PROGRAMACIÓN ASÍNCRONA Y EVENTOS

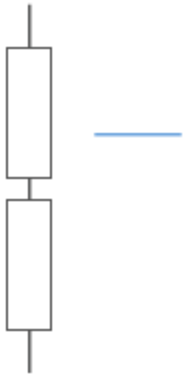
Operaciones bloqueantes vs no bloqueantes

La programación asíncrona...

- promueve la definición de operaciones **no bloqueantes**
- busca mecanismos que simulen la secuencialidad algorítmica a la vez que se mantiene el carácter no bloqueante de las operaciones
- suele llevarse bien con la FP, no tan bien con la OOP

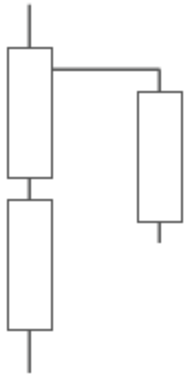
Modelos de ejecución

A. Programación Secuencial



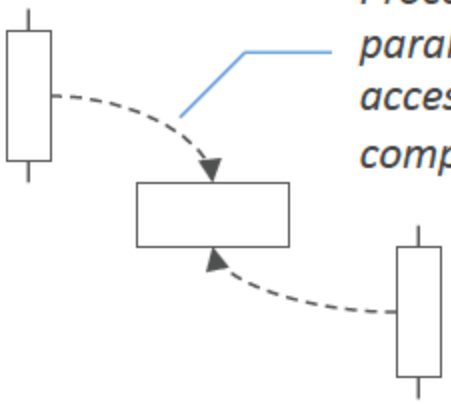
Las operaciones son bloqueantes y se requiere un único hilo de ejecución

B. Programación Asíncrona



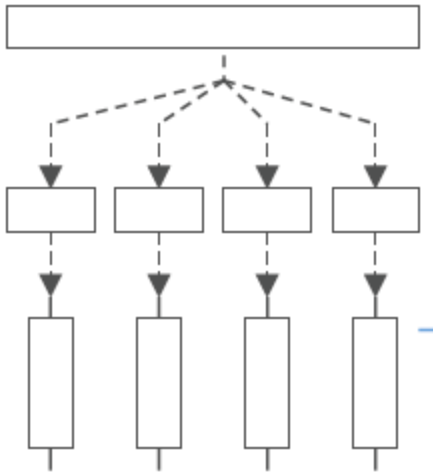
Algunas operaciones son no bloqueantes y operan en paralelo para mejorar el rendimiento

C. Programación Concurrente



Procesos ejecutados en paralelo compiten por el acceso a un recurso compartido

D. Programación Paralela



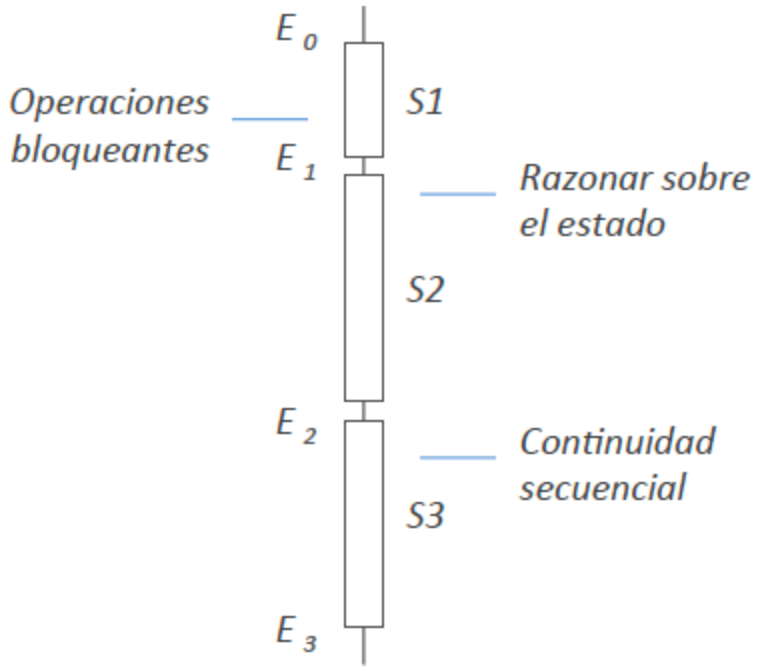
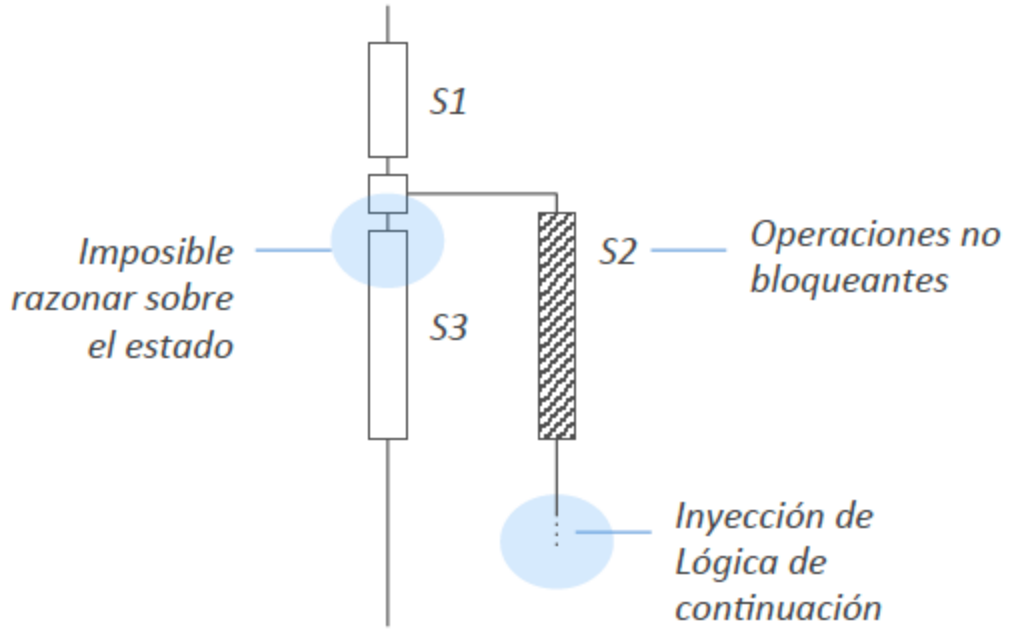
Procesos paralelos idénticos realizan operaciones parciales

Estado y continuación

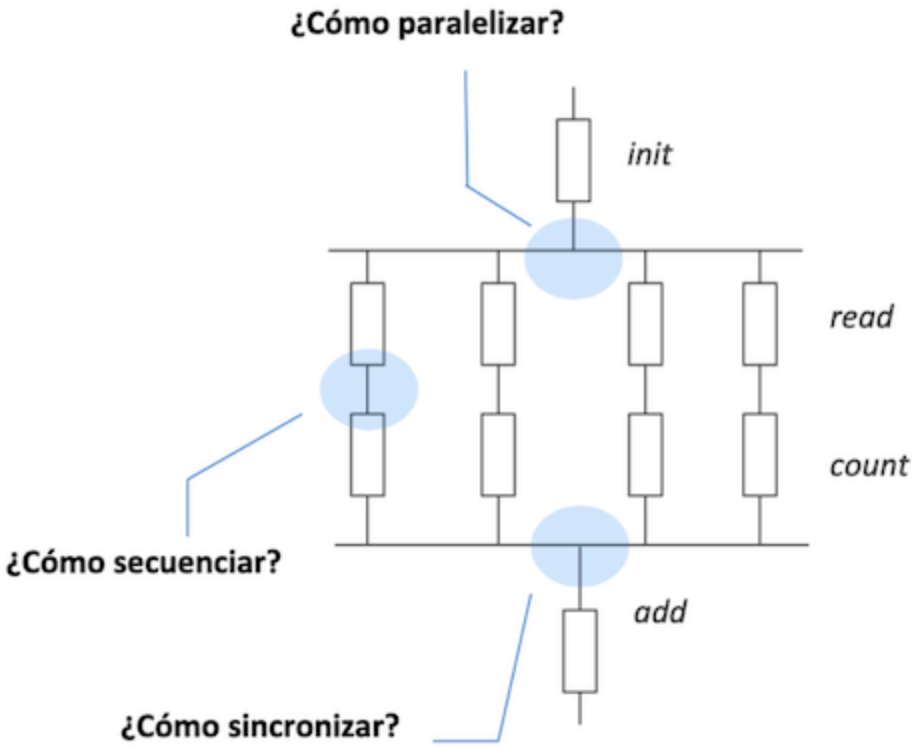
Las funciones no bloqueantes afectan a:

- El **estado** del programa
- La lógica de **continuación** del programa

Esto complica notablemente el razonamiento y la operativa algorítmica habitual

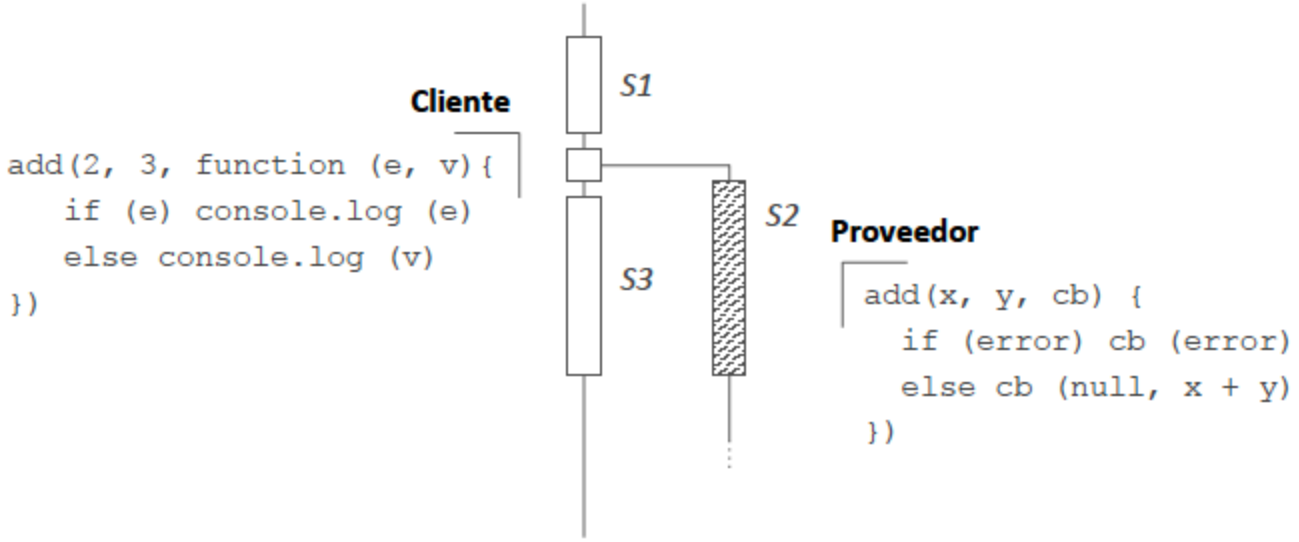
programación secuencial	programación asíncrona
	

¿Qué problemas hay que resolver en programación asíncrona?



Modelos de paso de continuaciones

Aumentar la aridad de la función no bloqueante en 1 argumento adicional (la función de **retrollamada**), donde se indica la lógica de continuación.



- El comportamiento del cliente *llamador* puede especificarse con un *listener* o manejador de eventos
- La lógica de continuación se puede indicar mediante una retrollamada o *callback*

Listeners

Manejo de eventos

Un *listener* o *event handler* es una subrutina para manejar retrollamadas (*callbacks*) que gestiona la entrada recibida como respuesta a un evento generado por el framework/sistema operativo para el que está preparado un programa.

- Los eventos pueden representar acciones de usuario, vencimiento de temporizadores, disponibilidad de mensajes o datos, etc.
- El framework puede ser parte del sistema operativo, del entorno de programación, de una máquina virtual, etc.
- En OOP se implementan como **observers**; En FP, se implementan como lambdas.

Ejemplo de listener con y sin lambdas

```
import java.awt.*;
import java.awt.event.*;
import javax.swing.*;

/**
 * This simple Swing program demonstrates how to use Lambda expressions in
 * action listener.
 *
 * @author www.codejava.net
 */
public class ListenerLambdaExample extends JFrame {

    private JButton button = new JButton("Click Me!");

    public ListenerLambdaExample() {
        super("Listener Lambda Example");

        getContentPane().setLayout(new FlowLayout());
        getContentPane().add(button);

        // Java 7 - tradicional, sin lambdas
        button.addActionListener(new ActionListener() {
            public void actionPerformed(ActionEvent evt) {
                System.out.println("Handled by anonymous class listener");
            }
        });
```

```
        // Java 8 - con lambdas
        button.addActionListener(e -> System.out.println("Handled by Lambda listener"));

        button.addActionListener(e -> {
            System.out.println("Handled Lambda listener");
        });

        setDefaultCloseOperation(JFrame.EXIT_ON_CLOSE);
        setSize(300, 100);
        setLocationRelativeTo(null);
    }

    public static void main(String[] args) {
        SwingUtilities.invokeLater(new Runnable() {
            public void run() {
                new ListenerLambdaExample().setVisible(true);
            }
        });
    }
}
```

Callbacks

Retrollamada

Una retrollamada es cualquier referencia a un trozo de código ejecutable (función) que se pasa como argumento a otro trozo de código (función). Se espera que esta segunda función vuelva a llamar (call back) a la primera como parte de su tarea.

Ejemplos: Diversas implementaciones de *listeners* + *callbacks*

- Clases anónimas
- Expresiones lambda
- Punteros a función
- Etc.

Ejemplo: callbacks en Javascript

Versión síncrona:

```
// Versión síncrona
function main() {
    r1 = serv1("datos iniciales");
    r2 = serv2(r1);
    // También se podría haber escrito:
    //   r2 = serv2(serv1("datos iniciales"))
    console.log("Resultado final: { " + r2 + " }");
}

function serv1(parametros) {
    return "Tardo en calcular r1 a partir de { " + parametros + " }";
}

function serv2(resultado1) {
    return "Tardo en calcular r2 a partir de { " + resultado1 + " }";
}
```

Versión asíncrona con *callbacks*:

```
// Versión asíncrona.
// Las funciones asinc1() y asinc2() admiten un callback
// como segundo parámetro, al cual llamarán pasándole el resultado del cómputo
function main() {
    asinc1("datos iniciales", function(r1){
        // Aquí tenemos el resultado de asinc1
        asinc2(r1, function(r2) {
            console.log("Resultado final: { " + r2 + " }");
        });
    });
}

function asinc1(parametros, callback) {
    r1 = "Tardo en calcular r1 a partir de { " + parametros + " }";
    callback(r1);
}

function asinc2(resultado1, callback) {
    r2 = "Tardo en calcular r2 a partir de { " + resultado1 + " }";
    callback(r2);
}
```

***Callback hell*:**

El uso de callbacks hace el código complejo, repetitivo y difícil de entender, especialmente cuando el tamaño del código crece.

- La anidación empeora si se necesita el resultado de una función para llamar a otra: funciones que son parámetros de otras funciones, que son parámetros de otras, etc.
- El código fuente se va indentando más y más para luego ir deshaciendo esa indentación a medida que se cierran llaves y paréntesis.
- La lógica está escrita al revés: las funciones no devuelven resultados, sino que pasan esos resultados como parámetros a otras funciones; las funciones que manejan la respuesta son también pasadas como parámetros
- El flujo de gestión de errores también se complica y no pueden usarse excepciones.

Promesas y Futuros

Modelo de promesas y futuros

Futuros y promesas en wikipedia

- **Futuro**: marcador de posición (*placeholder*), de solo lectura, para una variable que representa el resultado de un cómputo asíncrono
- **Promesa**: contenedor de una asignación escribible (solo para inicialización), que fija el valor de un *futuro*.

Los futuros y promesas sirven para desacoplar un valor (el futuro) de cómo éste se calculó (la promesa), permitiendo así la paralelización de los cálculos.

Futuros

Futuros en Java

En Java hay definida una interfaz explícita para los futuros:

- Desde Java 5: `java.util.concurrent.Future`
- Se pueden encadenar cálculos usando futuros **computables** o **escuchables**, que sirven para indicar a un **thread** que ejecute una determinada tarea y, cuando termine, se dirija a hacer otra tarea usando el resultado de la tarea anterior.
  - En Guava: `ListenableFuture`
  - Desde Java 8 (inspirado por Guava): `java.util.concurrent.CompletableFuture`

Un `CompletableFuture` es un futuro que debe completarse explícitamente (i.e. fijar su valor y su estado) y puede servir para dar soporte a otras funciones y acciones dependientes, que se disparan tras su compleción.

Ejemplo: `Future` en Java

```java
import java.util.concurrent.*;

public class Main {
    // Callable<V> = Interfaz funcional que representa a una operación sin args
    // y que devuelve un resultado de tipo V (permite checked exceptions)
    public static class MyCallable implements Callable<Integer> {
        @Override
        public Integer call() throws Exception {
            Thread.sleep(1000);
            return 1;
        }
    }

    public static void main(String[] args) throws Exception{
        ExecutorService exec = Executors.newSingleThreadExecutor();
        Future<Integer> f = exec.submit(new MyCallable());
        System.out.println(f.isDone()); //Falso
        System.out.println(f.get()); //Espera hasta que termine la tarea, luego imprime
    }
}
```

Ejemplo: `CompletableFuture` en Java

```
import java.util.concurrent.*;
import java.util.function.*;

public class Main {

    // Supplier<T> = Interfaz funcional que representa a una operación sin args y que
    // devuelve un resultado de tipo T (no permite checked exceptions)

    public static class MySupplier implements Supplier<Integer> {
        @Override
        public Integer get() {
            try {
                Thread.sleep(1000);
            } catch (InterruptedException e) {
                //No hacer nada
            }
            return 1;
        }
    }
```

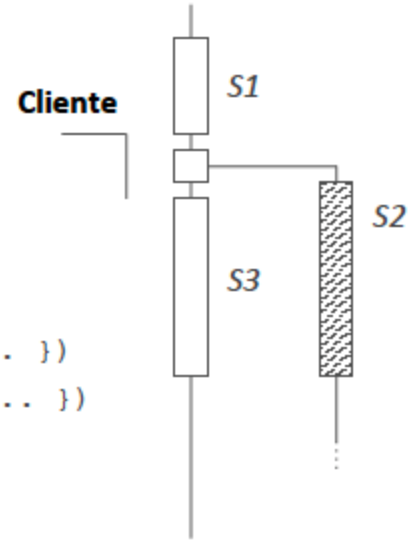
```
    public static class PlusOne implements Function<Integer, Integer> {
        @Override
        public Integer apply(Integer x) {
            return x + 1;
        }
    }

    public static void main(String[] args) throws Exception {
        ExecutorService exec = Executors.newSingleThreadExecutor();
        CompletableFuture<Integer> f = CompletableFuture.supplyAsync(
                                        new MySupplier(), exec);
        System.out.println(f.isDone()); // Falso
        CompletableFuture<Integer> f2 = f.thenApply(new PlusOne());
        System.out.println(f2.get()); // Espera hasta que termine el cálculo, luego imprime
    }
}
```

Promesas

Modelo de promesas

```
add(2, 3)
  .then(function (v){
     console.log (v)
  })
  .then(function (v){ ... })
  .catch(function (e){ ... })
```



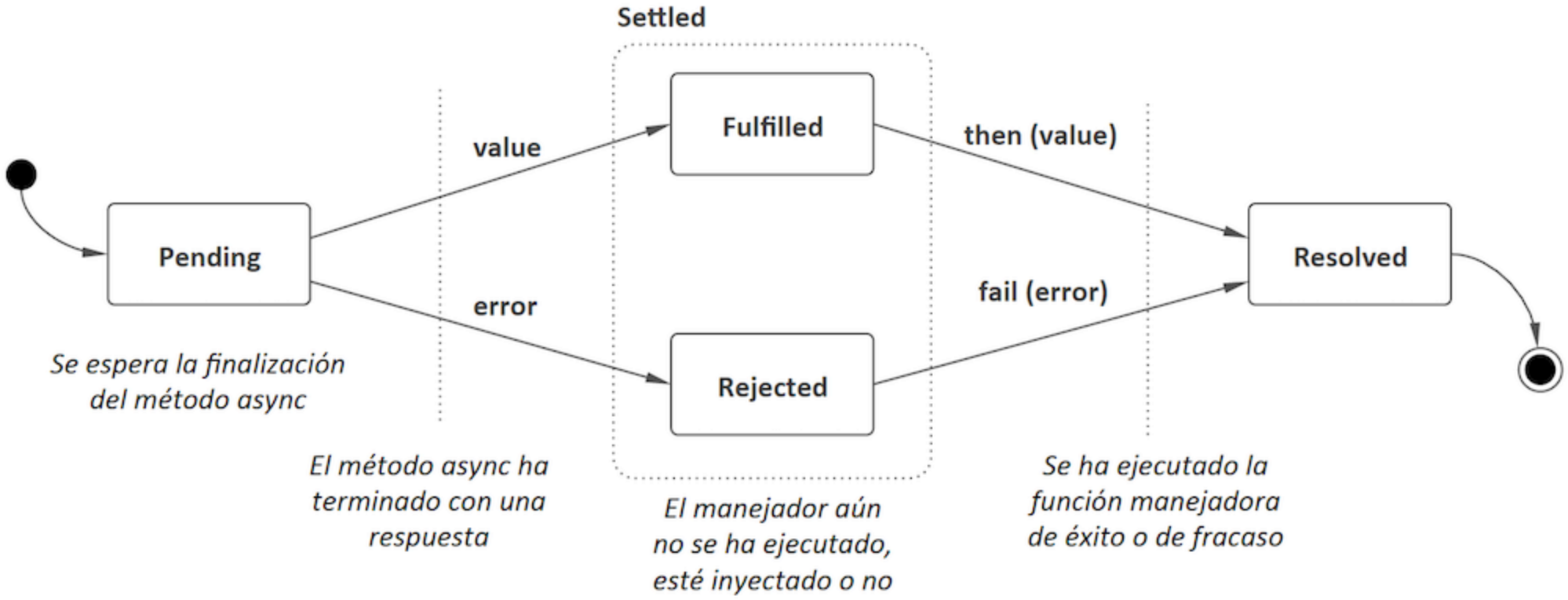
Proveedor

```
function add(x, y) {
   return new Promise (
      function (hn, gn) {
        if (error) gn(error)
        else hn(x + y)
   })
}
```

El cliente recibe como respuesta inmediata una **abstracción de datos** (la `Promise`) que representa un compromiso de valor futuro, con **inyectores** (`then`, `catch`) para incluir la **lógica de continuación**.

Las promesas se pueden **resolver** (*resolve*) o **rechazar** (*reject*)

Funcionamiento de una promesa



Promesas en Javascript

```
const promise = new Promise((resolve, reject) => {
    // las funciones resolve/reject controlan el destino de la promesa
});
```

Ejemplo con promesas:

```
// Versión con promesas
// Ahora asinc1 y asinc2 se supone que devuelven una promesa (que solo resuelve)
function main() {
    asinc1("datos iniciales")
    .then(function(r1){ return asinc2(r1); })
    .then(function(r2){
        console.log("Resultado final: " + r2);
    }).catch(function(err){
        console.log("Error: "+ err.message)
    });
}
```

```
// Lo anterior puede escribirse más conciso:
function main() {
    asinc1("datos iniciales")
    .then(asinc2)
    .then(function(r2){
        console.log("Resultado final: " + r2);
    }).catch(function(err){
        console.log("Error: "+ err.message)
    });
}

function asinc1(parametros) {
    return new Promise((resolve, reject) => {
        resolve("Tardo en calcular r1 a partir de { " + parametros + " }");
    });
}

function asinc2(resultado1) {
    return new Promise((resolve, reject) => {
        resolve("Tardo en calcular r2 a partir de { " + resultado1 + " }");
    });
}
```

```
// Si asinc2 devolviera un error
function asinc2(resultado1) {
    return new Promise((resolve, reject) => {
        reject( new Error("Ha habido un error al calcular r2 a partir de { "
                        + resultado1 + " }"));
    });
}
```

Salida:

```
Error: Ha habido un error al calcular r2 a partir de { Tardo en calcular r1 a partir de { datos iniciales } }
```

```
// Si asinc1 devolviera un error
function asinc1(parametros) {
    return new Promise((resolve, reject) => {
        reject( new Error("Ha habido un error al calcular r1 a partir de { "
                          + parametros + " }"));
    });
}
```

Salida:

```
Error: Ha habido un error al calcular r1 a partir de { datos iniciales }
```

Solución al *callback hell*:

- Las promesas evitan la anidación y hacen más simple el manejo de errores.
- La ventaja de las promesas es que se pueden encadenar.

Inyectores:

- Una promesa tiene un método `then()` que...
  - recibe una **función**, que será ejecutada automáticamente cuando la promesa se resuelva. Dicha función recibirá como parámetro el valor de la promesa (el resultado esperado).
  - devuelve una **nueva promesa**, que se resolverá cuando se ejecute la función que le habíamos asociado.
- Se pueden encadenar varios `.then()` para simular un código secuencial, conforme se van resolviendo promesas.

Inyectores:

- Una promesa tiene un método `catch()` que:
  - recibe una **función**, que será ejecutada automáticamente cuando la promesa se rechace.
  - devuelve una **nueva promesa**, creando una cadena de promesas
- Se puede agregar la gestión de errores de cualquier parte de la cadena de llamadas asíncronas con un solo `.catch()`
- Cualquier error síncrono generado en un `then` o un `catch` hace que la promesa se rechace, y se llame al `catch` más apropiado

Sintaxis async/await

- El prefijo `await` hace que se espere a que se llame a la función asíncrona antes de continuar con la ejecución del programa.
- Esto genera un flujo de ejecución de la lógica del programa más fácil de leer y de seguir, pausando la ejecución hasta que se cumpla la promesa.

`async` / `await` es azúcar sintáctico para usar promesas con una nueva sintaxis que las oculta y las hace parecer código síncrono:

- Un `await` delante de una llamada a función entiende que esa función devuelve una promesa.
- La ejecución se pausa y sólo se reanuda cuando la promesa se haya resuelto.
- Entonces `await` devuelve como resultado el valor de la promesa.

Ejemplo con async/await en Javascript

```
async function main() {
    r1 = await asinc1("datos iniciales");
    r2 = await asinc2(r1);
    console.log("Resultado final: { " + r2 + " }");
}
```

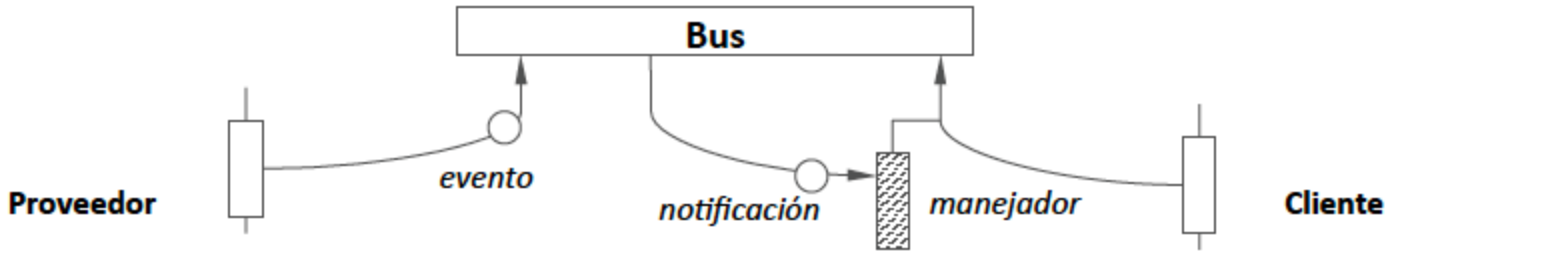
Comparar la versión asíncrona async/await con la versión síncrona inicial:

```
function main() {
    r1 = serv1("datos iniciales");
    r2 = serv2(r1);
    console.log("Resultado final: { " + r2 + " }");
}
```

Eventos

Modelo de eventos

Las operaciones disparan eventos de diferentes tipos, que son escuchados por los manejadores (*listeners*) de eventos, que habrán sido registrados previamente en un bus de eventos.




```
function add (bus) {
  return function (x, y) {
     bus.send ({
        type : 'ADD',
        ctx  : x + y
     })
  }
}
```

```
let bus = EVT.Bus ()
bus.receive (EVT.ADD,   Log.log)
bus.receive (EVT.ERROR, Log.error)
bus.add (2, 3)
```

Ventajas:

- Aplicaciones más interactivas
- Mejor uso de los recursos

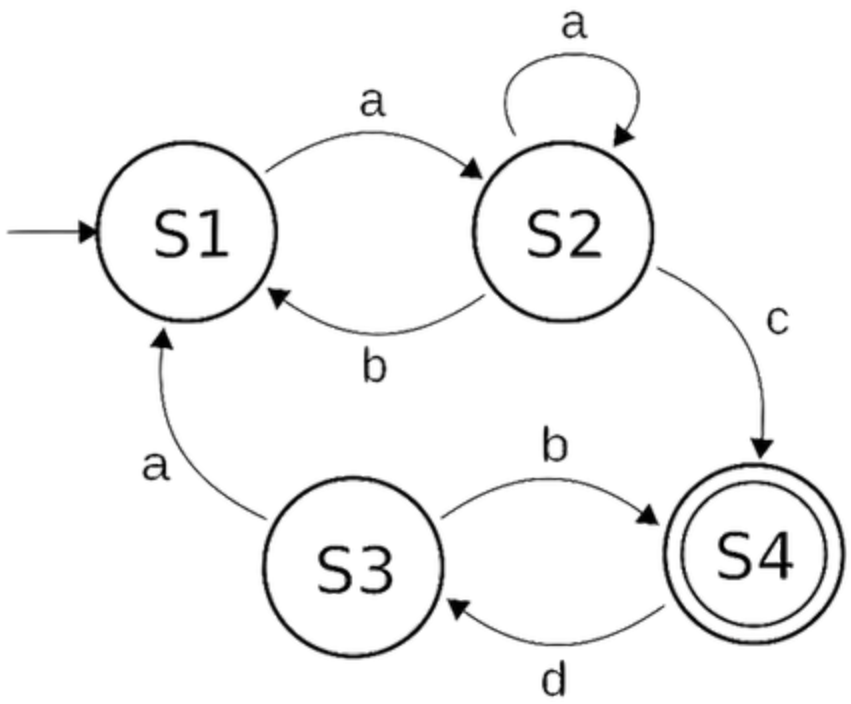
Estrategias

Estrategias para escribir aplicaciones basadas en eventos:

1. Máquinas de estados finitos (FSM)
2. Implementaciones del patrón *Observer*
3. Sistemas de publicación/suscripción (PubSub)
4. Streams y programación reactiva

1. Máquinas de estados

Una FSM es una especificación de cómo manejar eventos



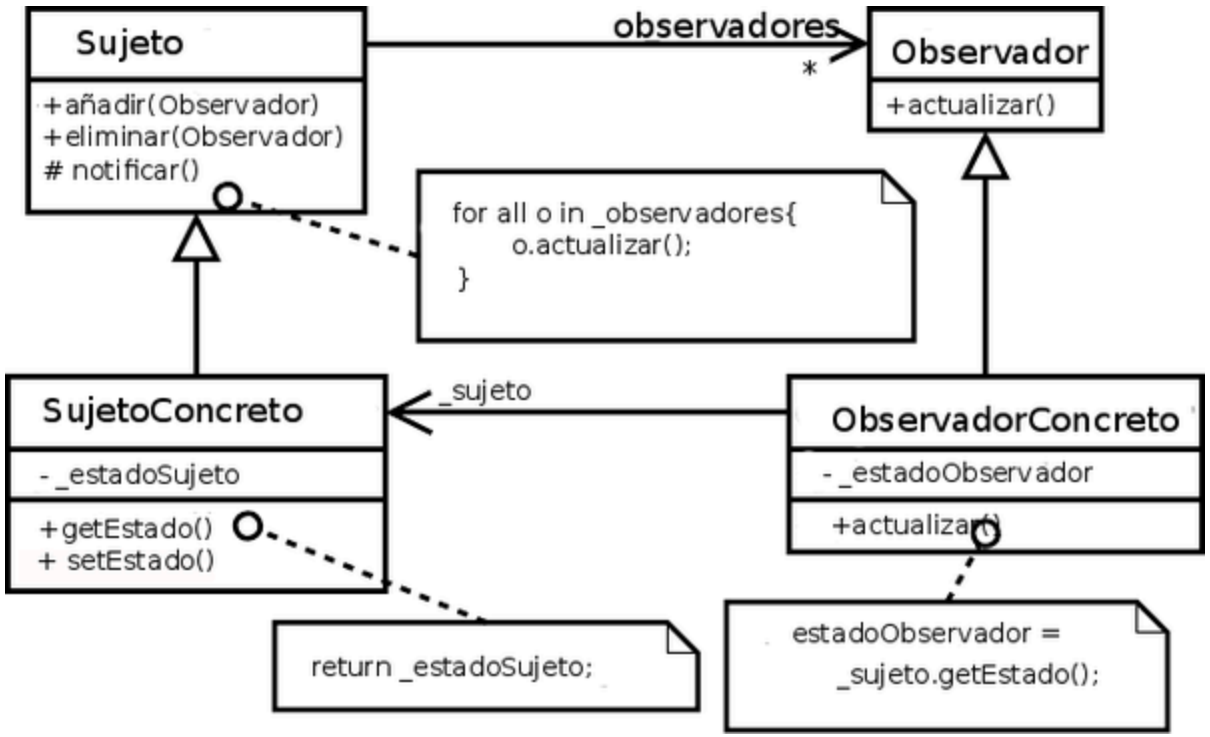
2. Patrón Observer

- **Observable**: fuente de eventos
- **Observadores**: lista de clientes interesados en los eventos

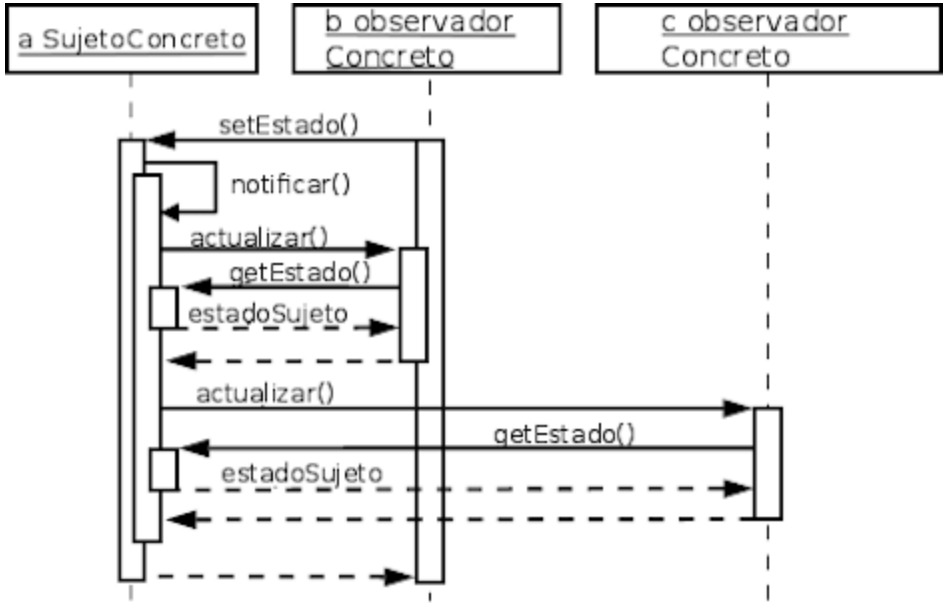
Los observadores se registran ellos mismos en cada observable $\Rightarrow$ produce acoplamiento.

Las acciones de callback son gestionadas por los observables, que suele mantener una lista interna de observadores $\Rightarrow$ produce cuellos de botella.

Estructura del patrón Observer:



Comportamiento del patrón Observer:



3. PubSub

- Los sistemas de *PubSub* son *observers* generalizados
- Los publicadores y los suscriptores se conectan por **canales** o **colas**
- Suelen implementarse en bibliotecas de mensajería o ***Message Queues*** (MQ)
- Cada **canal** tiene un nombre, empleado por publicadores y sucriptores para desacoplarse entre sí
- La comunicación puede hacerse asíncrona

Ejemplos de bibliotecas de PubSub/MQ:

- RabbitMQ
- ZeroMQ
- NATS
- Apache ActiveMQ
- etc.

Protocolos de MQ:

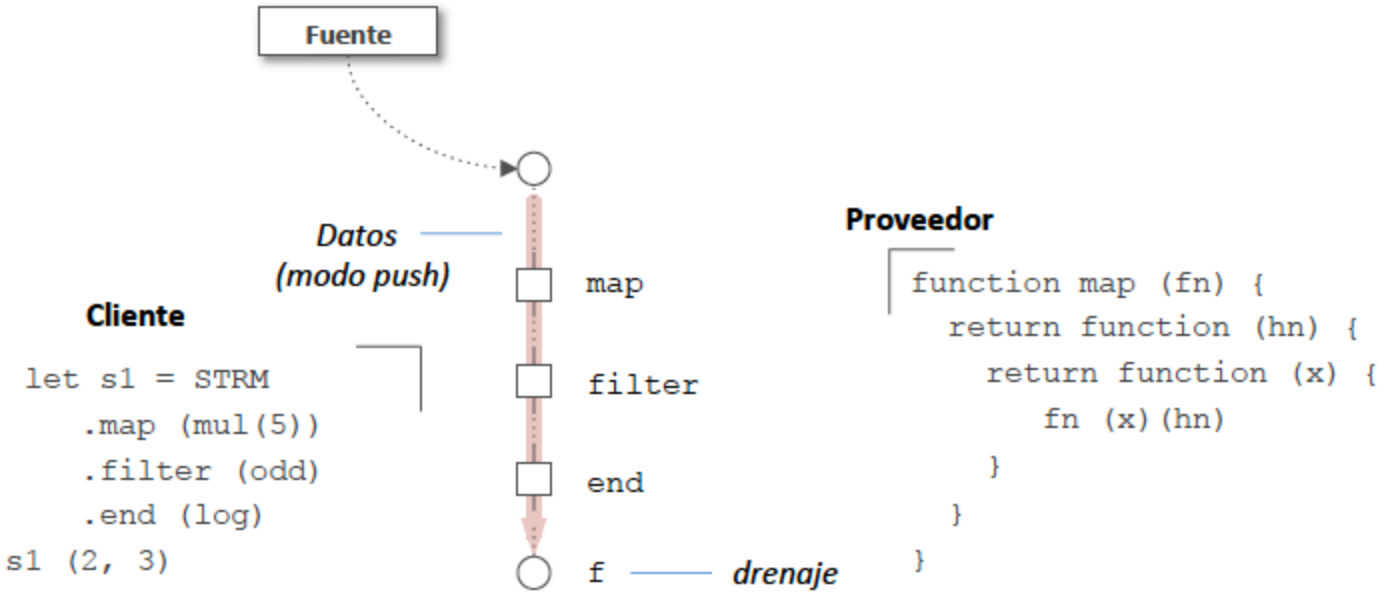
- AMQP
- MQTT
- STOMP
- etc.

¿Cómo crear sistemas que respondan a combinaciones de eventos?
Hay que añadir la dimensión del **tiempo** al procesamiento de los eventos

Los eventos deben disparar reacciones en el código, pero no es fácil conectar las acciones con los eventos. Para facilitarlo, se usan *streams*...

4. Streams y Rx

Los datos fluyen por pipelines y se consumen siguiendo modelos *push* o *pull*



Un stream trata a los eventos como colleciones de datos, de forma que pueden ser tratados como cualquier otra colección: manipularlos, combinarlos, filtrarlos, etc.

Además, los streams pueden ser asíncronos.

Programación reactiva (Rx)

Es un paradigma, parte de la programación asíncrona: la disponibilidad de información nueva conduce la lógica del programa, en vez de dejar que el control de flujo sea dirigido por un hilo de ejecución.

- Modelo de **Observables**: tratar a los streams de eventos asíncronos con las mismas operaciones sencillas de composición que se usan para las colecciones de datos.
- Bibliotecas de programación Rx: reactivex.io
- Principios de la programación reactiva

Características de la programación reactiva

- Tratar con *streams* de datos asíncronos procedentes de cualquier fuente: interacción de usuarios, estructuras de datos, etc.
- Usar funciones para crear, combinar, filtrar, etc. esos streams: paradigma funcional
- Los eventos emitidos por un stream siguen una ordenación temporal: un valor, un error o una señal de *stream completado*
- La captura de esos eventos es asíncrona (mediante callbacks, listeners, promesas, futuros etc.)

Observables

Los Observables se pueden:

- Crear: `Create`, `Defer`, `From`, `Interval`, `Just`, `Range`, `Repeat`, `Start`, `Timer`
- Transformar: `Buffer`, `FlatMap`, `GroupBy`, `Map`, `Scan`, `Window`
- Filtrar: `Debounce`, `Distinct`, `ElementAt`, `Filter`, `IgnoreElements`, `Last`, `Sample`, `Skip`, `SkipLast`, `Take`, `TakeLast`
- Combinar: `And` / `Then` / `When`, `CombineLatest`, `Join`, `Merge`, `StartWith`, `Switch`, `Zip`
- Etc... Operadores Rx

¿Qué añade un Observable al patrón Observer?

Añade a un **Observer asíncrono/push** la semántica de un **Iterable síncrono/pull**:

- `onCompleted()`: para que el publicador avise al suscriptor que no hay más datos disponibles en el stream (los Iterables simplemente acaban su iteración)
- `onError()`: para que el productor avise al suscriptor que ha ocurrido un error (en su lugar, los Iterables elevan excepciones)

Ejemplos de frameworks de streams

- Apache Kafka
- NATS Streaming
- Spark Streaming
- Amazon Kinesis
- Apache Pulsar
- Etc.

Lecturas recomendadas

- Thomas & Hunt. The Pragmatic Programmer, 2nd edition, 2022. Capítulo: *Transforming Programming*
- The introduction to Reactive Programming you've been missing (by @andrestaltz)
- How to Write Clean Codes by Using Pipe Operations in Python?