mut Garden) {
    todo!()
}
```

- Antes de Rust 2018, los módulos debían ubicarse en `module/mod.rs` en lugar de en `module.rs`. Esta alternativa sigue existiendo en las ediciones posteriores a 2018.
- El principal motivo de introducir `filename.rs` en lugar de `filename/mod.rs` se debe a que si muchos archivos llamados `mod.rs` puede ser difícil distinguirlos en IDEs.
- Un anidamiento más profundo puede usar carpetas, incluso si el módulo principal es un archivo:

```
src/
├── main.rs
├── top_module.rs
└── top_module/
    └── sub_module.rs
```

- El lugar donde Rust buscará los módulos se puede cambiar con una directiva del compilador:

  ```
  mod some_module;
  ```

  Esto resulta útil, por ejemplo, si deseas colocar pruebas de un módulo en un archivo denominado `some_module_test.rs`, similar a la convención en Go.

26.3 Visibilidad

Los módulos marcan el límite de la privacidad:

- Los elementos del módulo son privados de forma predeterminada (se ocultan los detalles de implementación).
- Los elementos superiores y los del mismo nivel siempre están visibles.
- Es decir, si un elemento está visible en el módulo `foo`, se verá en todos los elementos descendientes de `foo`.

```
mod outer {
    fn private() {
        println!("outer::private");
    }

    pub fn public() {
        println!("outer::public");
    }

    mod inner {
        fn private() {
            println!("outer::inner::private");
        }

        pub fn public() {
            println!("outer::inner::public");
            super::private();
        }
    }
}

fn main() {
    outer::public();
}
```

- Haz que los módulos sean públicos con la palabra clave pub.

Además, hay especificadores `pub(...)` avanzados para restringir el ámbito de la visibilidad pública.

- Consulta el libro Rust Reference.
- Configurar la visibilidad de `pub(crate)` es un patrón común.
- Aunque es menos frecuente, se puede dar visibilidad a una ruta específica.
- En cualquier caso, se debe dar visibilidad a un módulo antecedente (y a todos sus descendientes).

26.4 use, super, self

Un módulo puede incluir símbolos de otro módulo en el ámbito con `use`. Normalmente, se ve algo como esto en la parte superior de cada módulo:

```
use std::collections::HashSet;
use std::process::abort;
```

Rutas

Las rutas se resuelven de la siguiente manera:

1. Como ruta relativa:
    - `foo` o `self::foo` hacen referencia a `foo` en el módulo corriente,
    - `super::foo` hace referencia a `foo` en el módulo superior.
2. Como ruta absoluta:
    - `crate::foo` hace referencia a `foo` en la raíz del crate corriente,
    - `bar::foo` hace referencia a `foo` en el crate `bar`.

- Es habitual ”volver a exportar” los símbolos en una ruta más corta. Por ejemplo, el archivo `lib.rs` de nivel superior de un crate puede hacer que

  ```
  mod storage;

  pub use storage::disk::DiskStorage;
  pub use storage::network::NetworkStorage;
  ```

  haciendo que `DiskStorage` y `NetworkStorage` estén disponibles para otros crates con una ruta corta y práctica.
- La mayoría de las veces, únicamente deben ser `use` los elementos que aparecen en un módulo. Sin embargo, un trait debe encontrarse dentro del ámbito para llamar a cualquier método de ese trait, incluso aunque ya haya un tipo que implemente dicho trait dentro del ámbito. Por ejemplo, para usar el método `read_to_string` en un tipo que implemente el trait `Read`, debes usar std::io::Read‘.
- La instrucción `use` puede tener un comodín: `use std::io::*`. No se recomienda su uso porque no está claro qué elementos se importan y cuáles podrían cambiar con el tiempo.

26.5 Ejercicio: Módulos para una biblioteca GUI

En este ejercicio, vas a reorganizar una pequeña implementación de una biblioteca GUI. Esta biblioteca define un trait `Widget` y algunas implementaciones de dicho trait, así como una función `main`.

Es habitual colocar cada tipo o conjunto de tipos que estén estrechamente relacionados en su propio módulo, por lo que cada tipo de widget debe tener su propio módulo.

Configuración de Cargo

El playground de Rust solo admite un archivo, por lo que tendrás que crear un proyecto de Cargo en tu sistema de archivos local:

```
cargo init gui-modules
cd gui-modules
cargo run
```

Edita el archivo `src/main.rs` resultante para añadir instrucciones `mod` y añade archivos adicionales en el directorio `src`.

Fuente

A continuación, se muestra la implementación de la biblioteca GUI en un solo módulo:

```
pub trait Widget {
    /// Ancho natural de `self`.
    fn width(&self) -> usize;

    /// Coloca el widget en un búfer.
    fn draw_into(&self, buffer: &mut dyn std::fmt::Write);

    /// Coloca el widget en una salida estándar.
    fn draw(&self) {
        let mut buffer = String::new();
        self.draw_into(&mut buffer);
        println!("{buffer}");
    }
}

pub struct Label {
    label: String,
}

impl Label {
    fn new(label: &str) -> Label {
        Label { label: label.to_owned() }
    }
}

pub struct Button {
    label: Label,
}

impl Button {
    fn new(label: &str) -> Button {
        Button { label: Label::new(label) }
    }
}

pub struct Window {
```

```
    title: String,
    widgets: Vec<Box<dyn Widget>>,
}

impl Window {
    fn new(title: &str) -> Window {
        Window { title: title.to_owned(), widgets: Vec::new() }
    }

    fn add_widget(&mut self, widget: Box<dyn Widget>) {
        self.widgets.push(widget);
    }

    fn inner_width(&self) -> usize {
        std::cmp::max(
            self.title.chars().count(),
            self.widgets.iter().map(|w| w.width()).max().unwrap_or(0),
        )
    }
}

impl Widget for Window {
    fn width(&self) -> usize {
        // Añade 4 espacios de relleno para los bordes
        self.inner_width() + 4
    }

    fn draw_into(&self, buffer: &mut dyn std::fmt::Write) {
        let mut inner = String::new();
        for widget in &self.widgets {
            widget.draw_into(&mut inner);
        }

        let inner_width = self.inner_width();

        // TAREAS: Cambia draw_into para devolver Result<(), std::fmt::Error>. A continu
        // operator ? en lugar de .unwrap().
        writeln!(buffer, "+-{:-<inner_width$}-+", "").unwrap();
        writeln!(buffer, "| {:^inner_width$} |", &self.title).unwrap();
        writeln!(buffer, "+={:=<inner_width$}=+", "").unwrap();
        for line in inner.lines() {
            writeln!(buffer, "| {:inner_width$} |", line).unwrap();
        }
        writeln!(buffer, "+-{:-<inner_width$}-+", "").unwrap();
    }
}

impl Widget for Button {
    fn width(&self) -> usize {
        self.label.width() + 8 // añade un poco de espacio de relleno
    }
```

```
    fn draw_into(&self, buffer: &mut dyn std::fmt::Write) {
        let width = self.width();
        let mut label = String::new();
        self.label.draw_into(&mut label);

        writeln!(buffer, "+{:-<width$}+", "").unwrap();
        for line in label.lines() {
            writeln!(buffer, "|{:^width$}|", &line).unwrap();
        }
        writeln!(buffer, "+{:-<width$}+", "").unwrap();
    }
}

impl Widget for Label {
    fn width(&self) -> usize {
        self.label.lines().map(|line| line.chars().count()).max().unwrap_or(0)
    }

    fn draw_into(&self, buffer: &mut dyn std::fmt::Write) {
        writeln!(buffer, "{}", &self.label).unwrap();
    }
}

fn main() {
    let mut window = Window::new("Demo de la GUI de Rust 1.23");
    window.add_widget(Box::new(Label::new("Esta es una demo de la GUI con poco texto.")
    window.add_widget(Box::new(Button::new("Haz clic aquí")));
    window.draw();
}
```

Anima a los participantes a dividir el código de un modo que les parezca natural para que se familiaricen con las declaraciones mod, use y pub. Después, comenta qué tipo de organización es más idiomática.

26.5.1 Solución

```
src
├── main.rs
├── widgets
│   ├── button.rs
│   ├── label.rs
│   └── window.rs
└── widgets.rs
```

```
// ---- src/widgets.rs ----
mod button;
mod label;
mod window;

pub trait Widget {
```

```
    /// Ancho natural de `self`.
    fn width(&self) -> usize;

    /// Coloca el widget en un búfer.
    fn draw_into(&self, buffer: &mut dyn std::fmt::Write);

    /// Coloca el widget en una salida estándar.
    fn draw(&self) {
        let mut buffer = String::new();
        self.draw_into(&mut buffer);
        println!("{buffer}");
    }
}

pub use button::Button;
pub use label::Label;
pub use window::Window;
```

```
// ---- src/widgets/label.rs ----
use super::Widget;

pub struct Label {
    label: String,
}

impl Label {
    pub fn new(label: &str) -> Label {
        Label { label: label.to_owned() }
    }
}

impl Widget for Label {
    fn width(&self) -> usize {
        // ANCHOR_END: Label-width
        self.label.lines().map(|line| line.chars().count()).max().unwrap_or(0)
    }

    // ANCHOR: Label-draw_into
    fn draw_into(&self, buffer: &mut dyn std::fmt::Write) {
        // ANCHOR_END: Label-draw_into
        writeln!(buffer, "{}", &self.label).unwrap();
    }
}
```

```
// ---- src/widgets/button.rs ----
use super::{Label, Widget};

pub struct Button {
    label: Label,
}

impl Button {
```

```
    pub fn new(label: &str) -> Button {
        Button { label: Label::new(label) }
    }
}

impl Widget for Button {
    fn width(&self) -> usize {
        // ANCHOR_END: Button-width
        self.label.width() + 8 // añade un poco de espacio de relleno
    }

    // ANCHOR: Button-draw_into
    fn draw_into(&self, buffer: &mut dyn std::fmt::Write) {
        // ANCHOR_END: Button-draw_into
        let width = self.width();
        let mut label = String::new();
        self.label.draw_into(&mut label);

        writeln!(buffer, "+{:-<width$}+", "").unwrap();
        for line in label.lines() {
            writeln!(buffer, "|{:^width$}|", &line).unwrap();
        }
        writeln!(buffer, "+{:-<width$}+", "").unwrap();
    }
}

// ---- src/widgets/window.rs ----
use super::Widget;

pub struct Window {
    title: String,
    widgets: Vec<Box<dyn Widget>>,
}

impl Window {
    pub fn new(title: &str) -> Window {
        Window { title: title.to_owned(), widgets: Vec::new() }
    }

    pub fn add_widget(&mut self, widget: Box<dyn Widget>) {
        self.widgets.push(widget);
    }

    fn inner_width(&self) -> usize {
        std::cmp::max(
            self.title.chars().count(),
            self.widgets.iter().map(|w| w.width()).max().unwrap_or(0),
        )
    }
}
```

```
impl Widget for Window {
    fn width(&self) -> usize {
        // ANCHOR_END: window-width
        // Añade 4 espacios de relleno para los bordes
        self.inner_width() + 4
    }

    // ANCHOR: Window-draw_into
    fn draw_into(&self, buffer: &mut dyn std::fmt::Write) {
        // ANCHOR_END: Window-draw_into
        let mut inner = String::new();
        for widget in &self.widgets {
            widget.draw_into(&mut inner);
        }

        let inner_width = self.inner_width();

        // TAREA: después de saber cómo gestionar los errores, puedes cambiar
        // draw_into para devolver Result<(), std::fmt::Error>. A continuación, usa
        // el operator ? en lugar de .unwrap().
        writeln!(buffer, "+-{:-<inner_width$}-+", "").unwrap();
        writeln!(buffer, "| {:^inner_width$} |", &self.title).unwrap();
        writeln!(buffer, "+={:=<inner_width$}=+", "").unwrap();
        for line in inner.lines() {
            writeln!(buffer, "| {:inner_width$} |", line).unwrap();
        }
        writeln!(buffer, "+-{:-<inner_width$}-+", "").unwrap();
    }
}

// ---- src/main.rs ----
mod widgets;

use widgets::Widget;

fn main() {
    let mut window = widgets::Window::new("Demo de la GUI de Rust 1.23");
    window
        .add_widget(Box::new(widgets::Label::new("Esta es una demo de la GUI con poco te
    window.add_widget(Box::new(widgets::Button::new("Haz clic aquí")));
    window.draw();
}
```

Capítulo 27

Probando

Esta sección tiene una duración aproximada de 45 minutos. Contiene:

Diapositiva	Duración
Módulos de Pruebas	5 minutos
Otros tipos de pruebas	5 minutos
Lints de compiladores y Clippy	3 minutos
Ejercicio: Algoritmo de Luhn	30 minutos

27.1 Pruebas Unitarias

Rust y Cargo incluyen un sencillo framework para pruebas unitarias:

- Las pruebas unitarias se admiten en todo el código.
- Las pruebas de integración se admiten a través del directorio `tests/`.

Las pruebas se marcan con `#[test]`. Las pruebas unitarias se suelen incluir en un módulo `tests` anidado en el que se utiliza `#[cfg(test)]` para compilarlas únicamente cuando se compilan las pruebas.

```
fn first_word(text: &str) -> &str {
    match text.find(' ') {
        Some(idx) => &text[..idx],
        None => &text,
    }
}

mod tests {
    use super::*;

    fn test_empty() {
        assert_eq!(first_word(""), "");
    }
```

```
    fn test_single_word() {
        assert_eq!(first_word("Hola"), "Hola");
    }

    fn test_multiple_words() {
        assert_eq!(first_word("Hola, mundo"), "Hola");
    }
}
```

- Esto permite realizar pruebas unitarias de los ayudantes privados.
- El atributo `#[cfg(test)]` solo está activo cuando se ejecuta `cargo test`.

Haz las pruebas en el playground para ver los resultados.

27.2 Otros tipos de pruebas

Pruebas de Integración

Si quieres probar tu biblioteca como cliente, haz una prueba de integración.

Crea un archivo `.rs` en `tests/`:

```
// tests/my_library.rs
use my_library::init;

fn test_init() {
    assert!(init().is_ok());
}
```

Estas pruebas solo tienen acceso a la API pública de tu crate.

Pruebas de Documentación

Rust cuenta con asistencia integrada para pruebas de documentación:

```
/// Acorta una cadena según la longitud proporcionada.
///
/// ```
/// # use playground::shorten_string;
/// assert_eq!(shorten_string("Hola, mundo", 5), "Hola");
/// assert_eq!(shorten_string("Hola, mundo", 20), "Hola, mundo");
/// ```
pub fn shorten_string(s: &str, length: usize) -> &str {
    &s[..std::cmp::min(length, s.len())]
}
```

- Los bloques de código en los comentarios `///` se ven automáticamente como código de Rust.
- El código se compilará y ejecutará como parte de `cargo test`.
- Si añades # al código, se ocultará de los documentos, pero se seguirá compilando o ejecutando.
- Prueba el código anterior en el playground de Rust.

27.3 Lints de compiladores y Clippy

El compilador de Rust crea mensajes de error muy buenos, así como lints integrados útiles. Clippy ofrece aún más lints, organizados en grupos que se pueden habilitar por proyecto.

```
fn main() {
    let x = 3;
    while (x < 70000) {
        x *= 2;
    }
    println!("Es probable que X encaje en una u16, ¿no? {}", x as u16);
}
```

Ejecuta el código de ejemplo y analiza el mensaje de error. También se ven lints, pero no se mostrarán una vez que se compile el código. Ve al playground para ver los lints.

Después de resolver los lints, ejecuta `clippy` en el playground para mostrar advertencias de Clippy. Clippy cuenta con una amplia documentación sobre sus lints y añade otros nuevos continuamente (incluidos los de denegación de forma predeterminada).

Ten en cuenta que los errores o las advertencias con `help: ...` se pueden corregir con `cargo fix` o con el editor que uses.

27.4 Ejercicio: Algoritmo de Luhn

Algoritmo de Luhn

El algoritmo de Luhn se usa para validar números de tarjetas de crédito. El algoritmo toma una cadena como entrada y hace lo siguiente para validar el número de la tarjeta de crédito:

- Ignora todos los espacios. Rechaza los números con menos de dos dígitos.
- De derecha a izquierda, duplica cada dos cifras: en el caso del número 1234, se duplica el 3 y el 1. En el caso del número 98765, se duplica el 6 y el 8.
- Después de duplicar un dígito, se suman los dígitos si el resultado es mayor a 9. Por tanto, si duplicas 7, pasará a ser 14, lo cual pasará a ser `1 +4 = 5`.
- Suma todos los dígitos, no duplicados y duplicados.
- El número de la tarjeta de crédito es válido si la suma termina en `0`.

El código proporcionado ofrece una implementación errónea del algoritmo de Luhn, junto con dos pruebas unitarias básicas que confirman que la mayor parte del algoritmo se ha implementado correctamente.

Copia el fragmento de código que aparece más abajo en la página a https://play.rust-lang.org/ y escribe pruebas adicionales para descubrir y arreglar errores en la implementación proveída.

```
pub fn luhn(cc_number: &str) -> bool {
    let mut sum = 0;
    let mut double = false;

    for c in cc_number.chars().rev() {
        if let Some(digit) = c.to_digit(10) {
```

```
            if double {
                let double_digit = digit * 2;
                sum +=
                    if double_digit > 9 { double_digit - 9 } else { double_digit };
            } else {
                sum += digit;
            }
            double = !double;
        } else {
            continue;
        }
    }

    sum % 10 == 0
}

mod test {
    use super::*;

    fn test_valid_cc_number() {
        assert!(luhn("4263 9826 4026 9299"));
        assert!(luhn("4539 3195 0343 6467"));
        assert!(luhn("7992 7398 713"));
    }

    fn test_invalid_cc_number() {
        assert!(!luhn("4223 9826 4026 9299"));
        assert!(!luhn("4539 3195 0343 6476"));
        assert!(!luhn("8273 1232 7352 0569"));
    }
}
```

27.4.1 Solución

```
// Esta es la versión con errores que aparece en el problema.
pub fn luhn(cc_number: &str) -> bool {
    let mut sum = 0;
    let mut double = false;

    for c in cc_number.chars().rev() {
        if let Some(digit) = c.to_digit(10) {
            if double {
                let double_digit = digit * 2;
                sum +=
                    if double_digit > 9 { double_digit - 9 } else { double_digit };
            } else {
                sum += digit;
            }
            double = !double;
        } else {
            continue;
```

```
        }
    }

    sum % 10 == 0
}

// Esta es la solución, que pasará todas las siguientes pruebas.
pub fn luhn(cc_number: &str) -> bool {
    let mut sum = 0;
    let mut double = false;
    let mut digits = 0;

    for c in cc_number.chars().rev() {
        if let Some(digit) = c.to_digit(10) {
            digits += 1;
            if double {
                let double_digit = digit * 2;
                sum +=
                    if double_digit > 9 { double_digit - 9 } else { double_digit };
            } else {
                sum += digit;
            }
            double = !double;
        } else if c.is_whitespace() {
            continue;
        } else {
            return false;
        }
    }

    digits >= 2 && sum % 10 == 0
}

fn main() {
    let cc_number = "1234 5678 1234 5670";
    println!(
        "¿Es {cc_number} un número de tarjeta de crédito válido? {}",
        if luhn(cc_number) { "sí" } else { "no" }
    );
}

mod test {
    use super::*;

    fn test_valid_cc_number() {
        assert!(luhn("4263 9826 4026 9299"));
        assert!(luhn("4539 3195 0343 6467"));
        assert!(luhn("7992 7398 713"));
    }

    fn test_invalid_cc_number() {
```

```
        assert!(!luhn("4223 9826 4026 9299"));
        assert!(!luhn("4539 3195 0343 6476"));
        assert!(!luhn("8273 1232 7352 0569"));
    }

    fn test_non_digit_cc_number() {
        assert!(!luhn("foo"));
        assert!(!luhn("foo 0 0"));
    }

    fn test_empty_cc_number() {
        assert!(!luhn(""));
        assert!(!luhn(" "));
        assert!(!luhn("  "));
        assert!(!luhn("    "));
    }

    fn test_single_digit_cc_number() {
        assert!(!luhn("0"));
    }

    fn test_two_digit_cc_number() {
        assert!(luhn(" 0 0 "));
    }
}
```

Parte VIII

Día 4: Tarde

Capítulo 28

Te damos la bienvenida

Contando con los descansos de 10 minutos, la duración prevista de la sesión es de unas 2 horas y 15 minutos. Contiene:

Sección	Duración
Manejo de Errores	1 hora
Unsafe Rust	1 hora y 5 minutos

Capítulo 29

Manejo de Errores

Esta sección tiene una duración aproximada de 1 hora. Contiene:

Diapositiva	Duración
Pánicos	3 minutos
Result	5 minutos
Operador Try (Intentar)	5 minutos
Conversiones Try (Intentar)	5 minutos
Trait Error	5 minutos
thiserror y anyhow	5 minutos
Ejercicio: Reescribir con Result	30 minutos

29.1 Pánicos

Rust gestiona los errores críticos con un ”pánico”.

Rust activará un *panic* si se produce un error grave en *runtime*:

```
fn main() {
    let v = vec![10, 20, 30];
    println!("v[100]: {}", v[100]);
}
```

- Los *panics* se usan para errores irrecuperables e inesperados.
  - Los *panics* son un síntoma de que hay fallos en el programa.
  - Los fallos del tiempo de ejecución, como las comprobaciones de límites fallidas, pueden causar un pánico
  - Las aserciones (como `assert!`) causan un pánico cuando fallan
  - Los pánicos con fines específicos pueden usar la macro `panic!`.
- Cuando se produce un pánico, se ”desenrolla” la pila y se eliminan los valores como si las funciones hubieran devuelto un resultado.
- Utiliza API que no activen *panics* (como `Vec::get`) si no se admiten fallos.

De forma predeterminada, el *panic* hará que la *stack* se desenrolle. El proceso de desenrrollado se puede detectar:

```
use std::panic;

fn main() {
    let result = panic::catch_unwind(|| "No hay ningún problema.");
    println!("{result:?}");

    let result = panic::catch_unwind(|| {
        panic!("¡Vaya!");
    });
    println!("{result:?}");
}
```

- El catching no es habitual, por lo que recomendamos no implementar excepciones con `catch_unwind`!
- Esto puede ser útil en los servidores que deben seguir ejecutándose aunque una sola solicitud falle.
- No funciona si `panic = 'abort'` está definido en `Cargo.toml`.

29.2 `Result`

El mecanismo primario para el manejo de errores en Rust es el enum `Result`, que vimos brevemente al discutir los tipos de la biblioteca estándar.

```
use std::fs::File;
use std::io::Read;

fn main() {
    let file: Result<File, std::io::Error> = File::open("diary.txt");
    match file {
        Ok(mut file) => {
            let mut contents = String::new();
            if let Ok(bytes) = file.read_to_string(&mut contents) {
                println!("Querido diario: {contents} ({bytes} bytes)");
            } else {
                println!("No se ha podido leer el contenido del archivo");
            }
        }
        Err(err) => {
            println!("No se ha podido abrir el diario: {err}");
        }
    }
}
```

- `Result` tiene dos variantes: `Ok`, que contiene el valor de éxito; y `Err`, que contiene un valor de error de algún tipo.
- La signatura de tipo de una función indica si puede producir un error, en este caso devolverá un valor `Result`.
- Como con `Option`, no hay manera de olvidarse de manejar un error: no puedes acceder el valor de éxito o el valor de error sin hacer coincidencia de patrones sobre el `Result` para ver que variante tienes. Métodos como `unwrap` hacen que sea mas fácil escribir

código rápido-y-sucio que no maneja errores de una forma robusta, pero esto significa que siempre puedes ver en tu código donde no estas manejando errores de la manera propia.

Más información

Podria ayudar comparar el manejo de errores en Rust con las convenciones de manejo de errores de otros lenguajes que conocen los estudiantes.

Excepciones

- Muchos lenguajes usan excepciones, e.g. C++, Java, Python.
- En la mayoria
- Exceptions generally unwind the call stack, propagating upward until a `try` block is reached. An error originating deep in the call stack may impact an unrelated function further up.

Error Numbers

- Some languages have functions return an error number (or some other error value) separately from the successful return value of the function. Examples include C and Go.
- Depending on the language it may be possible to forget to check the error value, in which case you may be accessing an uninitialized or otherwise invalid success value.

29.3 Operador Try (Intentar)

Los errores de tiempo de ejecución, como los de fallo en la conexión o de archivo no encontrado, se gestionan con el tipo `Result`, pero hacer coincidir este tipo en todas las llamadas puede ser complicado. El operador try ? se utiliza para devolver errores al llamador. Te permite convertir lo habitual

```
match some_expression {
    Ok(value) => value,
    Err(err) => return Err(err),
}
```

en algo mucho más sencillo:

```
some_expression?
```

Podemos utilizarlo para simplificar el código de gestión de errores:

```
use std::io::Read;
use std::{fs, io};

fn read_username(path: &str) -> Result<String, io::Error> {
    let username_file_result = fs::File::open(path);
    let mut username_file = match username_file_result {
        Ok(file) => file,
```

```
        Err(err) => return Err(err),
    };

    let mut username = String::new();
    match username_file.read_to_string(&mut username) {
        Ok(_) => Ok(username),
        Err(err) => Err(err),
    }
}

fn main() {
    //fs::write("config.dat", "alice").unwrap();
    let username = read_username("config.dat");
    println!("nombre de usuario o error: {username:?}");
}
```

Simplifica la función `read_username` para usar `?`.

Puntos clave:

- La variable `username` puede ser `Ok(string)` o `Err(error)`.
- Utiliza la llamada a `fs::write` para probar las distintas situaciones: sin archivo, archivo vacío o archivo con nombre de usuario.
- Note that `main` can return a `Result<(), E>` as long as it implements `std::process::Termination`. In practice, this means that `E` implements `Debug`. The executable will print the `Err` variant and return a nonzero exit status on error.

29.4 Conversiones Try (Intentar)

La expansión efectiva de ? es un poco más complicada de lo que se ha indicado anteriormente:

`expression?`

funciona igual que

```
match expression {
    Ok(value) => value,
    Err(err)  => return Err(From::from(err)),
}
```

The `From::from` call here means we attempt to convert the error type to the type returned by the function. This makes it easy to encapsulate errors into higher-level errors.

Ejemplo

```
use std::error::Error;
use std::fmt::{self, Display, Formatter};
use std::fs::File;
use std::io::{self, Read};

enum ReadUsernameError {
    IoError(io::Error),
    EmptyUsername(String),
```

```
}

impl Error for ReadUsernameError {}

impl Display for ReadUsernameError {
    fn fmt(&self, f: &mut Formatter) -> fmt::Result {
        match self {
            Self::IoError(e) => write!(f, "Error IO: {e}"),
            Self::EmptyUsername(path) => write!(f, "No se ha encontrado ningún nombre de
        }
    }
}

impl From<io::Error> for ReadUsernameError {
    fn from(err: io::Error) -> Self {
        Self::IoError(err)
    }
}

fn read_username(path: &str) -> Result<String, ReadUsernameError> {
    let mut username = String::with_capacity(100);
    File::open(path)?.read_to_string(&mut username)?;
    if username.is_empty() {
        return Err(ReadUsernameError::EmptyUsername(String::from(path)));
    }
    Ok(username)
}

fn main() {
    //std::fs::write("config.dat", "").unwrap();
    let username = read_username("config.dat");
    println!("nombre de usuario o error: {username:?}");
}
```

El operador `?` debe devolver un valor compatible con el tipo de resultado devuelto de la función. En `Result`, significa que los tipos de error deben ser compatibles. Una función que devuelve `Result<T, ErrorOuter>` solo puede usar `?` en un valor del tipo `Result<U, ErrorInner>` si `ErrorOuter` y `ErrorInner` son del mismo tipo o si `ErrorOuter` implementa `. From<ErrorInner>`.

Una alternativa habitual a la implementación `From` es `Result::map_err`, sobre todo si la conversión solo se produce en un lugar.

No hay ningún requisito de compatibilidad para `Option`. Una función que devuelve `Option<T>` puede usar el operador `?` en `Option<U>` para tipos arbitrarios de `T` y `U`.

Una función que devuelve `Result` no puede usar `?` en `Option` y viceversa. Sin embargo, `Option::ok_or` convierte `Option` en `Result`, mientras que `Result::ok` convierte `Result` en `Option`.

29.5 Tipos de Errores Dinámicos

Sometimes we want to allow any type of error to be returned without writing our own enum covering all the different possibilities. The `std::error::Error` trait makes it easy to create a trait object that can contain any error.

```
use std::error::Error;
use std::fs;
use std::io::Read;

fn read_count(path: &str) -> Result<i32, Box<dyn Error>> {
    let mut count_str = String::new();
    fs::File::open(path)?.read_to_string(&mut count_str)?;
    let count: i32 = count_str.parse()?;
    Ok(count)
}

fn main() {
    fs::write("count.dat", "1i3").unwrap();
    match read_count("count.dat") {
        Ok(count) => println!("Recuento: {count}"),
        Err(err) => println!("Error: {err}"),
    }
}
```

La función `read_count` puede devolver `std::io::Error` (de las operaciones de archivos) o `std::num::ParseIntError` (de `String::parse`).

Boxing errors saves on code, but gives up the ability to cleanly handle different error cases differently in the program. As such it's generally not a good idea to use `Box<dyn Error>` in the public API of a library, but it can be a good option in a program where you just want to display the error message somewhere.

Asegúrate de implementar el trait `std::error::Error` al definir un tipo de error personalizado para que pueda tener una estructura box. Sin embargo, si necesitas el atributo `no_std`, ten en cuenta que el trait `std::error::Error` de momento solo es compatible con `no_std` en nightly.

29.6 `thiserror` y `anyhow`

The `thiserror` and `anyhow` crates are widely used to simplify error handling.

- `thiserror` se suele usar en bibliotecas para crear tipos de errores personalizados que implementan `From<T>`.
- Las aplicaciones suelen utilizar `anyhow` para gestionar errores en funciones, como añadir información contextual a los errores.

```
use anyhow::{bail, Context, Result};
use std::fs;
use std::io::Read;
use thiserror::Error;

struct EmptyUsernameError(String);
```

```rust
fn read_username(path: &str) -> Result<String> {
    let mut username = String::with_capacity(100);
    fs::File::open(path)
        .with_context(|| format!("No se ha podido abrir {path}"))?
        .read_to_string(&mut username)
        .context("No se ha podido leer")?;
    if username.is_empty() {
        bail!(EmptyUsernameError(path.to_string()));
    }
    Ok(username)
}

fn main() {
    //fs::write("config.dat", "").unwrap();
    match read_username("config.dat") {
        Ok(username) => println!("Nombre de usuario: {username}"),
        Err(err) => println!("Error: {err:?}"),
    }
}
```

`thiserror`

- La macro de derivación `Error` la proporciona `thiserror` y ofrece muchos atributos útiles para definir los tipos de error de forma compacta.
- El trait `std::error::Error` se deriva automáticamente.
- El mensaje de `#[error]` se usa para derivar el trait `Display`.

`anyhow`

- `anyhow::Error` es básicamente un envoltorio alrededor de `Box<dyn Error>`. Como tal, no suele ser una buena elección para la API pública de una biblioteca, pero se usa con frecuencia en aplicaciones.
- `anyhow::Result<V>` es un alias de tipo para `Result<V, anyhow::Error>`.
- El tipo de error real que contiene se puede extraer para analizarlo si es necesario.
- La funcionalidad proporcionada por `anyhow::Result<T>` puede resultar familiar a los desarrolladores de Go, ya que ofrece patrones de uso y ergonomía similares a `(T, error)` de Go.
- `anyhow::Context` es un trait implementado para los tipos estándar `Result` y `Option`. Se necesita `use anyhow::Context` para habilitar `.context()` y `.with_context()` en esos tipos.

29.7 Ejercicio: Reescribir con Result

A continuación, se implementa un analizador muy sencillo para un lenguaje de expresiones. Sin embargo, para gestionar los errores, utiliza pánicos. Reescribe este texto para utilizar la gestión de errores idiomática y propagar los errores a un instrucción de retorno desde `main`. No dudes en usar `thiserror` y anyhow.

CONSEJO: empieza por corregir la gestión de errores en la función `parse`. Cuando funcione correctamente, actualiza `Tokenizer` para implementar `Iterator<Item=Result<Token, TokenizerError>>` y gestiónalo en el analizador.

```
use std::iter::Peekable;
use std::str::Chars;

/// Un operador aritmético.
enum Op {
    Add,
    Sub,
}

/// Un token en el lenguaje expresión.
enum Token {
    Number(String),
    Identifier(String),
    Operator(Op),
}

/// Una expresión en el lenguaje de la expresión.
enum Expression {
    /// Una referencia a una variable.
    Var(String),
    /// Un número literal.
    Number(u32),
    /// Una operación binaria.
    Operation(Box<Expression>, Op, Box<Expression>),
}

fn tokenize(input: &str) -> Tokenizer {
    return Tokenizer(input.chars().peekable());
}

struct Tokenizer<'a>(Peekable<Chars<'a>>);

impl<'a> Tokenizer<'a> {
    fn collect_number(&mut self, first_char: char) -> Token {
        let mut num = String::from(first_char);
        while let Some(&c @ '0'..='9') = self.0.peek() {
            num.push(c);
            self.0.next();
        }
        Token::Number(num)
    }

    fn collect_identifier(&mut self, first_char: char) -> Token {
        let mut ident = String::from(first_char);
        while let Some(&c @ ('a'..='z' | '_' | '0'..='9')) = self.0.peek() {
            ident.push(c);
            self.0.next();
```

```
        }
        Token::Identifier(ident)
    }
}

impl<'a> Iterator for Tokenizer<'a> {
    type Item = Token;

    fn next(&mut self) -> Option<Token> {
        let c = self.0.next()?;
        match c {
            '0'..='9' => Some(self.collect_number(c)),
            'a'..='z' => Some(self.collect_identifier(c)),
            '+' => Some(Token::Operator(Op::Add)),
            '-' => Some(Token::Operator(Op::Sub)),
            _ => panic!("Carácter inesperado {c}"),
        }
    }
}

fn parse(input: &str) -> Expression {
    let mut tokens = tokenize(input);

    fn parse_expr<'a>(tokens: &mut Tokenizer<'a>) -> Expression {
        let Some(tok) = tokens.next() else {
            panic!("Fin de entrada inesperado");
        };
        let expr = match tok {
            Token::Number(num) => {
                let v = num.parse().expect("Número entero de 32 bits no válido'");
                Expression::Number(v)
            }
            Token::Identifier(ident) => Expression::Var(ident),
            Token::Operator(_) => panic!("Token inesperado: {tok:?}"),
        };
        // Analiza la operación binaria, si procede.
        match tokens.next() {
            None => expr,
            Some(Token::Operator(op)) => Expression::Operation(
                Box::new(expr),
                op,
                Box::new(parse_expr(tokens)),
            ),
            Some(tok) => panic!("Token inesperado: {tok:?}"),
        }
    }

    parse_expr(&mut tokens)
}

fn main() {
```

```
    let expr = parse("10+foo+20-30");
    println!("{expr:?}");
}
```

29.7.1 Solución

```
use thiserror::Error;
use std::iter::Peekable;
use std::str::Chars;

/// Un operador aritmético.
enum Op {
    Add,
    Sub,
}

/// Un token en el lenguaje expresión.
enum Token {
    Number(String),
    Identifier(String),
    Operator(Op),
}

/// Una expresión en el lenguaje de la expresión.
enum Expression {
    /// Una referencia a una variable.
    Var(String),
    /// Un número literal.
    Number(u32),
    /// Una operación binaria.
    Operation(Box<Expression>, Op, Box<Expression>),
}

fn tokenize(input: &str) -> Tokenizer {
    return Tokenizer(input.chars().peekable());
}

enum TokenizerError {
    UnexpectedCharacter(char),
}

struct Tokenizer<'a>(Peekable<Chars<'a>>);

impl<'a> Tokenizer<'a> {
    fn collect_number(&mut self, first_char: char) -> Token {
        let mut num = String::from(first_char);
        while let Some(&c @ '0'..='9') = self.0.peek() {
            num.push(c);
            self.0.next();
        }
        Token::Number(num)
```

```
    }

    fn collect_identifier(&mut self, first_char: char) -> Token {
        let mut ident = String::from(first_char);
        while let Some(&c @ ('a'..='z' | '_' | '0'..='9')) = self.0.peek() {
            ident.push(c);
            self.0.next();
        }
        Token::Identifier(ident)
    }
}

impl<'a> Iterator for Tokenizer<'a> {
    type Item = Result<Token, TokenizerError>;

    fn next(&mut self) -> Option<Result<Token, TokenizerError>> {
        let c = self.0.next()?;
        match c {
            '0'..='9' => Some(Ok(self.collect_number(c))),
            'a'..='z' | '_' => Some(Ok(self.collect_identifier(c))),
            '+' => Some(Ok(Token::Operator(Op::Add))),
            '-' => Some(Ok(Token::Operator(Op::Sub))),
            _ => Some(Err(TokenizerError::UnexpectedCharacter(c))),
        }
    }
}

enum ParserError {
    TokenizerError(#[from] TokenizerError),
    UnexpectedEOF,
    UnexpectedToken(Token),
    InvalidNumber(#[from] std::num::ParseIntError),
}

fn parse(input: &str) -> Result<Expression, ParserError> {
    let mut tokens = tokenize(input);

    fn parse_expr<'a>(
        tokens: &mut Tokenizer<'a>,
    ) -> Result<Expression, ParserError> {
        let tok = tokens.next().ok_or(ParserError::UnexpectedEOF)??;
        let expr = match tok {
            Token::Number(num) => {
                let v = num.parse()?;
                Expression::Number(v)
            }
            Token::Identifier(ident) => Expression::Var(ident),
            Token::Operator(_) => return Err(ParserError::UnexpectedToken(tok)),
        };
        // Analiza la operación binaria, si procede.
        Ok(match tokens.next() {
```

```
            None => expr,
            Some(Ok(Token::Operator(op))) => Expression::Operation(
                Box::new(expr),
                op,
                Box::new(parse_expr(tokens)?),
            ),
            Some(Err(e)) => return Err(e.into()),
            Some(Ok(tok)) => return Err(ParserError::UnexpectedToken(tok)),
        })
    }

    parse_expr(&mut tokens)
}

fn main() -> anyhow::Result<()> {
    let expr = parse("10+foo+20-30")?;
    println!("{expr:?}");
    Ok(())
}
```

Capítulo 30

Unsafe Rust

This segment should take about 1 hour and 5 minutes. It contains:

Diapositiva	Duración
Unsafe	5 minutos
Dereferenciación de Punteros Sin Formato	10 minutos
Variables Estáticas Mutables	5 minutos
Uniones	5 minutos
Funciones Inseguras (Unsafe)	5 minutos
Implementación de Traits Unsafe (Inseguras)	5 minutos
Ejercicio: Envoltorio de FFI	30 minutos

30.1 Unsafe Rust

El lenguaje Rust tiene dos partes:

- ***Safe* Rust:** memoria segura, sin posibilidad de comportamiento indefinido.
- ***Unsafe* Rust:** puede activar un comportamiento no definido si se infringen las condiciones previas.

We saw mostly safe Rust in this course, but it's important to know what Unsafe Rust is.

Por lo general, el código inseguro es pequeño y está aislado, y su corrección debe estar bien documentada. Suele estar envuelto en una capa de abstracción segura.

Rust inseguro te permite acceder a cinco nuevas funciones:

- Desreferenciar punteros sin formato.
- Acceder o modificar variables estáticas mutables.
- Acceder a los campos `union`.
- Llamar a funciones `unsafe`, incluidas las funciones `extern`.
- Implementar traits `unsafe`.

A continuación, hablaremos brevemente sobre las funciones que no son seguras. Para obtener más información, consulta el capítulo 19.1 del Libro de Rust y el documento Rustonomicon.

Unsafe Rust does not mean the code is incorrect. It means that developers have turned off some compiler safety features and have to write correct code by themselves. It means the compiler no longer enforces Rust's memory-safety rules.

30.2 Dereferenciación de Punteros Sin Formato

La creación de punteros es un proceso seguro, pero para anular las referencias, es necesario utilizar `unsafe`:

```
fn main() {
    let mut s = String::from("¡cuidado!");

    let r1 = &mut s as *mut String;
    let r2 = r1 as *const String;

    // SAFETY: r1 and r2 were obtained from references and so are guaranteed to
    // be non-null and properly aligned, the objects underlying the references
    // from which they were obtained are live throughout the whole unsafe
    // block, and they are not accessed either through the references or
    // concurrently through any other pointers.
    unsafe {
        println!("r1 es: {}", *r1);
        *r1 = String::from("oh, oh");
        println!("r2 es: {}", *r2);
    }

    // NO ES SEGURO. NO HAGAS ESTO.
    /*
    let r3: &String = unsafe { &*r1 };
    drop(s);
    println!("r3 is: {}", *r3);
    */
}
```

Se recomienda (y es obligatorio en la guía de estilo Rust de Android) escribir un comentario para cada bloque `unsafe` explicando cómo el código que contiene cumple los requisitos de seguridad de las operaciones inseguras que realiza.

En el caso de la desreferenciación de punteros, significa que los punteros deben ser *válidos*, por ejemplo:

- El puntero no puede ser nulo.
- El puntero debe ser *desreferenciable* (dentro de los límites de un único objeto asignado).
- El objeto no debe haberse desasignado.
- No debe haber accesos simultáneos a la misma ubicación.
- Si el puntero se ha obtenido enviando una referencia, el objeto subyacente debe estar activo y no puede utilizarse ninguna referencia para acceder a la memoria.

En la mayoría de los casos, el puntero también debe estar alineado adecuadamente.

En la sección ”INSEGURO” se muestra un ejemplo de un tipo común de error comportamiento indefinido: `*r1` tiene el tiempo de vida `'static`, por lo que `r3` tiene el tipo `&'static String`

y, por lo tanto, su duración es mayor que la de `s`. Para crear una referencia a partir de un puntero hay que tener *mucho cuidado*.

30.3 Variables Estáticas Mutables

Es seguro leer una variable estática inmutable:

```
static HELLO_WORLD: &str = "¡Hola, mundo!";

fn main() {
    println!("HELLO_WORLD: {HELLO_WORLD}");
}
```

Sin embargo, dado que pueden producirse carreras de datos, no es seguro leer y escribir variables estáticas mutables:

```
static mut COUNTER: u32 = 0;

fn add_to_counter(inc: u32) {
    // SAFETY: There are no other threads which could be accessing `COUNTER`.
    unsafe {
        COUNTER += inc;
    }
}

fn main() {
    add_to_counter(42);

    // SAFETY: There are no other threads which could be accessing `COUNTER`.
    unsafe {
        println!("CONTADOR: {COUNTER}");
    }
}
```

- Este programa es seguro porque tiene un único hilo. Sin embargo, el compilador de Rust es conservador y asumirá lo peor. Prueba a eliminar `unsafe` y observa cómo el compilador explica que cambiar un elemento estático desde varios hilos es un comportamiento indefinido.
- No suele ser buena idea usar una variable estática mutable, pero en algunos casos puede encajar en código `no_std` de bajo nivel, como implementar una asignación de *heap* o trabajar con algunas APIs C.

30.4 Uniones

Las uniones son como *enums* (enumeraciones), pero eres tú quien debe hacer el seguimiento del campo activo:

```
union MyUnion {
    i: u8,
    b: bool,
}
```

```rust
fn main() {
    let u = MyUnion { i: 42 };
    println!("int: {}", unsafe { u.i });
    println!("bool: {}", unsafe { u.b }); // ¡Comportamiento indefinido!
}
```

Las uniones raramente son necesarias en Rust, ya que se suele utilizar una *enum*. A veces se necesitan para interactuar con APIs de biblioteca C.

Si solo quieres reinterpretar los bytes como otro tipo, probablemente te interese `std::mem::transmute` o una envoltura segura, como el crate `zerocopy`.

30.5 Funciones Inseguras (Unsafe)

Llamar Funciones Unsafe (Inseguras)

Una función o método se puede marcar como `unsafe` si tiene condiciones previas adicionales que debes mantener para evitar un comportamiento indefinido:

```rust
extern "C" {
    fn abs(input: i32) -> i32;
}

fn main() {
    let emojis = "🗻∈🌏";

    // SAFETY: The indices are in the correct order, within the bounds of the
    // string slice, and lie on UTF-8 sequence boundaries.
    unsafe {
        println!("emoji: {}", emojis.get_unchecked(0..4));
        println!("emoji: {}", emojis.get_unchecked(4..7));
        println!("emoji: {}", emojis.get_unchecked(7..11));
    }

    println!("recuento de caracteres: {}", count_chars(unsafe { emojis.get_unchecked(0..

    // SAFETY: `abs` doesn't deal with pointers and doesn't have any safety
    // requirements.
    unsafe {
        println!("Valor absoluto de -3 según C: {}", abs(-3));
    }

    // Si no se mantiene el requisito de codificación UTF-8, se verá afectada la seguri
    // println!("emoji: {}", no seguro { emojis.get_unchecked(0..3) });
    // println!("recuento de caracteres: {}", count_chars(no seguro {
    // emojis.get_unchecked(0..3) }));
}

fn count_chars(s: &str) -> usize {
    s.chars().count()
}
```

Escribir Funciones Unsafe (Inseguras)

Puedes marcar tus propias funciones como `unsafe` si requieren condiciones concretas para evitar un comportamiento indefinido.

```
/// Cambia los valores a los que apuntan los punteros proporcionados.
///
/// # Seguridad
///
/// Los punteros deben ser válidos y estar alineados adecuadamente.
unsafe fn swap(a: *mut u8, b: *mut u8) {
    let temp = *a;
    *a = *b;
    *b = temp;
}

fn main() {
    let mut a = 42;
    let mut b = 66;

    // SAFETY: ...
    unsafe {
        swap(&mut a, &mut b);
    }

    println!("a = {}, b = {}", a, b);
}
```

Llamar Funciones Unsafe (Inseguras)

`get_unchecked`, like most `_unchecked` functions, is unsafe, because it can create UB if the range is incorrect. `abs` is incorrect for a different reason: it is an external function (FFI). Calling external functions is usually only a problem when those functions do things with pointers which might violate Rust's memory model, but in general any C function might have undefined behaviour under any arbitrary circumstances.

En este ejemplo, `"C"` es la ABI.; también hay otras ABI disponibles.

Escribir Funciones Unsafe (Inseguras)

We wouldn't actually use pointers for a `swap` function - it can be done safely with references.

Note that unsafe code is allowed within an unsafe function without an `unsafe` block. We can prohibit this with `#[deny(unsafe_op_in_unsafe_fn)]`. Try adding it and see what happens. This will likely change in a future Rust edition.

30.6 Implementación de Traits Unsafe (Inseguras)

Al igual que con las funciones, puedes marcar un trait como `unsafe` si la implementación debe asegurar condiciones concretas para evitar un comportamiento indefinido.

Por ejemplo, el crate `zerocopy` tiene un trait inseguro, que se parece a esto:

```rust
use std::mem::size_of_val;
use std::slice;

/// ...
/// # Seguridad
/// El tipo debe tener una representación definida y no tener espacio de relleno.
pub unsafe trait AsBytes {
    fn as_bytes(&self) -> &[u8] {
        unsafe {
            slice::from_raw_parts(
                self as *const Self as *const u8,
                size_of_val(self),
            )
        }
    }
}

// SAFETY: `u32` has a defined representation and no padding.
unsafe impl AsBytes for u32 {}
```

Debería haber una sección `# Safety` en el Rustdoc para el trait explicando los requisitos para que el trait pueda implementarse de forma segura.

La sección de seguridad actual de `AsBytes` es bastante más larga y complicada.

Los traits integrados `Send` y `Sync` no son seguros.

30.7 Envoltorio de FFI Seguro

Rust ofrece una gran asisencia para llamar a funciones a través de una *interfaz de función externa* (FFI). Usaremos esto para crear un envoltorio seguro para las funciones `libc` que usarías desde C para leer los nombres de archivo de un directorio.

Consulta las páginas del manual:

- `opendir(3)`
- `readdir(3)`
- `closedir(3)`

También te recomendamos que consultes el módulo `std::ffi`. Ahí encontrarás una serie de tipos de cadena que necesitas para el ejercicio:

Tipos	Codificación	Uso
`str` y `String`	UTF-8	Procesar textos en Rust
`CStr` y `CString`	Terminado en NUL	Comunicarse con funciones C
`OsStr` y `OsString`	Específico del SO	Comunicarse con el SO

Realizarás conversiones entre todos estos tipos:

- De `&str` a `CString`: debes asignar espacio para un carácter final `\0`,
- De `CString` a `*const i8`: necesitas un puntero para llamar a funciones C,
- De `*const i8` a `&CStr`: necesitas algo que pueda encontrar el carácter final `\0`,
- `&CStr` to `&[u8]`: a slice of bytes is the universal interface for "some unknown data",
- De `&[u8]` a `&OsStr`: `&OsStr` es un paso hacia `OsString`, usa `OsStrExt` para crearlo.
- De `OsStr` a `OsString`: debes clonar los datos en `&OsStr` para poder devolverlo y llamar a `readdir` de nuevo.

El Nomicon también tiene un capítulo muy útil sobre FFI.

Copia el fragmento de código que aparece más abajo en la página https://play.rust-lang.org/ y rellena los métodos y funciones que faltan:

```
// TODO: borra esto cuando termines de implementarlo.

mod ffi {
    use std::os::raw::{c_char, c_int};
    use std::os::raw::{c_long, c_uchar, c_ulong, c_ushort};

    // Tipo opaco. Consulta https://doc.rust-lang.org/nomicon/ffi.html.
    pub struct DIR {
        _data: [u8; 0],
        _marker: core::marker::PhantomData<(*mut u8, core::marker::PhantomPinned)>,
    }

    // Diseño según la página del manual de Linux para readdir(3), donde ino_t y
    // off_t se resuelven de acuerdo con las definiciones de
    // /usr/include/x86_64-linux-gnu/{sys/types.h, bits/typesizes.h}. .
    pub struct dirent {
        pub d_ino: c_ulong,
        pub d_off: c_long,
        pub d_reclen: c_ushort,
        pub d_type: c_uchar,
        pub d_name: [c_char; 256],
    }

    // Diseño según la página del manual de macOS de dir(5).
    pub struct dirent {
        pub d_fileno: u64,
        pub d_seekoff: u64,
        pub d_reclen: u16,
        pub d_namlen: u16,
        pub d_type: u8,
        pub d_name: [c_char; 1024],
    }

    extern "C" {
        pub fn opendir(s: *const c_char) -> *mut DIR;

        pub fn readdir(s: *mut DIR) -> *const dirent;
```

```
        // Consulta https://github.com/rust-lang/libc/issues/414 y la sección sobre
 // _DARWIN_FEATURE_64_BIT_INODE en la página del manual de macOS de stat(2).
 //
 // " Las plataformas que existían antes de que estas actualizaciones estuvieran disponi
 // a macOS (en lugar de iOS, WearOS, etc.) en Intel y PowerPC.
        pub fn readdir(s: *mut DIR) -> *const dirent;

        pub fn closedir(s: *mut DIR) -> c_int;
    }
}

use std::ffi::{CStr, CString, OsStr, OsString};
use std::os::unix::ffi::OsStrExt;

struct DirectoryIterator {
    path: CString,
    dir: *mut ffi::DIR,
}

impl DirectoryIterator {
    fn new(path: &str) -> Result<DirectoryIterator, String> {
        // Llama a opendir y devuelve un valor Ok si ha funcionado,
        // de lo contrario, devuelve Err con un mensaje.
        unimplemented!()
    }
}

impl Iterator for DirectoryIterator {
    type Item = OsString;
    fn next(&mut self) -> Option<OsString> {
        // Sigue llamando a readdir hasta se obtenga un puntero NULL.
        unimplemented!()
    }
}

impl Drop for DirectoryIterator {
    fn drop(&mut self) {
        // Llama a closedir según sea necesario.
        unimplemented!()
    }
}

fn main() -> Result<(), String> {
    let iter = DirectoryIterator::new(".")?;
    println!("archivos: {:#?}", iter.collect::<Vec<_>>());
    Ok(())
}
```

30.7.1 Solución

```
mod ffi {
    use std::os::raw::{c_char, c_int};
    use std::os::raw::{c_long, c_uchar, c_ulong, c_ushort};

    // Tipo opaco. Consulta https://doc.rust-lang.org/nomicon/ffi.html.
    pub struct DIR {
        _data: [u8; 0],
        _marker: core::marker::PhantomData<(*mut u8, core::marker::PhantomPinned)>,
    }

    // Diseño según la página del manual de Linux para readdir(3), donde ino_t y
    // off_t se resuelven de acuerdo con las definiciones de
    // /usr/include/x86_64-linux-gnu/{sys/types.h, bits/typesizes.h}. .
    pub struct dirent {
        pub d_ino: c_ulong,
        pub d_off: c_long,
        pub d_reclen: c_ushort,
        pub d_type: c_uchar,
        pub d_name: [c_char; 256],
    }

    // Diseño según la página del manual de macOS de dir(5).
    pub struct dirent {
        pub d_fileno: u64,
        pub d_seekoff: u64,
        pub d_reclen: u16,
        pub d_namlen: u16,
        pub d_type: u8,
        pub d_name: [c_char; 1024],
    }

    extern "C" {
        pub fn opendir(s: *const c_char) -> *mut DIR;

        pub fn readdir(s: *mut DIR) -> *const dirent;

        // Consulta https://github.com/rust-lang/libc/issues/414 y la sección sobre
 // _DARWIN_FEATURE_64_BIT_INODE en la página del manual de macOS de stat(2).
 //
 // " Las plataformas que existían antes de que estas actualizaciones estuvieran disponi
 // a macOS (en lugar de iOS, WearOS, etc.) en Intel y PowerPC.
        pub fn readdir(s: *mut DIR) -> *const dirent;

        pub fn closedir(s: *mut DIR) -> c_int;
    }
}

use std::ffi::{CStr, CString, OsStr, OsString};
use std::os::unix::ffi::OsStrExt;
```

```rust
struct DirectoryIterator {
    path: CString,
    dir: *mut ffi::DIR,
}

impl DirectoryIterator {
    fn new(path: &str) -> Result<DirectoryIterator, String> {
        // Llama a opendir y devuelve un valor Ok si ha funcionado,
        // de lo contrario, devuelve Err con un mensaje.
        let path =
            CString::new(path).map_err(|err| format!("Ruta no válida: {err}"))?;
        // SEGURIDAD: path.as_ptr() no puede ser NULL.
        let dir = unsafe { ffi::opendir(path.as_ptr()) };
        if dir.is_null() {
            Err(format!("No se ha podido abrir {:?}", path))
        } else {
            Ok(DirectoryIterator { path, dir })
        }
    }
}

impl Iterator for DirectoryIterator {
    type Item = OsString;
    fn next(&mut self) -> Option<OsString> {
        // Sigue llamando a readdir hasta que se obtenga un puntero NULL.
        // SEGURIDAD: self.dir nunca es NULL.
        let dirent = unsafe { ffi::readdir(self.dir) };
        if dirent.is_null() {
            // Hemos llegado al final del directorio.
            return None;
        }
        // SEGURIDAD: dirent no es NULL y dirent.d_name es NULL
        // finalizado.
        let d_name = unsafe { CStr::from_ptr((*dirent).d_name.as_ptr()) };
        let os_str = OsStr::from_bytes(d_name.to_bytes());
        Some(os_str.to_owned())
    }
}

impl Drop for DirectoryIterator {
    fn drop(&mut self) {
        // Llama a closedir según sea necesario.
        if !self.dir.is_null() {
            // SEGURIDAD: self.dir no es NULL.
            if unsafe { ffi::closedir(self.dir) } != 0 {
                panic!("No se ha podido cerrar {:?}.", self.path);
            }
        }
    }
}
```

```rust
fn main() -> Result<(), String> {
    let iter = DirectoryIterator::new(".")?;
    println!("archivos: {:#?}", iter.collect::<Vec<_>>());
    Ok(())
}

mod tests {
    use super::*;
    use std::error::Error;

    fn test_nonexisting_directory() {
        let iter = DirectoryIterator::new("no-such-directory");
        assert!(iter.is_err());
    }

    fn test_empty_directory() -> Result<(), Box<dyn Error>> {
        let tmp = tempfile::TempDir::new()?;
        let iter = DirectoryIterator::new(
            tmp.path().to_str().ok_or("Hay un carácter no codificado en UTF-8 en la ruta
        )?;
        let mut entries = iter.collect::<Vec<_>>();
        entries.sort();
        assert_eq!(entries, &[".", ".."]);
        Ok(())
    }

    fn test_nonempty_directory() -> Result<(), Box<dyn Error>> {
        let tmp = tempfile::TempDir::new()?;
        std::fs::write(tmp.path().join("foo.txt"), "The Foo Diaries\n")?;
        std::fs::write(tmp.path().join("bar.png"), "<PNG>\n")?;
        std::fs::write(tmp.path().join("crab.rs"), "//! Crab\n")?;
        let iter = DirectoryIterator::new(
            tmp.path().to_str().ok_or("Hay un carácter no codificado en UTF-8 en la ruta
        )?;
        let mut entries = iter.collect::<Vec<_>>();
        entries.sort();
        assert_eq!(entries, &[".", "..", "bar.png", "crab.rs", "foo.txt"]);
        Ok(())
    }
}
```

Parte IX

Android

Capítulo 31

Te Damos la Bienvenida a Rust en Android

Rust is supported for system software on Android. This means that you can write new services, libraries, drivers or even firmware in Rust (or improve existing code as needed).

> Hoy intentaremos llamar a Rust desde un proyecto personal. Intenta encontrar una pequeña esquina de tu código base donde podamos mover algunas líneas de código a Rust. Cuantas menos dependencias y tipos ”exóticos” tenga, mejor. Lo ideal sería algo que analizara bytes sin procesar.

El orador puede mencionar cualquiera de los siguientes aspectos, debido al aumento del uso de Rust en Android:

- Ejemplo de servicio: DNS over HTTP
- Bibliotecas: Rutabaga Virtual Graphics Interface
- Controladores de kernel: Binder
- Firmware: firmware de pKVM

Capítulo 32

Configurar

We will be using a Cuttlefish Android Virtual Device to test our code. Make sure you have access to one or create a new one with:

```
source build/envsetup.sh
lunch aosp_cf_x86_64_phone-trunk_staging-userdebug
acloud create
```

Consulta el Codelab para desarrolladores de Android para obtener más información.

Puntos clave:

- Cuttlefish es un dispositivo Android de referencia diseñado para funcionar en ordenadores genéricos Linux. También tenemos previsto ofrecer compatibilidad con MacOS.
- La imagen del sistema de Cuttlefish mantiene una alta fidelidad a los dispositivos reales y es el emulador ideal para ejecutar muchos casos prácticos de Rust.

Capítulo 33

Reglas de Compilación (Build)

El sistema de compilación de Android (Soong) es compatible con Rust a través de una serie de módulos:

Tipo de módulo	Descripción
`rust_binary`	Produce un binario de Rust.
`rust_library`	Produce una biblioteca de Rust y proporciona las variantes `rlib` y `dylib`.
`rust_ffi`	Produce una biblioteca de Rust C que pueden usar los módulos `cc` y proporciona variantes estáticas y compartidas.
`rust_proc_macro`	Produce una biblioteca de Rust `proc-macro`. Son similares a complementos del compilador.
`rust_test`	Produce un binario de prueba de Rust que utiliza el agente de prueba estándar de Rust.
`rust_fuzz`	Produce un binario de fuzz de Rust que aprovecha `libfuzzer`.
`rust_protobuf`	Genera código fuente y produce una biblioteca Rust que proporciona una interfaz para un protobuf en particular.
`rust_bindgen`	Genera código fuente y produce una biblioteca de Rust que contiene enlaces de Rust a bibliotecas de C.

A continuación, hablaremos de `rust_binary` y `rust_library`.

Otros elementos que puede mencionar el orador:

- Cargo no está optimizado para los repositorios en varios lenguajes y también descarga paquetes de Internet.

- Por razones de cumplimiento y rendimiento, Android debe tener crates en estructura de árbol. También debe existir interoperabilidad con el código C, C++ y Java. Soong cumple estos requisitos.
- Soong tiene muchas similitudes con Bazel, que es la variante de código abierto de Blaze (se utiliza en google3).
- Está previsto hacer la transición de Android, ChromeOS y Fuchsia a Bazel.
- Aprender reglas de compilación similares a Bazel es útil para todos los desarrolladores del SO de Rust.
- Dato curioso: los datos de Star Trek son un Android de tipo Soong.

33.1 Binarios de Rust

Empecemos con una sencilla aplicación. Desde la raíz de un AOSP revisado, crea los siguientes archivos:

hello_rust/Android.bp:

```
rust_binary {
    name: "hello_rust",
    crate_name: "hello_rust",
    srcs: ["src/main.rs"],
}
```

hello_rust/src/main.rs:

```
//! Demo de Rust.

/// Imprime un saludo en una salida estándar.
fn main() {
    println!("¡Saludos de parte Rust!");
}
```

Ahora puedes compilar, insertar y ejecutar el binario:

```
m hello_rust
adb push "$ANDROID_PRODUCT_OUT/system/bin/hello_rust" /data/local/tmp
adb shell /data/local/tmp/hello_rust
```

```
Hello from Rust!
```

33.2 Bibliotecas de Rust

Crea una biblioteca de Rust para Android con `rust_library`.

Aquí declaramos una dependencia en dos bibliotecas:

- `libgreeting`, que definimos más abajo.
- `libtextwrap`, que es un crate ya incluido en `external/rust/crates/`.

hello_rust/Android.bp:

```
rust_binary {
    name: "hello_rust_with_dep",
    crate_name: "hello_rust_with_dep",
    srcs: ["src/main.rs"],
    rustlibs: [
        "libgreetings",
        "libtextwrap",
    ],
    prefer_rlib: true, // Es necesario para evitar errores de enlace dinámico.
}

rust_library {
    name: "libgreetings",
    crate_name: "greetings",
    srcs: ["src/lib.rs"],
}
```

hello_rust/src/main.rs:

```
//! Demo de Rust.

use greetings::greeting;
use textwrap::fill;

/// Imprime un saludo en una salida estándar.
fn main() {
    println!("{}", fill(&greeting("Bob"), 24));
}
```

hello_rust/src/lib.rs:

```
//! Biblioteca de saludos.

/// Saluda a `name`.
pub fn greeting(name: &str) -> String {
    format!("Hello {name}, it is very nice to meet you!")
}
```

Puedes compilar, insertar y ejecutar el binario como antes:

```
m hello_rust_with_dep
adb push "$ANDROID_PRODUCT_OUT/system/bin/hello_rust_with_dep" /data/local/tmp
adb shell /data/local/tmp/hello_rust_with_dep
```

```
Hello Bob, it is very
nice to meet you!
```

Capítulo 34

AIDL

El lenguaje de definición de la interfaz de Android (AIDL) es compatible con Rust:

- El código de Rust puede llamar a servidores AIDL que ya se hayan creado.
- Puedes crear servidores de AIDL en Rust.

34.1 Tutorial de Servicio de Cumpleaños

To illustrate how to use Rust with Binder, we're going to walk through the process of creating a Binder interface. We're then going to both implement the described service and write client code that talks to that service.

34.1.1 Interfaces de AIDL

La API de tu servicio se declara mediante una interfaz de AIDL:

birthday_service/aidl/com/example/birthdayservice/IBirthdayService.aidl:

```
/** Birthday service interface. */
interface IBirthdayService {
    /** Generate a Happy Birthday message. */
    String wishHappyBirthday(String name, int years);
}
```

birthday_service/aidl/Android.bp:

```
aidl_interface {
    name: "com.example.birthdayservice",
    srcs: ["com/example/birthdayservice/*.aidl"],
    unstable: true,
    backend: {
        rust: { // Rust no está habilitado de forma predeterminada
            enabled: true,
        },
    },
}
```

- Note that the directory structure under the `aidl/` directory needs to match the package name used in the AIDL file, i.e. the package is `com.example.birthdayservice` and the file is at `aidl/com/example/IBirthdayService.aidl`.

34.1.2 Generated Service API

Binder generates a trait corresponding to the interface definition. trait to talk to the service.

birthday_service/aidl/com/example/birthdayservice/IBirthdayService.aidl:

```
/** Birthday service interface. */
interface IBirthdayService {
    /** Generate a Happy Birthday message. */
    String wishHappyBirthday(String name, int years);
}
```

Generated trait:

```
trait IBirthdayService {
    fn wishHappyBirthday(&self, name: &str, years: i32) -> binder::Result<String>;
}
```

Your service will need to implement this trait, and your client will use this trait to talk to the service.

- The generated bindings can be found at `out/soong/.intermediates/<path to module>/`.
- Point out how the generated function signature, specifically the argument and return types, correspond the interface definition.
  - `String` for an argument results in a different Rust type than `String` as a return type.

34.1.3 Implementación del servicio

Ahora podemos implementar el servicio de AIDL:

birthday_service/src/lib.rs:

```
use com_example_birthdayservice::aidl::com::example::birthdayservice::IBirthdayService:
use com_example_birthdayservice::binder;

/// The `IBirthdayService` implementation.
pub struct BirthdayService;

impl binder::Interface for BirthdayService {}

impl IBirthdayService for BirthdayService {
    fn wishHappyBirthday(&self, name: &str, years: i32) -> binder::Result<String> {
        Ok(format!("Feliz cumpleaños, {name}, te han caído {years} años".))
    }
}
```

birthday_service/Android.bp:

```
rust_library {
    name: "libbirthdayservice",
    srcs: ["src/lib.rs"],
    crate_name: "birthdayservice",
    rustlibs: [
        "com.example.birthdayservice-rust",
        "libbinder_rs",
    ],
}
```

- Point out the path to the generated `IBirthdayService` trait, and explain why each of the segments is necessary.
- TODO: What does the `binder::Interface` trait do? Are there methods to override? Where source?

34.1.4 Servidor de AIDL

Por último, podemos crear un servidor que exponga el servicio:

birthday_service/src/server.rs:

```
//! Servicio de felicitación cumpleaños.
use birthdayservice::BirthdayService;
use com_example_birthdayservice::aidl::com::example::birthdayservice::IBirthdayService:
use com_example_birthdayservice::binder;

const SERVICE_IDENTIFIER: &str = "birthdayservice";

/// Punto de entrada del servicio de felicitación cumpleaños.
fn main() {
    let birthday_service = BirthdayService;
    let birthday_service_binder = BnBirthdayService::new_binder(
        birthday_service,
        binder::BinderFeatures::default(),
    );
    binder::add_service(SERVICE_IDENTIFIER, birthday_service_binder.as_binder())
        .expect("No se ha podido registrar el servicio");
    binder::ProcessState::join_thread_pool()
}
```

birthday_service/Android.bp:

```
rust_binary {
    name: "birthday_server",
    crate_name: "birthday_server",
    srcs: ["src/server.rs"],
    rustlibs: [
        "com.example.birthdayservice-rust",
        "libbinder_rs",
        "libbirthdayservice",
    ],
    prefer_rlib: true, // Para evitar errores de enlaces dinámicos.
}
```

The process for taking a user-defined service implementation (in this case the `BirthdayService` type, which implements the `IBirthdayService`) and starting it as a Binder service has multiple steps, and may appear more complicated than students are used to if they've used Binder from C++ or another language. Explain to students why each step is necessary.

1. Create an instance of your service type (`BirthdayService`).
2. Wrap the service object in corresponding `Bn*` type (`BnBirthdayService` in this case). This type is generated by Binder and provides the common Binder functionality that would be provided by the `BnBinder` base class in C++. We don't have inheritance in Rust, so instead we use composition, putting our `BirthdayService` within the generated `BnBinderService`.
3. Call `add_service`, giving it a service identifier and your service object (the `BnBirthdayService` object in the example).
4. Call `join_thread_pool` to add the current thread to Binder's thread pool and start listening for connections.

34.1.5 Despliegue

Ahora podemos crear, insertar e iniciar el servicio:

```
m birthday_server
adb push "$ANDROID_PRODUCT_OUT/system/bin/birthday_server" /data/local/tmp
adb root
adb shell /data/local/tmp/birthday_server
```

Comprueba que el servicio funciona en otra terminal:

```
adb shell service check birthdayservice
```

```
Service birthdayservice: found
```

También puedes llamar al servicio con `service call`:

```
adb shell service call birthdayservice 1 s16 Bob i32 24
```

```
Result: Parcel(
  0x00000000: 00000000 00000036 00610048 00700070 '....6...H.a.p.p.'
  0x00000010: 00200079 00690042 00740072 00640068 'y. .B.i.r.t.h.d.'
  0x00000020: 00790061 00420020 0062006f 0020002c 'a.y. .B.o.b.,. .'
  0x00000030: 006f0063 0067006e 00610072 00750074 'c.o.n.g.r.a.t.u.'
  0x00000040: 0061006c 00690074 006e006f 00200073 'l.a.t.i.o.n.s. .'
  0x00000050: 00690077 00680074 00740020 00650068 'w.i.t.h. .t.h.e.'
  0x00000060: 00320020 00200034 00650079 00720061 ' .2.4. .y.e.a.r.'
  0x00000070: 00210073 00000000                   's.!.....        ')
```

34.1.6 Cliente de AIDL

Por último, podemos crear un cliente de Rust para nuestro nuevo servicio.

birthday_service/src/client.rs:

```
use com_example_birthdayservice::aidl::com::example::birthdayservice::IBirthdayService:
use com_example_birthdayservice::binder;

const SERVICE_IDENTIFIER: &str = "birthdayservice";
```

```rust
/// Llama al servicio de felicitación cumpleaños.
fn main() -> Result<(), Box<dyn Error>> {
    let name = std::env::args().nth(1).unwrap_or_else(|| String::from("Bob"));
    let years = std::env::args()
        .nth(2)
        .and_then(|arg| arg.parse::<i32>().ok())
        .unwrap_or(42);

    binder::ProcessState::start_thread_pool();
    let service = binder::get_interface::<dyn IBirthdayService>(SERVICE_IDENTIFIER)
        .map_err(|_| "No se ha podido conectar con el servicio de felicitación de cumple

    // Call the service.
    let msg = service.wishHappyBirthday(&name, years)?;
    println!("{msg}");
}
```

birthday_service/Android.bp:

```
rust_binary {
    name: "birthday_client",
    crate_name: "birthday_client",
    srcs: ["src/client.rs"],
    rustlibs: [
        "com.example.birthdayservice-rust",
        "libbinder_rs",
    ],
    prefer_rlib: true, // Para evitar errores de enlaces dinámicos.
}
```

Ten en cuenta que el cliente no depende de `libbirthdayservice`.

Compila, inserta y ejecuta el cliente en tu dispositivo:

```
m birthday_client
adb push "$ANDROID_PRODUCT_OUT/system/bin/birthday_client" /data/local/tmp
adb shell /data/local/tmp/birthday_client Charlie 60
```

```
Happy Birthday Charlie, congratulations with the 60 years!
```

- `Strong<dyn IBirthdayService>` is the trait object representing the service that the client has connected to.
  - `Strong` is a custom smart pointer type for Binder. It handles both an in-process ref count for the service trait object, and the global Binder ref count that tracks how many processes have a reference to the object.
  - Note that the trait object that the client uses to talk to the service uses the exact same trait that the server implements. For a given Binder interface, there is a single Rust trait generated that both client and server use.
- Use the same service identifier used when registering the service. This should ideally be defined in a common crate that both the client and server can depend on.

34.1.7 Cambio de API

Ampliemos la API con más funciones. Queremos que los clientes puedan indicar una lista de líneas para la tarjeta de cumpleaños:

```
package com.example.birthdayservice;

/** Birthday service interface. */
interface IBirthdayService {
    /** Generate a Happy Birthday message. */
    String wishHappyBirthday(String name, int years, in String[] text);
}
```

This results in an updated trait definition for `IBirthdayService`:

```
trait IBirthdayService {
    fn wishHappyBirthday(
        &self,
        name: &str,
        years: i32,
        text: &[String],
    ) -> binder::Result<String>;
}
```

- Note how the `String[]` in the AIDL definition is translated as a `&[String]` in Rust, i.e. that idiomatic Rust types are used in the generated bindings wherever possible:
  - `in` array arguments are translated to slices.
  - `out` and `inout` args are translated to `&mut Vec<T>`.
  - Return values are translated to returning a `Vec<T>`.

34.1.8 Updating Client and Service

Update the client and server code to account for the new API.

birthday_service/src/lib.rs:

```
impl IBirthdayService for BirthdayService {
    fn wishHappyBirthday(
        &self,
        name: &str,
        years: i32,
        text: &[String],
    ) -> binder::Result<String> {
        let mut msg = format!(
            "Feliz cumpleaños, {name}, te han caído {years} años".,
        );

        for line in text {
            msg.push('\n');
            msg.push_str(line);
        }

        Ok(msg)
```

```
    }
}
```

birthday_service/src/client.rs:

```
let msg = service.wishHappyBirthday(
    &name,
    years,
    &[
        String::from("Habby birfday to yuuuuu"),
        String::from("And also: many more"),
    ],
)?;
```

- TODO: Move code snippets into project files where they'll actually be built?

34.2 Working With AIDL Types

AIDL types translate into the appropriate idiomatic Rust type:

- Primitive types map (mostly) to idiomatic Rust types.
- Collection types like slices, `Vec`s and string types are supported.
- References to AIDL objects and file handles can be sent between clients and services.
- File handles and parcelables are fully supported.

34.2.1 Tipos Primitivos

Primitive types map (mostly) idiomatically:

AIDL Type	Rust Type	Note
`boolean`	`bool`	
`byte`	`i8`	Note that bytes are signed.
`char`	`u16`	Note the usage of u16, NOT u32.
`int`	`i32`	
`long`	`i64`	
`float`	`f32`	
`double`	`f64`	
`String`	`String`	

34.2.2 Tipos Array

The array types (`T[]`, `byte[]`, and `List<T>`) get translated to the appropriate Rust array type depending on how they are used in the function signature:

Position	Rust Type
`in` argument	`&[T]`
`out`/`inout` argument	`&mut Vec<T>`
Return	`Vec<T>`

- In Android 13 or higher, fixed-size arrays are supported, i.e. `T[N]` becomes `[T; N]`. Fixed-size arrays can have multiple dimensions (e.g. int[3][4]). In the Java backend, fixed-size arrays are represented as array types.
- Arrays in parcelable fields always get translated to `Vec<T>`.

34.2.3 Enviando Objectos

AIDL objects can be sent either as a concrete AIDL type or as the type-erased `IBinder` interface:

birthday_service/aidl/com/example/birthdayservice/IBirthdayInfoProvider.aidl:

```
package com.example.birthdayservice;

interface IBirthdayInfoProvider {
    String name();
    int years();
}
```

birthday_service/aidl/com/example/birthdayservice/IBirthdayService.aidl:

```
import com.example.birthdayservice.IBirthdayInfoProvider;

interface IBirthdayService {
    /** The same thing, but using a binder object. */
    String wishWithProvider(IBirthdayInfoProvider provider);

    /** The same thing, but using `IBinder`. */
    String wishWithErasedProvider(IBinder provider);
}
```

birthday_service/src/client.rs:

```
/// Rust struct implementing the `IBirthdayInfoProvider` interface.
struct InfoProvider {
    name: String,
    age: u8,
}

impl binder::Interface for InfoProvider {}

impl IBirthdayInfoProvider for InfoProvider {
    fn name(&self) -> binder::Result<String> {
        Ok(self.name.clone())
    }

    fn years(&self) -> binder::Result<i32> {
        Ok(self.age as i32)
    }
}

fn main() {
    binder::ProcessState::start_thread_pool();
    let service = connect().expect("No se ha podido conectar con el servicio de felicita
```

```
    // Create a binder object for the `IBirthdayInfoProvider` interface.
    let provider = BnBirthdayInfoProvider::new_binder(
        InfoProvider { name: name.clone(), age: years as u8 },
        BinderFeatures::default(),
    );

    // Send the binder object to the service.
    service.wishWithProvider(&provider)?;

    // Perform the same operation but passing the provider as an `SpIBinder`.
    service.wishWithErasedProvider(&provider.as_binder())?;
}
```

- Note the usage of `BnBirthdayInfoProvider`. This serves the same purpose as `BnBirthdayService` that we saw previously.

34.2.4 Variables

Binder for Rust supports sending parcelables directly:

birthday_service/aidl/com/example/birthdayservice/BirthdayInfo.aidl:

```
package com.example.birthdayservice;

parcelable BirthdayInfo {
    String name;
    int years;
}
```

birthday_service/aidl/com/example/birthdayservice/IBirthdayService.aidl:

```
import com.example.birthdayservice.BirthdayInfo;

interface IBirthdayService {
    /** The same thing, but with a parcelable. */
    String wishWithInfo(in BirthdayInfo info);
}
```

birthday_service/src/client.rs:

```
fn main() {
    binder::ProcessState::start_thread_pool();
    let service = connect().expect("No se ha podido conectar con el servicio de felicita

    service.wishWithInfo(&BirthdayInfo { name: name.clone(), years })?;
}
```

34.2.5 Enviando Archívos

Files can be sent between Binder clients/servers using the `ParcelFileDescriptor` type:

birthday_service/aidl/com/example/birthdayservice/IBirthdayService.aidl:

```
interface IBirthdayService {
    /** The same thing, but loads info from a file. */
    String wishFromFile(in ParcelFileDescriptor infoFile);
}
```

birthday_service/src/client.rs:

```
fn main() {
    binder::ProcessState::start_thread_pool();
    let service = connect().expect("No se ha podido conectar con el servicio de felicita

    // Open a file and put the birthday info in it.
    let mut file = File::create("/data/local/tmp/birthday.info").unwrap();
    writeln!(file, "{name}")?;
    writeln!(file, "{years}")?;

    // Create a `ParcelFileDescriptor` from the file and send it.
    let file = ParcelFileDescriptor::new(file);
    service.wishFromFile(&file)?;
}
```

birthday_service/src/lib.rs:

```
impl IBirthdayService for BirthdayService {
    fn wishFromFile(
        &self,
        info_file: &ParcelFileDescriptor,
    ) -> binder::Result<String> {
        // Convert the file descriptor to a `File`. `ParcelFileDescriptor` wraps
        // an `OwnedFd`, which can be cloned and then used to create a `File`
        // object.
        let mut info_file = info_file
            .as_ref()
            .try_clone()
            .map(File::from)
            .expect("Invalid file handle");

        let mut contents = String::new();
        info_file.read_to_string(&mut contents).unwrap();

        let mut lines = contents.lines();
        let name = lines.next().unwrap();
        let years: i32 = lines.next().unwrap().parse().unwrap();

        Ok(format!("Feliz cumpleaños, {name}, te han caído {years} años".))
    }
}
```

- `ParcelFileDescriptor` wraps an `OwnedFd`, and so can be created from a `File` (or any other type that wraps an `OwnedFd`), and can be used to create a new `File` handle on the other side.
- Other types of file descriptors can be wrapped and sent, e.g. TCP, UDP, and UNIX sockets.

Capítulo 35

Testing in Android

Building on Testing, we will now look at how unit tests work in AOSP. Use the `rust_test` module for your unit tests:

testing/Android.bp:

```
rust_library {
    name: "libleftpad",
    crate_name: "leftpad",
    srcs: ["src/lib.rs"],
}

rust_test {
    name: "libleftpad_test",
    crate_name: "leftpad_test",
    srcs: ["src/lib.rs"],
    host_supported: true,
    test_suites: ["general-tests"],
}
```

testing/src/lib.rs:

```
//! Left-padding library.

/// Left-pad `s` to `width`.
pub fn leftpad(s: &str, width: usize) -> String {
    format!("{s:>width$}")
}

mod tests {
    use super::*;

    fn short_string() {
        assert_eq!(leftpad("foo", 5), "  foo");
    }

    fn long_string() {
```

```
        assert_eq!(leftpad("foobar", 6), "foobar");
    }
}
```

You can now run the test with

```
atest --host libleftpad_test
```

The output looks like this:

```
INFO: Elapsed time: 2.666s, Critical Path: 2.40s
INFO: 3 processes: 2 internal, 1 linux-sandbox.
INFO: Build completed successfully, 3 total actions
//comprehensive-rust-android/testing:libleftpad_test_host            PASSED in 2.3s
    PASSED  libleftpad_test.tests::long_string (0.0s)
    PASSED  libleftpad_test.tests::short_string (0.0s)
Test cases: finished with 2 passing and 0 failing out of 2 test cases
```

Notice how you only mention the root of the library crate. Tests are found recursively in nested modules.

35.1 GoogleTest

The GoogleTest crate allows for flexible test assertions using *matchers*:

```
use googletest::prelude::*;

fn test_elements_are() {
    let value = vec!["foo", "bar", "baz"];
    expect_that!(value, elements_are!(eq("foo"), lt("xyz"), starts_with("b")));
}
```

Si cambiamos el último elemento a `"!"`, la prueba dará error y aparecerá un mensaje de error estructurado que señala cuál es el fallo:

```
---- test_elements_are stdout ----
Value of: value
Expected: has elements:
  0. is equal to "foo"
  1. is less than "xyz"
  2. starts with prefix "!"
Actual: ["foo", "bar", "baz"],
  where element #2 is "baz", which does not start with "!"
  at src/testing/googletest.rs:6:5
Error: See failure output above
```

- GoogleTest no forma parte de Rust Playground, por lo que debes llevar a cabo este ejemplo en un entorno local. Usa `cargo add googletest` para añadirlo rápidamente a un proyecto de Cargo que ya tengas.
- La línea `use googletest::prelude::*;` importa una serie de macros y tipos habituales.
- This just scratches the surface, there are many builtin matchers. Consider going through the first chapter of "Advanced testing for Rust applications", a self-guided Rust course: it

provides a guided introduction to the library, with exercises to help you get comfortable with `googletest` macros, its matchers and its overall philosophy.

- A particularly nice feature is that mismatches in multi-line strings are shown as a diff:

```
fn test_multiline_string_diff() {
    let haiku = "Se ha encontrado la seguridad de la memoria,\n\
 la potente escritura de Rust guía el camino,\n\
 protege el código que vayas a escribir.";
    assert_that!(
        haiku,
        eq("Se ha encontrado seguridad en la memoria,\n\
 el divertido sentido del humor de Rust guía el camino,\n\
 protege el código que vayas a escribir.")
    );
}
```

muestra un diff con colores (colores que no se muestran aquí):

```
    Value of: haiku
Expected: is equal to "Memory safety found,\nRust's silly humor guides the way,\nSecure
Actual: "Memory safety found,\nRust's strong typing guides the way,\nSecure code you'll
  which isn't equal to "Memory safety found,\nRust's silly humor guides the way,\nSecure
Difference(-actual / +expected):
 Memory safety found,
-Rust's strong typing guides the way,
+Rust's silly humor guides the way,
 Secure code you'll write.
  at src/testing/googletest.rs:17:5
```

- El crate es un puerto de Rust de GoogleTest para C++.

35.2 Simulaciones

Mockall es una biblioteca que se usa para hacer simulaciones. Debes refactorizar tu código para usar traits, con los que podrás hacer simulaciones:

```
use std::time::Duration;

pub trait Pet {
    fn is_hungry(&self, since_last_meal: Duration) -> bool;
}

fn test_robot_dog() {
    let mut mock_dog = MockPet::new();
    mock_dog.expect_is_hungry().return_const(true);
    assert_eq!(mock_dog.is_hungry(Duration::from_secs(10)), true);
}
```

- Mockall is the recommended mocking library in Android (AOSP). There are other mocking libraries available on crates.io, in particular in the area of mocking HTTP services. The other mocking libraries work in a similar fashion as Mockall, meaning that they make it easy to get a mock implementation of a given trait.

- Ten en cuenta que las simulaciones son algo *polémicas*, ya que te permiten aislar por completo una prueba de sus dependencias. El resultado inmediato es una ejecución de pruebas más rápida y estable. Por otro lado, las simulaciones se pueden configurar de forma incorrecta y devuelven un resultado diferente del que se obtendría con las dependencias reales.

  Si es posible, te recomendamos que uses las dependencias reales. Por ejemplo, muchas bases de datos te permiten configurar un backend en la memoria. Es decir, en tus pruebas obtendrás el comportamiento correcto y, además, son rápidas y se limpiarán de forma automática tras las pruebas.

  Del mismo modo, muchos frameworks web te permiten iniciar un servidor en proceso que se vincula a un puerto aleatorio en `localhost`. Siempre es mejor utilizar esta opción en lugar de simular el framework, ya que te ayuda a hacer pruebas con el código en el entorno real.

- Mockall no forma parte de Rust Playground, por lo que debes ejecutar este ejemplo en un entorno local. Usa `cargo add modelall` para añadir de forma rápida Mockall a un proyecto de Cargo.

- Mockall tiene muchas más funciones. En concreto, puedes configurar expectativas en función de los argumentos. Aquí utilizamos el ejemplo para simular un gato que tiene hambre 3 horas después de que le hayan dado de comer:

```
fn test_robot_cat() {
    let mut mock_cat = MockPet::new();
    mock_cat
        .expect_is_hungry()
        .with(mockall::predicate::gt(Duration::from_secs(3 * 3600)))
        .return_const(true);
    mock_cat.expect_is_hungry().return_const(false);
    assert_eq!(mock_cat.is_hungry(Duration::from_secs(1 * 3600)), false);
    assert_eq!(mock_cat.is_hungry(Duration::from_secs(5 * 3600)), true);
}
```

- Puedes utilizar `.times(n)` para limitar el número de veces que se puede llamar a un método de simulación a `n`. Si no se cumple, la simulación activará un pánico automáticamente cuando se elimine.

Capítulo 36

Almacenamiento de registros

Utiliza el crate `log` para que se registre automáticamente en `logcat` (en el dispositivo) o `stdout` (en el host):

hello_rust_logs/Android.bp:

```
rust_binary {
    name: "hello_rust_logs",
    crate_name: "hello_rust_logs",
    srcs: ["src/main.rs"],
    rustlibs: [
        "liblog_rust",
        "liblogger",
    ],
    host_supported: true,
}
```

hello_rust_logs/src/main.rs:

```
//! Demo de registros de Rust.

use log::{debug, error, info};

/// Registra un saludo.
fn main() {
    logger::init(
        logger::Config::default()
            .with_tag_on_device("rust")
            .with_min_level(log::Level::Trace),
    );
    debug!("Iniciando programa.");
    info!("Todo es correcto.");
    error!("Se ha producido un error.");
}
```

Compila, inserta y ejecuta el binario en tu dispositivo:

```
m hello_rust_logs
```

```
adb push "$ANDROID_PRODUCT_OUT/system/bin/hello_rust_logs" /data/local/tmp
adb shell /data/local/tmp/hello_rust_logs
```

Los registros se muestran en `adb logcat`:

```
adb logcat -s rust
```

```
09-08 08:38:32.454  2420  2420 D rust: hello_rust_logs: Starting program.
09-08 08:38:32.454  2420  2420 I rust: hello_rust_logs: Things are going fine.
09-08 08:38:32.454  2420  2420 E rust: hello_rust_logs: Something went wrong!
```

Capítulo 37

Interoperabilidad

Rust admite sin problemas la interoperabilidad con otros lenguajes. Esto significa que puedes hacer lo siguiente:

- Llamar a funciones de Rust desde otros lenguajes.
- Llamar a funciones escritas en otros lenguajes desde Rust.

Cuando llamas a funciones en otro lenguaje, se dice que estás usando una *interfaz de función externa*, también denominada FFI.

37.1 Interoperabilidad con C

Rust admite vincular archivos de objetos con una convención de llamada de C. Del mismo modo, puedes exportar funciones de Rust y llamarlas desde C.

Si quieres, puedes hacerlo de forma manual:

```
extern "C" {
    fn abs(x: i32) -> i32;
}

fn main() {
    let x = -42;
    // SAFETY: `abs` doesn't have any safety requirements.
    let abs_x = unsafe { abs(x) };
    println!("{x}, {abs_x}");
}
```

Ya lo hemos visto en el ejercicio Envoltorio de FFI seguro.

> Esto supone un conocimiento completo de la plataforma objetivo. No se recomienda para producción.

A continuación, estudiaremos otras opciones mejores.

37.1.1 Uso de Bindgen

La herramienta bindgen puede generar automáticamente enlaces desde un archivo de encabezado de C.

En primer lugar, crea una biblioteca de C pequeña:

interoperability/bindgen/libbirthday.h:

```
typedef struct card {
  const char* name;
  int years;
} card;

void print_card(const card* card);
```

interoperability/bindgen/libbirthday.c:

```
#include <stdio.h>
#include "libbirthday.h"

void print_card(const card* card) {
  printf("+--------------\n");
  printf("| ¡Feliz cumpleaños, %s!\n", card->name);
  printf("| ¡Enhorabuena por cumplir %i años!\n", card->years);
  printf("+--------------\n");
}
```

Añade lo siguiente a tu archivo `Android.bp`:

interoperability/bindgen/Android.bp:

```
cc_library {
    name: "libbirthday",
    srcs: ["libbirthday.c"],
}
```

Crea un archivo de encabezado de envoltorio para la biblioteca (no es estrictamente necesario en este ejemplo):

interoperability/bindgen/libbirthday_wrapper.h:

```
#include "libbirthday.h"
```

Ahora puedes generar automáticamente los enlaces:

interoperability/bindgen/Android.bp:

```
rust_bindgen {
    name: "libbirthday_bindgen",
    crate_name: "birthday_bindgen",
    wrapper_src: "libbirthday_wrapper.h",
    source_stem: "bindings",
    static_libs: ["libbirthday"],
}
```

Por último, podemos utilizar los enlaces de nuestro programa de Rust:

interoperability/bindgen/Android.bp:

```
rust_binary {
    name: "print_birthday_card",
    srcs: ["main.rs"],
    rustlibs: ["libbirthday_bindgen"],
}
```

interoperability/bindgen/main.rs:

```
//! Demo de Bindgen.

use birthday_bindgen::{card, print_card};

fn main() {
    let name = std::ffi::CString::new("Peter").unwrap();
    let card = card { name: name.as_ptr(), years: 42 };
    // SAFETY: The pointer we pass is valid because it came from a Rust
    // reference, and the `name` it contains refers to `name` above which also
    // remains valid. `print_card` doesn't store either pointer to use later
    // after it returns.
    unsafe {
        print_card(&card as *const card);
    }
}
```

Compila, inserta y ejecuta el binario en tu dispositivo:

```
m print_birthday_card
adb push "$ANDROID_PRODUCT_OUT/system/bin/print_birthday_card" /data/local/tmp
adb shell /data/local/tmp/print_birthday_card
```

Por último, podemos ejecutar pruebas generadas automáticamente para comprobar que los enlaces funcionan:

interoperability/bindgen/Android.bp:

```
rust_test {
    name: "libbirthday_bindgen_test",
    srcs: [":libbirthday_bindgen"],
    crate_name: "libbirthday_bindgen_test",
    test_suites: ["general-tests"],
    auto_gen_config: true,
    clippy_lints: "ninguno", // Archivo generado, se omite la ejecución de lint
    lints: "ninguno",
}
```

```
atest libbirthday_bindgen_test
```

37.1.2 Llamar a Rust

Es fácil exportar las funciones y los tipos de Rust a C:

interoperability/rust/libanalyze/analyze.rs

```
//! Demo de FFI de Rust.

use std::os::raw::c_int;
```

```
/// Analiza los números.
pub extern "C" fn analyze_numbers(x: c_int, y: c_int) {
    if x < y {
        println!("¡x ({x}) es el menor!");
    } else {
        println!("y ({y}) probablemente sea mayor que x ({x})");
    }
}
```

interoperability/rust/libanalyze/analyze.h

```
#ifndef ANALYSE_H
#define ANALYSE_H

extern "C" {
void analyze_numbers(int x, int y);
}

#endif
```

interoperability/rust/libanalyze/Android.bp

```
rust_ffi {
    name: "libanalyze_ffi",
    crate_name: "analyze_ffi",
    srcs: ["analyze.rs"],
    include_dirs: ["."],
}
```

Ahora podemos llamarlo desde un binario de C:

interoperability/rust/analyze/main.c

```
#include "analyze.h"

int main() {
  analyze_numbers(10, 20);
  analyze_numbers(123, 123);
  return 0;
}
```

interoperability/rust/analyze/Android.bp

```
cc_binary {
    name: "analyze_numbers",
    srcs: ["main.c"],
    static_libs: ["libanalyze_ffi"],
}
```

Compila, inserta y ejecuta el binario en tu dispositivo:

```
m analyze_numbers
adb push "$ANDROID_PRODUCT_OUT/system/bin/analyze_numbers" /data/local/tmp
adb shell /data/local/tmp/analyze_numbers
```

”#[no_mangle]” inhabilita la modificación de nombres habitual de Rust, por lo que el símbolo exportado será el nombre de la función. También puedes utilizar `#[export_name = "some_name"]` para especificar el nombre que quieras.

37.2 Con C++

El crate CXX permite una interoperabilidad segura entre Rust y C++.

El enfoque general es el siguiente:

37.2.1 El Modulo Puente (Bridge)

CXX se basa en una descripción de las firmas de la función que se mostrarán de un lenguaje a otro. Proporcionas esta descripción mediante bloques externos en un módulo de Rust anotado con la macro de atributo `#[cxx::bridge]`.

```
mod ffi {
    // Estructuras compartidas con campos visibles para ambos lenguajes.
    struct BlobMetadata {
        size: usize,
        tags: Vec<String>,
    }

    // Tipos y firmas de Rust expuestos a C++.
    extern "Rust" {
        type MultiBuf;

        fn next_chunk(buf: &mut MultiBuf) -> &[u8];
    }

    // Tipos y firmas de C++ y expuestos a Rust.
    unsafe extern "C++" {
        include!("include/blobstore.h");

        type BlobstoreClient;

        fn new_blobstore_client() -> UniquePtr<BlobstoreClient>;
        fn put(self: Pin<&mut BlobstoreClient>, parts: &mut MultiBuf) -> u64;
        fn tag(self: Pin<&mut BlobstoreClient>, blobid: u64, tag: &str);
        fn metadata(&self, blobid: u64) -> BlobMetadata;
    }
}
```

- Bridge se declara generalmente en un módulo `ffi` dentro del crate.
- A partir de las declaraciones que se han hecho en el módulo bridge, CXX generará definiciones de funciones o tipos de Rust y C++ que coincidan para exponer esos elementos a ambos lenguajes.
- Para ver el código de Rust generado, usa cargo-expand para ver la macro de procedimiento desplegada. En la mayoría de los ejemplos, se utilizaría `cargo expand ::ffi` para desplegar únicamente el módulo `ffi` (aunque esta acción no se aplica a los proyectos de Android).

- Para ver el código C++ generado, consulta `target/cxxbridge`.

37.2.2 Declaraciones Bridge en Rust

```
mod ffi {
    extern "Rust" {
        type MyType; // Tipo opaco
        fn foo(&self); // Método en `MyType`
        fn bar() -> Box<MyType>; // Free function
    }
}

struct MyType(i32);

impl MyType {
    fn foo(&self) {
        println!("{}", self.0);
    }
}

fn bar() -> Box<MyType> {
    Box::new(MyType(123))
}
```

- Elementos declarados en los elementos de referencia ‘extern de ”Rust” que se encuentran dentro del ámbito del módulo superior.
- El generador de código CXX utiliza las secciones `extern de "Rust"` para generar un archivo de encabezado de C++ que contenga las declaraciones de C++ correspondientes. El encabezado generado tiene la misma ruta que el archivo de origen de Rust que contiene el patrón bridge, excepto con la extensión de archivo .rs.h.

37.2.3 C++ generado

```
mod ffi {
    // Tipos y firmas de Rust expuestos a C++.
    extern "Rust" {
        type MultiBuf;

        fn next_chunk(buf: &mut MultiBuf) -> &[u8];
    }
}
```

Los resultados son (aproximadamente) los que se muestran a continuación en C++:

```
struct MultiBuf final : public ::rust::Opaque {
  ~MultiBuf() = delete;

private:
  friend ::rust::layout;
  struct layout {
    static ::std::size_t size() noexcept;
    static ::std::size_t align() noexcept;
```

```
  };
};

::rust::Slice<::std::uint8_t const> next_chunk(::org::blobstore::MultiBuf &buf) noexcept
```

37.2.4 Declaraciones Bridge en C++

```
mod ffi {
    // Tipos y firmas de C++ y expuestos a Rust.
    unsafe extern "C++" {
        include!("include/blobstore.h");

        type BlobstoreClient;

        fn new_blobstore_client() -> UniquePtr<BlobstoreClient>;
        fn put(self: Pin<&mut BlobstoreClient>, parts: &mut MultiBuf) -> u64;
        fn tag(self: Pin<&mut BlobstoreClient>, blobid: u64, tag: &str);
        fn metadata(&self, blobid: u64) -> BlobMetadata;
    }
}
```

Los resultados son (aproximadamente) los que se muestran a continuación en Rust:

```
pub struct BlobstoreClient {
    _private: ::cxx::private::Opaque,
}

pub fn new_blobstore_client() -> ::cxx::UniquePtr<BlobstoreClient> {
    extern "C" {
        fn __new_blobstore_client() -> *mut BlobstoreClient;
    }
    unsafe { ::cxx::UniquePtr::from_raw(__new_blobstore_client()) }
}

impl BlobstoreClient {
    pub fn put(&self, parts: &mut MultiBuf) -> u64 {
        extern "C" {
            fn __put(
                _: &BlobstoreClient,
                parts: *mut ::cxx::core::ffi::c_void,
            ) -> u64;
        }
        unsafe {
            __put(self, parts as *mut MultiBuf as *mut ::cxx::core::ffi::c_void)
        }
    }
}

// ...
```

- El programador no tiene que asegurar que las firmas que ha introducido son precisas. CXX lleva a cabo aserciones estáticas en las que las firmas se corresponden exactamente

con lo que se declara en C++.
- Los bloques `unsafe extern` permiten declarar funciones de C++ que se pueden llamar de forma segura desde Rust.

37.2.5 Tipos de datos compartidos

```
mod ffi {
    struct PlayingCard {
        suit: Suit,
        value: u8,  // A=1, J=11, Q=12, K=13
    }

    enum Suit {
        Clubs,
        Diamonds,
        Hearts,
        Spades,
    }
}
```

- Solo se admiten enums tipo C (unidad).
- Un número limitado de traits es compatible con `#[derive()]` en los tipos compartidos. La función correspondiente también se genera para el código C++; por ejemplo, si derivas `Hash`, también genera una implementación de `std::hash` para el tipo de C++ correspondiente.

37.2.6 Enums compartidos

```
mod ffi {
    enum Suit {
        Clubs,
        Diamonds,
        Hearts,
        Spades,
    }
}
```

Rust generado:

```
pub struct Suit {
    pub repr: u8,
}

impl Suit {
    pub const Clubs: Self = Suit { repr: 0 };
    pub const Diamonds: Self = Suit { repr: 1 };
    pub const Hearts: Self = Suit { repr: 2 };
    pub const Spades: Self = Suit { repr: 3 };
}
```

C++ generado:

```
enum class Suit : uint8_t {
  Clubs = 0,
  Diamonds = 1,
  Hearts = 2,
  Spades = 3,
};
```

- En Rust, el código generado para las enums compartidas es en realidad una estructura que envuelve un valor numérico. Esto se debe a que no es un comportamiento indefinido en C++ para que una clase de enum contenga un valor distinto de todas las variantes enumeradas y nuestra representación en Rust debe tener el mismo comportamiento.

37.2.7 Manejo de Errores en Rust

```
mod ffi {
    extern "Rust" {
        fn fallible(depth: usize) -> Result<String>;
    }
}

fn fallible(depth: usize) -> anyhow::Result<String> {
    if depth == 0 {
        return Err(anyhow::Error::msg("fallible1 requiere una profundidad > 0"));
    }

    Ok("Correcto.".into())
}
```

- Las funciones de Rust que devuelven `Result` se convierten en excepciones en C++.
- La excepción que se genera siempre será del tipo `rust::Error`, que muestra principalmente una forma de obtener la cadena del mensaje de error. El mensaje de error procede de la implementación `Display` del tipo de error.
- Si un pánico pasa de Rust a C++, el proceso siempre finalizará inmediatamente.

37.2.8 Manejo de Errores en C++

```
mod ffi {
    unsafe extern "C++" {
        include!("example/include/example.h");
        fn fallible(depth: usize) -> Result<String>;
    }
}

fn main() {
    if let Err(err) = ffi::fallible(99) {
        eprintln!("Error: {}", err);
        process::exit(1);
    }
}
```

- Las funciones de C++ declaradas para devolver un `Result` detectarán cualquier excepción en C++ y la devolverán como un valor `Err` a la función de llamada de Rust.

- Si se produce una excepción desde una función externa de "C++" no declarada por el bridge de CXX para devolver `Result`, el programa llamará a `std::terminate` de C++. El comportamiento equivale a la misma excepción que se genera mediante una función `noexcept`de C++.

37.2.9 Tipos adicionales

Rust Type	C++ Type
`String`	`rust::String`
`&str`	`rust::Str`
`CxxString`	`std::string`
`&[T]/&mut [T]`	`rust::Slice`
`Box<T>`	`rust::Box<T>`
`UniquePtr<T>`	`std::unique_ptr<T>`
`Vec<T>`	`rust::Vec<T>`
`CxxVector<T>`	`std::vector<T>`

- Estos tipos se pueden utilizar en los campos de estructura compartidas y en los argumentos e instrucciones de retorno de las funciones externas.
- Ten en cuenta que `String` de Rust no se cruza directamente con `std::string`. Puede haber varios motivos:
  - `std::string` no mantiene la invariante de UTF-8 que requiere `String`.
  - Los dos tipos tienen diseños diferentes en la memoria y, por lo tanto, no se pueden transferir directamente entre lenguajes.
  - `std::string` requiere constructores de movimiento que no coincidan con la semántica de movimiento de Rust, por lo que `std::string` no se puede transferir a Rust mediante un valor.

37.2.10 Building in Android

Crea un `cc_library_static` para compilar la biblioteca de C++, incluidos el encabezado y el archivo de origen generados por CXX.

```
cc_library_static {
    name: "libcxx_test_cpp",
    srcs: ["cxx_test.cpp"],
    generated_headers: [
        "cxx-bridge-header",
        "libcxx_test_bridge_header"
    ],
    generated_sources: ["libcxx_test_bridge_code"],
}
```

- Señala que `libcxx_test_bridge_header` y `libcxx_test_bridge_code` son las dependencias de los enlaces de C++ generados por CXX. En la siguiente diapositiva veremos cómo se configuran.
- Ten en cuenta que también debes depender de la biblioteca `cxx-bridge-header` para obtener definiciones de CXX habituales.

- Los documentos completos sobre el uso de CXX en Android se pueden encontrar en los documentos de Android. Puedes compartir ese enlace con la clase para que los participantes sepan dónde pueden buscar estas instrucciones de ahora en adelante.

37.2.11 Building in Android

Crea dos genrule, una para generar el encabezado de CXX y otra para generar el archivo de origen de CXX. Luego se usarán como entradas a `cc_library_static`.

```
// Genera un encabezado de C++ que contenga los enlaces de C++
// a las funciones exportadas de Rust en lib.rs.
genrule {
    name: "libcxx_test_bridge_header",
    tools: ["cxxbridge"],
    cmd: "$(location cxxbridge) $(in) --header > $(out)",
    srcs: ["lib.rs"],
    out: ["lib.rs.h"],
}

// Genera el código C++ al que llama Rust.
genrule {
    name: "libcxx_test_bridge_code",
    tools: ["cxxbridge"],
    cmd: "$(location cxxbridge) $(in) > $(out)",
    srcs: ["lib.rs"],
    out: ["lib.rs.cc"],
}
```

- La herramienta `cxxbridge` es una herramienta independiente que genera el lado C++ del módulo de bridge. Se incluye en Android y está disponible como herramienta de Soong.
- Por convención, si el archivo de origen de Rust es `lib.rs`, el archivo de encabezado se llamará `lib.rs.h` y el archivo de origen, `lib.rs.cc`. Sin embargo, esta convención en cuanto a la nomenclatura no es obligatoria.

37.2.12 Building in Android

Crea un `rust_binary` que dependa de `libcxx` y de tu `cc_library_static`.

```
rust_binary {
    name: "cxx_test",
    srcs: ["lib.rs"],
    rustlibs: ["libcxx"],
    static_libs: ["libcxx_test_cpp"],
}
```

37.3 Interoperabilidad con Java

Java puede cargar objetos compartidos a través de la interfaz nativa de Java (JNI). El crate `jni` permite crear una biblioteca compatible.

En primer lugar, creamos una función de Rust para exportar a Java:

interoperability/java/src/lib.rs:

```
//! Rust <-> Demo de FFI de Java.

use jni::objects::{JClass, JString};
use jni::sys::jstring;
use jni::JNIEnv;

/// Implementación del método HelloWorld::hello.
pub extern "system" fn Java_HelloWorld_hello(
    env: JNIEnv,
    _class: JClass,
    name: JString,
) -> jstring {
    let input: String = env.get_string(name).unwrap().into();
    let greeting = format!("¡Hola, {input}!");
    let output = env.new_string(greeting).unwrap();
    output.into_inner()
}
```

interoperability/java/Android.bp:

```
rust_ffi_shared {
    name: "libhello_jni",
    crate_name: "hello_jni",
    srcs: ["src/lib.rs"],
    rustlibs: ["libjni"],
}
```

We then call this function from Java:

interoperability/java/HelloWorld.java:

```
class HelloWorld {
    private static native String hello(String name);

    static {
        System.loadLibrary("hello_jni");
    }

    public static void main(String[] args) {
        String output = HelloWorld.hello("Alice");
        System.out.println(output);
    }
}
```

interoperability/java/Android.bp:

```
java_binary {
    name: "helloworld_jni",
    srcs: ["HelloWorld.java"],
    main_class: "HelloWorld",
    required: ["libhello_jni"],
```

```
}
```

Ahora puedes compilar, sincronizar y ejecutar el binario:

```
m helloworld_jni
adb sync  # requires adb root && adb remount
adb shell /system/bin/helloworld_jni
```

Capítulo 38

Ejercicios

Este es un ejercicio de grupo: escogeremos uno de los proyectos con los que se esté trabajando e intentaremos integrar Rust en él. Algunas sugerencias:

- Llama a tu servicio de AIDL con un cliente escrito en Rust.
- Mueve una función desde tu proyecto a Rust y llámala.

Aquí la solución es abierta, ya que depende de que alguno de los asistentes tenga un fragmento de código que se pueda convertir en Rust sobre la marcha.

Parte X

Chromium

Capítulo 39

Te Damos la Bienvenida a Rust en Chromium

Rust es compatible con bibliotecas de terceros en Chromium, con código pegamento propio para conectar Rust y el código de C++ de Chromium ya existente.

> Hoy vamos a llamar a Rust para que haga algo divertido con las cadenas. Si tienes una esquina del código donde se muestra una cadena UTF8 al usuario, no dudes en seguir estas instrucciones en tu parte del código base en lugar de la parte exacta de la que hablamos.

Capítulo 40

Configurar

Asegúrate de que puedes compilar y ejecutar Chromium. Cualquier plataforma y conjunto de marcas de compilación es apto, siempre que tu código sea relativamente reciente (posición de commit 1223636 en adelante, correspondiente a noviembre del 2023):

```
gn gen out/Debug
autoninja -C out/Debug chrome
out/Debug/chrome # or on Mac, out/Debug/Chromium.app/Contents/MacOS/Chromium
```

(Se recomienda una versión de depuración de componentes para que el tiempo de iteración sea más rápido. Esta es la opción predeterminada).

Consulta cómo compilar Chromium si aún no lo has hecho. Advertencia: el proceso de configuración para compilar Chromium puede tardar.

Se recomienda que tengas instalado Visual Studio Code.

Información sobre los ejercicios

Esta parte del curso consta de una serie de ejercicios que se complementan entre sí. Las iremos repartiendo a lo largo del curso en lugar de hacerlos todo al final. Si no tienes tiempo para completar una parte concreta, no te preocupes, podrás ponerte al día en la siguiente clase.

Capítulo 41

Comparación de los ecosistemas de Chromium y Cargo

The Rust community typically uses `cargo` and libraries from crates.io. Chromium is built using gn and `ninja` and a curated set of dependencies.

A la hora de escribir código en Rust, hay disponibles varias opciones:

- Usar gn y `ninja` con la ayuda de las plantillas de `//build/rust/*.gni` (por ejemplo, `rust_static_library`, que veremos más adelante). Se usan la cadena de herramientas y los crates auditados de Chromium.
- Usar `cargo`, pero restringiendo el uso de la cadena de herramientas y los crates auditados de Chromium.
- Usa `cargo` con una cadena de herramientas o crates descargados de Internet.

A partir de ahora, nos centraremos en gn y `ninja`, ya que así es como se puede compilar el código de Rust en el navegador Chromium. De igual forma, Cargo es una parte importante del ecosistema de Rust y deberías conservarlo en tu caja de herramientas.

Ejercicio rápido

Formad grupos pequeños para:

- Hacer una lluvia de ideas sobre situaciones en las que `cargo` pueda ofrecer ventajas y evaluar el perfil de riesgo.
- Debatir en qué herramientas, bibliotecas y grupos de personas hay que confiar al usar gn y `ninja`, `cargo` offline, etc.

Pide a los participantes que eviten mirar las notas del orador antes de completar el ejercicio. Suponiendo que todas las personas que hacen el curso están en la misma sala, pídeles que hablen en grupos pequeños de 3 a 4 personas.

Notas y sugerencias relacionadas con la primera parte del ejercicio (”situaciones en las que Cargo puede ofrecer ventajas”):

- Es genial que al escribir una herramienta o crear prototipos de una parte de Chromium se pueda acceder al extenso ecosistema de bibliotecas crates.io. Hay un crate para

casi cualquier cosa y suelen ser muy fáciles de usar (`clap` para el análisis de la línea de comandos, `serde` para la serialización y deserialización a/desde varios formatos, `itertools` para trabajar con iteradores, etc.).

  - `cargo` permite probar una biblioteca fácilmente (solo hay que añadir una línea a `Cargo.toml` y empezar a escribir el código).
  - Merece la pena comparar cómo la CPAN ayudó a que `perl` fuera una opción popular o compararlo con `python` + `pip`.

- La experiencia de desarrollo no solo es agradable gracias a las herramientas principales de Rust (por ejemplo, al usar `rustup` para cambiar a una versión diferente de `rustc` cuando se prueba un crate que necesita funcionar en nightly, stable actual y antiguas versiones de stable), sino también a un ecosistema de herramientas de terceros (por ejemplo, Mozilla proporciona `cargo vet` para optimizar y compartir auditorías de seguridad; el crate `criterion` ofrece un método optimizado para ejecutar comparativas).

  - `cargo` permite añadir fácilmente una herramienta mediante `cargoinstall --locked cargo-vet`.
  - Merece la pena compararlo con las extensiones de Chrome o con las de VScode.

- Ejemplos generales y genéricos de proyectos en los que `cargo` puede ser la opción más adecuada:

  - Sorprendentemente, Rust se está volviendo cada vez más popular en el sector por su función de escritura de herramientas de línea de comandos. La amplitud y la ergonomía de las bibliotecas son similares a las de Python, pero son más sólidas (gracias al sistema de tipos enriquecido) y funcionan más rápido (como lenguaje compilado en lugar de interpretado).
  - Para participar en el ecosistema de Rust, es necesario usar herramientas estándar de Rust, como Cargo. Las bibliotecas que quieran recibir contribuciones externas y actuar fuera de Chromium (por ejemplo, en entornos de desarrollo de Bazel o Android/Soong) deberían utilizar Cargo.

- Ejemplos de proyectos relacionados con Chromium que se basan en `cargo`:

  - `serde_json_lenient` (experimentado en otras partes de Google que ha dado lugar a PRs con mejoras de rendimiento).
  - Bibliotecas de fuentes, como `font-types`.
  - La herramienta `gnrt` (la veremos más adelante en el curso), que depende de `clap` para el análisis de la línea de comandos y de `toml` para los archivos de configuración.
    * Disclaimer: a unique reason for using `cargo` was unavailability of gn when building and bootstrapping Rust standard library when building Rust toolchain.
    * `run_gnrt.py` uses Chromium's copy of `cargo` and `rustc`. `gnrt` depends on third-party libraries downloaded from the internet, but `run_gnrt.py` asks `cargo` that only `--locked` content is allowed via `Cargo.lock`.)

Los participantes pueden tratar de identificar si los siguientes elementos son de confianza implícita o explícita:

- `rustc` (el compilador de Rust), que a su vez depende de las bibliotecas LLVM, el compilador Clang, las fuentes `rustc` (obtenidas de GitHub y revisadas por el equipo de compilación de Rust), y el compilador binario de Rust descargado para el bootstrapping.

- `rustup` (merece la pena destacar que `rustup` se desarrolla en la misma organización que `rustc`, https://github.com/rust-lang/).
- `cargo`, `rustfmt`, etc.
- Varias infraestructuras internas (bots que compilan `rustc`, sistemas para distribuir la cadena de herramientas precompiladas a los ingenieros de Chromium, etc.)
- Herramientas de Cargo, como `cargo audit`, `cargo vet`, etc.
- Bibliotecas de Rust incluidas en `//third_party/rust` (auditoría de security@chromium.org).
- Otras bibliotecas de Rust (algunas de nicho, otras bastante populares y de uso común).

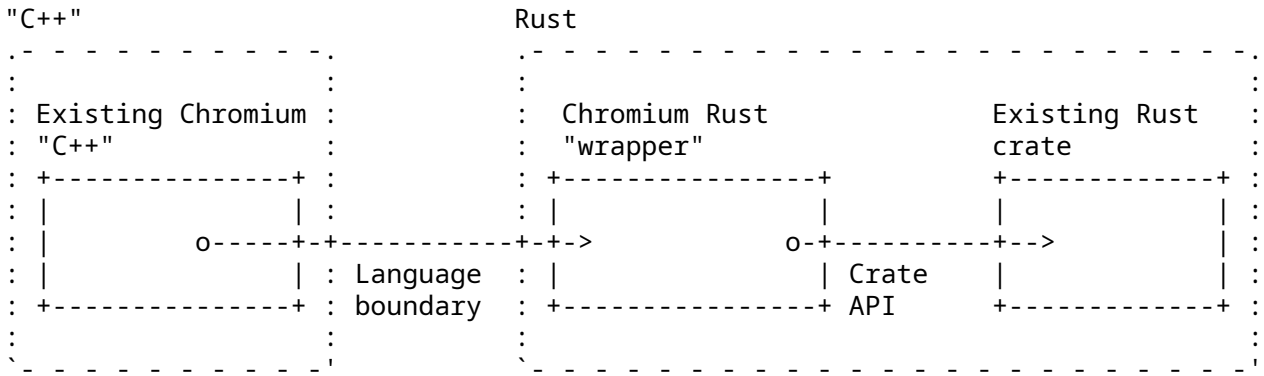
Capítulo 42

Política de Chromium Rust

Chromium aún no permite usar Rust propio, excepto en casos excepcionales, según lo aprobado por Area Tech Leads.

La política de Chromium sobre bibliotecas de terceros se describe aquí. Se permite el uso de Rust para bibliotecas de terceros en algunos casos, incluido si son la mejor opción en cuanto al rendimiento o seguridad.

Muy pocas bibliotecas de Rust exponen directamente una API de C o C++, por lo que casi todas estas bibliotecas necesitarán una pequeña parte de código pegamento propio.



El código pegamento propio de Rust para un crate de terceros concreto normalmente debe guardarse en `third_party/rust/<crate>/<version>/wrapper`.

Por este motivo, el curso de hoy se centrará en los siguientes temas:

- Incorporación de bibliotecas Rust de terceros (”crates”).
- Escribir código pegamento para poder usar esos crates desde Chromium C++.

Si esta política cambia con el tiempo, el curso irá evolucionando para adaptarse al cambio.

Capítulo 43

Reglas de Compilación (*Build*)

El código de Rust se suele compilar con `cargo`. Chromium se compila con gn y `ninja` para aumentar la eficiencia. Sus reglas estáticas permiten el máximo paralelismo. Rust no es una excepción.

Añadir código de Rust a Chromium

En algunos archivos `BUILD.gn` de Chromium, declara una `rust_static_library`:

```
import("//build/rust/rust_static_library.gni")

rust_static_library("my_rust_lib") {
  crate_root = "lib.rs"
  sources = [ "lib.rs" ]
}
```

También puedes añadir `deps` en otros segmentos de Rust. Más adelante, lo usaremos en función del código de terceros.

Debes especificar *tanto* la raíz del crate *como* una lista completa de recursos. `crate_root` es el archivo proporcionado al compilador de Rust que representa el archivo raíz de la unidad de compilación, que suele ser `lib.rs`. `sources` es una lista completa de todos los archivos de origen que necesita `ninja` para determinar cuándo es necesario compilar de nuevo.

(No existe `source_set` en Rust porque un crate completo ya es una unidad de compilación. Una `static_library` es la unidad más pequeña).

Puede que los participantes se pregunten por qué necesitamos una plantilla gn en vez de usar la compatibilidad integrada de gn para las bibliotecas estáticas de Rust. La respuesta es que esta plantilla es compatible con la interoperabilidad de CXX, las funciones de Rust y las pruebas unitarias, algunas de las cuales usaremos más adelante.

43.1 Incluir código de Rust `unsafe`

El código de Rust inseguro está prohibido en `rust_static_library` de forma predeterminada, por lo que no se podrá compilar. Si necesitas código de Rust inseguro, añade `allow_unsafe`

= true al elemento de destino de gn. (Más adelante en el curso veremos circunstancias en las que es necesario hacerlo).

```
import("//build/rust/rust_static_library.gni")

rust_static_library("my_rust_lib") {
  crate_root = "lib.rs"
  sources = [
    "lib.rs",
    "hippopotamus.rs"
  ]
  allow_unsafe = true
}
```

43.2 Depender de código de Rust desde Chromium C++

Solo tienes que añadir el elemento de destino que aparece arriba a los deps de algún elemento de destino de Chromium C++.

```
import("//build/rust/rust_static_library.gni")

rust_static_library("my_rust_lib") {
  crate_root = "lib.rs"
  sources = [ "lib.rs" ]
}

# or source_set, static_library etc.
component("preexisting_cpp") {
  deps = [ ":my_rust_lib" ]
}
```

43.3 Visual Studio Code

Los tipos se omiten en el código de Rust, lo que hace que un buen IDE sea aún más útil para C++. El código de Visual Studio funciona bien con Rust en Chromium. Para utilizarlo, haz lo siguiente:

- Asegúrate de que VSCode tenga la extensión `rust-analyzer`, no versiones anteriores de compatibilidad con Rust.
- `gn gen out/Debug --export-rust-project` (o el equivalente en tu directorio de salida).
- `ln -s out/Debug/rust-project.json rust-project.json`.

Una demo de algunas de las funciones de anotación de código y exploración de rust-analyzer puede ser útil si los asistentes se muestran escépticos por los IDE.

Los siguientes pasos pueden servir de ayuda con la demo (aunque puedes usar un fragmento de Rust relacionado con Chromium que te resulte más familiar):

- Abre `components/qr_code_generator/qr_code_generator_ffi_glue.rs`.
- Coloca el cursor sobre la llamada `QrCode::new` (aproximadamente en la línea 26) en ‘qr_code_generator_ffi_glue.rs.

- Demo **mostrar la documentación** (enlaces típicos: vscode = ctrl ki; vim/CoC = K).
- Demo **ir a la definición** (enlaces típicos: vscode = F12; vim/CoC = gd) (Esta acción te llevará a `//third_party/rust/.../qr_code-.../src/lib.rs`).
- Demo **esquema** y desplázate hasta el método `QrCode::with_bits` (en la línea 164. El esquema se encuentra en el panel del explorador de archivos de vscode. Enlaces típicos de vim/CoC = espacio o).
- Demo **type annotations** (there are quite a few nice examples in the `QrCode::with_bits` method)

Es necesario destacar que hay que volver a ejecutar `gn gen ... --export-rust-project` después de editar los archivos `BUILD.gn` (lo haremos varias veces a lo largo de los ejercicios de esta sesión).

43.4 Ejercicio de reglas de compilación

En tu compilación de Chromium, añade un nuevo elemento de destino de Rust a `//ui/base/build.gn` que contenga lo siguiente:

```
pub extern "C" fn hello_from_rust() {
    println!("¡Saludos de parte Rust!")
}
```

Important: note that `no_mangle` here is considered a type of unsafety by the Rust compiler, so you'll need to allow unsafe code in your gn target.

Añade este nuevo elemento de destino de Rust como una dependencia de `//ui/base:base`. Declara esta función en la parte superior de `ui/base/resource/resource_bundle.cc` (más adelante veremos cómo se puede automatizar mediante herramientas de generación de enlaces):

```
extern "C" void hello_from_rust();
```

Llama a esta función desde algún lugar de `ui/base/resource/resource_bundle.cc`. Recomendamos hacerlo en la parte superior de `ResourceBundle::RSMangleLocalizedString`. Compila y ejecuta Chromium y asegúrate de que se imprima "¡Rust te manda un saludo!" muchas veces.

Si usas VSCode, ahora debes configurar Rust para que funcione correctamente en VSCode. Nos será útil en ejercicios posteriores. Si lo has completado correctamente, podrás hacer clic con el botón derecho y pulsar "Ir a la definición" en `println!`.

Dónde obtener ayuda

- Opciones disponibles de la plantilla gn `rust_static_library`
- Información sobre `#[no_mangle]`
- Información sobre `extern "C"`
- Información sobre el interruptor `--export-rust-project` de gn
- Cómo instalar rust-analyzer en VSCode

Este ejemplo no es habitual porque se reduce al lenguaje de interoperabilidad con el mínimo común denominador, C. Tanto C++ como Rust pueden declarar y llamar de forma nativa funciones ABI de C. Más adelante, conectaremos C++ directamente con Rust.

`allow_unsafe = true` es obligatorio porque `#[no_mangle]` podría permitir que Rust genere dos funciones con el mismo nombre, y Rust ya no puede asegurar que se llame a la correcta.

Si necesitas un ejecutable puro de Rust, también puedes hacerlo con la plantilla gn `rust_executable`.

Capítulo 44

Probando

La comunidad de Rust suele crear las pruebas unitarias en un módulo situado en el mismo archivo fuente que el código que se está probando. Este tema ya se ha tratado antes en el curso y tiene este aspecto:

```
mod tests {
    fn my_test() {
        todo!()
    }
}
```

En Chromium colocamos las pruebas unitarias en un archivo fuente independiente y continuamos con esta práctica con Rust. De esta forma, las pruebas se pueden encontrar de forma coherente y se evita volver a crear archivos `.rs` (en la configuración `test`).

Esta acción genera las siguientes opciones para probar el código de Rust en Chromium:

- Pruebas nativas de Rust (es decir, `#[test]`). No se recomienda hacerlas fuera de `//third_party/rust`.
- Pruebas `gtest` escritas en C++ y ejercicios con Rust mediante llamadas de FFI. Suficiente cuando el código de Rust es solo una capa fina de FFI y las pruebas unitarias existentes proporcionan suficiente cobertura para la función.
- Pruebas `gtest` creadas en Rust y usando el crate en prueba a través de su API pública (mediante `pub mod for_testing { ... }` si es necesario). Este es el tema de las siguientes diapositivas.

Menciona que los bots de Chromium deberían hacer pruebas nativas de Rust de crates de terceros tarde o temprano. (Estas pruebas rara vez son necesarias, solo después de añadir o actualizar crates de terceros).

Algunos ejemplos pueden ayudarte a ilustrar cuándo se debe usar `gtest` de C++ o `gtest` de Rust:

- QR cuenta con muy pocas funciones en la capa de Rust propia (solo es un código pegamento de FFI) y, por lo tanto, utiliza las pruebas unitarias de C++ existentes para probar la implementación de C++ y la de Rust (parametrizando las pruebas de modo que habiliten o inhabiliten Rust mediante un `ScopedFeatureList`).
- La integración hipotética/WIP de PNG puede necesitar una implementación segura en memoria de las transformaciones de píxeles que proporciona `libpng` pero que faltan

en el crate png, como por ejemplo, RGBA => BGRA o corrección gamma. Dicha función puede beneficiarse de pruebas independientes creadas en Rust.

44.1 Biblioteca `rust_gtest_interop`

La biblioteca `rust_gtest_interop` permite hacer lo siguiente:

- Usar una función de Rust como caso de prueba `gtest` (con el atributo `#[gtest(...)]`).
- Usar `expect_eq!` y macros similares (similares a `assert_eq!`, pero sin que se produzcan pánicos o sin finalizar la prueba cuando la aserción falle).

Ejemplo:

```
use rust_gtest_interop::prelude::*;

fn test_addition() {
    expect_eq!(2 + 2, 4);
}
```

44.2 Reglas GN para pruebas de Rust

La forma más sencilla de compilar pruebas `gtest` de Rust es añadirlas a un binario de prueba que ya contenga pruebas creadas en C++. Por ejemplo:

```
test("ui_base_unittests") {
  ...
  sources += [ "my_rust_lib_unittest.rs" ]
  deps += [ ":my_rust_lib" ]
}
```

La creación de pruebas de Rust en una `static_library` independiente también funciona, pero es necesario declarar manualmente la dependencia en las bibliotecas de compatibilidad:

```
rust_static_library("my_rust_lib_unittests") {
  testonly = true
  is_gtest_unittests = true
  crate_root = "my_rust_lib_unittest.rs"
  sources = [ "my_rust_lib_unittest.rs" ]
  deps = [
    ":my_rust_lib",
    "//testing/rust_gtest_interop",
  ]
}

test("ui_base_unittests") {
  ...
  deps += [ ":my_rust_lib_unittests" ]
}
```

44.3 Macro `chromium::import!`

Después de añadir `:my_rust_lib` a GN `deps`, tenemos que aprender a importar y usar `my_rust_lib` desde `my_rust_lib_unittest.rs`. No hemos proporcionado un `crate_name` explícito para `my_rust_lib`, por lo que el nombre del crate se calcula en función de la ruta y el nombre de destino completos. Por suerte, podemos evitar trabajar con un nombre tan poco práctico usando la macro `chromium::import!` del crate `chromium` importado automáticamente:

```
chromium::import! {
    "//ui/base:my_rust_lib";
}

use my_rust_lib::my_function_under_test;
```

En un segundo plano, la macro se expande a algo parecido a lo siguiente:

```
extern crate ui_sbase_cmy_urust_ulib as my_rust_lib;

use my_rust_lib::my_function_under_test;
```

Puedes obtener más información en el comentario del documento de la macro `chromium::import`.

`rust_static_library` permite especificar un nombre explícito mediante la propiedad `crate_name`, pero no se recomienda hacerlo. El motivo es porque el nombre del crate debe ser único en todo el mundo. crates.io garantiza la exclusividad de sus nombres de crate, de modo que los elementos de destino de GN `cargo_crate` (generados por la herramienta `gnrt` que se explican en una sección posterior) usan nombres de crate cortos.

44.4 Ejercicio de pruebas

¡Vamos a hacer otro ejercicio!

En tu compilación de Chromium:

- Añade una función que se pueda probar junto a `hello_from_rust`. Aquí tienes algunas sugerencias: añadir dos números enteros recibidos como argumentos, calcular el enésimo número de la serie Fibonacci, sumar los enteros en un slice, etc.
- Añade un archivo `..._unittest.rs` independiente con una prueba de la nueva función.
- Añade las nuevas pruebas a `BUILD.gn`.
- Compila las pruebas, ejecútalas y comprueba que la nueva prueba funciona.

Capítulo 45

Interoperabilidad con C++

La comunidad de Rust ofrece muchas opciones para la interoperabilidad de C++ y Rust, y continuamente se están desarrollando nuevas herramientas. Actualmente, Chromium usa la herramienta CXX.

Describe todos los límites de tu lenguaje en un lenguaje de definición de interfaz (que se parece mucho a Rust) y, a continuación, las herramientas CXX generarán declaraciones de funciones y tipos tanto en Rust como en C++.

Consulta el tutorial de CXX para ver un ejemplo completo de su uso.

Aclara el diagrama. Explica que, en segundo plano, esto hace lo mismo que hemos hecho antes. Señala que automatizar el proceso supone las siguientes ventajas:

- La herramienta asegura que C++ y Rust coincidan (por ejemplo, se producen errores de compilación si `#[cxx::bridge]` no coincide con las definiciones de C++ o Rust reales, pero con enlaces manuales no sincronizados, se obtendría un comportamiento no definido)
- La herramienta automatiza la generación de thunks FFI (funciones pequeñas, compatibles con la ABI de C y gratuitas) para funciones que no son de C (por ejemplo, habilitar llamadas de FFI en métodos de Rust o C++. Los enlaces manuales requerirían la creación manual de estas funciones gratuitas de nivel superior).
- La herramienta y la biblioteca pueden gestionar un conjunto de tipos principales, como por ejemplo:
  - `&[T]` se puede transferir a través del límite de FFI, aunque no garantiza ningún diseño concreto de ABI o de memoria. Con los enlaces manuales, `std::span<T>` y `&[T]` se tienen que desestructurar manualmente y compilarlos a partir de un puntero y una longitud. Esto suele acarrear errores, ya que cada lenguaje representa los slices vacíos de forma ligeramente distinta.
  - Los punteros inteligentes como `std::unique_ptr<T>`, `std::shared_ptr<T>` o `Box` se admiten de forma nativa. Con los enlaces manuales, sería necesario pasar punteros sin formato compatibles con ABI de C, lo que aumentaría los riesgos de tiempo de vida y de seguridad en la memoria.
  - Los tipos `rust::String` y `CxxString` entienden y mantienen las diferencias en la representación de cadenas en los distintos lenguajes (por ejemplo, `rust::String::lossy` puede crear una cadena de Rust a partir de una entrada que no sea UTF8 y `rust::String::c_str` puede terminar una cadena con un

carácter nulo).

45.1 Ejemplos

CXX necesita que se declare todo el límite de C++ o Rust en los módulos `cxx::bridge` del código fuente `.rs`.

```
mod ffi {
    extern "Rust" {
        type MultiBuf;

        fn next_chunk(buf: &mut MultiBuf) -> &[u8];
    }

    unsafe extern "C++" {
        include!("example/include/blobstore.h");

        type BlobstoreClient;

        fn new_blobstore_client() -> UniquePtr<BlobstoreClient>;
        fn put(self: &BlobstoreClient, buf: &mut MultiBuf) -> Result<u64>;
    }
}

// Las definiciones de los tipos y las funciones de Rust se colocan aquí
```

Señala lo siguiente:

- Aunque parece un `mod` de Rust habitual, la macro de procedimiento `#[cxx::bridge]` es capaz de desempeñar tareas complejas. El código generado es bastante más sofisticado, aunque aun así da como resultado un `mod` llamado `ffi` en el código.
- Compatibilidad nativa con `std::unique_ptr` de C++ en Rust.
- Compatibilidad nativa con los slices de Rust en C++.
- Llamadas de C++ a Rust y tipos de Rust (en la parte superior).
- Llamadas de Rust a C++ y tipos de C++ (en la parte inferior).

Error común: *Parece* que Rust está analizando un encabezado de C++, pero no es así. Rust nunca interpreta este encabezado, sino que simplifica `#included` en el código C++ generado para ayudar a los compiladores de C++.

Limitaciones de CXX

By far the most useful page when using CXX is the type reference.

CXX se adapta básicamente a los casos en los que:

- La interfaz de Rust-C++ es lo suficientemente sencilla como para se pueda declarar por completo.
- Solo estás usando los tipos compatibles de forma nativa con CXX, como `std::unique_ptr`, `std::string` o `&[u8]`, entre otros.

Tiene muchas limitaciones, por ejemplo, la falta de compatibilidad con el tipo `Option` de Rust.

Estas restricciones nos limitan a usar Rust en Chromium solo para ”nodos hoja” muy aislados, en lugar de para la interoperabilidad arbitraria de Rust-C++. Si te planteas un caso práctico de Rust en Chromium, un buen punto de partida es hacer un borrador de los enlaces de CXX para el límite del lenguaje para ver si te parece lo suficientemente sencillo.

También debes hablar de algunos de los otros aspectos delicados con CXX, como los siguientes:

- Su gestión de errores se basa en las excepciones de C++ (como se muestra en la siguiente diapositiva).
- Los punteros de función no son muy fáciles de usar.

45.2 Manejo de Errores en CXX

La compatibilidad con `Result<T,E>` de CXX se basa en excepciones de C++, por lo que no podemos usarlo en Chromium. Alternativas:

- La parte `T` de `Result<T, E>` puede:
  - Devolverse a través de parámetros externos (por ejemplo, mediante `&mut T`). Esto requiere que `T` se pueda transferir a través del límite de FFI. Por ejemplo, `T` tiene que ser:
    * Un tipo primitivo (como `u32` o `usize`).
    * Un tipo compatible de forma nativa con `cxx` (como `UniquePtr<T>`) que tiene un valor predeterminado adecuado para usarlo en caso de fallo (*a diferencia de* `Box<T>`).
  - Mantenerse en el lado de Rust y mostrarse mediante referencia. Esto puede ser necesario cuando `T` es un tipo de Rust, que no se puede transmitir mediante el límite de FFI ni se puede almacenar en `UniquePtr<T>`.
- La parte `E` de `Result<T, E>` puede:
  - Devolverse como un valor booleano (por ejemplo, `true` representa el éxito y `false` representa el error).
  - En teoría, es posible conservar los detalles de los errores, pero hasta ahora no se ha necesitado en la práctica.

45.2.1 Manejo de Errores en CXX: Ejemplo de QR

El generador de código QR es un ejemplo en el que el valor booleano se utiliza para comunicar que el resultado es correcto o no, y dónde se puede transmitir el resultado correcto a través del límite de FFI:

```
mod ffi {
    extern "Rust" {
        fn generate_qr_code_using_rust(
            data: &[u8],
            min_version: i16,
            out_pixels: Pin<&mut CxxVector<u8>>,
            out_qr_size: &mut usize,
        ) -> bool;
    }
}
```

Puede que los participantes sientan curiosidad acerca de la semántica del resultado de salida `out_qr_size`. No se trata del tamaño del vector, sino del tamaño del código QR (y admitimos que es un poco redundante, ya que se trata de la raíz cuadrada del tamaño del vector).

Cabe destacar la importancia de inicializar `out_qr_size` antes de llamar a la función de Rust. La creación de una referencia de Rust que apunte a una memoria no inicializada tiene como resultado un comportamiento indefinido (a diferencia de C++, cuando solo el acto de desreferenciar la memoria resulta en comportamiento indefinido).

Si los participantes preguntan por `Pin`, explica por qué CXX lo necesita para referencias mutables a datos de C++. Los datos de C++ no se pueden mover como los datos de Rust, ya que pueden contener punteros de autorreferencia.

45.2.2 CXX Error Handling: PNG Example

Un prototipo de un decodificador PNG ilustra lo que se puede hacer cuando el resultado correcto no se puede transmitir a través del límite de FFI:

```
mod ffi {
    extern "Rust" {
        /// Esto devuelve un equivalente de `Result<PngReader<'a>,
        /// ()>`, compatible con FFI.
        fn new_png_reader<'a>(input: &'a [u8]) -> Box<ResultOfPngReader<'a>>;

        /// Enlaces de C++ para el tipo `crate::png::ResultOfPngReader`.
        type ResultOfPngReader<'a>;
        fn is_err(self: &ResultOfPngReader) -> bool;
        fn unwrap_as_mut<'a, 'b>(
            self: &'b mut ResultOfPngReader<'a>,
        ) -> &'b mut PngReader<'a>;

        /// Enlaces de C++ para el tipo `crate::png::PngReader`.
        type PngReader<'a>;
        fn height(self: &PngReader) -> u32;
        fn width(self: &PngReader) -> u32;
        fn read_rgba8(self: &mut PngReader, output: &mut [u8]) -> bool;
    }
}
```

`PngReader` y `ResultOfPngReader` son tipos de Rust. Los objetos de estos tipos no pueden cruzar el límite de FFI sin la indirección de un `Box<T>`. No se puede tener un `out_parameter: &mut PngReader`, ya que CXX no permite que C++ almacene objetos de Rust por valor.

Este ejemplo ilustra que, aunque CXX no es compatible con plantillas ni genéricos arbitrarios, podemos transmitirlos a través de los límites de FFI si los especializamos de forma manual o los monomorfizamos en un tipo no genérico. En el ejemplo, `ResultOfPngReader` es un tipo no genérico que redirige los métodos adecuados de `Result<T, E>` (por ejemplo, a `is_err`, `unwrap` o `as_mut`).

Usar cxx en Chromium

En Chromium, definimos un `#[cxx::bridge] mod` independiente para cada nodo hoja en el que queremos usar Rust. Normalmente hay uno por cada `rust_static_library`. Solo

tienes que añadir

```
cxx_bindings = [ "my_rust_file.rs" ]
   # list of files containing #[cxx::bridge], not all source files
allow_unsafe = true
```

al elemento `rust_static_library` que ya tengas junto con `crate_root` y `sources`.

Los encabezados de C++ se generarán en una ubicación razonable, por lo que puedes simplemente incluir

```
#include "ui/base/my_rust_file.rs.h"
```

Encontrarás algunas funciones de utilidad en `//base` para convertir a y desde los tipos de Chromium C++ en tipos CXX de Rust y viceversa. Por ejemplo, `SpanToRustSlice`.

Los participantes pueden preguntarse: "¿por qué sigue siendo necesario `allow_unsafe = true`?"

La respuesta es que ningún código de C o C++ es "seguro" según los estándares normales de Rust. Si se llama a C o C++ desde Rust, se pueden llevar a cabo acciones arbitrarias en la memoria y se puede poner en peligro la seguridad de los propios diseños de datos de Rust. La presencia de *demasiadas* palabras clave `unsafe` en la interoperabilidad de C o C++ puede perjudicar la relación señal-ruido de dicha palabra clave, algo polémico. No obstante, en términos estrictos, introducir código externo en un binario de Rust puede provocar un comportamiento inesperado desde el punto de vista de Rust.

La respuesta exacta se encuentra en el diagrama de la parte superior de esta página: en segundo plano, CXX genera funciones de Rust `unsafe` y `extern "C"`, igual que hicimos de forma manual en la sección anterior.

45.3 Ejercicio: Interoperabilidad con C++

Primera parte

- En el archivo de Rust que has creado anteriormente, añade un `#[cxx::bridge]`, que especifica una sola función, denominada `hello_from_rust`, a la que se llamará desde C++, sin parámetros y sin devolver ningún valor.
- Modifica la función `hello_from_rust` anterior para eliminar `extern "C"` y `#[no_mangle]`. Ahora es solo una función estándar de Rust.
- Modifica el elemento de destino de gn para compilar estos enlaces.
- En el código C++, elimina la declaración de `hello_from_rust`. En su lugar, incluye el archivo de encabezado que se ha generado.
- Compila y ejecuta.

Segunda parte

Se recomienda jugar un poco con CXX, ya que nos ayuda a pensar en la flexibilidad que tiene Rust en Chromium.

Algunas cosas que probar:

- Vuelve a llamar a C++ desde Rust. Necesitarás lo siguiente:
  - Un archivo de encabezado adicional que puedes `include!` desde tu `cxx::bridge`. Deberás declarar la función de C++ en el nuevo archivo de encabezado.

  - Un bloque `unsafe` para llamar a una función de este tipo, o bien especificar la palabra clave `unsafe` en el `#[cxx::bridge]`, como se describe aquí.
  - Es posible que también tengas que incluir `#include "third_party/rust/cxx/v1/crate/include/`
- Transfiere una cadena de C++ desde C++ a Rust.
- Pasa una referencia a un objeto de C++ en Rust.
- Obtén de forma intencional las firmas de la función de Rust que no coincidan con el `#[cxx::bridge]` y familiarízate con los errores que veas.
- Obtén de forma intencional las firmas de la función de C++ que no coincidan con el `#[cxx::bridge]` y familiarízate con los errores que veas.
- Transfiere un `std::unique_ptr` de algún tipo de C++ a Rust, para que a Rust le pertenezca algún objeto de C++.
- Crea un objeto de Rust y transmítelo a C++ para que sea su propietario. (Nota: necesitas utilizar un `Box`).
- Declara algunos métodos en un tipo de C++. Llámalos desde Rust.
- Declara algunos métodos en un tipo de Rust. Llámalos desde C++.

Tercera parte

Ahora que conoces los puntos fuertes y las limitaciones de la interoperabilidad de CXX, piensa en un par de casos prácticos de Rust en Chromium en los que la interfaz sea bastante sencilla. Haz un boceto sobre cómo definirías esa interfaz.

Dónde obtener ayuda

- The `cxx` binding reference
- La plantilla gn `rust_static_library`

Estas son algunas de las preguntas que pueden surgir:

- Veo un problema al inicializar una variable de tipo X con el tipo Y, donde X e Y son tipos de funciones. Esto se debe a que la función de C++ no coincide exactamente con la declaración de `cxx::bridge`.
- Parece que puedo convertir libremente referencias de C++ en referencias de Rust. ¿Eso no supone ningún riesgo de comportamiento indefinido? En el caso de los tipos *opacos* de CXX, no, porque su tamaño es cero. Sí supondría un problema de comportamiento indefinido en el caso de los tipos triviales de CXX, aunque el diseño de CXX hace que sea bastante difícil crear un ejemplo así.

Capítulo 46

Añadir crates de terceros

Las bibliotecas de Rust se llaman "crates" y se encuentran en crates.io. *Es habitual* que los crates de Rust dependen los unos de otros.

Propiedad	Biblioteca C++	Crate de Rust
Sistema de compilación	Muchos	Consistente: `Cargo.toml`
Tamaño habitual de la biblioteca	Grande	Pequeño
Dependencias transitivas	Pocos	Muchos

Para un ingeniero de Chromium, existen ventajas e inconvenientes:

- Todos los crates usan un sistema de compilación común, así que podemos automatizar su inclusión en Chromium...
- ... pero los crates suelen tener dependencias transitivas, por lo que es probable que tengas que introducir varias bibliotecas.

Hablaremos sobre los siguientes temas:

- Cómo colocar un crate en el árbol de código fuente de Chromium.
- Cómo aplicarle reglas de compilación gn.
- Cómo auditar su código fuente para obtener la seguridad suficiente.

46.1 Configurar el archivo `Cargo.toml` para añadir crates

Chromium tiene un único conjunto de dependencias directas de crate gestionadas de forma centralizada. Se gestionan mediante un único elemento `Cargo.toml`:

```
[dependencies]
bitflags = "1"
cfg-if = "1"
cxx = "1"
# lots more...
```

Al igual que con cualquier otro archivo `Cargo.toml`, puedes especificar más información sobre las dependencias. Lo más habitual es que se especifiquen las funciones `features` que se quieran habilitar en el crate.

Al añadir un crate a Chromium, a menudo será necesario proporcionar información adicional en un archivo adicional, `gnrt_config.toml`, que veremos a continuación.

46.2 Configurar `gnrt_config.toml`

Junto a `Cargo.toml`, se encuentra `gnrt_config.toml`. Contiene extensiones específicas de Chromium para la gestión de crates.

Si añades un nuevo crate, debes especificar al menos el atributo `group`. Puede ser uno de los siguientes:

```
#   'safe': The library satisfies the rule-of-2 and can be used in any process.
#   'sandbox': The library does not satisfy the rule-of-2 and must be used in
#              a sandboxed process such as the renderer or a utility process.
#   'test': The library is only used in tests.
```

Por ejemplo:

```
[crate.my-new-crate]
group = 'test' # only used in test code
```

En función del diseño del código fuente del crate, es posible que también tengas que usar este archivo para especificar dónde se pueden encontrar los archivos `LICENSE`.

Más adelante, veremos otros elementos que tendrás que configurar en este archivo para solucionar los problemas.

46.3 Descargar crates

La herramienta `gnrt` puede descargar crates y generar reglas `BUILD.gn`.

Para empezar, descarga el crate de esta forma:

```
cd chromium/src
vpython3 tools/crates/run_gnrt.py -- vendor
```

> Aunque la herramienta `gnrt` forma parte del código fuente de Chromium, al ejecutar este comando, se descargarán y ejecutarán sus dependencias desde `crates.io`. Consulta la sección anterior sobre la decisión de seguridad.

Este comando `vendor` puede descargar los siguientes elementos:

- Tu crate
- Dependencias directas y transitivas.
- Nuevas versiones de otros crates, según lo requiera `cargo` para resolver el conjunto completo de crates que requiere Chromium.

Chromium mantiene parches para algunos crates, que se conservan en `//third_party/rust/chromium_crates`. Se volverán a aplicar automáticamente pero, si no se puede aplicar el parche, es posible que tengas que realizar una acción manual.

46.4 Generar reglas de compilación gn

Una vez que hayas descargado el crate, genera los archivos `BUILD.gn` como se indica a continuación:

```
vpython3 tools/crates/run_gnrt.py -- gen
```

Ahora, ejecuta `git status`. Deberías encontrar lo siguiente:

- Al menos un nuevo código fuente de crate en `third_party/rust/chromium_crates_io/vendor`.
- Al menos un nuevo `BUILD.gn` en `third_party/rust/<crate name>/v<major semver version>`.
- Un archivo `README.chromium` adecuado.

La "versión semver mayor" es un número de versión "semver" de Rust.

Analiza la situación con detalle, sobre todo los elementos generados en `third_party/rust`.

Habla un poco sobre el semver y, concretamente, sobre la forma en que Chromium permite que existan varias versiones incompatibles de un crate. No es una situación recomendable, pero a veces es necesaria en el ecosistema de Cargo.

46.5 Resolución de problemas

Si la compilación falla, puede deberse a un `build.rs`, programas que llevan a cabo acciones arbitrarias durante la compilación. Esto difiere de los diseños de gn y `ninja`, que tienen como objetivo crear reglas de compilación estáticas y deterministas para maximizar el paralelismo y la repetibilidad de las compilaciones.

Algunas acciones `build.rs` son admitidas automáticamente, pero otras deben llevar a cabo alguna acción:

efecto de scripts de compilación	Compatible con nuestras plantillas de gn	Acciones que debes llevar a cabo
Comprobar la versión de rustc para activar y desactivar funciones	Sí	Ninguno
Comprobar la plataforma o la CPU para activar y desactivar funciones	Sí	Ninguno
Generar código	Sí	Sí: especificar en `gnrt_config.toml`
Compilar en C o C++	No	Poner un parche
Otras acciones arbitrarias	No	Poner un parche

Por suerte, la mayoría de los crates no contienen scripts de compilación y la mayoría de estos scripts de compilación solo llevan a cabo dos acciones principales.

46.5.1 Compilar secuencias de comandos que generan código

Si `ninja` se queja de que faltan archivos, comprueba `build.rs` para ver si escribe archivos de código fuente.

Si es así, modifica `gnrt_config.toml` para añadir `build-script-outputs` al crate. Si se trata de una dependencia transitiva, de la que el código Chromium no debería depender de forma directa, añade también `allow-first-party-usage=false`. En ese archivo ya hay varios ejemplos:

```
[crate.unicode-linebreak]
allow-first-party-usage = false
build-script-outputs = ["tables.rs"]
```

A continuación, vuelve a ejecutar `gnrt.py -- gen` para generar de nuevo los archivos `build.gn` e informar al ninja de que este archivo de salida concreto se usa como entrada en los pasos de compilación posteriores.

46.5.2 Compilar secuencias de comandos que compilan C++ o llevan a cabo acciones arbitrarias

Algunos crates usan el crate `cc` para compilar y vincular bibliotecas de C y C++. Otros crates analizan C y C++ mediante `bindgen` en sus scripts de compilación. Estas acciones no se pueden llevar a cabo en un contexto de Chromium, ya que nuestro sistema de compilación gn, ninja y LLVM es muy específico a la hora de expresar las relaciones entre las acciones de compilación.

Por lo tanto, las opciones son las siguientes:

- Evitar estos crates.
- Aplicar un parche al crate.

Los parches deben guardarse en `third_party/rust/chromium_crates_io/patches/<crate>`, como los parches para el crate `cxx`, y `gnrt` lo aplicará automáticamente cada vez que actualice el crate.

46.6 Depender de un crate

Una vez que se ha añadido un crate de terceros y se han generado reglas de compilación, utilizar un crate es sencillo. Busca tu elemento de destino `rust_static_library` y añade un dep en el `:lib` dentro del crate.

Específicamente:

```
                     +------------+      +----------------------+
"//third_party/rust" | crate name | "/v" | major semver version | ":lib"
                     +------------+      +----------------------+
```

Por ejemplo:

```
rust_static_library("my_rust_lib") {
  crate_root = "lib.rs"
  sources = [ "lib.rs" ]
  deps = [ "//third_party/rust/example_rust_crate/v1:lib" ]
}
```

46.7 Auditoría de Crates de Terceros

Añadir nuevas bibliotecas está sujeto a las políticas estándar de Chromium, pero también a la revisión de seguridad. Como puede que no solo incluyas un único crate sino también dependencias transitivas, es posible que haya mucho código que revisar. Por otro lado, el código de Rust seguro puede tener efectos secundarios negativos limitados. ¿Cómo se revisa?

Con el tiempo, Chromium intentará adoptar un proceso basado en cargo vet.

Mientras tanto, se debe hacer lo siguiente para cada nuevo crate:

- Entender por qué se usa cada crate. ¿Cuál es la relación entre los crates? Si el sistema de compilación de cada crate contiene un archivo `build.rs` o macros de procedimiento, averigua para qué sirven. ¿Son compatibles con la forma en la que se compila normalmente Chromium?
- Comprobar que cada crate tenga un mantenimiento razonable.
- Usar `cd third-party/rust/chromium_crates_io; cargo audit` para comprobar si existen vulnerabilidades (primero se tiene que usar `cargo install cargo-audit`, lo que, irónicamente, implica descargar muchas dependencias de Internet2).
- Asegúrate de que cualquier código `unsafe` sea adecuado para la Regla de dos.
- Comprobar si se usan las APIs `fs` o `net`.
- Leer todo el código con suficiente profundidad para comprobar si hay algo fuera de lugar que pueda haberse insertado de forma malintencionada. (Es imposible hacerlo perfecto, ya que, a menudo, hay demasiado código).

Estas son solo algunas directrices, trabaja con revisores de `security@chromium.org` para determinar la forma adecuada de utilizar los crates.

46.8 Comprobar crates en el código fuente de Chromium

`git status` debe revelar lo siguiente:

- Código del crate en `//third_party/rust/chromium_crates_io`.
- Metadatos (`BUILD.gn` y `README.chromium`) en `//third_party/rust/<crate>/<version>`.

Añade también un archivo `OWNERS` en esta última ubicación.

Deberías llevar todo esto, junto con los cambios de `Cargo.toml` y `gnrt_config.toml`, al repositorio de Chromium.

Importante: Debes usar `git add -f`, de lo contrario, los archivos `.gitignore` pueden provocar que se omitan algunos archivos.

Si lo haces, es posible que veas que las comprobaciones presubmit no se han completado porque incluyen lenguaje no inclusivo. Esto se debe a que los datos de crate de Rust suelen incluir nombres de ramas en git y muchos proyectos siguen empleando terminología no inclusiva. Por lo tanto, puede que debas ejecutar lo siguiente:

```
infra/update_inclusive_language_presubmit_exempt_dirs.sh > infra/inclusive_language_pres
git add -p infra/inclusive_language_presubmit_exempt_dirs.txt # add whatever changes are
```

46.9 Mantener los crates actualizados

Como PROPIETARIO de cualquier dependencia de Chromium de terceros, se espera que la actualices con las correcciones de seguridad. La idea es que pronto automaticemos esto para los crates de Rust, pero por ahora sigue siendo tu responsabilidad, igual que cualquier otra dependencia de terceros.

46.10 Ejercicio

Añade uwuify a Chromium para desactivar las [funciones predeterminadas] del crate (https://doc.rust-lang.org/cargo/reference/features.html#the-default-feature). Supongamos que el crate se usará en el envío de Chromium, pero no para gestionar entradas no fiables.

(En el siguiente ejercicio, usaremos uwuify de Chromium, pero puedes saltarte este paso y hacerlo ahora si quieres. También puedes crear un nuevo destino `rust_executable` que utilice `uwuify`).

Los participantes tendrán que descargar muchas dependencias transitivas.

Estos son los crates que se necesitan:

- `instant`,
- `lock_api`
- `parking_lot`
- `parking_lot_core`
- `redox_syscall`
- `scopeguard`
- `smallvec`
- `uwuify`

Si los alumnos se descargan más datos, seguramente habrán olvidado desactivar las funciones predeterminadas.

Gracias a Daniel Liu por este crate.

Capítulo 47

Poner en práctica todo lo aprendido: ejercicio

En este ejercicio, vas a añadir una función de Chromium completamente nueva que pondrá en práctica todo lo que hemos aprendido.

Resumen de la gestión de productos

Se ha descubierto una comunidad de hadas que habita en una selva tropical remota. Es importante que les enviemos la versión Chromium para hadas lo antes posible.

El requisito es traducir todas las cadenas de la IU de Chromium al idioma de las hadas.

No hay tiempo para obtener las traducciones adecuadas pero, por suerte, el lenguaje de las hadas se parece mucho al inglés y hay un crate de Rust que hace las traducciones.

De hecho, ya importamos ese crate en el ejercicio anterior.

(Obviamente, las traducciones reales de Chrome requieren mucha atención y diligencia. No envíes nada de esto).

Pasos

Modifica `ResourceBundle::RSMangleLocalizedString` para que traduzca todas las cadenas antes de que se muestren. En esta compilación especial de Chromium, siempre se debe hacer esto independientemente de la configuración de `mangle_localized_strings_`.

Si has hecho correctamente los ejercicios, habrás creado Chrome para hadas.

- UTF16 y UTF8. Los alumnos deben tener en cuenta que las cadenas de Rust siempre son UTF8. Probablemente decidirán que es mejor hacer la conversión en C++ usando `base::UTF16ToUTF8` y viceversa.
- Si los participantes deciden hacer la conversión en Rust, deberán tener en cuenta `String::from_utf16`, la gestión de errores y los tipos compatibles con CXX que pueden transferir un gran número de u16s.

- Los alumnos pueden diseñar el límite de C++ o Rust de varias formas diferentes, por ejemplo, tomando y devolviendo cadenas por valor o colocando una referencia mutable en una cadena. Si se utiliza una referencia mutable, es probable que CXX indique que se debe usar `Pin`. Puede que debas explicar qué hace `Pin` y, a continuación, explicar por qué CXX lo necesita para referencias mutables a datos de C++. La respuesta es que los datos de C++ no se pueden mover como los datos de Rust, ya que pueden contener punteros de autorreferencia.
- El elemento de destino de C++ que contiene `ResourceBundle::MaybeMangleLocalizedString` deberá depender de un elemento `rust_static_library`. Seguramente los alumnos ya lo hayan hecho.
- `rust_static_library` deberá depender de `//third_party/rust/uwuify/v0_2:lib`.

Capítulo 48

Soluciones de Ejercicios

Las soluciones a los ejercicios de Chromium están en esta serie de listas de cambios.

Parte XI

Bare Metal: mañana

Capítulo 49

Te damos la bienvenida a Bare Metal Rust

Este es un curso independiente de un día sobre Rust bare-metal, dirigido a personas que están familiarizadas con los conceptos básicos de Rust (tal vez después de completar el curso Comprehensive Rust). Lo ideal sería que también tuvieran experiencia con la programación bare-metal en otros lenguajes, como C.

Hoy vamos a hablar de Rust ”bare-metal”: ejecutar código de Rust sin un sistema operativo. Se dividirá en varias partes:

- ¿Qué es `no_std` en Rust?
- Escribir firmware para microcontroladores.
- Escribir código bootloader o kernel para procesadores de aplicaciones.
- Algunos crates útiles para el desarrollo de Rust bare-metal.

For the microcontroller part of the course we will use the BBC micro:bit v2 as an example. It's a development board based on the Nordic nRF52833 microcontroller with some LEDs and buttons, an I2C-connected accelerometer and compass, and an on-board SWD debugger.

Para empezar, instala algunas de las herramientas que necesitarás más adelante. En gLinux o Debian:

```
sudo apt install gcc-aarch64-linux-gnu gdb-multiarch libudev-dev picocom pkg-config qemu
rustup update
rustup target add aarch64-unknown-none thumbv7em-none-eabihf
rustup component add llvm-tools-preview
cargo install cargo-binutils
curl --proto '=https' --tlsv1.2 -LsSf https://github.com/probe-rs/probe-rs/releases/late
```

Permite a los usuarios del grupo `plugdev` acceder al programador micro:bit:

```
echo 'SUBSYSTEM=="hidraw", ATTRS{idVendor}=="0d28", MODE="0660", GROUP="logindev", TAG+=
  sudo tee /etc/udev/rules.d/50-microbit.rules
sudo udevadm control --reload-rules
```

En MacOS:

```
xcode-select --install
brew install gdb picocom qemu
```

```
brew install --cask gcc-aarch64-embedded
rustup update
rustup target add aarch64-unknown-none thumbv7em-none-eabihf
rustup component add llvm-tools-preview
cargo install cargo-binutils
curl --proto '=https' --tlsv1.2 -LsSf https://github.com/probe-rs/probe-rs/releases/late
```

Capítulo 50

`no_std`

`core`

`alloc`

`std`

- Slices, `&str`, `CStr`
- `NonZeroU8`...
- `Option`, `Result`
- `Display`, `Debug`, `write!`...
- `Iterator`
- `panic!`, `assert_eq!`...
- `NonNull` y todas las funciones relacionadas con punteros habituales
- `Future` and `async`/`await`
- `fence`, `AtomicBool`, `AtomicPtr`, `AtomicU32`...
- `Duration`

- `Box`, `Cow`, `Arc`, `Rc`
- `Vec`, `BinaryHeap`, `BtreeMap`, `LinkedList`, `VecDeque`
- `String`, `CString`, `format!`

- `Error`
- `HashMap`
- `Mutex`, `Condvar`, `Barrier`, `Once`, `RwLock`, `mpsc`
- `File` y el resto de `fs`
- `println!`, `Read`, `Write`, `Stdin`, `Stdout` y el resto de `io`
- `Path`, `OsString`
- `net`
- `Command`, `Child`, `ExitCode`
- `spawn`, `sleep` y el resto de `thread`
- `SystemTime`, `Instant`

- `HashMap` depende de RNG.
- `std` vuelve a exportar el contenido de `core` y `alloc`.

50.1 Un programa `no_std` mínimo

```
use core::panic::PanicInfo;

fn panic(_panic: &PanicInfo) -> ! {
    loop {}
}
```

- Se compilará en un binario vacío.
- `std` proporciona un controlador de *panic*; sin no hay, debemos proporcionar uno nuestro.
- También puede proporcionarlo otro crate, como `panic-halt`.
- Dependiendo del objetivo, es posible que tengas que compilar con `panic = "abort"` para evitar un error sobre `eh_personality`.
- Ten en cuenta que no hay `main` ni ningún otro punto de entrada; depende de ti definir un punto de entrada propio. Esto suele implicar una secuencia de comandos de enlazador y algún código de ensamblado de forma que todo esté preparado para que se ejecute el código de Rust.

50.2 `alloc`

Para utilizar `alloc`, debes implementar un asignador global (de *heap*).

```
extern crate alloc;
extern crate panic_halt as _;

use alloc::string::ToString;
use alloc::vec::Vec;
use buddy_system_allocator::LockedHeap;

static HEAP_ALLOCATOR: LockedHeap<32> = LockedHeap::<32>::new();

static mut HEAP: [u8; 65536] = [0; 65536];

pub fn entry() {
    // SAFETY: `HEAP` is only used here and `entry` is only called once.
    unsafe {
        // Proporciona al asignador algo de memoria para asignar.
        HEAP_ALLOCATOR.lock().init(HEAP.as_mut_ptr() as usize, HEAP.len());
    }

    // Ahora podemos llevar a cabo acciones que requieran la asignación de montículo.
    let mut v = Vec::new();
    v.push("A string".to_string());
}
```

- `buddy_system_allocator` es un crate de terceros que implementa un *buddy system allocator* (una técnica de asignación de memoria) básico. Hay otros crates disponibles, pero también puedes escribir el tuyo propio o conectarte a tu asignador.

- El parámetro const de `LockedHeap` es el orden máximo del asignador. Es decir, en este caso, puede asignar regiones de hasta 2**32 bytes.
- Si algún crate del árbol de dependencias depende de `alloc`, debes tener exactamente un asignador global definido en el binario. Esto se suele hacer en el crate binario de nivel superior.
- `extern crate panic_halt as _` es necesario para asegurar que el crate `panic_halt` esté vinculado y así podamos obtener su controlador de *panic*.
- Este ejemplo se compilará pero no se ejecutará, ya que no cuenta con un punto de entrada.

Capítulo 51

Microcontroladores

El crate `cortex_m_rt` proporciona (entre otras cosas) un controlador de reinicio para microcontroladores Cortex M.

```
extern crate panic_halt as _;

mod interrupts;

use cortex_m_rt::entry;

fn main() -> ! {
    loop {}
}
```

A continuación, veremos cómo se accede a los periféricos con niveles de abstracción cada vez mayores.

- La macro `cortex_m_rt::entry` requiere que la función tenga el tipo `fn() -> !`, ya que no tiene sentido devolver resultados al controlador de reinicio.
- Ejecuta el ejemplo con `cargo embed --bin minimal`.

51.1 MMIO sin procesar

La mayoría de los microcontroladores acceden a los periféricos a través de E/S asignada a la memoria. Vamos a probar a encender un LED en nuestro micro:bit:

```
extern crate panic_halt as _;

mod interrupts;

use core::mem::size_of;
use cortex_m_rt::entry;

/// Dirección de periférico del puerto GPIO 0
const GPIO_P0: usize = 0x5000_0000;
```

```
// Offset de periféricos GPIO
const PIN_CNF: usize = 0x700;
const OUTSET: usize = 0x508;
const OUTCLR: usize = 0x50c;

// Campos PIN_CNF
const DIR_OUTPUT: u32 = 0x1;
const INPUT_DISCONNECT: u32 = 0x1 << 1;
const PULL_DISABLED: u32 = 0x0 << 2;
const DRIVE_S0S1: u32 = 0x0 << 8;
const SENSE_DISABLED: u32 = 0x0 << 16;

fn main() -> ! {
    // Configura los pines 21 y 28 de GPIO 0 como salidas push-pull.
    let pin_cnf_21 = (GPIO_P0 + PIN_CNF + 21 * size_of::<u32>()) as *mut u32;
    let pin_cnf_28 = (GPIO_P0 + PIN_CNF + 28 * size_of::<u32>()) as *mut u32;
    // SAFETY: The pointers are to valid peripheral control registers, and no
    // aliases exist.
    unsafe {
        pin_cnf_21.write_volatile(
            DIR_OUTPUT
                | INPUT_DISCONNECT
                | PULL_DISABLED
                | DRIVE_S0S1
                | SENSE_DISABLED,
        );
        pin_cnf_28.write_volatile(
            DIR_OUTPUT
                | INPUT_DISCONNECT
                | PULL_DISABLED
                | DRIVE_S0S1
                | SENSE_DISABLED,
        );
    }

    // Define el pin 28 bajo y 21 alto para encender el LED.
    let gpio0_outset = (GPIO_P0 + OUTSET) as *mut u32;
    let gpio0_outclr = (GPIO_P0 + OUTCLR) as *mut u32;
    // SAFETY: The pointers are to valid peripheral control registers, and no
    // aliases exist.
    unsafe {
        gpio0_outclr.write_volatile(1 << 28);
        gpio0_outset.write_volatile(1 << 21);
    }

    loop {}
}
```

- El pin 21 de GPIO 0 está conectado a la primera columna de la matriz de LED y el pin 28 a la primera fila.

Ejecuta el ejemplo con:

```
cargo embed --bin mmio
```

51.2 Crates de Acceso Periférico

svd2rust genera, en su gran mayoría, envoltorios seguros de Rust para periféricos asignados a la memoria a partir de archivos CMSIS-SVD.

```
extern crate panic_halt as _;

use cortex_m_rt::entry;
use nrf52833_pac::Peripherals;

fn main() -> ! {
    let p = Peripherals::take().unwrap();
    let gpio0 = p.P0;

    // Configura los pines 21 y 28 de GPIO 0 como salidas push-pull.
    gpio0.pin_cnf[21].write(|w| {
        w.dir().output();
        w.input().disconnect();
        w.pull().disabled();
        w.drive().s0s1();
        w.sense().disabled();
        w
    });
    gpio0.pin_cnf[28].write(|w| {
        w.dir().output();
        w.input().disconnect();
        w.pull().disabled();
        w.drive().s0s1();
        w.sense().disabled();
        w
    });

    // Define el pin 28 bajo y 21 alto para encender el LED.
    gpio0.outclr.write(|w| w.pin28().clear());
    gpio0.outset.write(|w| w.pin21().set());

    loop {}
}
```

- Los archivos SVD (System View Description) son archivos XML que suelen proporcionar los proveedores de silicio y que describen el mapa de memoria del dispositivo.
  - Se organizan por periférico, registro, campo y valor, con nombres, descripciones y direcciones, etc.
  - Los archivos SVD suelen tener errores y estar incompletos, por lo que existen varios proyectos que aplican parches a los errores, añaden detalles que faltan y publican los crates generados.

- `cortex-m-rt` proporciona la tabla de vectores, entre otras cosas.
- Si instalas `cargo install cargo-binutils` puedes ejecutar `cargo objdump --bin pac -- -d --no-show-raw-insn` para ver el binario resultante.

Ejecuta el ejemplo con:

```
cargo embed --bin pac
```

51.3 Crates HAL

Los crates HAL de muchos microcontroladores incluyen envoltorios alrededor de varios periféricos. Por lo general, implementan traits de `embedded-hal`.

```
extern crate panic_halt as _;

use cortex_m_rt::entry;
use embedded_hal::digital::OutputPin;
use nrf52833_hal::gpio::{p0, Level};
use nrf52833_hal::pac::Peripherals;

fn main() -> ! {
    let p = Peripherals::take().unwrap();

    // Crea un envoltorio HAL para el puerto GPIO 0.
    let gpio0 = p0::Parts::new(p.P0);

    // Configura los pines 21 y 28 de GPIO 0 como salidas push-pull.
    let mut col1 = gpio0.p0_28.into_push_pull_output(Level::High);
    let mut row1 = gpio0.p0_21.into_push_pull_output(Level::Low);

    // Define el pin 28 bajo y 21 alto para encender el LED.
    col1.set_low().unwrap();
    row1.set_high().unwrap();

    loop {}
}
```

- `set_low` y `set_high` son métodos del trait `OutputPin` de `embedded_hal`.
- Hay crates HAL para muchos dispositivos Cortex-M y RISC-V, incluidos varios microcontroladores STM32, GD32, nRF, NXP, MSP430, AVR y PIC.

Ejecuta el ejemplo con:

```
cargo embed --bin hal
```

51.4 Crates de compatibilidad de placa

Los crates de compatibilidad de placa proporcionan un nivel adicional de envoltorio a una placa específica para mayor comodidad.

```
extern crate panic_halt as _;

use cortex_m_rt::entry;
use embedded_hal::digital::OutputPin;
use microbit::Board;

fn main() -> ! {
    let mut board = Board::take().unwrap();

    board.display_pins.col1.set_low().unwrap();
    board.display_pins.row1.set_high().unwrap();

    loop {}
}
```

- En este caso, el crate de compatibilidad de placa proporciona solo nombres más útiles y un poco de inicialización.
- El crate también puede incluir controladores para algunos dispositivos integrados fuera del propio microcontrolador .
  - `microbit-v2` incluye un controlador sencillo para la matriz de LED.

Ejecuta el ejemplo con:

```
cargo embed --bin board_support
```

51.5 El patrón de tipo de estado

```
fn main() -> ! {
    let p = Peripherals::take().unwrap();
    let gpio0 = p0::Parts::new(p.P0);

    let pin: P0_01<Disconnected> = gpio0.p0_01;

    // let gpio0_01_again = gpio0.p0_01; // Error, se ha movido.
    let mut pin_input: P0_01<Input<Floating>> = pin.into_floating_input();
    if pin_input.is_high().unwrap() {
        // ...
    }
    let mut pin_output: P0_01<Output<OpenDrain>> = pin_input
        .into_open_drain_output(OpenDrainConfig::Disconnect0Standard1, Level::Low);
    pin_output.set_high().unwrap();
    // pin_input.is_high(); // Error, se ha movido.

    let _pin2: P0_02<Output<OpenDrain>> = gpio0
        .p0_02
        .into_open_drain_output(OpenDrainConfig::Disconnect0Standard1, Level::Low);
    let _pin3: P0_03<Output<PushPull>> =
        gpio0.p0_03.into_push_pull_output(Level::Low);

    loop {}
```

```
}
```

- Los pines no implementan `Copy` ni `Clone`, por lo que solo puede haber una instancia de cada uno. Cuando se quita un pin de la estructura del puerto, nadie más puede usarlo.
- Si cambias la configuración de un pin, se consumirá la instancia del pin anterior y no podrás seguir usando la instancia previa.
- El tipo de un valor indica el estado en el que se encuentra: por ejemplo, en este caso, el estado de configuración de un pin de GPIO. De esta manera, se codifica la máquina de estados en el sistema de tipos, asegurando así que no se use un pin de cierta forma sin antes configurarlo correctamente. Las transiciones de estado ilegales se detectan durante el tiempo de compilación.
- Puedes llamar a `is_high` en un pin de entrada y a `set_high` en un pin de salida, pero no al revés.
- Muchos crates HAL siguen este patrón.

51.6 `embedded-hal`

The `embedded-hal` crate provides a number of traits covering common microcontroller peripherals:

- GPIO
- PWM
- Delay timers
- I2C and SPI buses and devices

Similar traits for byte streams (e.g. UARTs), CAN buses and RNGs and broken out into `embedded-io`, `embedded-can` and `rand_core` respectively.

Other crates then implement drivers in terms of these traits, e.g. an accelerometer driver might need an I2C or SPI device instance.

- The traits cover using the peripherals but not initialising or configuring them, as initialisation and configuration is usually highly platform-specific.
- Hay implementaciones para muchos microcontroladores, así como otras plataformas como Linux en Raspberry Pi.
- `embedded-hal-async` provides async versions of the traits.
- `embedded-hal-nb` provides another approach to non-blocking I/O, based on the `nb` crate.

51.7 `probe-rs` y `cargo-embed`

probe-rs es un conjunto de herramientas de depuración integradas muy útil, como OpenOCD, pero mejor integrado.

- SWD (Serial Wire Debug) and JTAG via CMSIS-DAP, ST-Link and J-Link probes
- Stub de GDB y servidor de Microsoft DAP (protocolo de adaptador de depuración)
- Integración de Cargo

`cargo-embed` is a cargo subcommand to build and flash binaries, log RTT (Real Time Transfers) output and connect GDB. It's configured by an `Embed.toml` file in your project directory.

- CMSIS-DAP es un protocolo estándar de Arm mediante USB que permite que un depurador en circuito acceda al puerto de acceso de depuración CoreSight de varios procesadores Cortex de Arm. Es lo que utiliza el depurador integrado en el BBC micro:bit
- ST-Link es una gama de depuradores en circuito de ST Microelectronics. J-Link es una gama de SEGGER.
- El puerto de acceso de depuración suele ser una interfaz JTAG de 5 pines o una SWD de 2 pines.
- probe-rs es una biblioteca que puedes integrar en tus propias herramientas.
- El protocolo de adaptador de depuración de Microsoft permite que VSCode y otros IDEs depuren el código que se ejecuta en cualquier microcontrolador compatible.
- cargo-embed es un binario compilado con la biblioteca probe-rs.
- TTR (transferencias en tiempo real) es un mecanismo para transferir datos entre el host de depuración y el objetivo a través de una serie de búferes circulares.

51.7.1 Depuración

Embed.toml:

```
[default.general]
chip = "nrf52833_xxAA"

[debug.gdb]
enabled = true
```

En un terminal en `src/bare-metal/microcontrollers/examples/`:

```
cargo embed --bin board_support debug
```

En otro terminal del mismo directorio:

En gLinux o Debian:

```
gdb-multiarch target/thumbv7em-none-eabihf/debug/board_support --eval-command="target re
```

En MacOS:

```
arm-none-eabi-gdb target/thumbv7em-none-eabihf/debug/board_support --eval-command="targe
```

En GDB, prueba a ejecutar:

```
b src/bin/board_support.rs:29
b src/bin/board_support.rs:30
b src/bin/board_support.rs:32
c
c
c
```

51.8 Otros proyectos

- RTIC
  - ”Concurrencia en tiempo real basada en interrupciones”
  - Gestión de recursos compartidos, envío de mensajes, programación de tareas, cola del temporizador, etc.
- Embassy
  - Ejecutores `async` con prioridades, temporizadores, redes, USB, etc.

- TockOS
  - RTOS centrado en la seguridad con programación interrumpible y compatibilidad con la unidad de protección de memoria.
- Hubris
  - RTOS de microkernel de Oxide Computer Company con protección de memoria, controladores sin privilegios, IPC, etc.
- Enlaces para FreeRTOS
- Algunas plataformas tienen implementaciones `std`, como esp-idf.

- RTIC se puede considerar un RTOS o un framework de concurrencia.
  - No incluye ningún HAL.
  - Usa el NVIC (controlador de interrupción virtual anidado) Cortex-M para la programación en lugar de un kernel propio.
  - Solo Cortex-M.
- Google utiliza TockOS en el microcontrolador Haven para las llaves de seguridad Titan.
- FreeRTOS está escrito principalmente en C, pero hay enlaces de Rust para aplicaciones de escritura.

Capítulo 52

Ejercicios

Leeremos la dirección desde una brújula I2C, y registraremos las lecturas en un puerto serie.

Después de realizar los ejercicios, puedes consultar las soluciones correspondientes.

52.1 Brújula

Leeremos la dirección desde una brújula I2C, y registraremos las lecturas en un puerto serie. Si tienes tiempo, prueba a mostrarlo también en los LED o usa los botones de alguna forma.

Sugerencias:

- Consulta la documentación sobre los crates `lsm303agr` y `microbit-v2`, así como el hardware de micro:bit.
- La unidad de medición inercial LSM303AGR está conectada al bus I2C interno.
- TWI es otro nombre para I2C, por lo que el periférico I2C maestro se llama TWIM.
- The LSM303AGR driver needs something implementing the `embedded_hal::i2c::I2c` trait. The `microbit::hal::Twim` struct implements this.
- Tienes una estructura `microbit::Board` con campos para los distintos pines y periféricos.
- También puedes consultar la [hoja de datos nRF52833]nRF52833 datasheet si quieres, pero no debería ser necesario para este ejercicio.

Descarga la plantilla de ejercicio y busca los siguientes archivos en el directorio `compass`.

src/main.rs:

```
extern crate panic_halt as _;

use core::fmt::Write;
use cortex_m_rt::entry;
use microbit::{hal::{Delay, uarte::{Baudrate, Parity, Uarte}}, Board};

fn main() -> ! {
    let mut board = Board::take().unwrap();
```

```
    // Configure serial port.
    let mut serial = Uarte::new(
        board.UARTE0,
        board.uart.into(),
        Parity::EXCLUDED,
        Baudrate::BAUD115200,
    );

    // Use the system timer as a delay provider.
    let mut delay = Delay::new(board.SYST);

    // Set up the I2C controller and Inertial Measurement Unit.
    // TODO

    writeln!(serial, "Ready.").unwrap();

    loop {
        // Read compass data and log it to the serial port.
        // TODO
    }
}
```

Cargo.toml (you shouldn't need to change this):

```
[workspace]

[package]
name = "compass"
version = "0.1.0"
edition = "2021"
publish = false

[dependencies]
cortex-m-rt = "0.7.3"
embedded-hal = "1.0.0"
lsm303agr = "1.1.0"
microbit-v2 = "0.15.0"
panic-halt = "0.2.0"
```

Embed.toml (you shouldn't need to change this):

```
[default.general]
chip = "nrf52833_xxAA"

[debug.gdb]
enabled = true

[debug.reset]
halt_afterwards = true
```

.cargo/config.toml (you shouldn't need to change this):

```
[build]
target = "thumbv7em-none-eabihf" # Cortex-M4F
```

```
[target.'cfg(all(target_arch = "arm", target_os = "none"))']
rustflags = ["-C", "link-arg=-Tlink.x"]
```

Consulta la salida de serie en Linux con:

```
picocom --baud 115200 --imap lfcrlf /dev/ttyACM0
```

En Mac OS debería ser algo como lo siguiente (el nombre del dispositivo puede ser algo diferente):

```
picocom --baud 115200 --imap lfcrlf /dev/tty.usbmodem14502
```

Pulsa Ctrl+A Ctrl+Q para salir de Picocom.

52.2 Rust Bare Metal: Ejercicio de la Mañana

Brújula

(volver al ejercicio)

```
extern crate panic_halt as _;

use core::fmt::Write;
use cortex_m_rt::entry;
use core::cmp::{max, min};
use embedded_hal::digital::InputPin;
use lsm303agr::{
    AccelMode, AccelOutputDataRate, Lsm303agr, MagMode, MagOutputDataRate,
};
use microbit::display::blocking::Display;
use microbit::hal::twim::Twim;
use microbit::hal::uarte::{Baudrate, Parity, Uarte};
use microbit::hal::{Delay, Timer};
use microbit::pac::twim0::frequency::FREQUENCY_A;
use microbit::Board;

const COMPASS_SCALE: i32 = 30000;
const ACCELEROMETER_SCALE: i32 = 700;

fn main() -> ! {
    let mut board = Board::take().unwrap();

    // Configura el puerto serie.
    let mut serial = Uarte::new(
        board.UARTE0,
        board.uart.into(),
        Parity::EXCLUDED,
        Baudrate::BAUD115200,
    );

    // Usa el temporizador del sistema como proveedor de retrasos.
```

```
let mut delay = Delay::new(board.SYST);

// Configura el controlador de I2C y la unidad de medición inercial.
writeln!(serial, "Configurando IMU...").unwrap();
let i2c = Twim::new(board.TWIM0, board.i2c_internal.into(), FREQUENCY_A::K100);
let mut imu = Lsm303agr::new_with_i2c(i2c);
imu.init().unwrap();
imu.set_mag_mode_and_odr(
    &mut delay,
    MagMode::HighResolution,
    MagOutputDataRate::Hz50,
)
.unwrap();
imu.set_accel_mode_and_odr(
    &mut delay,
    AccelMode::Normal,
    AccelOutputDataRate::Hz50,
)
.unwrap();
let mut imu = imu.into_mag_continuous().ok().unwrap();

// Configura la pantalla y el temporizador.
let mut timer = Timer::new(board.TIMER0);
let mut display = Display::new(board.display_pins);

let mut mode = Mode::Compass;
let mut button_pressed = false;

writeln!(serial, "Listo.").unwrap();

loop {
    // Lee los datos de la brújula y regístralos en el puerto serie.
    while !(imu.mag_status().unwrap().xyz_new_data()
        && imu.accel_status().unwrap().xyz_new_data())
    {}
    let compass_reading = imu.magnetic_field().unwrap();
    let accelerometer_reading = imu.acceleration().unwrap();
    writeln!(
        serial,
        "{},{},{}\t{},{},{}",
        compass_reading.x_nt(),
        compass_reading.y_nt(),
        compass_reading.z_nt(),
        accelerometer_reading.x_mg(),
        accelerometer_reading.y_mg(),
        accelerometer_reading.z_mg(),
    )
    .unwrap();

    let mut image = [[0; 5]; 5];
    let (x, y) = match mode {
```

```
            Mode::Compass => (
                scale(-compass_reading.x_nt(), -COMPASS_SCALE, COMPASS_SCALE, 0, 4)
                    as usize,
                scale(compass_reading.y_nt(), -COMPASS_SCALE, COMPASS_SCALE, 0, 4)
                    as usize,
            ),
            Mode::Accelerometer => (
                scale(
                    accelerometer_reading.x_mg(),
                    -ACCELEROMETER_SCALE,
                    ACCELEROMETER_SCALE,
                    0,
                    4,
                ) as usize,
                scale(
                    -accelerometer_reading.y_mg(),
                    -ACCELEROMETER_SCALE,
                    ACCELEROMETER_SCALE,
                    0,
                    4,
                ) as usize,
            ),
        };
        image[y][x] = 255;
        display.show(&mut timer, image, 100);

        // Si se pulsa el botón A, cambia al siguiente modo y haz que parpadeen brevemen
        // activados.
        if board.buttons.button_a.is_low().unwrap() {
            if !button_pressed {
                mode = mode.next();
                display.show(&mut timer, [[255; 5]; 5], 200);
            }
            button_pressed = true;
        } else {
            button_pressed = false;
        }
    }
}

enum Mode {
    Compass,
    Accelerometer,
}

impl Mode {
    fn next(self) -> Self {
        match self {
            Self::Compass => Self::Accelerometer,
            Self::Accelerometer => Self::Compass,
        }
```

```
    }
}

fn scale(value: i32, min_in: i32, max_in: i32, min_out: i32, max_out: i32) -> i32 {
    let range_in = max_in - min_in;
    let range_out = max_out - min_out;
    cap(min_out + range_out * (value - min_in) / range_in, min_out, max_out)
}

fn cap(value: i32, min_value: i32, max_value: i32) -> i32 {
    max(min_value, min(value, max_value))
}
```

Parte XII

Bare Metal: tarde

Capítulo 53

Procesadores de aplicaciones

Hasta ahora hemos hablado de microcontroladores, como la serie Cortex-M de Arm. Ahora vamos a probar a escribir algo para Cortex-A. Para simplificar, solo trabajaremos con la placa 'virt' aarch64 de QEMU.

- En términos generales, los microcontroladores no tienen un MMU ni varios niveles de privilegio (niveles de excepción en las CPU de Arm, anillos en x86), mientras que los procesadores de aplicaciones sí los tienen.
- QEMU permite emular varias máquinas o modelos de placa diferentes para cada arquitectura. La placa ”virt” no se corresponde con ningún hardware real concreto, pero está diseñada exclusivamente para máquinas virtuales.

53.1 Iniciación a Rust

Antes de que podamos empezar a ejecutar código de Rust, tenemos que hacer alguna inicialización.

```
.section .init.entry, "ax"
.global entry
entry:
    /*
     * Load and apply the memory management configuration, ready to enable MMU and
     * caches.
     */
    adrp x30, idmap
    msr ttbr0_el1, x30

    mov_i x30, .Lmairval
    msr mair_el1, x30

    mov_i x30, .Ltcrval
    /* Copy the supported PA range into TCR_EL1.IPS. */
    mrs x29, id_aa64mmfr0_el1
    bfi x30, x29, #32, #4
```

```
    msr tcr_el1, x30

    mov_i x30, .Lsctlrval

    /*
     * Ensure everything before this point has completed, then invalidate any
     * potentially stale local TLB entries before they start being used.
     */
    isb
    tlbi vmalle1
    ic iallu
    dsb nsh
    isb

    /*
     * Configure sctlr_el1 to enable MMU and cache and don't proceed until this
     * has completed.
     */
    msr sctlr_el1, x30
    isb

    /* Disable trapping floating point access in EL1. */
    mrs x30, cpacr_el1
    orr x30, x30, #(0x3 << 20)
    msr cpacr_el1, x30
    isb

    /* Zero out the bss section. */
    adr_l x29, bss_begin
    adr_l x30, bss_end
0:  cmp x29, x30
    b.hs 1f
    stp xzr, xzr, [x29], #16
    b 0b

1:  /* Prepare the stack. */
    adr_l x30, boot_stack_end
    mov sp, x30

    /* Set up exception vector. */
    adr x30, vector_table_el1
    msr vbar_el1, x30

    /* Call into Rust code. */
    bl main

    /* Loop forever waiting for interrupts. */
2:  wfi
    b 2b
```

- Es lo mismo que en C: inicializar el estado del procesador, poner a cero el BSS y configurar

el puntero de la *stack*.
    - El BSS (símbolo de inicio del bloque, por motivos históricos) es la parte del objeto que contiene variables asignadas de forma estática que se inicializan a cero. Se omiten en la imagen para evitar malgastar espacio con ceros. El compilador asume que el cargador se encargará de ponerlos a cero.
- Es posible que el BSS ya esté a cero, dependiendo de cómo se inicialice la memoria y cómo se cargue la imagen, aunque se pone igualmente a cero para estar seguros.
- Necesitamos habilitar la MMU y la caché antes de leer o escribir memoria. Si no lo hacemos, sucederá lo siguiente:
    - Los accesos no alineados fallarán. Compilamos el código Rust para el objetivo `aarch64-unknown-none`, que define `+strict-align` para evitar que el compilador genere accesos no alineados. En este caso debería estar bien, pero no tiene por qué ser así en general.
    - Si se estuviera ejecutando en una máquina virtual, podría provocar problemas de coherencia en la caché. El problema es que la máquina virtual accede a la memoria directamente con la caché inhabilitada, mientras que el host cuenta con alias que se pueden almacenar en caché en la misma memoria. Incluso si el host no accede explícitamente a la memoria, los accesos especulativos pueden provocar que se llene la caché, haciendo que los cambios de uno u otro se pierdan cuando se borre la caché o cuando la máquina virtual la habilite. (La caché está codificada por dirección física, no por VA ni IPA).
- Para simplificar, solo se utiliza una tabla de páginas codificada (consulta `idmap.S`) que mapea la identidad del primer GiB de espacio de direcciones para dispositivos, el siguiente GiB para DRAM y otro GiB más para más dispositivos. Esto coincide con la disposición de memoria que utiliza QEMU.
- También configuramos el vector de excepción (`vbar_el1`), del que veremos más contenido en próximas dipositivas.
- Todos los ejemplos de esta tarde se ejecutarán en el nivel de excepción 1 (EL1). Si necesitas ejecutar en un nivel de excepción diferente, deberás modificar `entry.S` según corresponda.

53.2 Ensamblaje integrado

Sometimes we need to use assembly to do things that aren't possible with Rust code. For example, to make an HVC (hypervisor call) to tell the firmware to power off the system:

```
use core::arch::asm;
use core::panic::PanicInfo;

mod exceptions;

const PSCI_SYSTEM_OFF: u32 = 0x84000008;

extern "C" fn main(_x0: u64, _x1: u64, _x2: u64, _x3: u64) {
    // SAFETY: this only uses the declared registers and doesn't do anything
    // with memory.
    unsafe {
        asm!("hvc #0",
            inout("w0") PSCI_SYSTEM_OFF => _,
```

```
            inout("w1") 0 => _,
            inout("w2") 0 => _,
            inout("w3") 0 => _,
            inout("w4") 0 => _,
            inout("w5") 0 => _,
            inout("w6") 0 => _,
            inout("w7") 0 => _,
            options(nomem, nostack)
        );
    }

    loop {}
}
```

(Si realmente quieres hacer esto, utiliza el crate `smccc` que tiene envoltorios para todas estas funciones).

- PSCI es la interfaz de coordinación de estado de alimentación de Arm, un conjunto estándar de funciones para gestionar los estados de alimentación del sistema y de la CPU, entre otras cosas. Lo implementan el firmware EL3 y los hipervisores en muchos sistemas.
- La sintaxis `0 => _` significa inicializar el registro a 0 antes de ejecutar el código de ensamblaje integrado e ignorar su contenido después. Necesitamos utilizar `inout` en lugar de `in` porque la llamada podría alterar el contenido de los registros.
- Esta función `main` debe ser `#[no_mangle]` y `extern "C"`, ya que se llama desde nuestro punto de entrada en `entry.S`.
- `_x0`–`_x3` son los valores de los registros `x0`–`x3`, que el bootloader utiliza habitualmente para pasar elementos al árbol de dispositivos, como un puntero. De acuerdo con la convención de llamadas estándar de aarch64 (que es lo que `extern "C"` usa), los registros `x0`–`x7` se utilizan para los primeros ocho argumentos que se pasan a una función, de modo que `entry.S` no tiene que hacer nada especial, salvo asegurarse de que no cambia estos registros.
- Ejecuta el ejemplo en QEMU con `make qemu_psci` en `src/bare-metal/aps/examples`.

53.3 Acceso a la memoria volátil para MMIO

- Se puede usar `pointer::read_volatile` y `pointer::write_volatile`.
- Nunca retengas una referencia.
- `addr_of!` permite obtener campos de estructuras sin crear una referencia intermedia.
- Acceso volátil: las operaciones de lectura o escritura pueden tener efectos secundarios, por lo que se debe evitar que el compilador o el hardware las reordene, duplique u omita.
  - Normalmente, si escribes y luego lees (por ejemplo, a través de una referencia mutable), el compilador puede suponer que el valor leído es el mismo que el que se acaba de escribir, sin molestarse si quiera en leer realmente la memoria.
- Algunos crates para el acceso volátil al hardware sí mantienen referencias, aunque no es seguro. Siempre que exista una referencia, el compilador puede desreferenciarla.
- Utiliza la macro `addr_of!` para obtener punteros de campos de estructuras a partir de un puntero en la estructura.

53.4 Vamos a escribir un controlador de UART

La máquina "virt" de QEMU tiene una UART [PL011]https://developer.arm.com/documentation/ddi0183/g), así que vamos a escribir un controlador para ella.

```
const FLAG_REGISTER_OFFSET: usize = 0x18;
const FR_BUSY: u8 = 1 << 3;
const FR_TXFF: u8 = 1 << 5;

/// Controlador mínimo para un UART PL011.
pub struct Uart {
    base_address: *mut u8,
}

impl Uart {
    /// Construye una instancia nueva del controlador de UART para un dispositivo PL011
    /// dirección base proporcionada.
    ///
    /// # Seguridad
    ///
    /// La dirección base debe apuntar a los 8 registros de control MMIO de un
    /// dispositivo PL011, que debe asignarse al espacio de direcciones del proceso
    /// como memoria del dispositivo y no tener ningún otro alias.
    pub unsafe fn new(base_address: *mut u8) -> Self {
        Self { base_address }
    }

    /// Escribe un solo byte en el UART.
    pub fn write_byte(&self, byte: u8) {
        // Espera hasta que haya espacio en el búfer de TX.
        while self.read_flag_register() & FR_TXFF != 0 {}

        // SAFETY: We know that the base address points to the control
        // registers of a PL011 device which is appropriately mapped.
        unsafe {
            // Escribe en el búfer de TX.
            self.base_address.write_volatile(byte);
        }

        // Espera hasta que el UART esté libre.
        while self.read_flag_register() & FR_BUSY != 0 {}
    }

    fn read_flag_register(&self) -> u8 {
        // SAFETY: We know that the base address points to the control
        // registers of a PL011 device which is appropriately mapped.
        unsafe { self.base_address.add(FLAG_REGISTER_OFFSET).read_volatile() }
    }
}
```

- Ten en cuenta que `Uart::new` no es seguro, mientras que los otros métodos sí lo son. Esto se debe a que mientras que el llamador de `Uart::new` asegure que se cumplan sus

requisitos de seguridad (es decir, que solo haya una instancia del controlador para una UART determinada y que nada más asigne alias a su espacio de direcciones), siempre es más seguro llamar a `write_byte` más adelante, ya que podemos asumir\ las condiciones previas necesarias.
- Podríamos haberlo hecho al revés (haciendo que new fuese seguro y `write_byte` no seguro), pero\sería mucho menos cómodo de usar, ya que cada lugar que llamase a `write_byte` tendría que pensar en la seguridad
- Este es un patrón común para escribir envoltorios seguros de código inseguro: mover la carga de la prueba de seguridad de un gran número de lugares a otro más pequeño.

53.4.1 Más traits

Hemos derivado el trait Debug. También sería útil implementar algunos traits más.

```
use core::fmt::{self, Write};

impl Write for Uart {
    fn write_str(&mut self, s: &str) -> fmt::Result {
        for c in s.as_bytes() {
            self.write_byte(*c);
        }
        Ok(())
    }
}

// SAFETY: `Uart` just contains a pointer to device memory, which can be
// accessed from any context.
unsafe impl Send for Uart {}
```

- Implementar `Write` nos permite utilizar las macros `write!` y `writeln!` con nuestro tipo `Uart`.
- Ejecuta el ejemplo en QEMU con `make qemu_minimal` en `src/bare-metal/aps/examples`.

53.5 Un controlador UART mejor

En realidad, PL011 tiene muchos registros más, por lo que añadir desplazamientos para crear punteros que les permita acceder a ellos da lugar a errores y dificulta la lectura. Además, algunos de ellos son campos de bits a los que estaría bien acceder de forma estructurada.

Desplazamiento	Nombre de registro	Ancho
0x00	DR	12
0x04	RSR	4
0x18	FR	9
0x20	ILPR	8
0x24	IBRD	16
0x28	FBRD	6
0x2c	LCR_H	8
0x30	CR	16
0x34	IFLS	6
0x38	IMSC	11

Desplazamiento	Nombre de registro	Ancho
0x3c	RIS	11
0x40	MIS	11
0x44	ICR	11
0x48	DMACR	3

- También hay algunos registros de ID que se han omitido para abreviar.

53.5.1 Bitflags

El crate `bitflags` resulta útil para trabajar con bitflags.

```
use bitflags::bitflags;

bitflags! {
    /// Marcas del registro de marcas de UART.
    struct Flags: u16 {
        /// Borra para enviar.
        const CTS = 1 << 0;
        /// Conjunto de datos listo.
        const DSR = 1 << 1;
        /// Detección del portador de datos.
        const DCD = 1 << 2;
        /// UART está transmitiendo datos.
        const BUSY = 1 << 3;
        /// El FIFO de recepción está vacío
        const RXFE = 1 << 4;
        /// El FIFO de transmisión está completo.
        const TXFF = 1 << 5;
        /// El FIFO de recepción está completo.
        const RXFF = 1 << 6;
        /// El FIFO de transmisión está vacío.
        const TXFE = 1 << 7;
        /// Indicador de anillo.
        const RI = 1 << 8;
    }
}
```

- La macro `bitflags!` crea un newtype, como `Flags(u16)`, junto con un montón de implementaciones de métodos para obtener y definir *flags* (banderas).

53.5.2 Varios registros

Podemos utilizar una estructura para representar la disposición de la memoria de los registros de UART.

```
struct Registers {
    dr: u16,
    _reserved0: [u8; 2],
    rsr: ReceiveStatus,
    _reserved1: [u8; 19],
```

```
    fr: Flags,
    _reserved2: [u8; 6],
    ilpr: u8,
    _reserved3: [u8; 3],
    ibrd: u16,
    _reserved4: [u8; 2],
    fbrd: u8,
    _reserved5: [u8; 3],
    lcr_h: u8,
    _reserved6: [u8; 3],
    cr: u16,
    _reserved7: [u8; 3],
    ifls: u8,
    _reserved8: [u8; 3],
    imsc: u16,
    _reserved9: [u8; 2],
    ris: u16,
    _reserved10: [u8; 2],
    mis: u16,
    _reserved11: [u8; 2],
    icr: u16,
    _reserved12: [u8; 2],
    dmacr: u8,
    _reserved13: [u8; 3],
}
```

- `#[repr(C)]` indica al compilador que ordene los campos de la estructura siguiendo las mismas reglas que en C. Esto es necesario para que nuestra estructura tenga un diseño predecible, ya que la representación predeterminada de Rust permite que el compilador (entre otras cosas) reordene los campos como crea conveniente.

53.5.3 Conductor

Ahora vamos a utilizar la nueva estructura de `Registers` en nuestro controlador.

```
/// Controlador para un UART PL011.
pub struct Uart {
    registers: *mut Registers,
}

impl Uart {
    /// Construye una instancia nueva del controlador de UART para un dispositivo PL011
    /// dirección base proporcionada.
    ///
    /// # Seguridad
    ///
    /// La dirección base debe apuntar a los 8 registros de control MMIO de un
    /// dispositivo PL011, que debe asignarse al espacio de direcciones del proceso
    /// como memoria del dispositivo y no tener ningún otro alias.
    pub unsafe fn new(base_address: *mut u32) -> Self {
        Self { registers: base_address as *mut Registers }
    }
```

```
    /// Escribe un solo byte en el UART.
    pub fn write_byte(&self, byte: u8) {
        // Espera hasta que haya espacio en el búfer de TX.
        while self.read_flag_register().contains(Flags::TXFF) {}

        // SAFETY: We know that self.registers points to the control registers
        // of a PL011 device which is appropriately mapped.
        unsafe {
            // Escribe en el búfer de TX.
            addr_of_mut!((*self.registers).dr).write_volatile(byte.into());
        }

        // Espera hasta que el UART esté libre.
        while self.read_flag_register().contains(Flags::BUSY) {}
    }

    /// Lee y devuelve un byte pendiente o `None` si no se ha recibido nada
    ///.
    pub fn read_byte(&self) -> Option<u8> {
        if self.read_flag_register().contains(Flags::RXFE) {
            None
        } else {
            // SAFETY: We know that self.registers points to the control
            // registers of a PL011 device which is appropriately mapped.
            let data = unsafe { addr_of!((*self.registers).dr).read_volatile() };
            // TAREA: Comprueba si hay condiciones de error en los bits 8 a 11.
            Some(data as u8)
        }
    }

    fn read_flag_register(&self) -> Flags {
        // SAFETY: We know that self.registers points to the control registers
        // of a PL011 device which is appropriately mapped.
        unsafe { addr_of!((*self.registers).fr).read_volatile() }
    }
}
```

- Fíjate en el uso de `addr_of!` y `addr_of_mut!` para llevar punteros a campos individuales sin crear una referencia intermedia. Sería una acción insegura.

53.5.4 Uso

Vamos a crear un pequeño programa con nuestro controlador para escribir en la consola serie y compartir los bytes entrantes.

```
mod exceptions;
mod pl011;

use crate::pl011::Uart;
use core::fmt::Write;
```

```rust
use core::panic::PanicInfo;
use log::error;
use smccc::psci::system_off;
use smccc::Hvc;

/// Dirección base del UART de PL011 principal.
const PL011_BASE_ADDRESS: *mut u32 = 0x900_0000 as _;

extern "C" fn main(x0: u64, x1: u64, x2: u64, x3: u64) {
    // SAFETY: `PL011_BASE_ADDRESS` is the base address of a PL011 device, and
    // nothing else accesses that address range.
    let mut uart = unsafe { Uart::new(PL011_BASE_ADDRESS) };

    writeln!(uart, "main({x0:#x}, {x1:#x}, {x2:#x}, {x3:#x})").unwrap();

    loop {
        if let Some(byte) = uart.read_byte() {
            uart.write_byte(byte);
            match byte {
                b'\r' => {
                    uart.write_byte(b'\n');
                }
                b'q' => break,
                _ => {}
            }
        }
    }

    writeln!(uart, "¡Adiós!").unwrap();
    system_off::<Hvc>().unwrap();
}
```

- Al igual que en el ejemplo de ensamblaje integrado, esta función `main` se llama desde nuestro código de punto de entrada en `entry.S`. Consulta las notas del orador para obtener más información.
- Ejecuta el ejemplo en QEMU con `make qemu` en `src/bare-metal/aps/examples`.

53.6 Almacenamiento de registros

Estaría bien poder utilizar las macros de registro del crate `log`. Podemos hacerlo implementando el trait `Log`.

```rust
use crate::pl011::Uart;
use core::fmt::Write;
use log::{LevelFilter, Log, Metadata, Record, SetLoggerError};
use spin::mutex::SpinMutex;

static LOGGER: Logger = Logger { uart: SpinMutex::new(None) };

struct Logger {
    uart: SpinMutex<Option<Uart>>,
```

```
}

impl Log for Logger {
    fn enabled(&self, _metadata: &Metadata) -> bool {
        true
    }

    fn log(&self, record: &Record) {
        writeln!(
            self.uart.lock().as_mut().unwrap(),
            "[{}] {}",
            record.level(),
            record.args()
        )
        .unwrap();
    }

    fn flush(&self) {}
}

/// Inicia el registro de UART.
pub fn init(uart: Uart, max_level: LevelFilter) -> Result<(), SetLoggerError> {
    LOGGER.uart.lock().replace(uart);

    log::set_logger(&LOGGER)?;
    log::set_max_level(max_level);
    Ok(())
}
```

- La desenvoltura en `log` es segura porque inicializamos `LOGGER` antes de llamar a `set_logger`.

53.6.1 Uso

Debemos inicializar el registrador antes de utilizarlo.

```
mod exceptions;
mod logger;
mod pl011;

use crate::pl011::Uart;
use core::panic::PanicInfo;
use log::{error, info, LevelFilter};
use smccc::psci::system_off;
use smccc::Hvc;

/// Dirección base del UART de PL011 principal.
const PL011_BASE_ADDRESS: *mut u32 = 0x900_0000 as _;

extern "C" fn main(x0: u64, x1: u64, x2: u64, x3: u64) {
    // SAFETY: `PL011_BASE_ADDRESS` is the base address of a PL011 device, and
```

```
    // nothing else accesses that address range.
    let uart = unsafe { Uart::new(PL011_BASE_ADDRESS) };
    logger::init(uart, LevelFilter::Trace).unwrap();

    info!("main({x0:#x}, {x1:#x}, {x2:#x}, {x3:#x})");

    assert_eq!(x1, 42);

    system_off::<Hvc>().unwrap();
}

fn panic(info: &PanicInfo) -> ! {
    error!("{info}");
    system_off::<Hvc>().unwrap();
    loop {}
}
```

- Ten en cuenta que nuestro controlador de *panic* ahora ya puede registrar la información de los pánicos.
- Ejecuta el ejemplo en QEMU con `make qemu_logger` en `src/bare-metal/aps/examples`.

53.7 Excepciones

AArch64 define una tabla de vectores de excepción con 16 entradas, para 4 tipos de excepciones (synchronous, IRQ, FIQ, SError) desde 4 estados (EL actual con SP0, EL actual con SPx, EL inferior con AArch64 y EL inferior con AArch32). Implementamos esto en el ensamblaje para guardar los registros volátiles en la *stack* antes de llamar al código de Rust:

```
use log::error;
use smccc::psci::system_off;
use smccc::Hvc;

extern "C" fn sync_exception_current(_elr: u64, _spsr: u64) {
    error!("sync_exception_current");
    system_off::<Hvc>().unwrap();
}

extern "C" fn irq_current(_elr: u64, _spsr: u64) {
    error!("irq_current");
    system_off::<Hvc>().unwrap();
}

extern "C" fn fiq_current(_elr: u64, _spsr: u64) {
    error!("fiq_current");
    system_off::<Hvc>().unwrap();
}

extern "C" fn serr_current(_elr: u64, _spsr: u64) {
    error!("serr_current");
    system_off::<Hvc>().unwrap();
}
```

```rust
extern "C" fn sync_lower(_elr: u64, _spsr: u64) {
    error!("sync_lower");
    system_off::<Hvc>().unwrap();
}

extern "C" fn irq_lower(_elr: u64, _spsr: u64) {
    error!("irq_lower");
    system_off::<Hvc>().unwrap();
}

extern "C" fn fiq_lower(_elr: u64, _spsr: u64) {
    error!("fiq_lower");
    system_off::<Hvc>().unwrap();
}

extern "C" fn serr_lower(_elr: u64, _spsr: u64) {
    error!("serr_lower");
    system_off::<Hvc>().unwrap();
}
```

- EL significa nivel de excepción (por sus siglas en inglés); todos nuestros ejemplos de esta tarde se ejecutan en EL1.
- Para simplificar, no distinguimos entre SP0 y SPx para las excepciones del EL actual, ni entre AArch32 y AArch64 para las excepciones de EL inferiores.
- En este ejemplo, nos limitaremos a registrar la excepción y a apagarla, ya que no esperamos que se produzca ninguna.
- Podríamos pensar en los controladores de excepciones y en nuestro contexto de ejecución principal como si fueran hilos diferentes. `Send` y `Sync` controlarán lo que podemos compartir entre ellos, igual que con los hilos. Por ejemplo, si queremos compartir algún valor entre los controladores de excepciones y el resto del programa, y es `Send`en vez de `Sync`, necesitaremos envolverlo en un `Mutex`, por ejemplo, y ponerlo en un estático.

53.8 Otros proyectos

- oreboot
  - ”coreboot sin la C”.
  - Compatible con x86, aarch64 y RISC-V.
  - Depende de LinuxBoot en lugar de tener controladores propios.
- [Tutorial del SO de Rust en RaspberryPi]Rust RaspberryPi OS tutorial
  - Inicialización, controlador de UART, bootloader sencillo, JTAG, niveles de excepción, gestión de excepciones, tablas de páginas, etc.
  - Algunas dudas sobre el mantenimiento de la caché y la inicialización en Rust, aunque no es precisamente un buen ejemplo para copiar en código de producción.
- `cargo-call-stack`
  - Análisis estático para determinar el uso máximo de la *stack*.
- El tutorial del sistema operativo en RaspberryPi ejecuta código de Rust antes de que la MMU y las cachés se habiliten. De este modo, se leerá y escribirá memoria (por ejemplo, la *stack*). Sin embargo:

- Sin la MMU y la caché, los accesos no alineados fallarán. Se compila con `aarch64-unknown-none`, que define `+strict-align` para evitar que el compilador genere accesos no alineados. Debería estar bien, pero no tiene por qué ser así, en general.
- Si se estuviera ejecutando en una máquina virtual, podría provocar problemas de coherencia en la caché. El problema es que la máquina virtual accede a la memoria directamente con la caché inhabilitada, mientras que el host cuenta con alias que se pueden almacenar en caché en la misma memoria. Incluso si el host no accede explícitamente a la memoria, los accesos especulativos pueden provocar que se llene la caché, haciendo que los cambios de uno u otro se pierdan. De nuevo, es correcto en este caso particular (si se ejecuta directamente en el hardware sin hipervisor) pero, por lo general, no es un buen patrón.

Capítulo 54

Crates Útiles

A continuación, repasaremos algunos crates que resuelven ciertos problemas comunes en la programación bare-metal.

54.1 `zerocopy`

El crate zerocopy (de Fuchsia) proporciona traits y macros para realizar conversiones seguras entre secuencias de bytes y otros tipos.

```
use zerocopy::AsBytes;

enum RequestType {
    In = 0,
    Out = 1,
    Flush = 4,
}

struct VirtioBlockRequest {
    request_type: RequestType,
    reserved: u32,
    sector: u64,
}

fn main() {
    let request = VirtioBlockRequest {
        request_type: RequestType::Flush,
        sector: 42,
        ..Default::default()
    };

    assert_eq!(
        request.as_bytes(),
        &[4, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 42, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0]
    );
}
```

No es adecuado para MMIO (ya que no utiliza lecturas y escrituras volátiles), pero puede ser útil para trabajar con estructuras compartidas con hardware (por ejemplo, mediante DMA) o enviadas a través de alguna interfaz externa.

- `FromBytes` se puede implementar en tipos en los que cualquier patrón de bytes es válido, por lo que se puede convertir de forma segura a partir de una secuencia de bytes que no es fiable.
- Si se intenta derivar `FromBytes` para estos tipos, se produciría un error, pues `RequestType` no utiliza todos los valores u32 posibles como discriminantes y, por tanto, todos los patrones de bytes son válidos.
- `zerocopy::byteorder` tiene tipos para primitivos numéricos conscientes del orden de bytes.
- Ejecuta el ejemplo con `cargo run` en `src/bare-metal/useful-crates/zerocopy-example/`. (No se ejecutará en el playground debido a la dependencia del crate).

54.2 aarch64-paging

El crate aarch64-paging permite crear tablas de páginas de acuerdo con la arquitectura del sistema de memoria virtual AArch64.

```
use aarch64_paging::{
    idmap::IdMap,
    paging::{Attributes, MemoryRegion},
};

const ASID: usize = 1;
const ROOT_LEVEL: usize = 1;

// Crea una tabla de páginas con mapeado de identidades.
let mut idmap = IdMap::new(ASID, ROOT_LEVEL);
// Asigna una región de 2 MiB de memoria como de solo lectura.
idmap.map_range(
    &MemoryRegion::new(0x80200000, 0x80400000),
    Attributes::NORMAL | Attributes::NON_GLOBAL | Attributes::READ_ONLY,
).unwrap();
// Configura `TTBR0_EL1` para activar la tabla de páginas.
idmap.activate();
```

- Por ahora, solo es compatible con EL1, pero debería ser sencillo añadir compatibilidad con otros niveles de excepción.
- Se utiliza en Android para el Firmware de Máquina Virtual Protegida.
- No hay una forma sencilla de ejecutar este ejemplo, ya que debe hacerse en hardware real o en QEMU.

54.3 buddy_system_allocator

buddy_system_allocator es un crate de terceros que implementa un asignador básico del sistema buddy. Se puede utilizar tanto para LockedHeap implementando GlobalAlloc, de forma que puedas usar el crate `alloc` estándar (tal y como vimos antes), o para asignar

otro espacio de direcciones. Por ejemplo, podríamos querer asignar espacio MMIO para los registros de dirección base (BAR) de PCI:

```
use buddy_system_allocator::FrameAllocator;
use core::alloc::Layout;

fn main() {
    let mut allocator = FrameAllocator::<32>::new();
    allocator.add_frame(0x200_0000, 0x400_0000);

    let layout = Layout::from_size_align(0x100, 0x100).unwrap();
    let bar = allocator
        .alloc_aligned(layout)
        .expect("Failed to allocate 0x100 byte MMIO region");
    println!("Allocated 0x100 byte MMIO region at {:#x}", bar);
}
```

- Los BAR de PCI siempre tienen una alineación igual a su tamaño.
- Ejecuta el ejemplo con `cargo run` en `src/bare-metal/useful-crates/allocator-example/`. (No se ejecutará en el playground debido a la dependencia del crate).

54.4 `tinyvec`

A veces, se necesita algo que se pueda cambiar de tamaño, como `Vec`, pero sin asignación de *heap*. `tinyvec` ofrece un vector respaldado por un array o slice, que se podría asignar estáticamente o en la *stack*, y que hace un seguimiento de cuántos elementos se usan, entrando en *panic* si intentas utilizar más elementos de los asignados.

```
use tinyvec::{array_vec, ArrayVec};

fn main() {
    let mut numbers: ArrayVec<[u32; 5]> = array_vec!(42, 66);
    println!("{numbers:?}");
    numbers.push(7);
    println!("{numbers:?}");
    numbers.remove(1);
    println!("{numbers:?}");
}
```

- `tinyvec` requiere que el tipo de elemento implemente `Default` para la inicialización.
- El playground de Rust incluye `tinyvec`, por lo que este ejemplo se ejecutará bien aunque esté insertado.

54.5 `spin`

`std::sync::Mutex` y el resto de los primitivos de sincronización de `std::sync` no están disponibles en `core` o `alloc`. ¿Cómo podemos gestionar la sincronización o la mutabilidad interior para, por ejemplo, compartir el estado entre diferentes CPUs?

El crate `spin` proporciona equivalentes basados en spinlocks de muchos de estos primitivos.

```rust
use spin::mutex::SpinMutex;

static counter: SpinMutex<u32> = SpinMutex::new(0);

fn main() {
    println!("count: {}", counter.lock());
    *counter.lock() += 2;
    println!("count: {}", counter.lock());
}
```

- Intenta evitar interbloqueos si usas bloqueos en los controladores de las interrupciones.
- `spin` also has a ticket lock mutex implementation; equivalents of `RwLock`, `Barrier` and `Once` from `std::sync`; and `Lazy` for lazy initialisation.
- El crate `once_cell` también tiene algunos tipos útiles de inicialización tardía con un enfoque ligeramente distinto al de `spin::once::Once`.
- El playground de Rust incluye `spin`, por lo que este ejemplo se ejecutará bien aunque está insertado.

Capítulo 55

Android

Para compilar un binario de Rust bare-metal en AOSP, tienes que usar una regla `rust_ffi_static` de Soong para crear tu código Rust y, seguidamente, un `cc_binary` con una secuencia de comandos de enlazador para producir el binario en sí. Por último, un `raw_binary` para convertir el ELF en un binario sin formato que pueda ejecutarse.

```
rust_ffi_static {
    name: "libvmbase_example",
    defaults: ["vmbase_ffi_defaults"],
    crate_name: "vmbase_example",
    srcs: ["src/main.rs"],
    rustlibs: [
        "libvmbase",
    ],
}

cc_binary {
    name: "vmbase_example",
    defaults: ["vmbase_elf_defaults"],
    srcs: [
        "idmap.S",
    ],
    static_libs: [
        "libvmbase_example",
    ],
    linker_scripts: [
        "image.ld",
        ":vmbase_sections",
    ],
}

raw_binary {
    name: "vmbase_example_bin",
    stem: "vmbase_example.bin",
    src: ":vmbase_example",
    enabled: false,
```

```
    target: {
        android_arm64: {
            enabled: true,
        },
    },
}
```

55.1 vmbase

En el caso de las máquinas virtuales que se ejecutan con crosvm en aarch64, la biblioteca vmbase proporciona una secuencia de comandos de enlazador y valores predeterminados útiles para las reglas de compilación, además de un punto de entrada, registro de la consola UART y mucho más.

```
use vmbase::{main, println};

main!(main);

pub fn main(arg0: u64, arg1: u64, arg2: u64, arg3: u64) {
    println!("Hello world");
}
```

- La macro `main!` indica tu función principal, que se llama desde el punto de entrada `vmbase`.
- El punto de entrada `vmbase` gestiona la inicialización de la consola y emite PSCI_SYSTEM_OFF para apagar la máquina virtual si tu función principal devuelve un resultado.

Capítulo 56

Ejercicios

Escribiremos un controlador para el dispositivo de reloj en tiempo real PL031.

Luego de ver los ejercicios, puedes ver las soluciones que se brindan.

56.1 Controlador RTC

La máquina virtual aarch64 de QEMU tiene un reloj en tiempo real PL031 en 0x9010000. En este ejercicio, debes escribir un controlador para el reloj.

1. Úsalo para imprimir la hora en la consola serie. Puedes usar el crate `chrono` para dar formato a la fecha y la hora.
2. Utiliza el registro de coincidencias y el estado de interrupción sin formato para esperar hasta un momento dado, por ejemplo, un adelanto de 3 segundos. (Llama a `core::hint::spin_loop` dentro d+el bucle).
3. *Ampliación si hay tiempo:* habilita y gestiona la interrupción que genera la coincidencia de RTC. Puedes usar el controlador que se proporciona con el crate `arm-gic` para configurar el controlador de interrupciones genérico (GIC) de Arm.
    - Utiliza la interrupción de RTC, que está conectada al GIC como `IntId::spi(2)`.
    - Después de habilitar la interrupción, puedes poner el núcleo en suspensión mediante `arm_gic::wfi()`, lo que hará que entre en suspensión hasta que reciba una interrupción.

Descarga la plantilla de ejercicio y busca en el directorio `rtc` los siguientes archivos.

src/main.rs:

```
mod exceptions;
mod logger;
mod pl011;

use crate::pl011::Uart;
use arm_gic::gicv3::GicV3;
use core::panic::PanicInfo;
use log::{error, info, trace, LevelFilter};
use smccc::psci::system_off;
```

```rust
use smccc::Hvc;

/// Base addresses of the GICv3.
const GICD_BASE_ADDRESS: *mut u64 = 0x800_0000 as _;
const GICR_BASE_ADDRESS: *mut u64 = 0x80A_0000 as _;

/// Base address of the primary PL011 UART.
const PL011_BASE_ADDRESS: *mut u32 = 0x900_0000 as _;

extern "C" fn main(x0: u64, x1: u64, x2: u64, x3: u64) {
    // SAFETY: `PL011_BASE_ADDRESS` is the base address of a PL011 device, and
    // nothing else accesses that address range.
    let uart = unsafe { Uart::new(PL011_BASE_ADDRESS) };
    logger::init(uart, LevelFilter::Trace).unwrap();

    info!("main({:#x}, {:#x}, {:#x}, {:#x})", x0, x1, x2, x3);

    // SAFETY: `GICD_BASE_ADDRESS` and `GICR_BASE_ADDRESS` are the base
    // addresses of a GICv3 distributor and redistributor respectively, and
    // nothing else accesses those address ranges.
    let mut gic = unsafe { GicV3::new(GICD_BASE_ADDRESS, GICR_BASE_ADDRESS) };
    gic.setup();

    // TODO: Create instance of RTC driver and print current time.

    // TODO: Wait for 3 seconds.

    system_off::<Hvc>().unwrap();
}

fn panic(info: &PanicInfo) -> ! {
    error!("{info}");
    system_off::<Hvc>().unwrap();
    loop {}
}
```

src/exceptions.rs (you should only need to change this for the 3rd part of the exercise):

```rust
// Copyright 2023 Google LLC
//
// Licensed under the Apache License, Version 2.0 (the "License");
// you may not use this file except in compliance with the License.
// You may obtain a copy of the License at
//
//      http://www.apache.org/licenses/LICENSE-2.0
//
// Unless required by applicable law or agreed to in writing, software
// distributed under the License is distributed on an "AS IS" BASIS,
// WITHOUT WARRANTIES OR CONDITIONS OF ANY KIND, either express or implied.
// See the License for the specific language governing permissions and
// limitations under the License.
```

```
use arm_gic::gicv3::GicV3;
use log::{error, info, trace};
use smccc::psci::system_off;
use smccc::Hvc;

extern "C" fn sync_exception_current(_elr: u64, _spsr: u64) {
    error!("sync_exception_current");
    system_off::<Hvc>().unwrap();
}

extern "C" fn irq_current(_elr: u64, _spsr: u64) {
    trace!("irq_current");
    let intid =
        GicV3::get_and_acknowledge_interrupt().expect("No pending interrupt");
    info!("IRQ {intid:?}");
}

extern "C" fn fiq_current(_elr: u64, _spsr: u64) {
    error!("fiq_current");
    system_off::<Hvc>().unwrap();
}

extern "C" fn serr_current(_elr: u64, _spsr: u64) {
    error!("serr_current");
    system_off::<Hvc>().unwrap();
}

extern "C" fn sync_lower(_elr: u64, _spsr: u64) {
    error!("sync_lower");
    system_off::<Hvc>().unwrap();
}

extern "C" fn irq_lower(_elr: u64, _spsr: u64) {
    error!("irq_lower");
    system_off::<Hvc>().unwrap();
}

extern "C" fn fiq_lower(_elr: u64, _spsr: u64) {
    error!("fiq_lower");
    system_off::<Hvc>().unwrap();
}

extern "C" fn serr_lower(_elr: u64, _spsr: u64) {
    error!("serr_lower");
    system_off::<Hvc>().unwrap();
}
```

src/logger.rs (no debería ser necesario cambiarlo):

```
// Copyright 2023 Google LLC
//
// Licensed under the Apache License, Version 2.0 (the "License");
```

```
// you may not use this file except in compliance with the License.
// You may obtain a copy of the License at
//
//      http://www.apache.org/licenses/LICENSE-2.0
//
// Unless required by applicable law or agreed to in writing, software
// distributed under the License is distributed on an "AS IS" BASIS,
// WITHOUT WARRANTIES OR CONDITIONS OF ANY KIND, either express or implied.
// See the License for the specific language governing permissions and
// limitations under the License.

// ANCHOR: main
use crate::pl011::Uart;
use core::fmt::Write;
use log::{LevelFilter, Log, Metadata, Record, SetLoggerError};
use spin::mutex::SpinMutex;

static LOGGER: Logger = Logger { uart: SpinMutex::new(None) };

struct Logger {
    uart: SpinMutex<Option<Uart>>,
}

impl Log for Logger {
    fn enabled(&self, _metadata: &Metadata) -> bool {
        true
    }

    fn log(&self, record: &Record) {
        writeln!(
            self.uart.lock().as_mut().unwrap(),
            "[{}] {}",
            record.level(),
            record.args()
        )
        .unwrap();
    }

    fn flush(&self) {}
}

/// Initialises UART logger.
pub fn init(uart: Uart, max_level: LevelFilter) -> Result<(), SetLoggerError> {
    LOGGER.uart.lock().replace(uart);

    log::set_logger(&LOGGER)?;
    log::set_max_level(max_level);
    Ok(())
}
```

src/pl011.rs (no debería ser necesario cambiarlo):

```
// Copyright 2023 Google LLC
//
// Licensed under the Apache License, Version 2.0 (the "License");
// you may not use this file except in compliance with the License.
// You may obtain a copy of the License at
//
//      http://www.apache.org/licenses/LICENSE-2.0
//
// Unless required by applicable law or agreed to in writing, software
// distributed under the License is distributed on an "AS IS" BASIS,
// WITHOUT WARRANTIES OR CONDITIONS OF ANY KIND, either express or implied.
// See the License for the specific language governing permissions and
// limitations under the License.


use core::fmt::{self, Write};
use core::ptr::{addr_of, addr_of_mut};

// ANCHOR: Flags
use bitflags::bitflags;

bitflags! {
    /// Flags from the UART flag register.
    struct Flags: u16 {
        /// Clear to send.
        const CTS = 1 << 0;
        /// Data set ready.
        const DSR = 1 << 1;
        /// Data carrier detect.
        const DCD = 1 << 2;
        /// UART busy transmitting data.
        const BUSY = 1 << 3;
        /// Receive FIFO is empty.
        const RXFE = 1 << 4;
        /// Transmit FIFO is full.
        const TXFF = 1 << 5;
        /// Receive FIFO is full.
        const RXFF = 1 << 6;
        /// Transmit FIFO is empty.
        const TXFE = 1 << 7;
        /// Ring indicator.
        const RI = 1 << 8;
    }
}
// ANCHOR_END: Flags

bitflags! {
    /// Flags from the UART Receive Status Register / Error Clear Register.
    struct ReceiveStatus: u16 {
        /// Framing error.
        const FE = 1 << 0;
```

```
        /// Parity error.
        const PE = 1 << 1;
        /// Break error.
        const BE = 1 << 2;
        /// Overrun error.
        const OE = 1 << 3;
    }
}

// ANCHOR: Registers
struct Registers {
    dr: u16,
    _reserved0: [u8; 2],
    rsr: ReceiveStatus,
    _reserved1: [u8; 19],
    fr: Flags,
    _reserved2: [u8; 6],
    ilpr: u8,
    _reserved3: [u8; 3],
    ibrd: u16,
    _reserved4: [u8; 2],
    fbrd: u8,
    _reserved5: [u8; 3],
    lcr_h: u8,
    _reserved6: [u8; 3],
    cr: u16,
    _reserved7: [u8; 3],
    ifls: u8,
    _reserved8: [u8; 3],
    imsc: u16,
    _reserved9: [u8; 2],
    ris: u16,
    _reserved10: [u8; 2],
    mis: u16,
    _reserved11: [u8; 2],
    icr: u16,
    _reserved12: [u8; 2],
    dmacr: u8,
    _reserved13: [u8; 3],
}
// ANCHOR_END: Registers

// ANCHOR: Uart
/// Driver for a PL011 UART.
pub struct Uart {
    registers: *mut Registers,
}

impl Uart {
    /// Constructs a new instance of the UART driver for a PL011 device at the
    /// given base address.
```

```
    ///
    /// # Safety
    ///
    /// The given base address must point to the MMIO control registers of a
    /// PL011 device, which must be mapped into the address space of the process
    /// as device memory and not have any other aliases.
    pub unsafe fn new(base_address: *mut u32) -> Self {
        Self { registers: base_address as *mut Registers }
    }

    /// Writes a single byte to the UART.
    pub fn write_byte(&self, byte: u8) {
        // Wait until there is room in the TX buffer.
        while self.read_flag_register().contains(Flags::TXFF) {}

        // SAFETY: We know that self.registers points to the control registers
        // of a PL011 device which is appropriately mapped.
        unsafe {
            // Write to the TX buffer.
            addr_of_mut!((*self.registers).dr).write_volatile(byte.into());
        }

        // Wait until the UART is no longer busy.
        while self.read_flag_register().contains(Flags::BUSY) {}
    }

    /// Reads and returns a pending byte, or `None` if nothing has been
    /// received.
    pub fn read_byte(&self) -> Option<u8> {
        if self.read_flag_register().contains(Flags::RXFE) {
            None
        } else {
            // SAFETY: We know that self.registers points to the control
            // registers of a PL011 device which is appropriately mapped.
            let data = unsafe { addr_of!((*self.registers).dr).read_volatile() };
            // TODO: Check for error conditions in bits 8-11.
            Some(data as u8)
        }
    }

    fn read_flag_register(&self) -> Flags {
        // SAFETY: We know that self.registers points to the control registers
        // of a PL011 device which is appropriately mapped.
        unsafe { addr_of!((*self.registers).fr).read_volatile() }
    }
}
// ANCHOR_END: Uart

impl Write for Uart {
    fn write_str(&mut self, s: &str) -> fmt::Result {
        for c in s.as_bytes() {
```

```
            self.write_byte(*c);
        }
        Ok(())
    }
}

// Safe because it just contains a pointer to device memory, which can be
// accessed from any context.
unsafe impl Send for Uart {}
```

Cargo.toml (you shouldn't need to change this):

```
[workspace]

[package]
name = "rtc"
version = "0.1.0"
edition = "2021"
publish = false

[dependencies]
arm-gic = "0.1.0"
bitflags = "2.6.0"
chrono = { version = "0.4.38", default-features = false }
log = "0.4.22"
smccc = "0.1.1"
spin = "0.9.8"

[build-dependencies]
cc = "1.1.4"
```

build.rs (no debería ser necesario cambiarlo):

```
// Copyright 2023 Google LLC
//
// Licensed under the Apache License, Version 2.0 (the "License");
// you may not use this file except in compliance with the License.
// You may obtain a copy of the License at
//
//      http://www.apache.org/licenses/LICENSE-2.0
//
// Unless required by applicable law or agreed to in writing, software
// distributed under the License is distributed on an "AS IS" BASIS,
// WITHOUT WARRANTIES OR CONDITIONS OF ANY KIND, either express or implied.
// See the License for the specific language governing permissions and
// limitations under the License.

use cc::Build;
use std::env;

fn main() {
    env::set_var("CROSS_COMPILE", "aarch64-linux-gnu");
    env::set_var("CROSS_COMPILE", "aarch64-none-elf");
```

```
    Build::new()
        .file("entry.S")
        .file("exceptions.S")
        .file("idmap.S")
        .compile("empty")
}
```

entry.S (no debería ser necesario cambiarlo):

```
/*
 * Copyright 2023 Google LLC
 *
 * Licensed under the Apache License, Version 2.0 (the "License");
 * you may not use this file except in compliance with the License.
 * You may obtain a copy of the License at
 *
 *     https://www.apache.org/licenses/LICENSE-2.0
 *
 * Unless required by applicable law or agreed to in writing, software
 * distributed under the License is distributed on an "AS IS" BASIS,
 * WITHOUT WARRANTIES OR CONDITIONS OF ANY KIND, either express or implied.
 * See the License for the specific language governing permissions and
 * limitations under the License.
 */

.macro adr_l, reg:req, sym:req
    adrp \reg, \sym
    add \reg, \reg, :lo12:\sym
.endm

.macro mov_i, reg:req, imm:req
    movz \reg, :abs_g3:\imm
    movk \reg, :abs_g2_nc:\imm
    movk \reg, :abs_g1_nc:\imm
    movk \reg, :abs_g0_nc:\imm
.endm

.set .L_MAIR_DEV_nGnRE, 0x04
.set .L_MAIR_MEM_WBWA,  0xff
.set .Lmairval, .L_MAIR_DEV_nGnRE | (.L_MAIR_MEM_WBWA << 8)

/* 4 KiB granule size for TTBR0_EL1. */
.set .L_TCR_TG0_4KB, 0x0 << 14
/* 4 KiB granule size for TTBR1_EL1. */
.set .L_TCR_TG1_4KB, 0x2 << 30
/* Disable translation table walk for TTBR1_EL1, generating a translation fault instead
.set .L_TCR_EPD1, 0x1 << 23
/* Translation table walks for TTBR0_EL1 are inner sharable. */
.set .L_TCR_SH_INNER, 0x3 << 12
/*
 * Translation table walks for TTBR0_EL1 are outer write-back read-allocate write-alloca
```

```
 * cacheable.
 */
.set .L_TCR_RGN_OWB, 0x1 << 10
/*
 * Translation table walks for TTBR0_EL1 are inner write-back read-allocate write-alloca
 * cacheable.
 */
.set .L_TCR_RGN_IWB, 0x1 << 8
/* Size offset for TTBR0_EL1 is 2**39 bytes (512 GiB). */
.set .L_TCR_T0SZ_512, 64 - 39
.set .Ltcrval, .L_TCR_TG0_4KB | .L_TCR_TG1_4KB | .L_TCR_EPD1 | .L_TCR_RGN_OWB
.set .Ltcrval, .Ltcrval | .L_TCR_RGN_IWB | .L_TCR_SH_INNER | .L_TCR_T0SZ_512

/* Stage 1 instruction access cacheability is unaffected. */
.set .L_SCTLR_ELx_I, 0x1 << 12
/* SP alignment fault if SP is not aligned to a 16 byte boundary. */
.set .L_SCTLR_ELx_SA, 0x1 << 3
/* Stage 1 data access cacheability is unaffected. */
.set .L_SCTLR_ELx_C, 0x1 << 2
/* EL0 and EL1 stage 1 MMU enabled. */
.set .L_SCTLR_ELx_M, 0x1 << 0
/* Privileged Access Never is unchanged on taking an exception to EL1. */
.set .L_SCTLR_EL1_SPAN, 0x1 << 23
/* SETEND instruction disabled at EL0 in aarch32 mode. */
.set .L_SCTLR_EL1_SED, 0x1 << 8
/* Various IT instructions are disabled at EL0 in aarch32 mode. */
.set .L_SCTLR_EL1_ITD, 0x1 << 7
.set .L_SCTLR_EL1_RES1, (0x1 << 11) | (0x1 << 20) | (0x1 << 22) | (0x1 << 28) | (0x1 <<
.set .Lsctlrval, .L_SCTLR_ELx_M | .L_SCTLR_ELx_C | .L_SCTLR_ELx_SA | .L_SCTLR_EL1_ITD |
.set .Lsctlrval, .Lsctlrval | .L_SCTLR_ELx_I | .L_SCTLR_EL1_SPAN | .L_SCTLR_EL1_RES1

/**
 * This is a generic entry point for an image. It carries out the operations required to
 * loaded image to be run. Specifically, it zeroes the bss section using registers x25 a
 * prepares the stack, enables floating point, and sets up the exception vector. It pres
 * for the Rust entry point, as these may contain boot parameters.
 */
.section .init.entry, "ax"
.global entry
entry:
    /* Load and apply the memory management configuration, ready to enable MMU and cache
    adrp x30, idmap
    msr ttbr0_el1, x30

    mov_i x30, .Lmairval
    msr mair_el1, x30

    mov_i x30, .Ltcrval
    /* Copy the supported PA range into TCR_EL1.IPS. */
    mrs x29, id_aa64mmfr0_el1
    bfi x30, x29, #32, #4
```

```
    msr tcr_el1, x30

    mov_i x30, .Lsctlrval

    /*
     * Ensure everything before this point has completed, then invalidate any potentiall
     * local TLB entries before they start being used.
     */
    isb
    tlbi vmalle1
    ic iallu
    dsb nsh
    isb

    /*
     * Configure sctlr_el1 to enable MMU and cache and don't proceed until this has comp
     */
    msr sctlr_el1, x30
    isb

    /* Disable trapping floating point access in EL1. */
    mrs x30, cpacr_el1
    orr x30, x30, #(0x3 << 20)
    msr cpacr_el1, x30
    isb

    /* Zero out the bss section. */
    adr_l x29, bss_begin
    adr_l x30, bss_end
0:  cmp x29, x30
    b.hs 1f
    stp xzr, xzr, [x29], #16
    b 0b

1:  /* Prepare the stack. */
    adr_l x30, boot_stack_end
    mov sp, x30

    /* Set up exception vector. */
    adr x30, vector_table_el1
    msr vbar_el1, x30

    /* Call into Rust code. */
    bl main

    /* Loop forever waiting for interrupts. */
2:  wfi
    b 2b
```

exceptions.S (no debería ser necesario cambiarlo):

```
/*
 * Copyright 2023 Google LLC
 *
 * Licensed under the Apache License, Version 2.0 (the "License");
 * you may not use this file except in compliance with the License.
 * You may obtain a copy of the License at
 *
 *     https://www.apache.org/licenses/LICENSE-2.0
 *
 * Unless required by applicable law or agreed to in writing, software
 * distributed under the License is distributed on an "AS IS" BASIS,
 * WITHOUT WARRANTIES OR CONDITIONS OF ANY KIND, either express or implied.
 * See the License for the specific language governing permissions and
 * limitations under the License.
 */

/**
 * Saves the volatile registers onto the stack. This currently takes 14
 * instructions, so it can be used in exception handlers with 18 instructions
 * left.
 *
 * On return, x0 and x1 are initialised to elr_el2 and spsr_el2 respectively,
 * which can be used as the first and second arguments of a subsequent call.
 */
.macro save_volatile_to_stack
    /* Reserve stack space and save registers x0-x18, x29 & x30. */
    stp x0, x1, [sp, #-(8 * 24)]!
    stp x2, x3, [sp, #8 * 2]
    stp x4, x5, [sp, #8 * 4]
    stp x6, x7, [sp, #8 * 6]
    stp x8, x9, [sp, #8 * 8]
    stp x10, x11, [sp, #8 * 10]
    stp x12, x13, [sp, #8 * 12]
    stp x14, x15, [sp, #8 * 14]
    stp x16, x17, [sp, #8 * 16]
    str x18, [sp, #8 * 18]
    stp x29, x30, [sp, #8 * 20]

    /*
     * Save elr_el1 & spsr_el1. This such that we can take nested exception
     * and still be able to unwind.
     */
    mrs x0, elr_el1
    mrs x1, spsr_el1
    stp x0, x1, [sp, #8 * 22]
.endm

/**
 * Restores the volatile registers from the stack. This currently takes 14
 * instructions, so it can be used in exception handlers while still leaving 18
 * instructions left; if paired with save_volatile_to_stack, there are 4
```

```
 * instructions to spare.
 */
.macro restore_volatile_from_stack
    /* Restore registers x2-x18, x29 & x30. */
    ldp x2, x3, [sp, #8 * 2]
    ldp x4, x5, [sp, #8 * 4]
    ldp x6, x7, [sp, #8 * 6]
    ldp x8, x9, [sp, #8 * 8]
    ldp x10, x11, [sp, #8 * 10]
    ldp x12, x13, [sp, #8 * 12]
    ldp x14, x15, [sp, #8 * 14]
    ldp x16, x17, [sp, #8 * 16]
    ldr x18, [sp, #8 * 18]
    ldp x29, x30, [sp, #8 * 20]

    /* Restore registers elr_el1 & spsr_el1, using x0 & x1 as scratch. */
    ldp x0, x1, [sp, #8 * 22]
    msr elr_el1, x0
    msr spsr_el1, x1

    /* Restore x0 & x1, and release stack space. */
    ldp x0, x1, [sp], #8 * 24
.endm

/**
 * This is a generic handler for exceptions taken at the current EL while using
 * SP0. It behaves similarly to the SPx case by first switching to SPx, doing
 * the work, then switching back to SP0 before returning.
 *
 * Switching to SPx and calling the Rust handler takes 16 instructions. To
 * restore and return we need an additional 16 instructions, so we can implement
 * the whole handler within the allotted 32 instructions.
 */
.macro current_exception_sp0 handler:req
    msr spsel, #1
    save_volatile_to_stack
    bl \handler
    restore_volatile_from_stack
    msr spsel, #0
    eret
.endm

/**
 * This is a generic handler for exceptions taken at the current EL while using
 * SPx. It saves volatile registers, calls the Rust handler, restores volatile
 * registers, then returns.
 *
 * This also works for exceptions taken from EL0, if we don't care about
 * non-volatile registers.
 *
 * Saving state and jumping to the Rust handler takes 15 instructions, and
```

```
 * restoring and returning also takes 15 instructions, so we can fit the whole
 * handler in 30 instructions, under the limit of 32.
 */
.macro current_exception_spx handler:req
    save_volatile_to_stack
    bl \handler
    restore_volatile_from_stack
    eret
.endm

.section .text.vector_table_el1, "ax"
.global vector_table_el1
.balign 0x800
vector_table_el1:
sync_cur_sp0:
    current_exception_sp0 sync_exception_current

.balign 0x80
irq_cur_sp0:
    current_exception_sp0 irq_current

.balign 0x80
fiq_cur_sp0:
    current_exception_sp0 fiq_current

.balign 0x80
serr_cur_sp0:
    current_exception_sp0 serr_current

.balign 0x80
sync_cur_spx:
    current_exception_spx sync_exception_current

.balign 0x80
irq_cur_spx:
    current_exception_spx irq_current

.balign 0x80
fiq_cur_spx:
    current_exception_spx fiq_current

.balign 0x80
serr_cur_spx:
    current_exception_spx serr_current

.balign 0x80
sync_lower_64:
    current_exception_spx sync_lower

.balign 0x80
irq_lower_64:
```

```
    current_exception_spx irq_lower

.balign 0x80
fiq_lower_64:
    current_exception_spx fiq_lower

.balign 0x80
serr_lower_64:
    current_exception_spx serr_lower

.balign 0x80
sync_lower_32:
    current_exception_spx sync_lower

.balign 0x80
irq_lower_32:
    current_exception_spx irq_lower

.balign 0x80
fiq_lower_32:
    current_exception_spx fiq_lower

.balign 0x80
serr_lower_32:
    current_exception_spx serr_lower
```

idmap.S (no debería ser necesario cambiarlo):

```
/*
 * Copyright 2023 Google LLC
 *
 * Licensed under the Apache License, Version 2.0 (the "License");
 * you may not use this file except in compliance with the License.
 * You may obtain a copy of the License at
 *
 *     https://www.apache.org/licenses/LICENSE-2.0
 *
 * Unless required by applicable law or agreed to in writing, software
 * distributed under the License is distributed on an "AS IS" BASIS,
 * WITHOUT WARRANTIES OR CONDITIONS OF ANY KIND, either express or implied.
 * See the License for the specific language governing permissions and
 * limitations under the License.
 */

.set .L_TT_TYPE_BLOCK, 0x1
.set .L_TT_TYPE_PAGE,  0x3
.set .L_TT_TYPE_TABLE, 0x3

/* Access flag. */
.set .L_TT_AF, 0x1 << 10
/* Not global. */
.set .L_TT_NG, 0x1 << 11
```

```
.set .L_TT_XN, 0x3 << 53

.set .L_TT_MT_DEV, 0x0 << 2         // MAIR #0 (DEV_nGnRE)
.set .L_TT_MT_MEM, (0x1 << 2) | (0x3 << 8)  // MAIR #1 (MEM_WBWA), inner shareable

.set .L_BLOCK_DEV, .L_TT_TYPE_BLOCK | .L_TT_MT_DEV | .L_TT_AF | .L_TT_XN
.set .L_BLOCK_MEM, .L_TT_TYPE_BLOCK | .L_TT_MT_MEM | .L_TT_AF | .L_TT_NG

.section ".rodata.idmap", "a", %progbits
.global idmap
.align 12
idmap:
    /* level 1 */
    .quad       .L_BLOCK_DEV | 0x0          // 1 GiB of device mappings
    .quad       .L_BLOCK_MEM | 0x40000000   // 1 GiB of DRAM
    .fill       254, 8, 0x0         // 254 GiB of unmapped VA space
    .quad       .L_BLOCK_DEV | 0x4000000000 // 1 GiB of device mappings
    .fill       255, 8, 0x0         // 255 GiB of remaining VA space
```

image.ld (no debería ser necesario cambiarlo):

```
/*
 * Copyright 2023 Google LLC
 *
 * Licensed under the Apache License, Version 2.0 (the "License");
 * you may not use this file except in compliance with the License.
 * You may obtain a copy of the License at
 *
 *     https://www.apache.org/licenses/LICENSE-2.0
 *
 * Unless required by applicable law or agreed to in writing, software
 * distributed under the License is distributed on an "AS IS" BASIS,
 * WITHOUT WARRANTIES OR CONDITIONS OF ANY KIND, either express or implied.
 * See the License for the specific language governing permissions and
 * limitations under the License.
 */

/*
 * Code will start running at this symbol which is placed at the start of the
 * image.
 */
ENTRY(entry)

MEMORY
{
    image : ORIGIN = 0x40080000, LENGTH = 2M
}

SECTIONS
{
    /*
     * Collect together the code.
```

```
 */
.init : ALIGN(4096) {
    text_begin = .;
    *(.init.entry)
    *(.init.*)
} >image
.text : {
    *(.text.*)
} >image
text_end = .;

/*
 * Collect together read-only data.
 */
.rodata : ALIGN(4096) {
    rodata_begin = .;
    *(.rodata.*)
} >image
.got : {
    *(.got)
} >image
rodata_end = .;

/*
 * Collect together the read-write data including .bss at the end which
 * will be zero'd by the entry code.
 */
.data : ALIGN(4096) {
    data_begin = .;
    *(.data.*)
    /*
     * The entry point code assumes that .data is a multiple of 32
     * bytes long.
     */
    . = ALIGN(32);
    data_end = .;
} >image

/* Everything beyond this point will not be included in the binary. */
bin_end = .;

/* The entry point code assumes that .bss is 16-byte aligned. */
.bss : ALIGN(16)  {
    bss_begin = .;
    *(.bss.*)
    *(COMMON)
    . = ALIGN(16);
    bss_end = .;
} >image

.stack (NOLOAD) : ALIGN(4096) {
```

```
        boot_stack_begin = .;
        . += 40 * 4096;
        . = ALIGN(4096);
        boot_stack_end = .;
    } >image

    . = ALIGN(4K);
    PROVIDE(dma_region = .);

    /*
     * Remove unused sections from the image.
     */
    /DISCARD/ : {
        /* The image loads itself so doesn't need these sections. */
        *(.gnu.hash)
        *(.hash)
        *(.interp)
        *(.eh_frame_hdr)
        *(.eh_frame)
        *(.note.gnu.build-id)
    }
}
```

Makefile (no debería ser necesario cambiarlo):

```
# Copyright 2023 Google LLC
#
# Licensed under the Apache License, Version 2.0 (the "License");
# you may not use this file except in compliance with the License.
# You may obtain a copy of the License at
#
#      http://www.apache.org/licenses/LICENSE-2.0
#
# Unless required by applicable law or agreed to in writing, software
# distributed under the License is distributed on an "AS IS" BASIS,
# WITHOUT WARRANTIES OR CONDITIONS OF ANY KIND, either express or implied.
# See the License for the specific language governing permissions and
# limitations under the License.

UNAME := $(shell uname -s)
ifeq ($(UNAME),Linux)
    TARGET = aarch64-linux-gnu
else
    TARGET = aarch64-none-elf
endif
OBJCOPY = $(TARGET)-objcopy

.PHONY: build qemu_minimal qemu qemu_logger

all: rtc.bin

build:
```

```
    cargo build

rtc.bin: build
    $(OBJCOPY) -O binary target/aarch64-unknown-none/debug/rtc $@

qemu: rtc.bin
    qemu-system-aarch64 -machine virt,gic-version=3 -cpu max -serial mon:stdio -display

clean:
    cargo clean
    rm -f *.bin
```

.cargo/config.toml (you shouldn't need to change this):

```
[build]
target = "aarch64-unknown-none"
rustflags = ["-C", "link-arg=-Timage.ld"]
```

Ejecuta el código en QEMU con `make qemu`.

56.2 Rust Bare Metal: Tarde

Controlador RTC

(volver al ejercicio)

main.rs:

```
mod exceptions;
mod logger;
mod pl011;
mod pl031;

use crate::pl031::Rtc;
use arm_gic::gicv3::{IntId, Trigger};
use arm_gic::{irq_enable, wfi};
use chrono::{TimeZone, Utc};
use core::hint::spin_loop;
use crate::pl011::Uart;
use arm_gic::gicv3::GicV3;
use core::panic::PanicInfo;
use log::{error, info, trace, LevelFilter};
use smccc::psci::system_off;
use smccc::Hvc;

/// Direcciones base de GICv3.
const GICD_BASE_ADDRESS: *mut u64 = 0x800_0000 as _;
const GICR_BASE_ADDRESS: *mut u64 = 0x80A_0000 as _;

/// Dirección base del UART de PL011 principal.
const PL011_BASE_ADDRESS: *mut u32 = 0x900_0000 as _;
```

```rust
/// Dirección base de PL031 RTC.
const PL031_BASE_ADDRESS: *mut u32 = 0x901_0000 as _;
/// IRQ que utiliza PL031 RTC.
const PL031_IRQ: IntId = IntId::spi(2);

extern "C" fn main(x0: u64, x1: u64, x2: u64, x3: u64) {
    // SAFETY: `PL011_BASE_ADDRESS` is the base address of a PL011 device, and
    // nothing else accesses that address range.
    let uart = unsafe { Uart::new(PL011_BASE_ADDRESS) };
    logger::init(uart, LevelFilter::Trace).unwrap();

    info!("main({:#x}, {:#x}, {:#x}, {:#x})", x0, x1, x2, x3);

    // SAFETY: `GICD_BASE_ADDRESS` and `GICR_BASE_ADDRESS` are the base
    // addresses of a GICv3 distributor and redistributor respectively, and
    // nothing else accesses those address ranges.
    let mut gic = unsafe { GicV3::new(GICD_BASE_ADDRESS, GICR_BASE_ADDRESS) };
    gic.setup();

    // SAFETY: `PL031_BASE_ADDRESS` is the base address of a PL031 device, and
    // nothing else accesses that address range.
    let mut rtc = unsafe { Rtc::new(PL031_BASE_ADDRESS) };
    let timestamp = rtc.read();
    let time = Utc.timestamp_opt(timestamp.into(), 0).unwrap();
    info!("RTC: {time}");

    GicV3::set_priority_mask(0xff);
    gic.set_interrupt_priority(PL031_IRQ, 0x80);
    gic.set_trigger(PL031_IRQ, Trigger::Level);
    irq_enable();
    gic.enable_interrupt(PL031_IRQ, true);

    // Espera 3 segundos, sin interrupciones.
    let target = timestamp + 3;
    rtc.set_match(target);
    info!("Esperando a {}", Utc.timestamp_opt(target.into(), 0).unwrap());
    trace!(
        "matched={}, interrupt_pending={}",
        rtc.matched(),
        rtc.interrupt_pending()
    );
    while !rtc.matched() {
        spin_loop();
    }
    trace!(
        "matched={}, interrupt_pending={}",
        rtc.matched(),
        rtc.interrupt_pending()
    );
    info!("Espera finalizada");
```

```
    // Espera otros 3 segundos a que se produzca una interrupción.
    let target = timestamp + 6;
    info!("Esperando a {}", Utc.timestamp_opt(target.into(), 0).unwrap());
    rtc.set_match(target);
    rtc.clear_interrupt();
    rtc.enable_interrupt(true);
    trace!(
        "matched={}, interrupt_pending={}",
        rtc.matched(),
        rtc.interrupt_pending()
    );
    while !rtc.interrupt_pending() {
        wfi();
    }
    trace!(
        "matched={}, interrupt_pending={}",
        rtc.matched(),
        rtc.interrupt_pending()
    );
    info!("Espera finalizada");

    system_off::<Hvc>().unwrap();
}

fn panic(info: &PanicInfo) -> ! {
    error!("{info}");
    system_off::<Hvc>().unwrap();
    loop {}
}
```

pl031.rs:

```
use core::ptr::{addr_of, addr_of_mut};

struct Registers {
    /// Registro de datos
    dr: u32,
    /// Registro de coincidencias
    mr: u32,
    /// Registro de cargas
    lr: u32,
    /// Registro de control
    cr: u8,
    _reserved0: [u8; 3],
    /// Interrumpe Mask Set o Clear register
    imsc: u8,
    _reserved1: [u8; 3],
    /// Estado de interrupción sin procesar
    ris: u8,
    _reserved2: [u8; 3],
    /// Estado de interrupción enmascarada
```

```
    mis: u8,
    _reserved3: [u8; 3],
    /// Interrumpir registro de limpieza
    icr: u8,
    _reserved4: [u8; 3],
}

/// Controlador para un reloj en tiempo real PL031.
pub struct Rtc {
    registers: *mut Registers,
}

impl Rtc {
    /// Crea una instancia nueva del controlador RTC para un dispositivo PL031 en la
    /// dirección base proporcionada.
    ///
    /// # Seguridad
    ///
    /// El objeto la dirección base debe apuntar a los registros de control MMIO de un d
    /// PL031, que debe asignarse al espacio de direcciones del proceso
    /// como memoria del dispositivo y no tener ningún otro alias.
    pub unsafe fn new(base_address: *mut u32) -> Self {
        Self { registers: base_address as *mut Registers }
    }

    /// Lee el valor de RTC actual.
    pub fn read(&self) -> u32 {
        // SAFETY: We know that self.registers points to the control registers
        // of a PL031 device which is appropriately mapped.
        unsafe { addr_of!((*self.registers).dr).read_volatile() }
    }

    /// Escribe un valor de coincidencia. Cuando el valor de RTC coincida, se generará u
    /// (si está habilitada).
    pub fn set_match(&mut self, value: u32) {
        // SAFETY: We know that self.registers points to the control registers
        // of a PL031 device which is appropriately mapped.
        unsafe { addr_of_mut!((*self.registers).mr).write_volatile(value) }
    }

    /// Devuelve en función de si el registro de coincidencias coincide con el valor de
    /// si la interrupción está habilitada o no.
    pub fn matched(&self) -> bool {
        // SAFETY: We know that self.registers points to the control registers
        // of a PL031 device which is appropriately mapped.
        let ris = unsafe { addr_of!((*self.registers).ris).read_volatile() };
        (ris & 0x01) != 0
    }

    /// Devuelve si hay una interrupción pendiente.
    ///
```

```
    /// Solo debe ser true si `matched` devuelve true y
    /// la interrupción está enmascarada.
    pub fn interrupt_pending(&self) -> bool {
        // SAFETY: We know that self.registers points to the control registers
        // of a PL031 device which is appropriately mapped.
        let ris = unsafe { addr_of!((*self.registers).mis).read_volatile() };
        (ris & 0x01) != 0
    }

    /// Define o borra la máscara de interrupción.
    ///
    /// Si la máscara es true, se habilita la interrupción; Si es false,
    /// se inhabilita la interrupción.
    pub fn enable_interrupt(&mut self, mask: bool) {
        let imsc = if mask { 0x01 } else { 0x00 };
        // SAFETY: We know that self.registers points to the control registers
        // of a PL031 device which is appropriately mapped.
        unsafe { addr_of_mut!((*self.registers).imsc).write_volatile(imsc) }
    }

    /// Borra una interrupción pendiente, si la hubiera.
    pub fn clear_interrupt(&mut self) {
        // SAFETY: We know that self.registers points to the control registers
        // of a PL031 device which is appropriately mapped.
        unsafe { addr_of_mut!((*self.registers).icr).write_volatile(0x01) }
    }
}

// SAFETY: `Rtc` just contains a pointer to device memory, which can be
// accessed from any context.
unsafe impl Send for Rtc {}
```

Parte XIII

Concurrencia: mañana

Capítulo 57

Te Damos la Bienvenida a Concurrencia en Rust

Rust es totalmente compatible con la concurrencia mediante hilos del SO con exclusiones mutuas y canales.

El sistema de tipos de Rust desempeña un papel importante al hacer que muchos errores de concurrencia sean errores en tiempo de compilación. A menudo, esto se conoce como *concurrencia sin miedo*, ya que puedes confiar en el compilador para asegurar la corrección en el tiempo de ejecución.

Horario

Including 10 minute breaks, this session should take about 3 hours and 20 minutes. It contains:

Sección	Duración
Hilos	30 minutos
Canales	20 minutos
Send y Sync	15 minutos
Estado compartido	30 minutos
Ejercicios	1 hora y 10 minutos

- Rust lets us access OS concurrency toolkit: threads, sync. primitives, etc.
- The type system gives us safety for concurrency without any special features.
- The same tools that help with ”concurrent” access in a single thread (e.g., a called function that might mutate an argument or save references to it to read later) save us from multi-threading issues.

Capítulo 58

Hilos

This segment should take about 30 minutes. It contains:

Diapositiva	Duración
Hilos Simples	15 minutos
Hilos con ámbito	15 minutos

58.1 Hilos Simples

Los hilos de Rust funcionan de forma similar a los de otros lenguajes:

```
use std::thread;
use std::time::Duration;

fn main() {
    thread::spawn(|| {
        for i in 1..10 {
            println!("Recuento en el hilo: {i}!");
            thread::sleep(Duration::from_millis(5));
        }
    });

    for i in 1..5 {
        println!("Hilo principal: {i}");
        thread::sleep(Duration::from_millis(5));
    }
}
```

- Los hilos son todos hilos daemon, y el hilo principal no espera por ellos.
- Los pánicos de los hilos son independientes entre sí.
  - Los pánicos pueden transportar una carga útil, que se puede desempaquetar con `downcast_ref`.
- Rust thread APIs look not too different from e.g. C++ ones.

- Run the example.
  - 5ms timing is loose enough that main and spawned threads stay mostly in lockstep.
  - Notice that the program ends before the spawned thread reaches 10!
  - This is because main ends the program and spawned threads do not make it persist.
    * Compare to pthreads/C++ std::thread/boost::thread if desired.
- How do we wait around for the spawned thread to complete?
- `thread::spawn` returns a `JoinHandle`. Look at the docs.
  - `JoinHandle` has a `.join()` method that blocks.
- Use `let handle = thread::spawn(...)` and later `handle.join()` to wait for the thread to finish and have the program count all the way to 10.
- Now what if we want to return a value?
- Look at docs again:
  - `thread::spawn`'s closure returns `T`
  - `JoinHandle .join()` returns `thread::Result<T>`
- Use the `Result` return value from `handle.join()` to get access to the returned value.
- Ok, what about the other case?
  - Trigger a panic in the thread. Note that this doesn't panic `main`.
  - Access the panic payload. This is a good time to talk about `Any`.
- Now we can return values from threads! What about taking inputs?
  - Capture something by reference in the thread closure.
  - An error message indicates we must move it.
  - Move it in, see we can compute and then return a derived value.
- If we want to borrow?
  - Main kills child threads when it returns, but another function would just return and leave them running.
  - That would be stack use-after-return, which violates memory safety!
  - How do we avoid this? see next slide.

58.2 Hilos con ámbito

Los hilos normales no pueden tomar nada prestado de su entorno:

```
use std::thread;

fn foo() {
    let s = String::from("Hola");
    thread::spawn(|| {
        println!("Longitud: {}", s.len());
    });
}

fn main() {
```

```
    foo();
}
```

Sin embargo, puedes usar un hilo con ámbito para lo siguiente:

```
use std::thread;

fn main() {
    let s = String::from("Hola");

    thread::scope(|scope| {
        scope.spawn(|| {
            println!("Longitud: {}", s.len());
        });
    });
}
```

- La razón es que, cuando se completa la función `thread::scope`, se asegura que todos los hilos están unidos, por lo que pueden devolver datos prestados.
- Se aplican las reglas normales de préstamo de Rust: un hilo puede tomar datos prestados de manera mutable o cualquier número de hilos puede tomar datos prestados de manera inmutable.

Capítulo 59

Canales

This segment should take about 20 minutes. It contains:

Diapositiva	Duración
Transmisores y Receptores	10 minutos
Canales sin límites	2 minutos
Canales delimitados	10 minutos

59.1 Transmisores y Receptores

Los canales de Rust tienen dos partes: `Sender<T>` y `Receiver<T>`. Las dos partes están conectadas a través del canal, pero solo se ven los puntos finales.

```
use std::sync::mpsc;

fn main() {
    let (tx, rx) = mpsc::channel();

    tx.send(10).unwrap();
    tx.send(20).unwrap();

    println!("Recibido: {:?}", rx.recv());
    println!("Recibido: {:?}", rx.recv());

    let tx2 = tx.clone();
    tx2.send(30).unwrap();
    println!("Recibido: {:?}", rx.recv());
}
```

- `mpsc` son las siglas de Multi-Producer, Single-Consumer (multiproductor, consumidor único.) `Sender` y `SyncSender` implementan `Clone` (es decir, puedes crear varios productores), pero `Receiver` no.
- `send()` y `recv()` devuelven `Result`. Si devuelven `Err`, significa que el homólogo `Sender` o `Receiver` se ha eliminado y el canal se ha cerrado.

59.2 Canales sin límites

Se obtiene un canal asíncrono y sin límites con `mpsc::channel()`:

```
use std::sync::mpsc;
use std::thread;
use std::time::Duration;

fn main() {
    let (tx, rx) = mpsc::channel();

    thread::spawn(move || {
        let thread_id = thread::current().id();
        for i in 1..10 {
            tx.send(format!("Mensaje {i}")).unwrap();
            println!("{thread_id:?}: mensaje enviado {i}");
        }
        println!("{thread_id:?}: completado");
    });
    thread::sleep(Duration::from_millis(100));

    for msg in rx.iter() {
        println!("Principal: ha recibido {msg}");
    }
}
```

59.3 Canales delimitados

Con canales limitados (síncronos), `send` puede bloquear el hilo:

```
use std::sync::mpsc;
use std::thread;
use std::time::Duration;

fn main() {
    let (tx, rx) = mpsc::sync_channel(3);

    thread::spawn(move || {
        let thread_id = thread::current().id();
        for i in 1..10 {
            tx.send(format!("Mensaje {i}")).unwrap();
            println!("{thread_id:?}: mensaje enviado {i}");
        }
        println!("{thread_id:?}: completado");
    });
    thread::sleep(Duration::from_millis(100));

    for msg in rx.iter() {
        println!("Principal: ha recibido {msg}");
    }
}
```

- Al llamar a `send`, se bloqueará el hilo hasta que haya espacio suficiente en el canal para el mensaje nuevo. El hilo se puede bloquear de forma indefinida si no hay nadie que lea el canal.
- Si se cierra el canal, se anulará la llamada a `send` y se producirá un error (por eso devuelve `Result`). Un canal se cierra cuando se elimina el receptor.
- A bounded channel with a size of zero is called a ”rendezvous channel”. Every send will block the current thread until another thread calls `recv`.

Capítulo 60

Send y Sync

Esta sección tiene una duración aproximada de 15 minutos y contiene:

Diapositiva	Duración
Traits de Marcador	2 minutos
Send	2 minutos
Sync	2 minutos
Ejemplos	10 minutos

60.1 Traits de Marcador

How does Rust know to forbid shared access across threads? The answer is in two traits:

- Send: un tipo T es Send si es seguro mover un T entre los límites de un hilo.
- Sync: un tipo T es Sync si es seguro mover un &T entre los límites de un hilo.

Send and Sync are unsafe traits. The compiler will automatically derive them for your types as long as they only contain Send and Sync types. You can also implement them manually when you know it is valid.

- Se podría pensar en estos traits como marcadores que indican que el tipo tiene ciertas propiedades de seguridad en hilos.
- Se pueden utilizar en las restricciones genéricas como traits normales.

60.2 Send

> Un tipo T es Send si es seguro mover un valor T a otro hilo.

El efecto de mover la propiedad a otro hilo es que los *destructores* se ejecutarán en ese hilo. Por tanto, la cuestion es cuándo se puede asignar un valor a un hilo y desasignarlo en otro.

Por ejemplo, solo se puede acceder a una conexión a la biblioteca SQLite desde un único hilo.

60.3 Sync

> Un tipo `T` es Sync si es seguro acceder a un valor `T` desde varios hilos al mismo tiempo.

En concreto, la definición es la siguiente:

> `T` es `Sync` únicamente si `&T` es `Send`.

Esta instrucción es, básicamente, una forma resumida de indicar que, si un tipo es seguro para los hilos en uso compartido, también lo es para pasar referencias de él a través de los hilos.

Esto se debe a que, si el tipo es Sync, significa que se puede compartir entre múltiples hilos sin el riesgo de que haya carreras de datos u otros problemas de sincronización, por lo que es seguro moverlo a otro hilo. También es seguro mover una referencia al tipo a otro hilo, ya que se puede acceder de forma segura a los datos a los que hace referencia desde cualquier hilo.

60.4 Ejemplos

`Send + Sync`

La mayoría de los tipos que encuentras son `Send + Sync`:

- `i8`, `f32`, `bool`, `char`, `&str`, etc.
- `(T1, T2)`, `[T; N]`, `&[T]`, `struct { x: T }`, etc.
- `String`, `Option<T>`, `Vec<T>`, `Box<T>`, etc.
- `Arc<T>`: explícitamente seguro para los hilos mediante el recuento atómico de referencias.
- `Mutex<T>`: explícitamente seguro para los hilos mediante bloqueo interno.
- `mpsc::Sender<T>`: As of 1.72.0.
- `AtomicBool`, `AtomicU8`, etc.: utiliza instrucciones atómicas especiales.

Los tipos genéricos suelen ser `Send + Sync` cuando los parámetros del tipo son `Send + Sync`.

`Send + !Sync`

Estos tipos se pueden mover a otros hilos, pero no son seguros para los hilos. Normalmente, esto se debe a la mutabilidad interior:

- `mpsc::Receiver<T>`
- `Cell<T>`
- `RefCell<T>`

`!Send + Sync`

Estos tipos son seguros para los hilos *(thread safe)*, pero no se pueden mover a otro hilo:

- `MutexGuard<T: Sync>`: Uses OS level primitives which must be deallocated on the thread which created them.

`!Send + !Sync`

Estos tipos no son seguros para los hilos y no se pueden mover a otros hilos:

- `Rc<T>`: cada `Rc<T>` tiene una referencia a un `RcBox<T>`, que contiene un recuento de referencias no atómico.
- `*const T`, `*mut T`: Rust asume que los punteros sin procesar pueden tener consideraciones especiales de concurrencia.

Capítulo 61

Estado compartido

This segment should take about 30 minutes. It contains:

Diapositiva	Duración
Arc	5 minutos
Mutex	15 minutos
Ejemplo	10 minutos

61.1 `Arc`

`Arc<T>` permite el acceso compartido de solo lectura a través de `Arc::clone`:

```
use std::sync::Arc;
use std::thread;

fn main() {
    let v = Arc::new(vec![10, 20, 30]);
    let mut handles = Vec::new();
    for _ in 1..5 {
        let v = Arc::clone(&v);
        handles.push(thread::spawn(move || {
            let thread_id = thread::current().id();
            println!("{thread_id:?}: {v:?}");
        }));
    }

    handles.into_iter().for_each(|h| h.join().unwrap());
    println!("v: {v:?}");
}
```

- `Arc` son las siglas de ”Atomic Reference Counted” (recuento atómico de referencias), una versión de `Rc` segura para los hilos que utiliza operaciones atómicas.
- `Arc<T>` implementa `Clone`, independientemente de si `T` lo hace o no. Implementa `Send` y `Sync` si `T` implementa ambos.

- `Arc::clone()` tiene el coste de las operaciones atómicas que se ejecutan; después el uso de `T` es libre.
- Hay que prestar atención a los ciclos de referencia, ya que `Arc` no usa un recolector de memoria residual para detectarlos.
  - `std::sync::Weak` puede resultar útil.

61.2 `Mutex`

`Mutex<T>` ensures mutual exclusion *and* allows mutable access to `T` behind a read-only interface (another form of interior mutability):

```
use std::sync::Mutex;

fn main() {
    let v = Mutex::new(vec![10, 20, 30]);
    println!("v: {:?}", v.lock().unwrap());

    {
        let mut guard = v.lock().unwrap();
        guard.push(40);
    }

    println!("v: {:?}", v.lock().unwrap());
}
```

Fíjate en cómo tenemos una implementación general de `impl<T: Send> Sync for Mutex<T>`.

- `Mutex` in Rust looks like a collection with just one element --- the protected data.
  - No es posible olvidarse de adquirir la exclusión mutua antes de acceder a los datos protegidos.
- Puedes obtener un `&mut T` de `Mutex<T>` mediante el bloqueo. El `MutexGuard` asegura que `&mut T` no dure más tiempo que el bloqueo que se ha aplicado.
- `Mutex<T>` implementa tanto `Send` como `Sync` únicamente si `T` implementa `Send`.
- A read-write lock counterpart: `RwLock`.
- Why does `lock()` return a `Result`?
  - Si el hilo que contiene `Mutex` entra en pánico, `Mutex` se ”envenena” para indicar que los datos que protegía pueden estar en un estado incoherente. Llamar a `lock()` en una exclusión mutua envenenada da el error `PoisonError`. Puedes llamar a `into_inner()` en el error para recuperar los datos de todos modos.

61.3 Ejemplo

Veamos cómo funcionan `Arc` y `Mutex`:

```
use std::thread;
// usar std::sync::{Arc, Mutex};

fn main() {
    let v = vec![10, 20, 30];
    let handle = thread::spawn(|| {
```

```
        v.push(10);
    });
    v.push(1000);

    handle.join().unwrap();
    println!("v: {v:?}");
}
```

Solución posible:

```
use std::sync::{Arc, Mutex};
use std::thread;

fn main() {
    let v = Arc::new(Mutex::new(vec![10, 20, 30]));

    let v2 = Arc::clone(&v);
    let handle = thread::spawn(move || {
        let mut v2 = v2.lock().unwrap();
        v2.push(10);
    });

    {
        let mut v = v.lock().unwrap();
        v.push(1000);
    }

    handle.join().unwrap();

    println!("v: {v:?}");
}
```

Puntos a destacar:

- `v` se envuelve tanto en `Arc` como en `Mutex`, porque sus preocupaciones son ortogonales.
  - Envolver un `Mutex` en un `Arc` es un patrón habitual para compartir el estado mutable entre hilos.
- `v: Arc<_>` se debe clonar como `v2` antes de poder moverlo a otro hilo. Ten en cuenta que `move` se ha añadido a la firma lambda.
- Se introducen bloqueos para limitar al máximo el ámbito de `LockGuard`.

Capítulo 62

Ejercicios

Esta sección tiene una duración aproximada de 1 hora y 10 minutos. Contiene:

Diapositiva	Duración
La cena de los filósofos	20 minutos
Comprobador de enlaces multihilo	20 minutos
Soluciones	30 minutos

62.1 La cena de los filósofos

El problema de la cena de los filósofos es un problema clásico de concurrencia:

> Cinco filósofos cenan juntos en la misma mesa. Cada filósofo tiene su propio sitio en ella. Hay un tenedor entre cada plato. El plato que van a degustar es una especie de espaguetis que hay que comer con dos tenedores. Los filósofos solo pueden pensar y comer alternativamente. Además, solo pueden comer sus espaguetis cuando disponen de un tenedor a la izquierda y otro a la derecha. Por tanto, los dos tenedores solo estarán disponibles cuando su dos vecinos más cercanos estén pensando y no comiendo. Cuando un filósofo termina de comer, deja los dos tenedores en la mesa.

Para realizar este ejercicio necesitarás una [instalación local de Cargo] (../../cargo/running-locally.md). Copia el fragmento de código que aparece más abajo en un archivo denominado `src/main.rs`, rellena los espacios en blanco y comprueba que `cargo run` no presenta interbloqueos:

```
use std::sync::{mpsc, Arc, Mutex};
use std::thread;
use std::time::Duration;

struct Fork;

struct Philosopher {
    name: String,
    // left_fork: ...
```

```
    // right_fork: ...
    // thoughts: ...
}

impl Philosopher {
    fn think(&self) {
        self.thoughts
            .send(format!("¡Eureka! ¡{} tiene una nueva idea!", &self.name))
            .unwrap();
    }

    fn eat(&self) {
        // Recoge los tenedores...
        println!("{} está comiendo...", &self.name);
        thread::sleep(Duration::from_millis(10));
    }
}

static PHILOSOPHERS: &[&str] =
    &["Socrates", "Hipatia", "Platón", "Aristóteles", "Pitágoras"];

fn main() {
    // Crea tenedores

    // Crea filósofos

    // Haz que cada uno de ellos piense y coma 100 veces

    // Expresa sus reflexiones
}
```

Puedes usar el siguiente archivo `Cargo.toml`:

```
[package]
name = "dining-philosophers"
version = "0.1.0"
edition = "2021"
```

62.2 Comprobador de enlaces multihilo

Utilicemos nuestros nuevos conocimientos para crear un comprobador de enlaces multihilo. Debería empezar en una página web y comprobar que los enlaces de la página son válidos. Debería consultar otras páginas del mismo dominio y seguir haciéndolo hasta que todas las páginas se hayan validado.

For this, you will need an HTTP client such as `reqwest`. You will also need a way to find links, we can use `scraper`. Finally, we'll need some way of handling errors, we will use `thiserror`.

Create a new Cargo project and `reqwest` it as a dependency with:

```
cargo new link-checker
cd link-checker
```

```
cargo add --features blocking,rustls-tls reqwest
cargo add scraper
cargo add thiserror
```

> Si `cargo add` da `error: no such subcommand`, edita el archivo `Cargo.toml` de forma manual. Añade las dependencias que se indican más abajo.

Las llamadas a `cargo add` actualizarán el archivo `Cargo.toml` para que tenga este aspecto:

```
[package]
name = "link-checker"
version = "0.1.0"
edition = "2021"
publish = false

[dependencies]
reqwest = { version = "0.11.12", features = ["blocking", "rustls-tls"] }
scraper = "0.13.0"
thiserror = "1.0.37"
```

Ya puedes descargar la página de inicio. Prueba con un sitio pequeño, como `https://www.google.org/`.

El archivo `src/main.rs` debería tener un aspecto similar a este:

```
use reqwest::blocking::Client;
use reqwest::Url;
use scraper::{Html, Selector};
use thiserror::Error;

enum Error {
    ReqwestError(#[from] reqwest::Error),
    BadResponse(String),
}

struct CrawlCommand {
    url: Url,
    extract_links: bool,
}

fn visit_page(client: &Client, command: &CrawlCommand) -> Result<Vec<Url>, Error> {
    println!("Comprobando {:#}", command.url);
    let response = client.get(command.url.clone()).send()?;
    if !response.status().is_success() {
        return Err(Error::BadResponse(response.status().to_string()));
    }

    let mut link_urls = Vec::new();
    if !command.extract_links {
        return Ok(link_urls);
    }

    let base_url = response.url().to_owned();
    let body_text = response.text()?;
    let document = Html::parse_document(&body_text);
```

```
    let selector = Selector::parse("a").unwrap();
    let href_values = document
        .select(&selector)
        .filter_map(|element| element.value().attr("href"));
    for href in href_values {
        match base_url.join(href) {
            Ok(link_url) => {
                link_urls.push(link_url);
            }
            Err(err) => {
                println!("En {base_url:#}: {href:?} ignorado, no se puede analizar: {er
            }
        }
    }
    Ok(link_urls)
}

fn main() {
    let client = Client::new();
    let start_url = Url::parse("https://www.google.org").unwrap();
    let crawl_command = CrawlCommand{ url: start_url, extract_links: true };
    match visit_page(&client, &crawl_command) {
        Ok(links) => println!("Enlaces: {links:#?}"),
        Err(err) => println!("No se han podido extraer los enlaces: {err:#}"),
    }
}
```

Ejecuta el código en `src/main.rs` con

```
cargo run
```

Tasks

- Comprueba los enlaces en paralelo con los hilos: envía las URLs que se van a comprobar a un canal y deja que varios hilos comprueben las URLs en paralelo.
- Amplía esta opción para extraer enlaces de todas las páginas del dominio `www.google.org`. Define un límite máximo de 100 páginas para que el sitio no te bloquee.

62.3 Soluciones

La cena de los filósofos

```
use std::sync::{mpsc, Arc, Mutex};
use std::thread;
use std::time::Duration;

struct Fork;

struct Philosopher {
```

```
    name: String,
    left_fork: Arc<Mutex<Fork>>,
    right_fork: Arc<Mutex<Fork>>,
    thoughts: mpsc::SyncSender<String>,
}

impl Philosopher {
    fn think(&self) {
        self.thoughts
            .send(format!("¡Eureka! ¡{} tiene una nueva idea!", &self.name))
            .unwrap();
    }

    fn eat(&self) {
        println!("{} está intentando comer", &self.name);
        let _left = self.left_fork.lock().unwrap();
        let _right = self.right_fork.lock().unwrap();

        println!("{} está comiendo...", &self.name);
        thread::sleep(Duration::from_millis(10));
    }
}

static PHILOSOPHERS: &[&str] =
    &["Socrates", "Hipatia", "Platón", "Aristóteles", "Pitágoras"];

fn main() {
    let (tx, rx) = mpsc::sync_channel(10);

    let forks = (0..PHILOSOPHERS.len())
        .map(|_| Arc::new(Mutex::new(Fork)))
        .collect::<Vec<_>>();

    for i in 0..forks.len() {
        let tx = tx.clone();
        let mut left_fork = Arc::clone(&forks[i]);
        let mut right_fork = Arc::clone(&forks[(i + 1) % forks.len()]);

        // Para evitar un interbloqueo, tenemos que romper la simetría
        // en algún lugar. De este modo, se cambiarán los tenedores sin desinicializar
        // ninguno de ellos.
        if i == forks.len() - 1 {
            std::mem::swap(&mut left_fork, &mut right_fork);
        }

        let philosopher = Philosopher {
            name: PHILOSOPHERS[i].to_string(),
            thoughts: tx,
            left_fork,
            right_fork,
        };
```

```
        thread::spawn(move || {
            for _ in 0..100 {
                philosopher.eat();
                philosopher.think();
            }
        });
    }

    drop(tx);
    for thought in rx {
        println!("{thought}");
    }
}
```

Comprobador de Enlaces

```
use std::sync::{mpsc, Arc, Mutex};
use std::thread;

use reqwest::blocking::Client;
use reqwest::Url;
use scraper::{Html, Selector};
use thiserror::Error;

enum Error {
    ReqwestError(#[from] reqwest::Error),
    BadResponse(String),
}

struct CrawlCommand {
    url: Url,
    extract_links: bool,
}

fn visit_page(client: &Client, command: &CrawlCommand) -> Result<Vec<Url>, Error> {
    println!("Comprobando {:#}", command.url);
    let response = client.get(command.url.clone()).send()?;
    if !response.status().is_success() {
        return Err(Error::BadResponse(response.status().to_string()));
    }

    let mut link_urls = Vec::new();
    if !command.extract_links {
        return Ok(link_urls);
    }

    let base_url = response.url().to_owned();
    let body_text = response.text()?;
    let document = Html::parse_document(&body_text);
```

```
    let selector = Selector::parse("a").unwrap();
    let href_values = document
        .select(&selector)
        .filter_map(|element| element.value().attr("href"));
    for href in href_values {
        match base_url.join(href) {
            Ok(link_url) => {
                link_urls.push(link_url);
            }
            Err(err) => {
                println!("En {base_url:#}: {href:?} ignorado, no se puede analizar: {er
            }
        }
    }
    Ok(link_urls)
}

struct CrawlState {
    domain: String,
    visited_pages: std::collections::HashSet<String>,
}

impl CrawlState {
    fn new(start_url: &Url) -> CrawlState {
        let mut visited_pages = std::collections::HashSet::new();
        visited_pages.insert(start_url.as_str().to_string());
        CrawlState { domain: start_url.domain().unwrap().to_string(), visited_pages }
    }

    /// Determina si se deben extraer los enlaces de la página indicada.
    fn should_extract_links(&self, url: &Url) -> bool {
        let Some(url_domain) = url.domain() else {
            return false;
        };
        url_domain == self.domain
    }

    /// Marca la página indicada como visitada y devuelve false si ya se había
    /// visitado anteriormente.
    fn mark_visited(&mut self, url: &Url) -> bool {
        self.visited_pages.insert(url.as_str().to_string())
    }
}

type CrawlResult = Result<Vec<Url>, (Url, Error)>;
fn spawn_crawler_threads(
    command_receiver: mpsc::Receiver<CrawlCommand>,
    result_sender: mpsc::Sender<CrawlResult>,
    thread_count: u32,
) {
    let command_receiver = Arc::new(Mutex::new(command_receiver));
```

```
    for _ in 0..thread_count {
        let result_sender = result_sender.clone();
        let command_receiver = command_receiver.clone();
        thread::spawn(move || {
            let client = Client::new();
            loop {
                let command_result = {
                    let receiver_guard = command_receiver.lock().unwrap();
                    receiver_guard.recv()
                };
                let Ok(crawl_command) = command_result else {
                    // Se ha descartado el remitente. No se enviarán más comandos.
                    break;
                };
                let crawl_result = match visit_page(&client, &crawl_command) {
                    Ok(link_urls) => Ok(link_urls),
                    Err(error) => Err((crawl_command.url, error)),
                };
                result_sender.send(crawl_result).unwrap();
            }
        });
    }
}

fn control_crawl(
    start_url: Url,
    command_sender: mpsc::Sender<CrawlCommand>,
    result_receiver: mpsc::Receiver<CrawlResult>,
) -> Vec<Url> {
    let mut crawl_state = CrawlState::new(&start_url);
    let start_command = CrawlCommand { url: start_url, extract_links: true };
    command_sender.send(start_command).unwrap();
    let mut pending_urls = 1;

    let mut bad_urls = Vec::new();
    while pending_urls > 0 {
        let crawl_result = result_receiver.recv().unwrap();
        pending_urls -= 1;

        match crawl_result {
            Ok(link_urls) => {
                for url in link_urls {
                    if crawl_state.mark_visited(&url) {
                        let extract_links = crawl_state.should_extract_links(&url);
                        let crawl_command = CrawlCommand { url, extract_links };
                        command_sender.send(crawl_command).unwrap();
                        pending_urls += 1;
                    }
                }
            }
```

```
            Err((url, error)) => {
                bad_urls.push(url);
                println!("Se ha producido un error de rastreo: {:#}", error);
                continue;
            }
        }
    }
    bad_urls
}

fn check_links(start_url: Url) -> Vec<Url> {
    let (result_sender, result_receiver) = mpsc::channel::<CrawlResult>();
    let (command_sender, command_receiver) = mpsc::channel::<CrawlCommand>();
    spawn_crawler_threads(command_receiver, result_sender, 16);
    control_crawl(start_url, command_sender, result_receiver)
}

fn main() {
    let start_url = reqwest::Url::parse("https://www.google.org").unwrap();
    let bad_urls = check_links(start_url);
    println!("URLs incorrectas: {:#?}", bad_urls);
}
```

Parte XIV

Concurrencia: tarde

Capítulo 63

Te damos la bienvenida

”Async” es un modelo de concurrencia en el que se ejecutan varias tareas al mismo tiempo. Se ejecuta cada una de ellas hasta que se bloquea y, a continuación, se cambia a otra tarea que está lista para progresar. El modelo permite ejecutar un mayor número de tareas en un número limitado de hilos. Esto se debe a que la sobrecarga por tarea suele ser muy baja y los sistemas operativos proporcionan primitivos para identificar de forma eficiente las E/S que pueden continuar.

La operación asíncrona de Rust se basa en ”valores futuros”, que representan el trabajo que puede completarse más adelante. Los futuros se ”sondean” hasta que indican que se han completado.

Los futuros se sondean mediante un tiempo de ejecución asíncrono y hay disponibles varios tiempos de ejecución diferentes.

Comparaciones

- Python tiene un modelo similar en su `asyncio`. Sin embargo, su tipo `Future` está basado en retrollamadas y no se sondea. Los programas asíncronos de Python requieren un ”bucle”, similar a un tiempo de ejecución en Rust.
- `Promise` de JavaScript es parecido, pero también se basa en retrollamadas. El tiempo de ejecución del lenguaje implementa el bucle de eventos, por lo que muchos de los detalles de la resolución de Promise están ocultos.

Horario

Including 10 minute breaks, this session should take about 3 hours and 20 minutes. It contains:

Sección	Duración
Conceptos básicos de Async	30 minutos
Canales y Control de Flujo	20 minutos
Inconvenientes	55 minutos
Ejercicios	1 hora y 10 minutos

Capítulo 64

Conceptos básicos de Async

This segment should take about 30 minutes. It contains:

Diapositiva	Duración
async/await	10 minutos
Future	4 minutos
Runtimes (Tiempos de Ejecución)	10 minutos
Tasks	10 minutos

64.1 `async`/`await`

En general, el código asíncrono de Rust se parece mucho al código secuencial ”normal”:

```
use futures::executor::block_on;

async fn count_to(count: i32) {
    for i in 1..=count {
        println!("El recuento es: ¡{i}!");
    }
}

async fn async_main(count: i32) {
    count_to(count).await;
}

fn main() {
    block_on(async_main(10));
}
```

Puntos clave:

- Ten en cuenta que este es un ejemplo simplificado para mostrar la sintaxis. No hay ninguna operación de larga duración ni concurrencia real.
- ¿Cuál es el tipo de resultado devuelto de una llamada asíncrona?

  - Consulta el tipo con `let future: () = async_main(10);` en `main`.
- The "async" keyword is syntactic sugar. The compiler replaces the return type with a future.
- No se puede hacer que `main` sea asíncrono sin dar instrucciones adicionales al compilador sobre cómo usar el futuro devuelto.
- You need an executor to run async code. `block_on` blocks the current thread until the provided future has run to completion.
- `.await` espera de forma asíncrona la finalización de otra operación. A diferencia de `block_on`, `.await` no bloquea el hilo.
- `.await` can only be used inside an `async` function (or block; these are introduced later).

64.2 Future

`Future` es un trait implementado por objetos que representan una operación que puede que aún no se haya completado. Se puede sondear un futuro y `poll` devuelve un `Poll`.

```
use std::pin::Pin;
use std::task::Context;

pub trait Future {
    type Output;
    fn poll(self: Pin<&mut Self>, cx: &mut Context<'_>) -> Poll<Self::Output>;
}

pub enum Poll<T> {
    Ready(T),
    Pending,
}
```

Una función asíncrona devuelve `impl Future`. También es posible (aunque no es habitual) implementar `Future` para tus propios tipos. Por ejemplo, el `JoinHandle` devuelto por `tokio::spawn` implementa `Future` para permitir que se una a él.

La palabra clave `.await`, aplicada a un futuro, provoca que la función asíncrona se detenga hasta que dicho futuro esté listo y, a continuación, se evalúa su salida.

- Los tipos `Future` y `Polll` se implementan exactamente como se indica. Haz clic en los enlaces para mostrar las implementaciones en los documentos.
- No trataremos `Pin` ni `Context`, ya que nos centraremos en escribir código asíncrono en lugar de compilar nuevos primitivos asíncronos. Brevemente:
  - `Context` permite que un futuro se programe a sí mismo para que se vuelva a sondear cuando se produzca un evento.
  - `Pin` asegura que el futuro no se mueva en la memoria, de forma que los punteros en ese futuro siguen siendo válidos. Esto es necesario para que las referencias sigan siendo válidas después de `.await`.

64.3 Runtimes (Tiempos de Ejecución)

Un *runtime* ofrece asistencia para realizar operaciones de forma asíncrona (un *reactor*) y es responsable de ejecutar futuros (un *ejecutor*). Rust no cuenta con un tiempo de ejecución "integrado", pero hay varias opciones disponibles:

- Tokio: eficaz, con un ecosistema bien desarrollado de funciones, como Hyper para HTTP o Tonic para usar gRPC.
- async-std: se trata de un "std para async" e incluye un tiempo de ejecución básico en `async::task`.
- smol: sencillo y ligero.

Varias aplicaciones de mayor tamaño tienen sus propios tiempos de ejecución. Por ejemplo, Fuchsia ya tiene uno.

- Ten en cuenta que, de los tiempos de ejecución enumerados, el playground de Rust solo admite Tokio. El playground tampoco permite ningún tipo de E/S, por lo que la mayoría de elementos asíncronos interesantes no se pueden ejecutar. en él.
- Los futuros son "inertes", ya que no realizan ninguna acción (ni siquiera iniciar una operación de E/S) a menos que haya un ejecutor que los sondee. Muy diferente de las promesas de JavaScript, por ejemplo, que se ejecutan hasta su finalización, aunque nunca se utilicen.

64.3.1 Tokio

Tokio provides:

- Un tiempo de ejecución multihilo para ejecutar código asíncrono.
- Una versión asíncrona de la biblioteca estándar.
- Un amplio ecosistema de bibliotecas.

```
use tokio::time;

async fn count_to(count: i32) {
    for i in 1..=count {
        println!("Recuento en la tarea: {i}");
        time::sleep(time::Duration::from_millis(5)).await;
    }
}

async fn main() {
    tokio::spawn(count_to(10));

    for i in 1..5 {
        println!("Tarea principal: {i}");
        time::sleep(time::Duration::from_millis(5)).await;
    }
}
```

- Con la macro `tokio::main`, podemos hacer que `main` sea asíncrono.
- La función `spawn` crea una "tarea" simultánea.
- Nota: `spawn` utiliza un `Future`, no se llama a `.await` en `count_to`.

Más información:

- ¿Por qué `count_to` no suele llegar a 10? Se trata de un ejemplo de cancelación asíncrona. `tokio::spawn` devuelve un controlador que puede esperarse hasta que termine.
- Prueba `count_to(10).await` en lugar de usar spawn.
- Intenta esperar a la correción de la tarea de `tokio::spawn`.

64.4 Tasks

Rust tiene un sistema de tareas, que es una forma de hilo ligero.

Una tarea tiene un solo futuro de nivel superior que el ejecutor sondea para hacer que progrese. El futuro puede tener uno o varios futuros anidados que su método `poll` sondea, lo que se corresponde con una pila de llamadas. La concurrencia dentro de una tarea es posible mediante el sondeo de varios futuros secundarios , como una carrera de un temporizador y una operación de E/S.

```
use tokio::io::{self, AsyncReadExt, AsyncWriteExt};
use tokio::net::TcpListener;

async fn main() -> io::Result<()> {
    let listener = TcpListener::bind("127.0.0.1:0").await?;
    println!("escuchando en el puerto {}", listener.local_addr()?.port());

    loop {
        let (mut socket, addr) = listener.accept().await?;

        println!("conexión de {addr:?}");

        tokio::spawn(async move {
            socket.write_all(b"¿Quién eres?\n").await.expect("error de socket");

            let mut buf = vec![0; 1024];
            let name_size = socket.read(&mut buf).await.expect("error de socket");
            let name = std::str::from_utf8(&buf[..name_size]).unwrap().trim();
            let reply = format!("¡Gracias por llamar, {name}!\n");
            socket.write_all(reply.as_bytes()).await.expect("error de socket");
        });
    }
}
```

Copia este ejemplo en el archivo `src/main.rs` que has preparado y ejecútalo desde ahí.

Prueba a conectarte mediante una herramienta de conexión TCP como nc o telnet.

- Pide a los alumnos que vean cuál sería el estado del servidor de ejemplo con algunos clientes conectados. ¿Qué tareas hay? ¿Cuáles son sus futuros?
- This is the first time we've seen an `async` block. This is similar to a closure, but does not take any arguments. Its return value is a Future, similar to an `async fn`.
- Refactoriza el bloque asíncrono en una función y mejora la gestión de errores con `?`.

Capítulo 65

Canales y Control de Flujo

This segment should take about 20 minutes. It contains:

Diapositiva	Duración
Canales asíncronos	10 minutos
Unir	4 minutos
Seleccionar	5 minutos

65.1 Canales asíncronos

Varios crates admiten canales asíncronos. Por ejemplo, `tokio`:

```
use tokio::sync::mpsc::{self, Receiver};

async fn ping_handler(mut input: Receiver<()>) {
    let mut count: usize = 0;

    while let Some(_) = input.recv().await {
        count += 1;
        println!("Se han recibido {count} pings hasta el momento.");
    }

    println!("ping_handler completo");
}

async fn main() {
    let (sender, receiver) = mpsc::channel(32);
    let ping_handler_task = tokio::spawn(ping_handler(receiver));
    for i in 0..10 {
        sender.send(()).await.expect("No se ha podido enviar el ping.");
        println!("Se han enviado {} pings hasta ahora.", i + 1);
    }

    drop(sender);
```

```
    ping_handler_task.await.expect("Se ha producido un error en la tarea del controlador
}
```

- Cambia el tamaño del canal a 3 y comprueba cómo afecta a la ejecución.
- Overall, the interface is similar to the `sync` channels as seen in the morning class.
- Prueba a quitar la llamada a `std::mem::drop`. ¿Qué sucede? ¿Por qué?
- El crate Flume tiene canales que implementan `sync` y `async`,`send` y `recv`. Esto puede resultar práctico para aplicaciones complejas con tareas de E/S y tareas pesadas de procesamiento de CPU.
- Es preferible trabajar con canales `async` por la capacidad de combinarlos con otros `future` para poder crear un flujo de control complejo.

65.2 Unir

Una operación join espera hasta que todos los futuros estén listos y devuelve una colección de sus resultados. Es similar a `Promise.all` en JavaScript o `asyncio.gather` en Python.

```
use anyhow::Result;
use futures::future;
use reqwest;
use std::collections::HashMap;

async fn size_of_page(url: &str) -> Result<usize> {
    let resp = reqwest::get(url).await?;
    Ok(resp.text().await?.len())
}

async fn main() {
    let urls: [&str; 4] = [
        "https://google.com",
        "https://httpbin.org/ip",
        "https://play.rust-lang.org/",
        "BAD_URL",
    ];
    let futures_iter = urls.into_iter().map(size_of_page);
    let results = future::join_all(futures_iter).await;
    let page_sizes_dict: HashMap<&str, Result<usize>> =
        urls.into_iter().zip(results.into_iter()).collect();
    println!("{:?}", page_sizes_dict);
}
```

Copia este ejemplo en el archivo `src/main.rs` que has preparado y ejecútalo desde ahí.

- En el caso de varios futuros de tipos distintos, puedes utilizar `std::future::join!`, pero debes saber cuántos futuros tendrás en el tiempo de compilación. Esto se encuentra actualmente en el crate `futures`, que pronto se estabilizará en `std::future`.
- The risk of `join` is that one of the futures may never resolve, this would cause your program to stall.

- También puedes combinar `join_all` con `join!`, por ejemplo, para unir todas las solicitudes a un servicio HTTP, así como una consulta a la base de datos. Prueba a añadir un tokio::time::sleepal futuro mediantefutures::join!. No se trata de un tiempo de espera (para eso se requiere select!, que se explica en el siguiente capítulo), sino que muestra join¡.

65.3 Seleccionar

Una operación select espera hasta que un conjunto de futuros esté listo y responde al resultado de ese futuro. En JavaScript, esto es similar a `Promise.race`. En Python, se compara con `asyncio.wait(task_set, return_when=asyncio.FIRST_COMPLETED)`.

Similar to a match statement, the body of `select!` has a number of arms, each of the form `pattern = future => statement`. When a `future` is ready, its return value is destructured by the `pattern`. The `statement` is then run with the resulting variables. The `statement` result becomes the result of the `select!` macro.

```
use tokio::sync::mpsc::{self, Receiver};
use tokio::time::{sleep, Duration};

enum Animal {
    Cat { name: String },
    Dog { name: String },
}

async fn first_animal_to_finish_race(
    mut cat_rcv: Receiver<String>,
    mut dog_rcv: Receiver<String>,
) -> Option<Animal> {
    tokio::select! {
        cat_name = cat_rcv.recv() => Some(Animal::Cat { name: cat_name? }),
        dog_name = dog_rcv.recv() => Some(Animal::Dog { name: dog_name? })
    }
}

async fn main() {
    let (cat_sender, cat_receiver) = mpsc::channel(32);
    let (dog_sender, dog_receiver) = mpsc::channel(32);
    tokio::spawn(async move {
        sleep(Duration::from_millis(500)).await;
        cat_sender.send(String::from("Felix")).await.expect("No se ha podido enviar el g
    });
    tokio::spawn(async move {
        sleep(Duration::from_millis(50)).await;
        dog_sender.send(String::from("Rex")).await.expect("No se ha podido enviar el per
    });

    let winner = first_animal_to_finish_race(cat_receiver, dog_receiver)
        .await
        .expect("No se ha podido recibir el ganador");
```

```
    println!("El ganador es {winner:?}");
}
```

- En este ejemplo, tenemos una carrera entre un gato y un perro. `first_animal_to_finish_race` escucha a ambos canales y elige el que llegue primero. Como el perro tarda 50 ms, gana al gato, que tarda 500 ms.
- En este ejemplo, puedes usar canales `oneshot`, ya que se supone que solo recibirán un `send`.
- Prueba a añadir un límite a la carrera y demuestra cómo se seleccionan distintos tipos de futuros.
- Ten en cuenta que `select!` elimina las ramas sin coincidencias, cancelando así sus futuros. Es más fácil de usar cuando cada ejecución de `select!` crea futuros.
  - También puedes enviar `&mut future` en lugar del futuro en sí, pero esto podría provocar problemas, como se explica más adelante en la diapositiva sobre pines.

Capítulo 66

Inconvenientes

Async / await provides convenient and efficient abstraction for concurrent asynchronous programming. However, the async/await model in Rust also comes with its share of pitfalls and footguns. We illustrate some of them in this chapter.

Esta sección tiene una duración aproximada de 55 minutos. Contiene:

Diapositiva	Duración
Bloqueo del ejecutor	10 minutos
Pin	20 minutos
Traits asíncronos	5 minutos
Cancelación	20 minutos

66.1 Bloqueo del ejecutor

La mayoría de los tiempos de ejecución asíncronos solo permiten que las tareas de E/S se ejecuten de forma simultánea. Esto significa que las tareas que bloquean la CPU bloquearán el ejecutor e impedirán que se ejecuten otras tareas. Una solución alternativa y sencilla es utilizar métodos asíncronos equivalentes siempre que sea posible.

```
use futures::future::join_all;
use std::time::Instant;

async fn sleep_ms(start: &Instant, id: u64, duration_ms: u64) {
    std::thread::sleep(std::time::Duration::from_millis(duration_ms));
    println!(
        "future {id} ha dormido {duration_ms} min, terminó después de {} ms",
        start.elapsed().as_millis()
    );
}

async fn main() {
    let start = Instant::now();
    let sleep_futures = (1..=10).map(|t| sleep_ms(&start, t, t * 10));
```

```
    join_all(sleep_futures).await;
}
```

- Ejecuta el código y comprueba que las suspensiones se producen de forma consecutiva y no simultánea.
- La versión `"current_thread"` reúne todas las tareas en un solo hilo. Esto consigue que el efecto sea más obvio, pero el error sigue estando presente en la versión multihilo.
- Cambia `std::thread::sleep` a `tokio::time::sleep`. y espera su resultado.
- Otra solución sería `tokio::task::spawn_blocking`, que genera un hilo real y transforma su controlador en un futuro sin bloquear el ejecutor.
- No debes pensar en las tareas como hilos del sistema operativo. No se asignan 1 a 1 y la mayoría de los ejecutores permitirán que se ejecuten muchas tareas en un solo hilo del sistema operativo. Esta situación es especialmente problemática cuando se interactúa con otras bibliotecas a través de FFI, donde dicha biblioteca puede depender del almacenamiento local de hilos o puede asignarse a hilos específicos del sistema operativo (por ejemplo, CUDA). En estos casos es preferible usar `tokio::task::spawn_blocking`.
- Utiliza las exclusión mutuas de sincronización con cuidado. Si mantienes una exclusión mutua sobre un `.await`, puede que se bloquee otra tarea y que esta se esté ejecutando en el mismo hilo.

66.2 `Pin`

Los bloques y las funciones asíncronos devuelven tipos que implementan el trait `Future`. El tipo devuelto es el resultado de una transformación del compilador que convierte las variables locales en datos almacenados en el futuro.

Algunas de estas variables pueden dirigir punteros a otras variables locales. Por este motivo, el futuro nunca debería trasladarse a otra ubicación de memoria, ya que esta acción invalidaría esos punteros.

Para evitar que el tipo futuro se mueva en la memoria, solo se puede sondear mediante un puntero fijado. `Pin` es un envoltorio que rodea a una referencia y que no permite todas las operaciones que moverían la instancia a la que apunta a otra ubicación de memoria.

```
use tokio::sync::{mpsc, oneshot};
use tokio::task::spawn;
use tokio::time::{sleep, Duration};

// Un elemento de trabajo. En este caso, solo se duerme durante un tiempo determinado y
// con un mensaje en el canal `respond_on`.
struct Work {
    input: u32,
    respond_on: oneshot::Sender<u32>,
}

// Un trabajador que espera trabajo en una cola y lo ejecuta.
async fn worker(mut work_queue: mpsc::Receiver<Work>) {
    let mut iterations = 0;
```

```
    loop {
        tokio::select! {
            Some(work) = work_queue.recv() => {
                sleep(Duration::from_millis(10)).await; // Simula que trabaja.
                work.respond_on
                    .send(work.input * 1000)
                    .expect("no se ha podido enviar la respuesta");
                iterations += 1;
            }
            // TODO: informar del número de iteraciones cada 100 ms
        }
    }
}

// Un solicitante que pide trabajo y espera a que se complete.
async fn do_work(work_queue: &mpsc::Sender<Work>, input: u32) -> u32 {
    let (tx, rx) = oneshot::channel();
    work_queue
        .send(Work { input, respond_on: tx })
        .await
        .expect("no se ha podido enviar en la cola de trabajo");
    rx.await.expect("no se ha podido esperar la respuesta")
}

async fn main() {
    let (tx, rx) = mpsc::channel(10);
    spawn(worker(rx));
    for i in 0..100 {
        let resp = do_work(&tx, i).await;
        println!("resultado del trabajo de la iteración {i}: {resp}");
    }
}
```

- Puede que reconozcas esto como un ejemplo del patrón actor. Los actores suelen llamar a `select!` en un bucle.
- Esta sección es un resumen de algunas de las lecciones anteriores, así que tómate tu tiempo .
  - Si añade un `_ = sleep(Duration::from_millis(100)) => { println!(..) }` a `select!`, nunca se ejecutará. ¿Por qué?
  - En su lugar, añade un `timeout_fut` que contenga ese futuro fuera de `loop`:

    ```
    let timeout_fut = sleep(Duration::from_millis(100));
    loop {
        select! {
            ..,
            _ = timeout_fut => { println!(..); },
        }
    }
    ```

  - Continuará sin funcionar. Sigue los errores del compilador y añade `&mut` a `timeout_fut` en `select!` para ir despejando el problema. A continuación, usa

Box::pin:

```
let mut timeout_fut = Box::pin(sleep(Duration::from_millis(100)));
loop {
    select! {
        ..,
        _ = &mut timeout_fut => { println!(..); },
    }
}
```

– This compiles, but once the timeout expires it is `Poll::Ready` on every iteration (a fused future would help with this). Update to reset `timeout_fut` every time it expires:

```
let mut timeout_fut = Box::pin(sleep(Duration::from_millis(100)));
loop {
    select! {
        _ = &mut timeout_fut => {
            println!(..);
            timeout_fut = Box::pin(sleep(Duration::from_millis(100)));
        },
    }
}
```

- Box se asigna en el montículo. En algunos casos, `std::pin::pin!` (solo si se ha estabilizado recientemente, con código antiguo que suele utilizar `tokio::pin!`) también es una opción, pero difícil de utilizar en un futuro que se reasigna.
- Otra alternativa es no utilizar `pin`, sino generar otra tarea que se enviará a un canal de `oneshot` cada 100 ms.
- Los datos que contienen punteros a sí mismos se denominan autoreferenciales. Normalmente, el verificador de préstamos de Rust evitaría que se movieran los datos de autorreferencia, ya que las referencias no pueden tener una duración mayor que la de los datos a los que apuntan. Sin embargo, el verificador de préstamos no verifica la transformación del código de las funciones y los bloques asíncronos.
- `Pin` es un envoltorio que rodea a una referencia. No se puede mover un objeto desde su lugar mediante un puntero fijado. Sin embargo, sí se puede mover mediante un puntero no fijado.
- El método `poll` del trait `Future` utiliza `Pin<&mut Self>` en lugar de `&mut Self` para hacer referencia a la instancia. Por eso solo se puede llamar desde un puntero fijado.

66.3 Traits asíncronos

Async methods in traits are were stabilized only recently, in the 1.75 release. This required support for using return-position `impl Trait` (RPIT) in traits, as the desugaring for `async fn` includes `-> impl Future<Output = ...>`.

However, even with the native support today there are some pitfalls around `async fn` and RPIT in traits:

- Return-position impl Trait captures all in-scope lifetimes (so some patterns of borrowing cannot be expressed)

- Traits whose methods use return-position `impl trait` or `async` are not dyn compatible.

If we do need dyn support, the crate async_trait provides a workaround through a macro, with some caveats:

```
use async_trait::async_trait;
use std::time::Instant;
use tokio::time::{sleep, Duration};

trait Sleeper {
    async fn sleep(&self);
}

struct FixedSleeper {
    sleep_ms: u64,
}

impl Sleeper for FixedSleeper {
    async fn sleep(&self) {
        sleep(Duration::from_millis(self.sleep_ms)).await;
    }
}

async fn run_all_sleepers_multiple_times(
    sleepers: Vec<Box<dyn Sleeper>>,
    n_times: usize,
) {
    for _ in 0..n_times {
        println!("ejecutando todos los sleepers…".);
        for sleeper in &sleepers {
            let start = Instant::now();
            sleeper.sleep().await;
            println!("ha dormido {} ms", start.elapsed().as_millis());
        }
    }
}

async fn main() {
    let sleepers: Vec<Box<dyn Sleeper>> = vec![
        Box::new(FixedSleeper { sleep_ms: 50 }),
        Box::new(FixedSleeper { sleep_ms: 100 }),
    ];
    run_all_sleepers_multiple_times(sleepers, 5).await;
}
```

- `async_trait` es fácil de usar, pero ten en cuenta que utiliza asignaciones de montículos para conseguirlo. Esta asignación de montículo tiene una sobrecarga de rendimiento.
- Los problemas de compatibilidad del lenguaje con `async trait` son muy complejos y no vale la pena describirlos en profundidad. Niko Matsakis lo explica muy bien en esta publicación, por si te interesa investigar más a fondo.
- Prueba a crear una estructura que entre en suspensión durante un periodo aleatorio y

añádela a Vec.

66.4 Cancelación

Si eliminas un futuro, no se podrá volver a sondear. Este fenómeno se denomina *cancelación* y puede producirse en cualquier momento de `await`. Hay que tener cuidado para asegurar que el sistema funcione correctamente, incluso cuando se cancelen los futuros. Por ejemplo, no debería sufrir interbloqueos o perder datos.

```
use std::io::{self, ErrorKind};
use std::time::Duration;
use tokio::io::{AsyncReadExt, AsyncWriteExt, DuplexStream};

struct LinesReader {
    stream: DuplexStream,
}

impl LinesReader {
    fn new(stream: DuplexStream) -> Self {
        Self { stream }
    }

    async fn next(&mut self) -> io::Result<Option<String>> {
        let mut bytes = Vec::new();
        let mut buf = [0];
        while self.stream.read(&mut buf[..]).await? != 0 {
            bytes.push(buf[0]);
            if buf[0] == b'\n' {
                break;
            }
        }
        if bytes.is_empty() {
            return Ok(None);
        }
        let s = String::from_utf8(bytes)
            .map_err(|_| io::Error::new(ErrorKind::InvalidData, "not UTF-8"))?;
        Ok(Some(s))
    }
}

async fn slow_copy(source: String, mut dest: DuplexStream) -> std::io::Result<()> {
    for b in source.bytes() {
        dest.write_u8(b).await?;
        tokio::time::sleep(Duration::from_millis(10)).await
    }
    Ok(())
}

async fn main() -> std::io::Result<()> {
    let (client, server) = tokio::io::duplex(5);
```

```
    let handle = tokio::spawn(slow_copy("hi\nthere\n".to_owned(), client));

    let mut lines = LinesReader::new(server);
    let mut interval = tokio::time::interval(Duration::from_millis(60));
    loop {
        tokio::select! {
            _ = interval.tick() => println!("tick!"),
            line = lines.next() => if let Some(l) = line? {
                print!("{}", l)
            } else {
                break
            },
        }
    }
    handle.await.unwrap()?;
    Ok(())
}
```

- El compilador no ayuda con la seguridad de la cancelación. Debes leer la documentación de la API y tener en cuenta el estado de tu `async fn`.
- A diferencia de `panic` y `?`, la cancelación forma parte del flujo de control normal (en contraposición a la gestión de errores).
- En el ejemplo se pierden partes de la cadena.
  - Cuando la rama `tick()` termina primero, se eliminan `next()` y su `buf`.
  - `LinesReader` se puede configurar para que no se cancele marcando `buf` como parte del *struct*:

    ```
    struct LinesReader {
        stream: DuplexStream,
        bytes: Vec<u8>,
        buf: [u8; 1],
    }

    impl LinesReader {
        fn new(stream: DuplexStream) -> Self {
            Self { stream, bytes: Vec::new(), buf: [0] }
        }
        async fn next(&mut self) -> io::Result<Option<String>> {
            // prefijo buf y bytes con self.
            // ...
            let raw = std::mem::take(&mut self.bytes);
            let s = String::from_utf8(raw)
                .map_err(|_| io::Error::new(ErrorKind::InvalidData, "not UTF-8"))?;
            // ...
        }
    }
    ```

- `Interval::tick` es a prueba de cancelaciones, ya que registra si una marca se ha 'entregado'.
- `AsyncReadExt::read` es a prueba de cancelaciones porque o devuelve los datos o no

los lee.

- `AsyncBufReadExt::read_line` es similar al ejemplo y *no está* configurado a prueba de cancelaciones. Consulta su documentación para obtener información detallada y alternativas.

Capítulo 67

Ejercicios

Esta sección tiene una duración aproximada de 1 hora y 10 minutos. Contiene:

Diapositiva	Duración
La cena de los filósofos	20 minutos
Aplicación de chat de difusión	30 minutos
Soluciones	20 minutos

67.1 La Cena de Filósofos --- Async

See dining philosophers for a description of the problem.

Como antes, necesitarás una instalación local de Cargo para realizar el ejercicio. Copia el fragmento de código que aparece más abajo en un archivo denominado `src/main.rs`, rellena los espacios en blanco y comprueba que `cargo run` no presenta interbloqueos:

```
use std::sync::Arc;
use tokio::sync::mpsc::{self, Sender};
use tokio::sync::Mutex;
use tokio::time;

struct Fork;

struct Philosopher {
    name: String,
    // left_fork: ...
    // right_fork: ...
    // thoughts: ...
}

impl Philosopher {
    async fn think(&self) {
        self.thoughts
            .send(format!("¡Eureka! ¡{} tiene una nueva idea!", &self.name))
```

```
            .await
            .unwrap();
    }

    async fn eat(&self) {
        // Keep trying until we have both forks
        println!("{} está comiendo...", &self.name);
        time::sleep(time::Duration::from_millis(5)).await;
    }
}

static PHILOSOPHERS: &[&str] =
    &["Socrates", "Hipatia", "Platón", "Aristóteles", "Pitágoras"];

async fn main() {
    // Crea tenedores

    // Crea filósofos

    // Hazles pensar y comer

    // Expresa sus reflexiones
}
```

Dado que esta vez usas async, necesitarás una dependencia `tokio`. Puedes usar el siguiente `Cargo.toml`:

```
[package]
name = "dining-philosophers-async-dine"
version = "0.1.0"
edition = "2021"

[dependencies]
tokio = { version = "1.26.0", features = ["sync", "time", "macros", "rt-multi-thread"] }
```

Además, ten en cuenta que esta vez tienes que utilizar `Mutex` y el módulo `mpsc` del crate `tokio`.

- ¿Puedes conseguir que tu implementación tenga un solo hilo?

67.2 Aplicación de chat de difusión

En este ejercicio, queremos usar nuestros nuevos conocimientos para implementar una aplicación de chat de difusión. Disponemos de un servidor de chat al que los clientes se conectan y publican sus mensajes. El cliente lee los mensajes de usuario de la entrada estándar y los envía al servidor. El servidor del chat transmite cada mensaje que recibe a todos los clientes.

Para ello, usaremos [un canal en abierto](https://docs.rs/tokio/latest/tokio/sync/broadcast/fn.channel.html) en el servidor y `tokio_websockets` para la comunicación entre el cliente y el servidor.

Crea un proyecto de Cargo y añade las siguientes dependencias:

Cargo.toml:

```
[package]
name = "chat-async"
version = "0.1.0"
edition = "2021"

[dependencies]
futures-util = { version = "0.3.30", features = ["sink"] }
http = "1.1.0"
tokio = { version = "1.38.0", features = ["full"] }
tokio-websockets = { version = "0.8.3", features = ["client", "fastrand", "server", "sha
```

Las APIs necesarias

Necesitarás las siguientes funciones de `tokio` y `tokio_websockets`. Dedica unos minutos a familiarizarte con la API.

- StreamExt::next() implementado por `WebSocketStream`: permite enviar mensajes de forma asíncrona a través de un flujo Websocket.
- SinkExt::send() implementado por `WebsocketStream`: permite enviar mensajes de forma asíncrona a través de un flujo Websocket.
- Lines::next_line(): para la lectura asíncrona de mensajes de usuario de la entrada estándar.
- Sender::subscribe(): para suscribirse a un canal en abierto.

Dos binarios

Normalmente, en un proyecto de Cargo, solo puedes tener un archivo binario y un archivo `src/main.rs`. En este proyecto, se necesitan dos binarios, uno para el cliente y otro para el servidor. Puedes convertirlos en dos proyectos de Cargo independientes, pero los incluiremos en un solo proyecto de Cargo con dos binarios. Para que funcione, el código del cliente y del servidor deben aparecer en `src/bin` (consulta la documentación).

Copia el fragmento de código del servidor y del cliente que aparecen más abajo en `src/bin/server.rs` y `src/bin/client.rs`, respectivamente. Tu tarea es completar estos archivos como se describe a continuación.

src/bin/server.rs:

```
use futures_util::sink::SinkExt;
use futures_util::stream::StreamExt;
use std::error::Error;
use std::net::SocketAddr;
use tokio::net::{TcpListener, TcpStream};
use tokio::sync::broadcast::{channel, Sender};
use tokio_websockets::{Message, ServerBuilder, WebSocketStream};

async fn handle_connection(
    addr: SocketAddr,
    mut ws_stream: WebSocketStream<TcpStream>,
    bcast_tx: Sender<String>,
) -> Result<(), Box<dyn Error + Send + Sync>> {
```

```
    // TODO: Para obtener una pista, consulta la descripción de la tarea a continuación.

}

async fn main() -> Result<(), Box<dyn Error + Send + Sync>> {
    let (bcast_tx, _) = channel(16);

    let listener = TcpListener::bind("127.0.0.1:2000").await?;
    println!("escuchando en el puerto 2000");

    loop {
        let (socket, addr) = listener.accept().await?;
        println!("Nueva conexión de {addr:?}");
        let bcast_tx = bcast_tx.clone();
        tokio::spawn(async move {
            // Envuelve el flujo TCP sin procesar en un websocket.
            let ws_stream = ServerBuilder::new().accept(socket).await?;

            handle_connection(addr, ws_stream, bcast_tx).await
        });
    }
}
```

src/bin/client.rs:

```
use futures_util::stream::StreamExt;
use futures_util::SinkExt;
use http::Uri;
use tokio::io::{AsyncBufReadExt, BufReader};
use tokio_websockets::{ClientBuilder, Message};

async fn main() -> Result<(), tokio_websockets::Error> {
    let (mut ws_stream, _) =
        ClientBuilder::from_uri(Uri::from_static("ws://127.0.0.1:2000"))
            .connect()
            .await?;

    let stdin = tokio::io::stdin();
    let mut stdin = BufReader::new(stdin).lines();


    // TODO: Para obtener una pista, consulta la descripción de la tarea a continuación.

}
```

Ejecutar los binarios

Ejecuta el servidor con:

`cargo run --bin server`

y el cliente con:

```
cargo run --bin client
```

Tasks

- Implementa la función `handle_connection` en `src/bin/server.rs`.
  - Sugerencia: usa `tokio::select!` para realizar dos tareas simultáneamente en un bucle continuo. Una tarea recibe mensajes del cliente y los transmite. La otra envía los mensajes que recibe el servidor al cliente.
- Completa la función principal en `src/bin/client.rs`.
  - Sugerencia: al igual que antes, usa `tokio::select!` en un bucle continuo para realizar dos tareas simultáneamente: (1) leer los mensajes del usuario desde la entrada estándar y enviarlos al servidor, y (2) recibir mensajes del servidor y mostrárselos al usuario.
- Opcional: cuando termines, cambia el código para difundir mensajes a todos los clientes, excepto al remitente.

67.3 Soluciones

La Cena de Filósofos --- Async

```
use std::sync::Arc;
use tokio::sync::mpsc::{self, Sender};
use tokio::sync::Mutex;
use tokio::time;

struct Fork;

struct Philosopher {
    name: String,
    left_fork: Arc<Mutex<Fork>>,
    right_fork: Arc<Mutex<Fork>>,
    thoughts: Sender<String>,
}

impl Philosopher {
    async fn think(&self) {
        self.thoughts
            .send(format!("¡Eureka! ¡{} tiene una nueva idea!", &self.name))
            .await
            .unwrap();
    }

    async fn eat(&self) {
        // Keep trying until we have both forks
        let (_left_fork, _right_fork) = loop {
            // Recoge los tenedores...
            let left_fork = self.left_fork.try_lock();
            let right_fork = self.right_fork.try_lock();
            let Ok(left_fork) = left_fork else {
                // If we didn't get the left fork, drop the right fork if we
```

```
                // have it and let other tasks make progress.
                drop(right_fork);
                time::sleep(time::Duration::from_millis(1)).await;
                continue;
            };
            let Ok(right_fork) = right_fork else {
                // If we didn't get the right fork, drop the left fork and let
                // other tasks make progress.
                drop(left_fork);
                time::sleep(time::Duration::from_millis(1)).await;
                continue;
            };
            break (left_fork, right_fork);
        };

        println!("{} está comiendo...", &self.name);
        time::sleep(time::Duration::from_millis(5)).await;

        // Los bloqueos se eliminan aquí
    }
}

static PHILOSOPHERS: &[&str] =
    &["Socrates", "Hipatia", "Platón", "Aristóteles", "Pitágoras"];

async fn main() {
    // Crea tenedores
    let mut forks = vec![];
    (0..PHILOSOPHERS.len()).for_each(|_| forks.push(Arc::new(Mutex::new(Fork))));

    // Crea filósofos
    let (philosophers, mut rx) = {
        let mut philosophers = vec![];
        let (tx, rx) = mpsc::channel(10);
        for (i, name) in PHILOSOPHERS.iter().enumerate() {
            let left_fork = Arc::clone(&forks[i]);
            let right_fork = Arc::clone(&forks[(i + 1) % PHILOSOPHERS.len()]);
            philosophers.push(Philosopher {
                name: name.to_string(),
                left_fork,
                right_fork,
                thoughts: tx.clone(),
            });
        }
        (philosophers, rx)
        // tx se elimina aquí, por lo que no tenemos que eliminarlo explícitamente más t
    };

    // Hazles pensar y comer
    for phil in philosophers {
        tokio::spawn(async move {
```

```
            for _ in 0..100 {
                phil.think().await;
                phil.eat().await;
            }
        });
    }

    // Expresa sus reflexiones
    while let Some(thought) = rx.recv().await {
        println!("Aquí tienes una reflexión: {thought}");
    }
}
```

Aplicación de chat de difusión

src/bin/server.rs:

```
use futures_util::sink::SinkExt;
use futures_util::stream::StreamExt;
use std::error::Error;
use std::net::SocketAddr;
use tokio::net::{TcpListener, TcpStream};
use tokio::sync::broadcast::{channel, Sender};
use tokio_websockets::{Message, ServerBuilder, WebSocketStream};

async fn handle_connection(
    addr: SocketAddr,
    mut ws_stream: WebSocketStream<TcpStream>,
    bcast_tx: Sender<String>,
) -> Result<(), Box<dyn Error + Send + Sync>> {

    ws_stream
        .send(Message::text("Te damos la bienvenida al chat. Escribe un mensaje".to_str
        .await?;
    let mut bcast_rx = bcast_tx.subscribe();

    // A continuous loop for concurrently performing two tasks: (1) receiving
    // messages from `ws_stream` and broadcasting them, and (2) receiving
    // messages on `bcast_rx` and sending them to the client.
    loop {
        tokio::select! {
            incoming = ws_stream.next() => {
                match incoming {
                    Some(Ok(msg)) => {
                        if let Some(text) = msg.as_text() {
                            println!("Del cliente {addr:?} {text:?}");
                            bcast_tx.send(text.into())?;
                        }
                    }
                    Some(Err(err)) => return Err(err.into()),
                    None => return Ok(()),
```

```
                }
            }
            msg = bcast_rx.recv() => {
                ws_stream.send(Message::text(msg?)).await?;
            }
        }
    }
}

async fn main() -> Result<(), Box<dyn Error + Send + Sync>> {
    let (bcast_tx, _) = channel(16);

    let listener = TcpListener::bind("127.0.0.1:2000").await?;
    println!("escuchando en el puerto 2000");

    loop {
        let (socket, addr) = listener.accept().await?;
        println!("Nueva conexión de {addr:?}");
        let bcast_tx = bcast_tx.clone();
        tokio::spawn(async move {
            // Envuelve el flujo TCP sin procesar en un websocket.
            let ws_stream = ServerBuilder::new().accept(socket).await?;

            handle_connection(addr, ws_stream, bcast_tx).await
        });
    }
}
```

src/bin/client.rs:

```
use futures_util::stream::StreamExt;
use futures_util::SinkExt;
use http::Uri;
use tokio::io::{AsyncBufReadExt, BufReader};
use tokio_websockets::{ClientBuilder, Message};

async fn main() -> Result<(), tokio_websockets::Error> {
    let (mut ws_stream, _) =
        ClientBuilder::from_uri(Uri::from_static("ws://127.0.0.1:2000"))
            .connect()
            .await?;

    let stdin = tokio::io::stdin();
    let mut stdin = BufReader::new(stdin).lines();

    // Bucle continuo para enviar y recibir mensajes simultáneamente.
    loop {
        tokio::select! {
            incoming = ws_stream.next() => {
                match incoming {
                    Some(Ok(msg)) => {
                        if let Some(text) = msg.as_text() {
```

```
                            println!("Del servidor: {}", text);
                        }
                    },
                    Some(Err(err)) => return Err(err.into()),
                    None => return Ok(()),
                }
            }
            res = stdin.next_line() => {
                match res {
                    Ok(None) => return Ok(()),
                    Ok(Some(line)) => ws_stream.send(Message::text(line.to_string())).au
                    Err(err) => return Err(err.into()),
                }
            }

        }
    }
}
```

Parte XV

Conclusiones

Capítulo 68

¡Gracias!

Gracias por realizar el curso Comprehensive Rust 🦀. Esperamos que te haya gustado y que te haya resultado útil.

Nos lo hemos pasado muy bien preparando el curso. Sabemos que no es perfecto, así que si has detectado algún error o tienes ideas para mejorarlo, ponte en contacto con nosotros en GitHub. Nos encantaría saber tu opinión.

Capítulo 69

Glosario

A continuación, se incluye un glosario con el objetivo de ofrecer una breve definición de algunos términos de Rust. En el caso de las traducciones, también sirve para relacionar el término con el original en inglés.

- asignar:
  Asignación dinámica de memoria en el montículo.
- argumento:
  Información que se transmite a una función o método.
- Rust Bare-metal:
  desarrollo de Rust de bajo nivel, a menudo desplegado en un sistema sin sistema operativo. Consulta Bare-metal Rust.
- bloque:
  Consulta bloques y *ámbito*.
- borrow (*omar prestado*):
  Consulta Borrowing (Préstamos).
- borrow checker (*comprobador de préstamos*):
  la parte del compilador de Rust que comprueba que todos los préstamos sean válidos.
- llave:
  `{` and `}`. Delimitan *bloques*.
- compilar
  El proceso de conversión de código fuente en código ejecutable o en un programa utilizable.
- Llamar:
  invocar o ejecutar una función o método.
- Canal:
  se utiliza para enviar mensajes entre hilos de forma segura.
- Comprehensive Rust 🦀:
  el conjunto de cursos que se describen aquí se denomina Comprehensive Rust 🦀.
- Simultaneidad:
  ejecución de varias tareas o procesos al mismo tiempo.
- Simultaneidad en Rust:
  consulta Simultaneidad en Rust.
- Constante:
  valor que no cambia durante la ejecución de un programa.
- Flujo de control:

el orden en el que se ejecutan las instrucciones individuales en un programa.
- Fallo:
  fallo o finalización de un programa de forma inesperada y sin gestionar.
- Enumeración:
  tipo de dato que contiene una de varias constantes con nombre, posiblemente con una tupla o estructura asociada.
- Error:
  condición o resultado inesperado que se desvía del comportamiento esperado.
- Gestión de errores:
  el proceso de gestionar y responder a los errores que se producen durante la ejecución del programa.
- Ejercicio:
  una tarea o problema diseñado para practicar y poner a prueba las habilidades de programación.
- Función:
  bloque de código reutilizable que lleva a cabo una tarea específica.
- Recolector de elementos no utilizados:
  mecanismo que libera automáticamente la memoria que ocupan objetos que ya no se utilizan.
- Genéricos:
  una función que permite escribir código con marcadores de posición para los tipos, lo que permite reutilizar código con distintos tipos de datos.
- Inmutable:
  que no se puede cambiar después de crearse.
- Prueba de integración:
  tipo de prueba que verifica las interacciones entre diferentes partes o componentes de un sistema.
- Palabra clave:
  palabra reservada en un lenguaje de programación que tiene un significado específico y que no se puede utilizar como identificador.
- Biblioteca:
  una colección de rutinas o código precompilados que pueden utilizar los programas.
- Macro:
  las macros de Rust se pueden reconocer por llevar `!` en el nombre. Las macros se utilizan cuando las funciones normales no son suficientes. Un ejemplo típico es `format!`, que utiliza un número variable de argumentos que no es compatible con las funciones de Rust.
- Función `main`:
  los programas de Rust empiezan a ejecutarse con la función `main`.
- Coincidencia:
  construcción de flujo de control en Rust que permite la coincidencia de patrones con el valor de una expresión.
- Pérdida de memoria:
  situación en la que un programa no libera memoria que ya no se necesita, lo que provoca un aumento gradual en el uso de memoria.
- Método:
  una función asociada a un objeto o a un tipo en Rust.
- Módulo:
  espacio de nombres que contiene definiciones, como funciones, tipos o traits, para organizar el código en Rust.
- Mover:

la transferencia de la propiedad de un valor de una variable a otra en Rust.

- Mutable:
  una propiedad en Rust que permite que se modifiquen las variables después de que se hayan declarado.
- Propiedad:
  el concepto de Rust que define qué parte del código es responsable de gestionar la memoria asociada a un valor.
- Pánico:
  condición de error irrecuperable en Rust que provoca la finalización del programa.
- Parámetro:
  valor que se transfiere a una función o método cuando se llama.
- Patrón:
  una combinación de valores, literales o estructuras que se pueden comparar con una expresión de Rust.
- Carga útil:
  los datos o la información que transporta un mensaje, evento o estructura de datos.
- Programa:
  conjunto de instrucciones que un ordenador puede ejecutar para llevar a cabo una tarea específica o resolver un problema concreto.
- Lenguaje de programación:
  un sistema formal que se utiliza para comunicar instrucciones a un ordenador, como Rust.
- Receptor:
  el primer parámetro de un método de Rust que representa la instancia en la que se llama al método.
- Recuento de referencias:
  técnica de gestión de la memoria en la que se hace un seguimiento del número de referencias a un objeto y se desasigna cuando el recuento llega a cero.
- Retorno:
  una palabra clave de Rust que se utiliza para indicar el valor que se devuelve de una función.
- Rust:
  lenguaje de programación de sistemas que se centra en la seguridad, el rendimiento y la simultaneidad.
- Rust Fundamentals:
  Days 1 to 4 of this course.
- Rust en Android:
  consulta Rust en Android.
- Rust en Chromium:
  consulta Rust en Chromium.
- Seguro:
  se refiere al código que cumple las reglas de propiedad y préstamos de Rust, lo que evita errores relacionados con la memoria.
- Ámbito:
  la región de un programa en la que una variable es válida y se puede utilizar.
- Biblioteca estándar:
  una colección de módulos que proporcionan funciones esenciales en Rust.
- Static:
  una palabra clave de Rust que se utiliza para definir variables o elementos estáticos con un tiempo de vida `'static`.
- string:

A data type storing textual data. See Strings for more.

- Struct:
  tipo de datos compuestos de Rust que agrupa variables de diferentes tipos bajo un mismo nombre.
- Prueba:
  módulo de Rust que contiene funciones que comprueban que otras funciones sean correctas.
- Hilo:
  una secuencia de ejecución independiente en un programa que permite la ejecución simultánea.
- Seguridad en hilos:
  la propiedad de un programa que asegura un comportamiento correcto en un entorno multihilo.
- Trait:
  conjunto de métodos definidos para un tipo desconocido que proporciona una forma de lograr el polimorfismo en Rust.
- Límite del trait:
  una abstracción en la que puedes requerir que los tipos implementen algunos traits de tu interés.
- Tupla:
  tipo de datos compuestos que contiene variables de diferentes tipos. Los campos de tuplas no tienen nombre y se accede a ellos por sus números ordinales.
- Tipo:
  una clasificación que especifica qué operaciones se pueden llevar a cabo en valores de una clase concreta en Rust.
- Inferencia de tipos:
  capacidad del compilador de Rust para deducir el tipo de una variable o expresión.
- Comportamiento indefinido:
  acciones o condiciones en Rust que no tienen ningún resultado especificado, lo que a menudo provoca un comportamiento impredecible del programa.
- Unión:
  tipo de datos que puede contener valores de distintos tipos, pero solo de uno en uno.
- Prueba unitaria:
  Rust incluye asistencia integrada para llevar a cabo pruebas unitarias de pequeño tamaño y pruebas de integración de mayor tamaño. Consulta la página Pruebas unitarias.
- Tipo de unidad:
  tipo que no contiene datos, escrito como una tupla sin miembros.
- Inseguro:
  el subconjunto de Rust que te permite activar un *comportamiento indefinido*. Consulta Rust inseguro.
- Variable:
  una ubicación de la memoria que almacena datos. Las variables son válidas en un *ámbito*

Capítulo 70

Otros recursos de Rust

La comunidad de Rust ha creado una gran cantidad de recursos online sin coste y de gran calidad.

Documentación oficial

El proyecto Rust cuenta con muchos recursos. Estos tratan sobre Rust en general:

- The Rust Programming Language: el libro canónico sobre Rust sin coste alguno. Trata el lenguaje de forma detallada e incluye algunos proyectos que los usuarios pueden compilar.
- Rust by Example: trata la sintaxis de Rust a través de una serie de ejemplos que muestran distintas construcciones. A veces incluye pequeños ejercicios en los que se te pide que amplíes el código de los ejemplos.
- La biblioteca estándar de Rust: documentación completa de la biblioteca estándar de Rust.
- The Rust Reference: un libro incompleto que describe la gramática y el modelo de memoria de Rust.

Consulta guías más especializadas en el sitio oficial de Rust:

- The Rustonomicon: trata de Rust inseguro, incluido cómo trabajar con punteros sin formato e interactuar con otros lenguajes (FFI).
- Asynchronous Programming in Rust: incluye el nuevo modelo de programación asíncrona que se introdujo después de que se escribiera el libro de Rust.
- The Embedded Rust Book: una introducción sobre el uso de Rust en dispositivos integrados sin sistema operativo.

Material de formación no oficial

Una pequeña selección de otras guías y tutoriales sobre Rust:

- Learn Rust the Dangerous Way: trata Rust desde la perspectiva de los programadores de C de bajo nivel.
- Rust for Embedded C Programmers: explica Rust desde la perspectiva de los desarrolladores que escriben *firmware* en C.

- Rust for professonals: trata la sintaxis de Rust comparándola con otros lenguajes, como C, C++, Java, JavaScript y Python.
- Rust on Exercism: más de 100 ejercicios para aprender Rust.
- Ferrous Teaching Material: una serie de pequeñas presentaciones que cubren tanto la parte básica como la parte más avanzada del lenguaje Rust. También se tratan otros temas como WebAssembly y async/await.
- Advanced testing for Rust applications: a self-paced workshop that goes beyond Rust's built-in testing framework. It covers `googletest`, snapshot testing, mocking as well as how to write your own custom test harness.
- Beginner's Series to Rust y Take your first steps with Rust: dos guías de Rust dirigidas a nuevos desarrolladores. La primera es un conjunto de 35 vídeos y la segunda es un conjunto de 11 módulos que cubren la sintaxis y las construcciones básicas de Rust.
- Learn Rust With Entirely Too Many Linked Lists: exploración detallada de las reglas de gestión de la memoria de Rust a través de la implementación de algunos tipos diferentes de estructuras de listas.

Consulta The Little Book of Rust Books para ver más libros de Rust.

Capítulo 71

Créditos

Este material se basa en las numerosas fuentes de documentación sobre Rust. Consulta la página de otros recursos para ver una lista completa de recursos útiles.

El material de Comprehensive Rust está sujeto a los términos de la licencia Apache 2.0. Para obtener más información, consulta `LICENSE`.

Rust by Example

Algunos ejemplos y ejercicios se han copiado y adaptado del libro Rust by Example. Consulta el directorio `third_party/rust-by-example/` para obtener más información, incluidos los términos de la licencia.

Rust on Exercism

Se han copiado y adaptado algunos ejercicios del recurso Rust on Exercism. Consulta el directorio `third_party/rust-on-exercism/` para obtener más información, incluidos los términos de la licencia.

CXX

En la sección Interoperabilidad con C++ se usa una imagen de CXX. Consulta el directorio `third_party/cxx/` para obtener más información, incluidos los términos de la licencia.