

TESINA FINAL DE GRADO

Licenciatura en Ciencias de la Computación

Título:

Desarrollo de una aplicación basada en tecnología blockchain orientada a la trazabilidad y valorización del vidrio

Autora: Rocío Belén Corral Mena

Tutor: Dr. Ing. Pablo Javier Vidal



UNCUYO
UNIVERSIDAD
NACIONAL DE CUYO

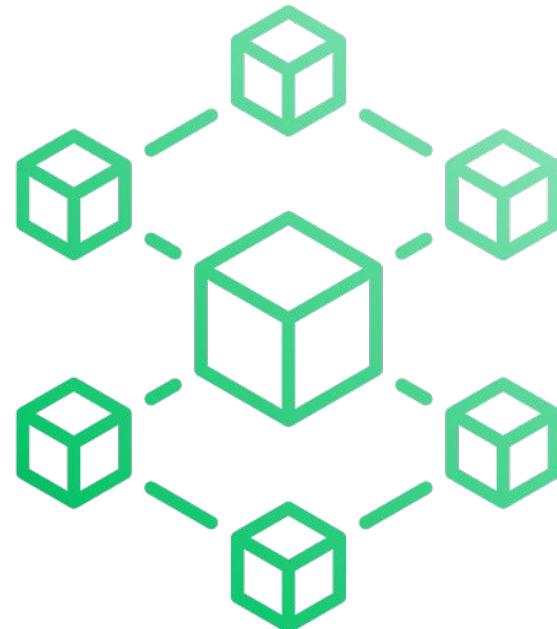


FACULTAD
DE INGENIERÍA



Índice

1. Introducción
2. Marco Teórico
3. Metodología de trabajo
4. Etapas de desarrollo
5. Demostración
6. Conclusiones



Introducción

Motivación



Consecuencias ambientales del modelo de consumo



Oportunidad de reducir el impacto mediante **economía circular**



Uso de **blockchain** como tecnología disruptiva



Relevancia del **vidrio** como material reciclabl

Objetivo

Hacer uso de **blockchain** como **tecnología de vanguardia** para el desarrollo de una **aplicación prototipo** destinada a mejorar la **trazabilidad** en modelos de **economía circular** orientados al **reciclaje de vidrio**.



Marco Teórico

¿Qué es blockchain?

Blockchain es una tecnología emergente que permite registrar información de forma **segura, inmutable y transparente sin intermediarios**.



Estructura de una blockchain

- La información se guarda en una red **distribuida y descentralizada**.
- Cada nodo de la red mantiene una copia de la cadena.

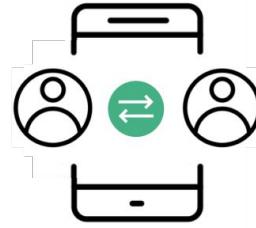
Centralizado
Cliente-Servidor



Descentralizado
Blockchain



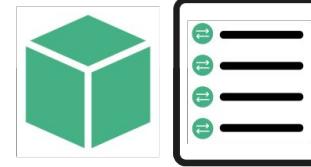
Funcionamiento de una blockchain



Ana desea enviarle
dinero a Juan



Envía la **transacción** a un
nodo de la red blockchain



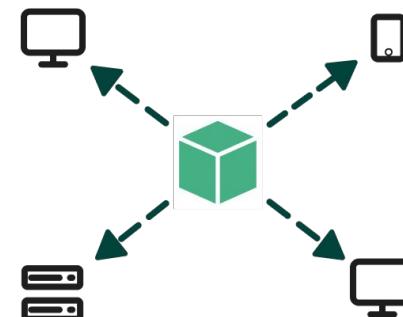
Se crea un **bloque** incluyendo
esta y otras transacciones



Transferencia **completada.**
Juan recibe el dinero



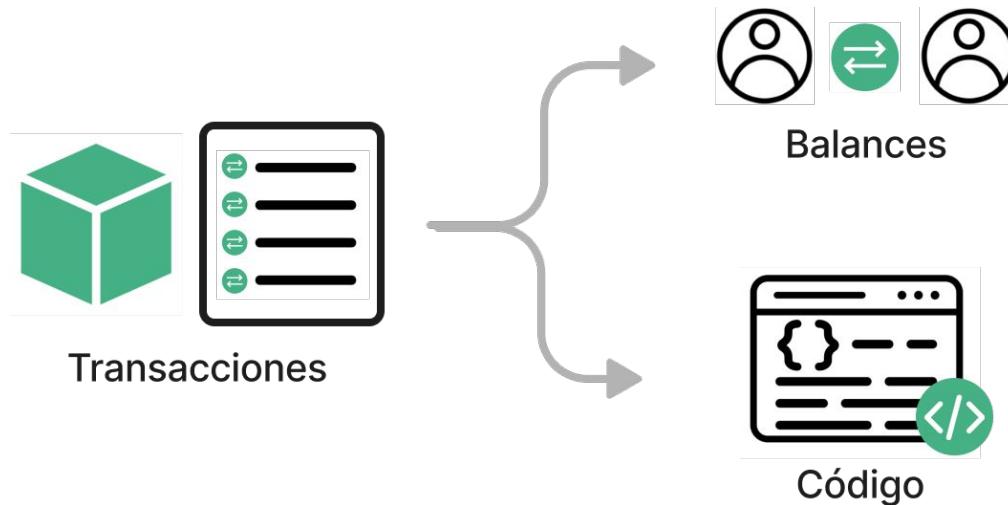
Cada nodo **agrega el bloque**
a su copia de la cadena



El bloque se envía a todos
los **nodos de la red**

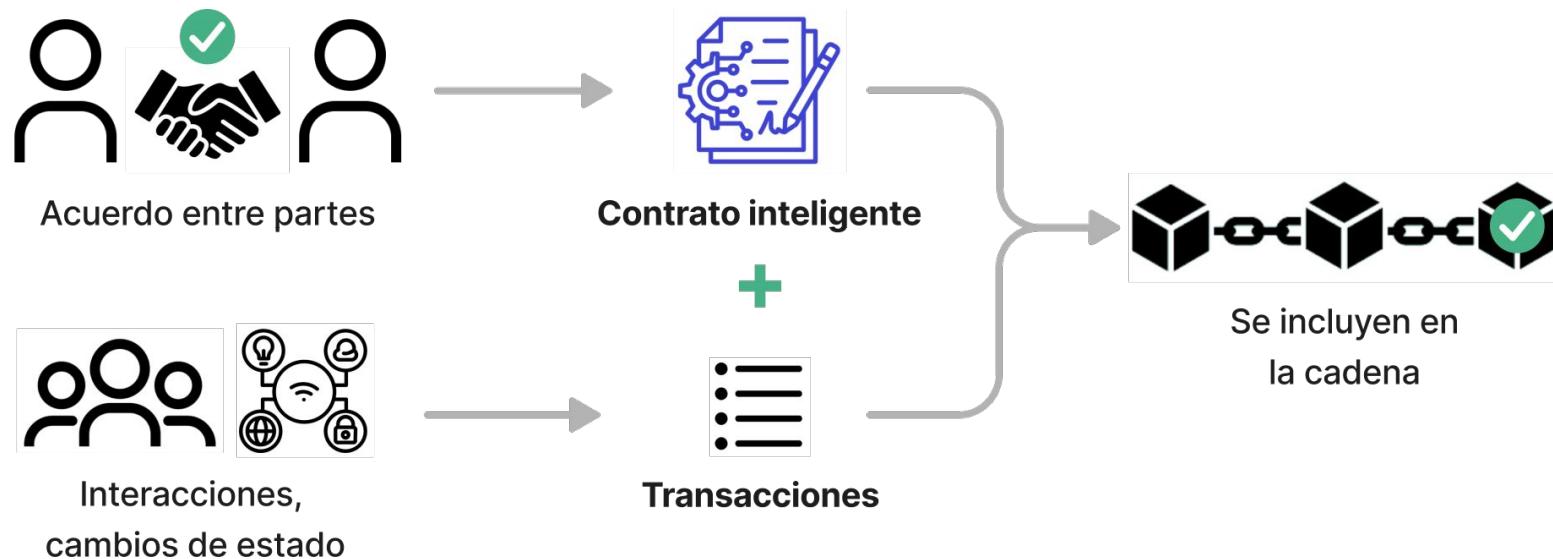
Contenido de una transacción

Las **transacciones** pueden almacenar todo tipo de **información estructurada**.



Contratos inteligentes

Los **contratos inteligentes** son **programas computacionales** que se **almacenan y ejecutan en blockchain** automáticamente cuando se cumplen condiciones predefinidas.



Casos de uso



Finanzas



Trazabilidad



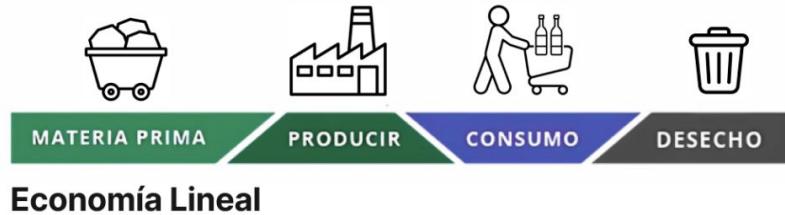
Cadena de suministros



Economía circular

Economía circular

- La **economía circular** es un enfoque **sostenible alternativo al modelo económico lineal** tradicional.
- Busca **reincorporar los productos** a la cadena luego de su consumo.



Trazabilidad

- Herramienta **transversal** habilitadora de la economía circular
- La **trazabilidad** permite **seguir el recorrido** completo de un producto a lo largo de **toda la cadena de suministro**, desde su origen hasta su destino final.



Economía circular para envases de vidrio

- Se debe elegir **un material particular** para una trazabilidad efectiva.
- Los **envases de vidrio** son producidos, utilizados y reciclados **en la provincia**.



Metodología de Trabajo

¿Qué es una metodología de trabajo?

- Permite **organizar** el trabajo para desarrollar **software de calidad**.
- Se aplica Ingeniería de Software para **entregar un producto funcional, estable, documentado y mantenible** dentro de los plazos propuestos.

Consideraciones de este trabajo:



Equipo individual



Requerimientos estables

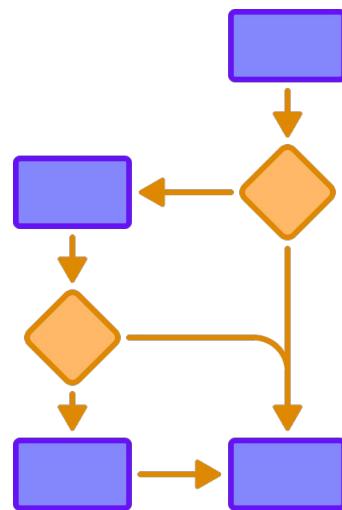


Entrega final única

Tipos de metodologías

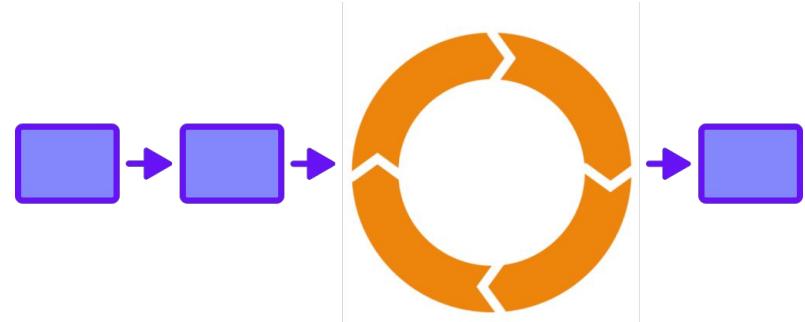
Tradicionales

- Estructuradas
- Requerimientos estables



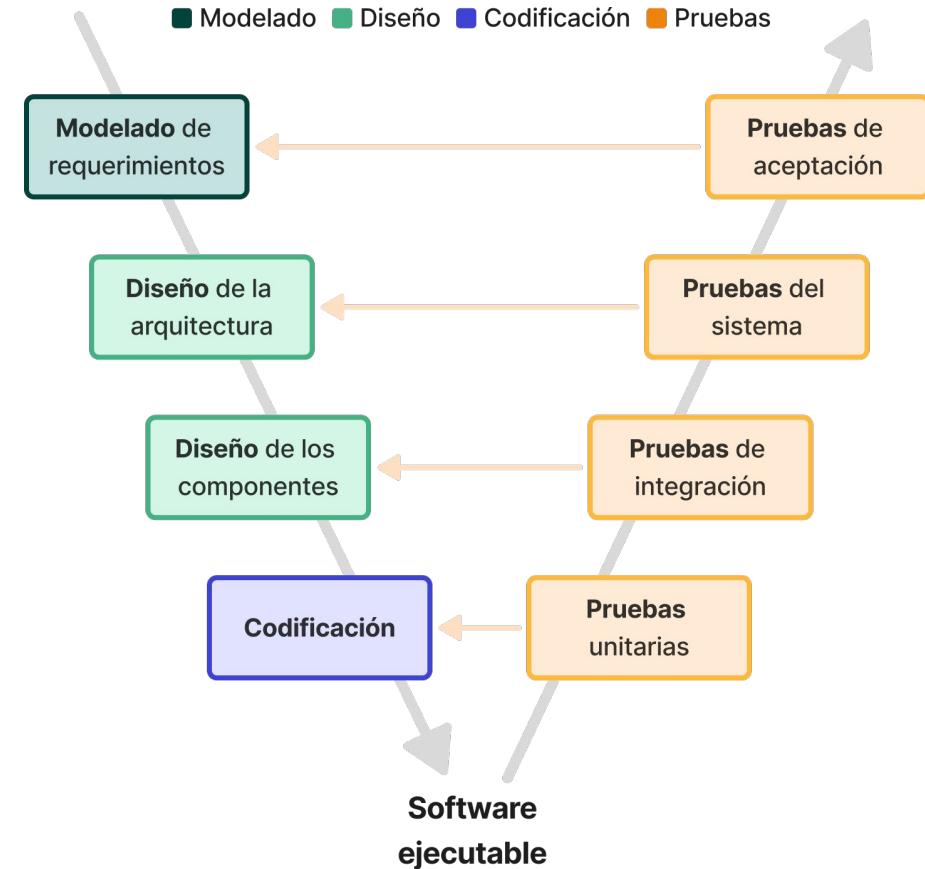
Ágiles

- Flexibles
- Requerimientos cambiantes



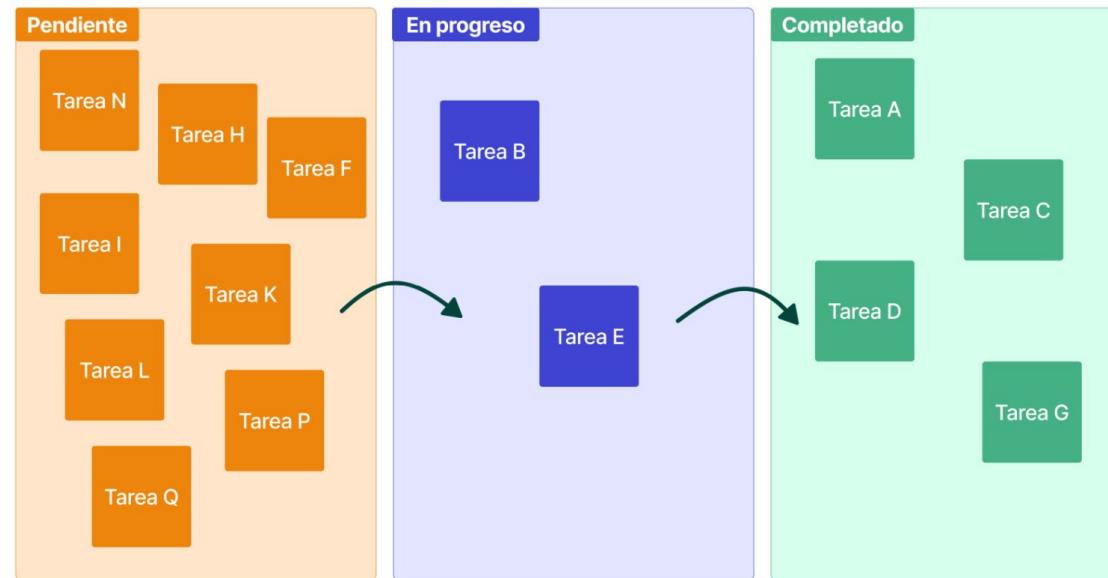
Modelo V

- Enfoque **tradicional**.
- Estructura el **proceso completo** de definición, implementación y pruebas.
- Recomendado para proyectos con requerimientos **estables**.
- Fuerte **validación** del software.
- Apropiado para proyectos basados en **blockchain**.



Kanban

- Enfoque **ágil** para la gestión diaria de **tareas** mediante un **tablero visual**.
- Brinda transparencia del **progreso**.



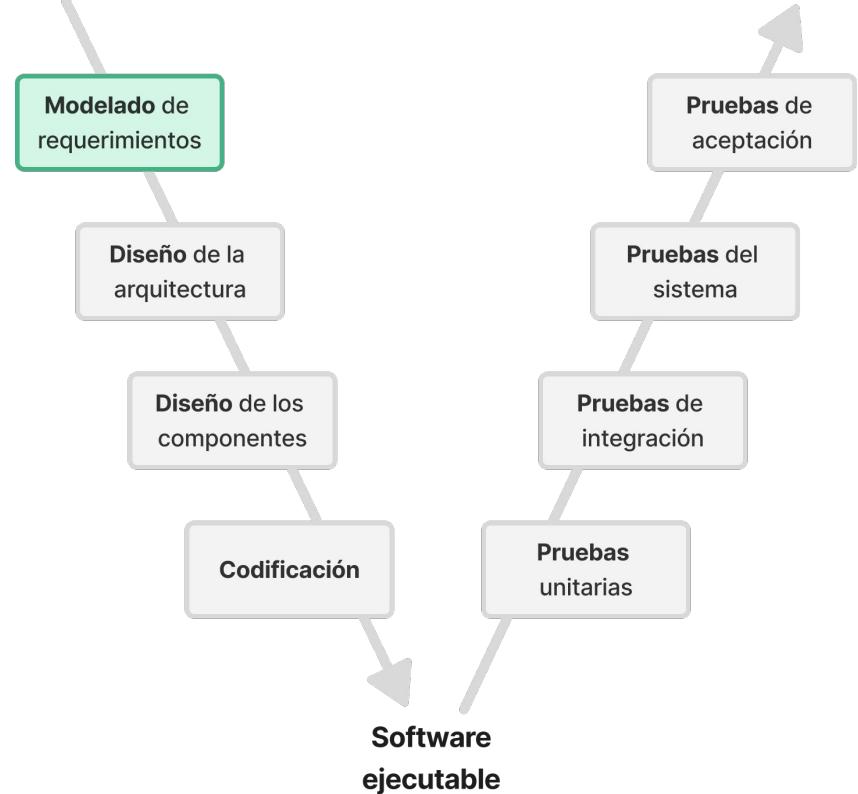
Herramienta de gestión

- Se utilizó la herramienta **Jira** para la gestión del proyecto.
- Jira permite **gestionar** proyectos de desarrollo de software, incluyendo un tablero **Kanban**, a través de una intuitiva **aplicación web**.

The image displays a Kanban board interface for managing a software development project. The board is organized into three main columns: "POR HACER" (42 items), "EN CURSO" (2 items), and "LISTO" (3 items). Each column has a header with the count and a green checkmark icon.

- POR HACER (42 items):**
 - RF-006 Cargar lotes de producción de envases de vidrio
Sub-task: PLATAFORMA DE PRODUCTORES DE V...
Owner: SCRUM-11 (200 points)
 - RF-007 Editar lotes de producción
Sub-task: PLATAFORMA DE PRODUCTORES DE V...
Owner: SCRUM-12 (25 points)
- EN CURSO (2 items):**
 - RF-004 Validar autorización según el rol asignado
Category: GESTIÓN DE USUARIOS
Owner: SCRUM-9 (20 points)
 - RF-005 Ver y editar perfil de usuario
Category: GESTIÓN DE USUARIOS
Owner: SCRUM-10 (100 points)
- LISTO (3 items):**
 - RF-001 Registrar usuario con diferentes roles en el sistema
Category: GESTIÓN DE USUARIOS
Owner: SCRUM-6 (100 points)
 - RF-002 Ingresar a la plataforma
Category: GESTIÓN DE USUARIOS
Owner: SCRUM-7 (50 points)

Modelado de Requerimientos



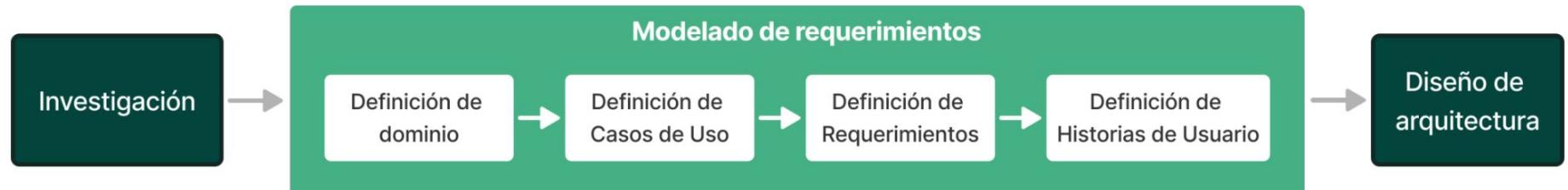
Modelado de requerimientos

Objetivo: comprender, **documentar** y validar las **necesidades** y expectativas de los **actores** interesados del sistema.

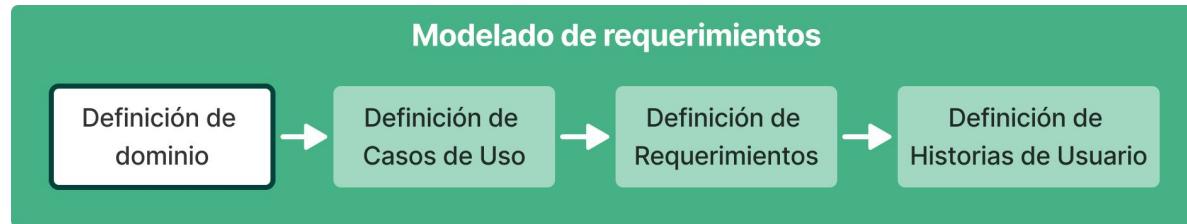
Entrada: investigación (entrevistas, revisión de literatura).

Resultado: requerimientos del sistema y funcionalidades necesarias.

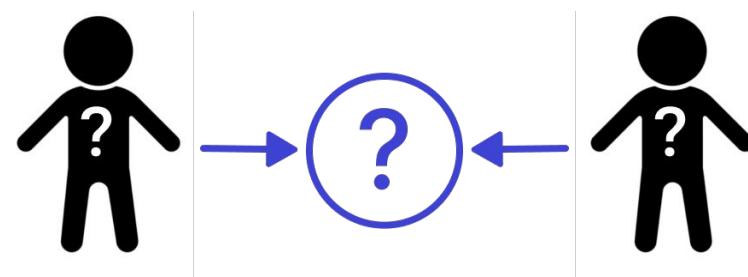
- Es un **trabajo de análisis y definición**, aún no se programa.



Definición de dominio



- **Objetivo:** comprender el entorno en el que el sistema operará.
- **Resultado:** listado de **actores** involucrados en el ciclo de vida de envases de vidrio. **Necesidades y expectativas** de cada actor.

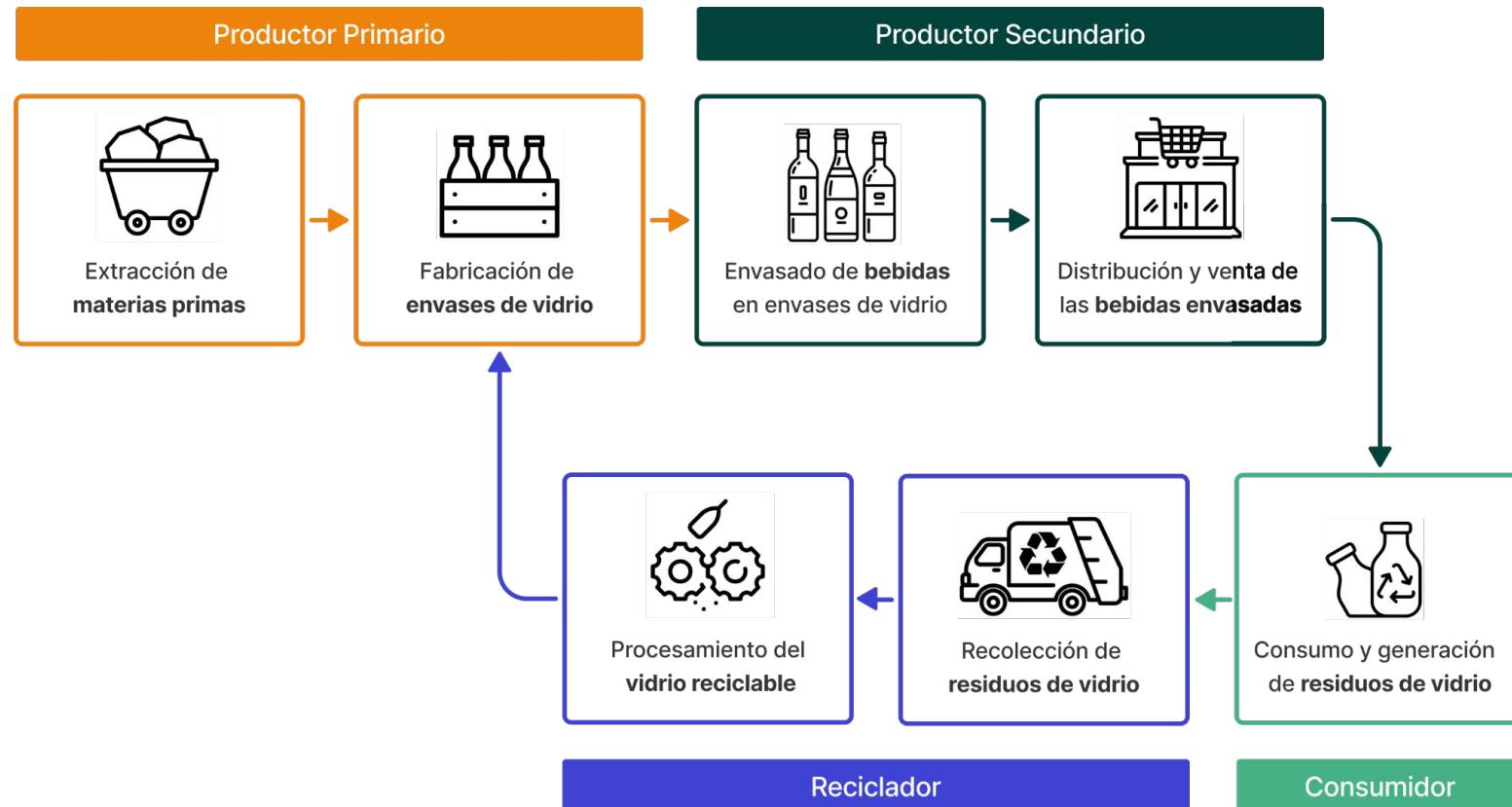


Investigación

- Revisión de literatura
- Entrevista a personal de  verallia
- Viaje de investigación de economía circular en otras regiones



Análisis de dominio



Necesidades de los actores

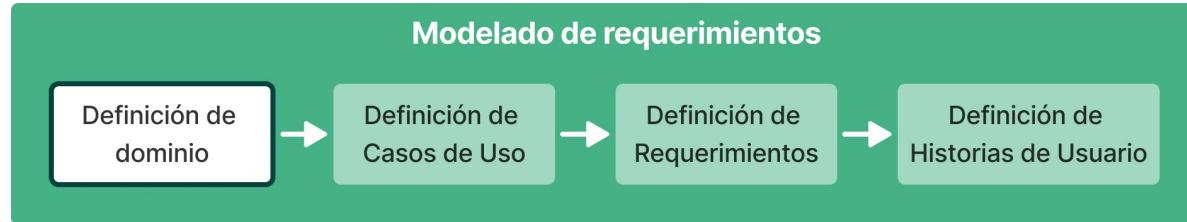
- **Productores:**
 - Necesitan una fuente confiable de información.
Desconfían de la información brindada por los otros actores.
 - Necesitan garantizar la procedencia y composición del material que utilizan en sus productos.
- **Consumidor:**
 - Miedo a que sus esfuerzos sustentables sean en vano.
- **Reciclador:**
 - Necesidad continua de materia prima (residuos).
 - Necesidad de reducir costos operativos y maximizar calidad de su producto.

Solución propuesta

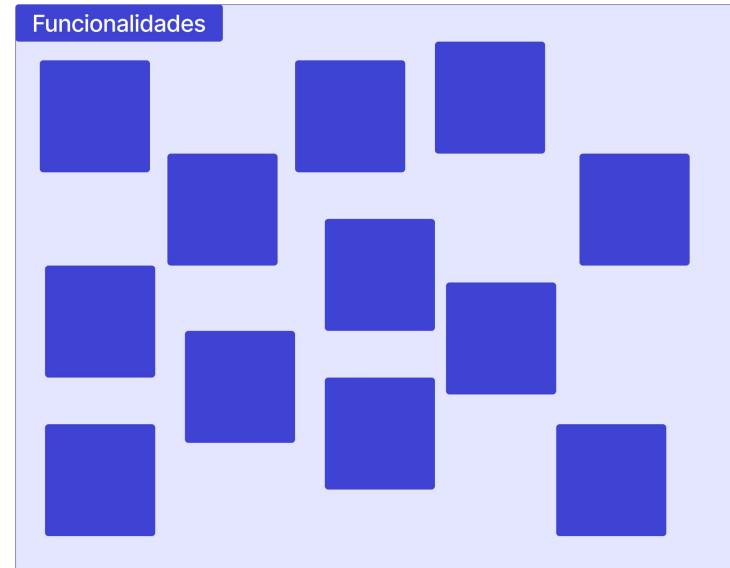
Crear un **sistema unificado, confiable** y **transparente** de trazabilidad completa del ciclo de vida del vidrio.



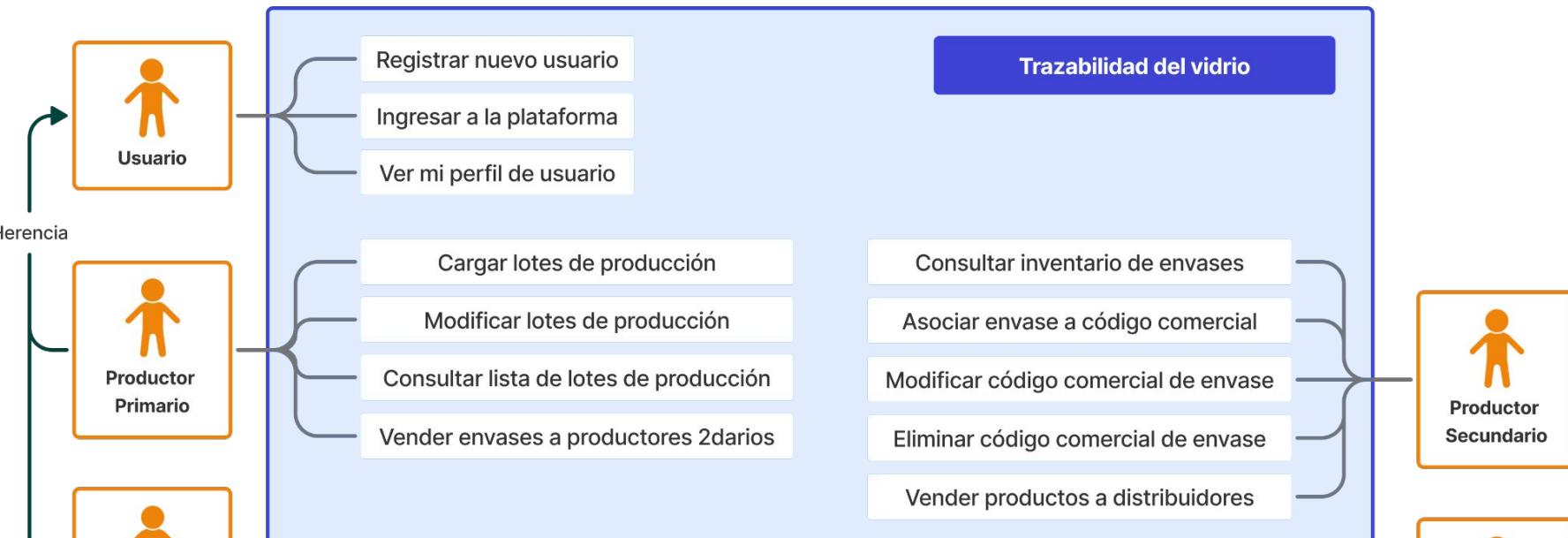
Siguientes pasos



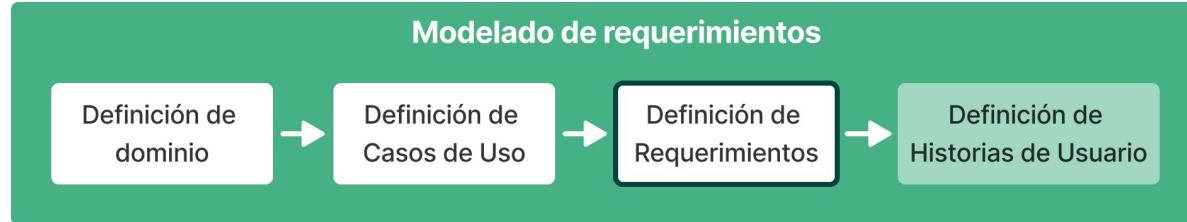
- **Objetivo:** definir las funcionalidades que el sistema debe incluir.
- Es un proceso **iterativo**.
- Definido desde la **perspectiva del usuario**.



Casos de uso



Definición de requerimientos



Requerimientos Funcionales

Definen funcionalidad

Específicos

Ejemplo: registrar usuario

Requerimientos No Funcionales

Características de calidad

Transversales

Ejemplo: rendimiento

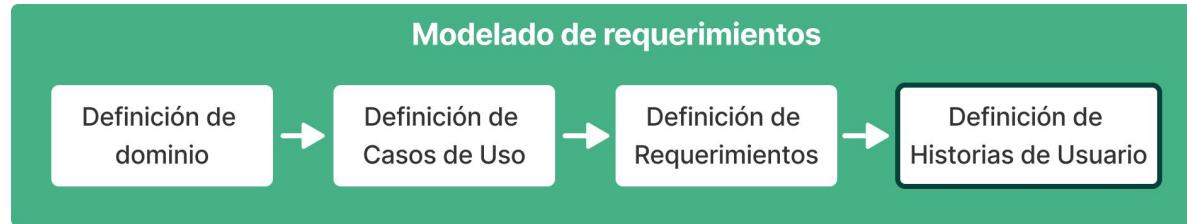
Requerimientos funcionales

ID	Título	Descripción	Deps.
RF-001	Registrar usuarios	<p>El sistema debe permitir registrar usuarios mediante un correo electrónico u otro medio con diferentes roles para hacer uso de las distintas partes del sistema.</p> <p>Los roles disponibles en esta primera etapa son: Productor Primario, Productor Secundario, Consumidor y Reciclador.</p>	-
RF-002	Ingresar a la plataforma	Todos los usuarios deben poder ingresar a la plataforma con su correo electrónico registrado mediante algún método de autenticación, por ejemplo, con contraseña.	RF-001

Requerimientos no funcionales

ID	Título	Descripción
RNF-01	Transparencia	La trazabilidad de un producto debe ser libremente accesible por cualquier usuario autenticado del sistema en todo momento.
RNF-02	Disponibilidad	El sistema debe estar disponible para su uso las 24 horas del día.
RNF-03	Escalabilidad	El sistema debe soportar un número creciente de transacciones.
RNF-04	Mantenibilidad	El sistema debe poder ser mantenible por otros desarrolladores de la industria actual en el futuro
RNF-05	Interoperabilidad	El sistema debe ser integrable con múltiples sistemas de stock y gestión de terceros preexistentes.
RNF-06	Integridad	Los datos de trazabilidad no deben poder ser alterados luego de ser cargados sin dejar registro público de la modificación.

Historias de usuario



Título: Registrar usuario con diferentes roles en el sistema

Como administrador del sistema,

Quiero poder registrar usuarios mediante correo electrónico y contraseña,

Para que puedan acceder a las funcionalidades del sistema según el rol asignado.

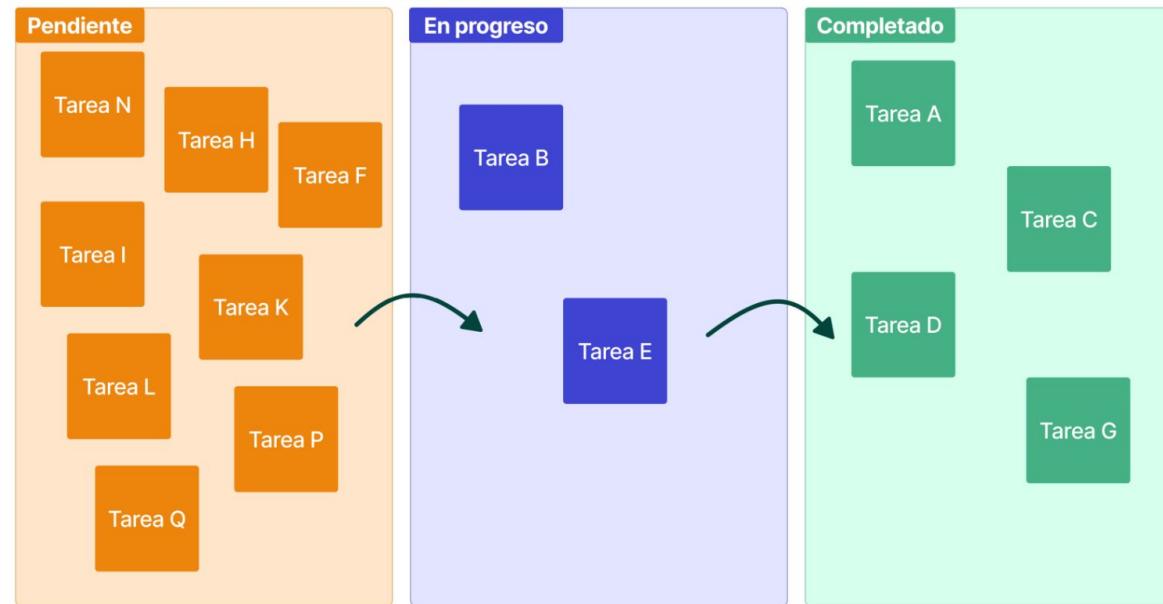
Criterios de Aceptación:

1. Formulario de Registro:

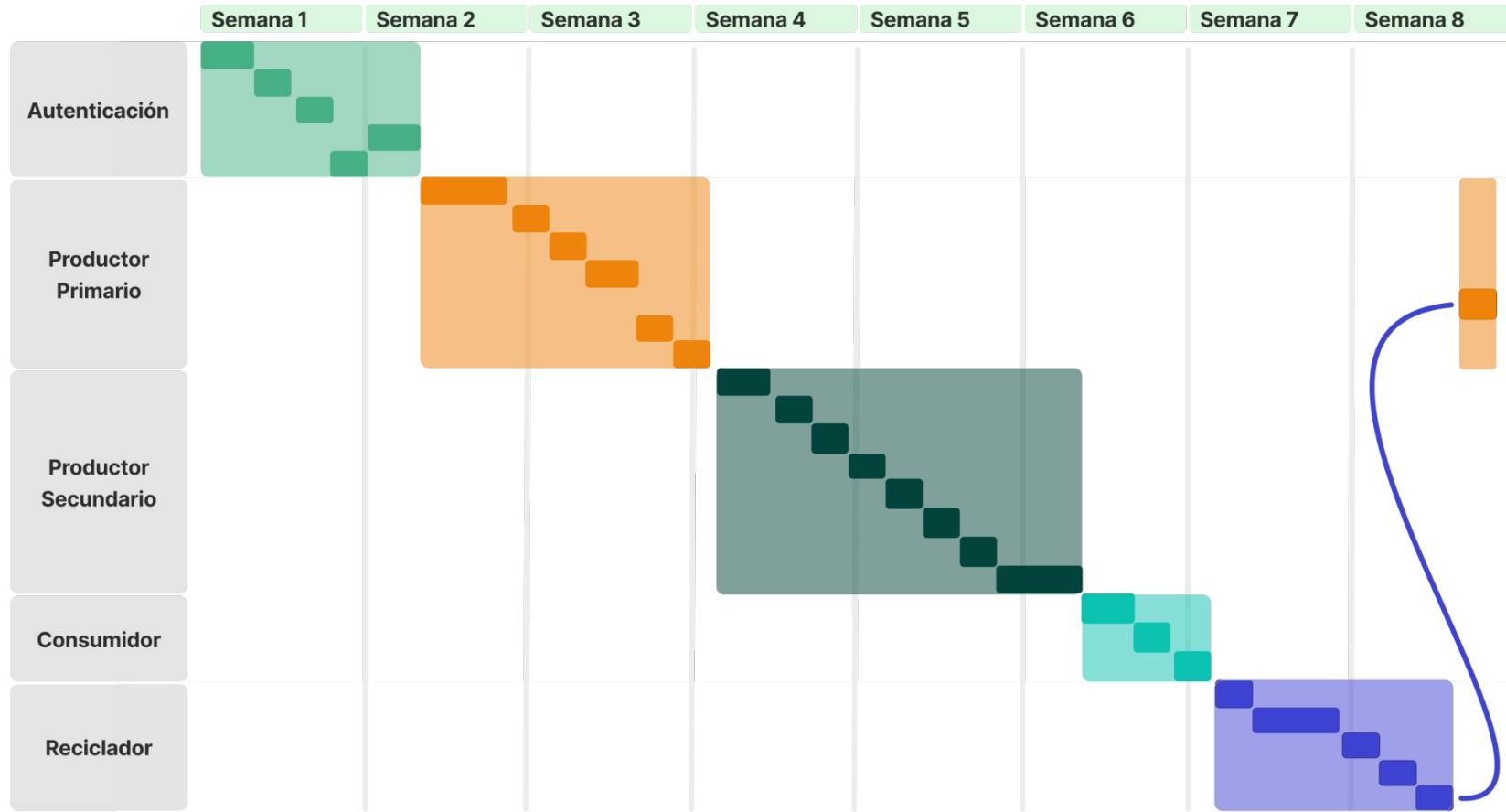
- [x] El formulario de registro debe incluir campos para **correo electrónico, contraseña, y selección de rol.**
- [x] Los roles disponibles para seleccionar deben ser: Productor, Comerciante, Consumidor, Reciclador.

Planificación

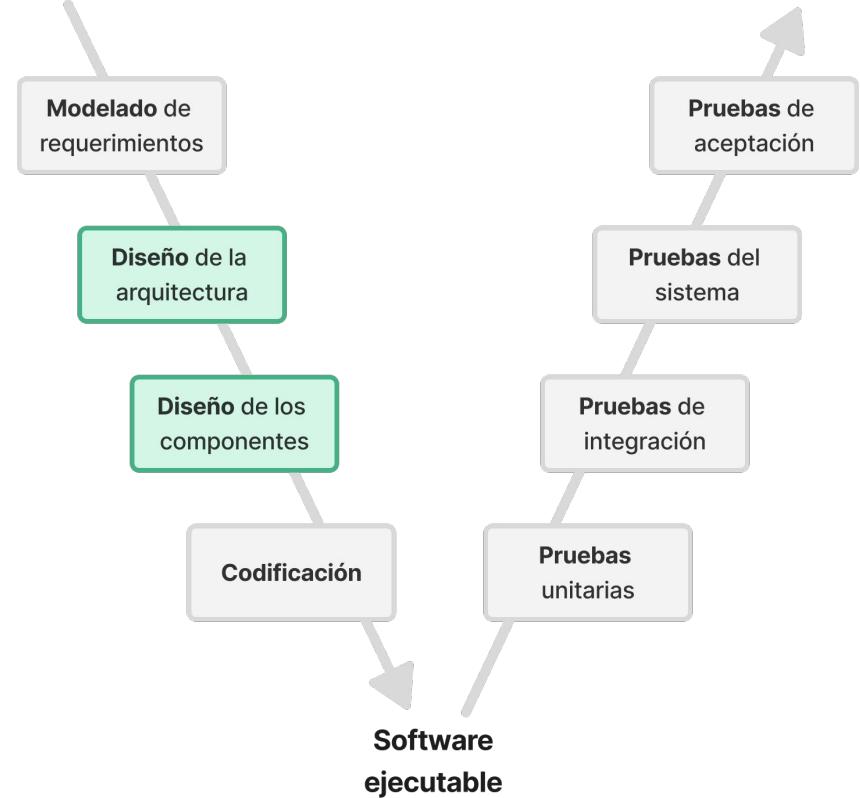
- Cada historia de usuario se convierte en una tarea pendiente en el tablero Kanban.



Planificación del desarrollo



Diseño de Software



Diseño de software

Objetivo: transformar los requerimientos abstractos en una **arquitectura concreta** y un **plan de implementación**.

- Es un **trabajo de diseño** iterativo, aún no se programa.
- Se plantea un **sistema modular**.

■ Diseño de arquitectura

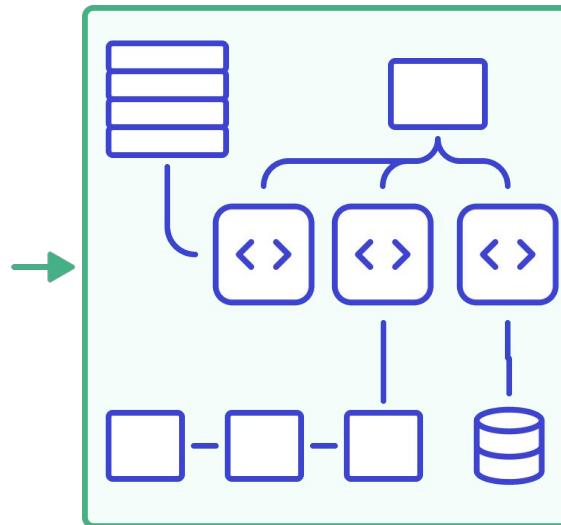


Diseño de software

Objetivo: transformar los requerimientos abstractos en una **arquitectura concreta** y un **plan de implementación**.

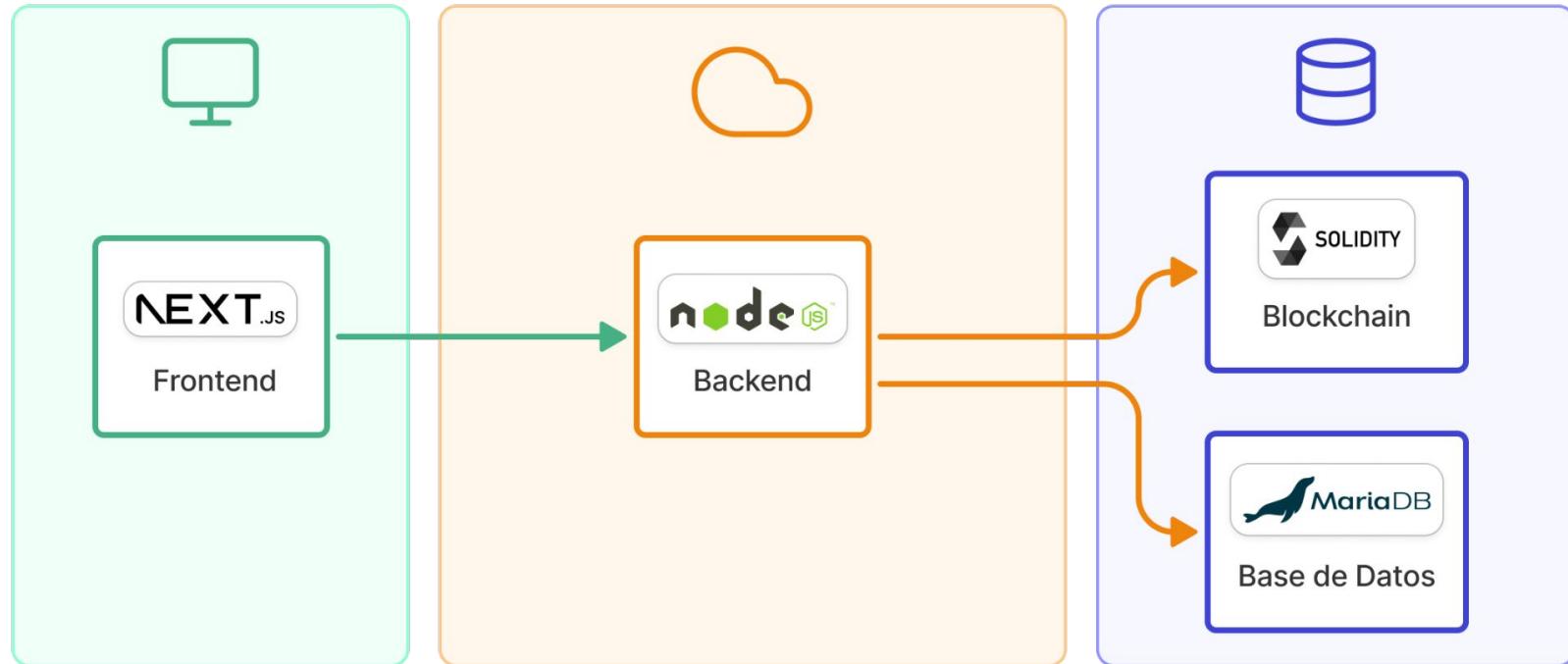
- Es un **trabajo de diseño** iterativo, aún no se programa.
- Se plantea un **sistema modular**.

- Diseño de arquitectura
- Diseño de componentes



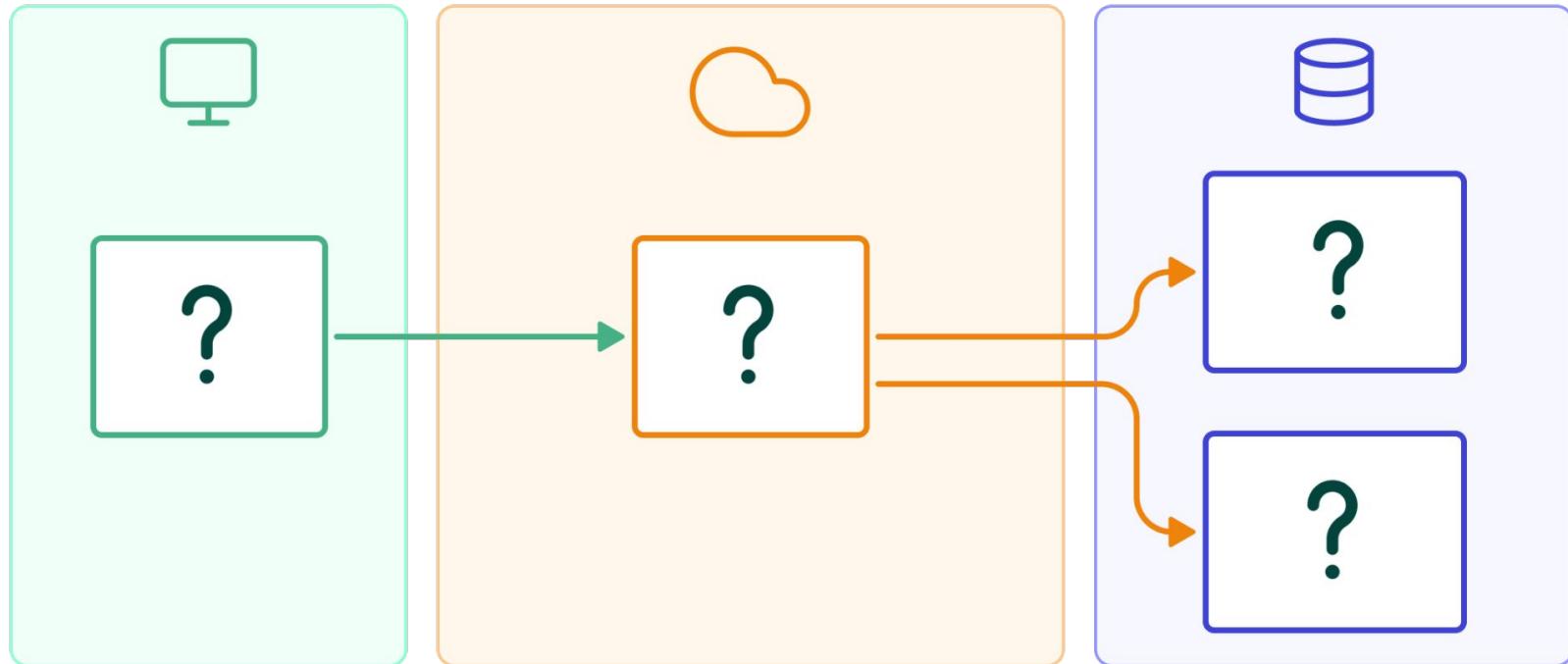
Arquitectura elegida

Aplicación web que obtiene información de la **blockchain** a través de una **API REST**.



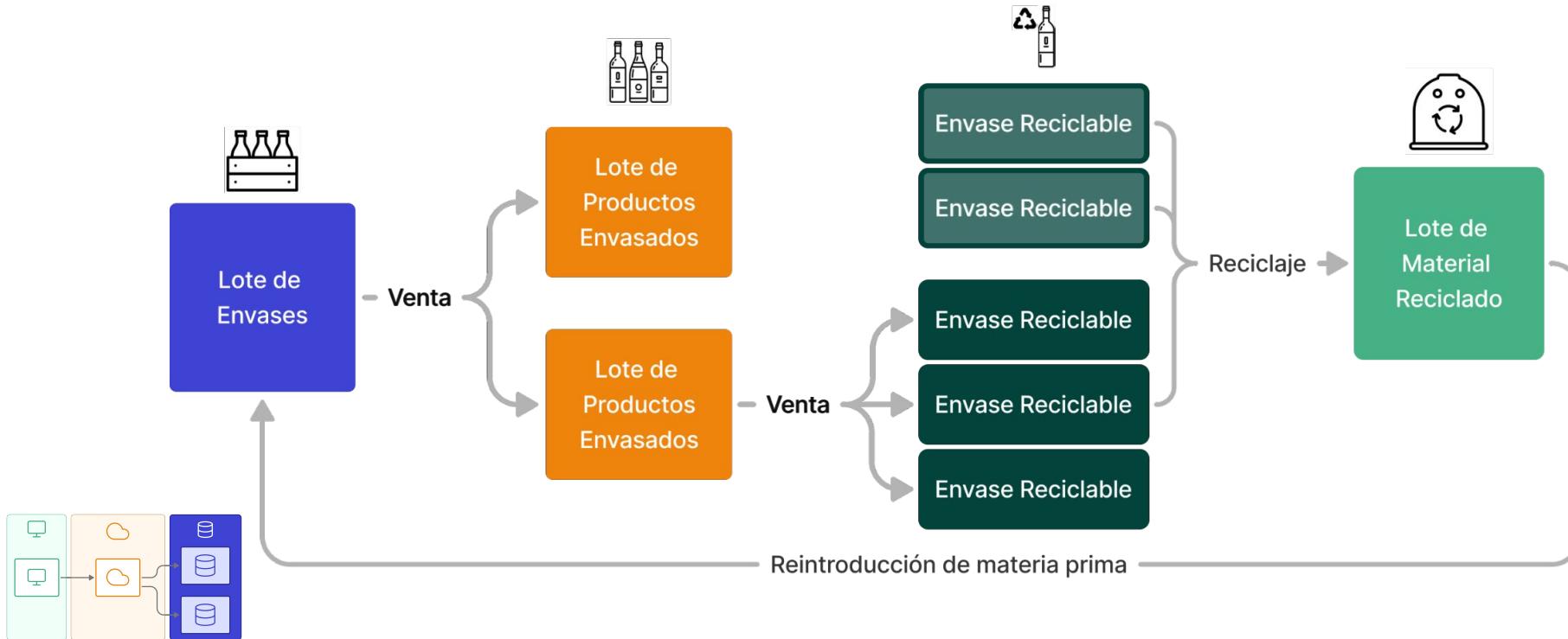
Diseño de componentes

Se definieron **patrones** de arquitectura para cada módulo y **estructuras** de datos.



Arquitectura de datos

Se **representó** la información según su estado en el **ciclo de vida del vidrio**.



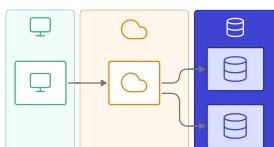
Diseño de Base de Datos

La **base de datos relacional** actúa como **índice** de la información en la blockchain.

Ownerships		
PK	id	INT
	bottle_id	INT
FK	user_account_id	STRING
	type	STRING
	created_at	DATE
	deleted_at	DATE NULL

n..1

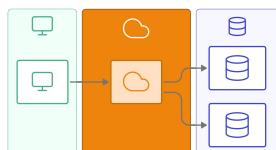
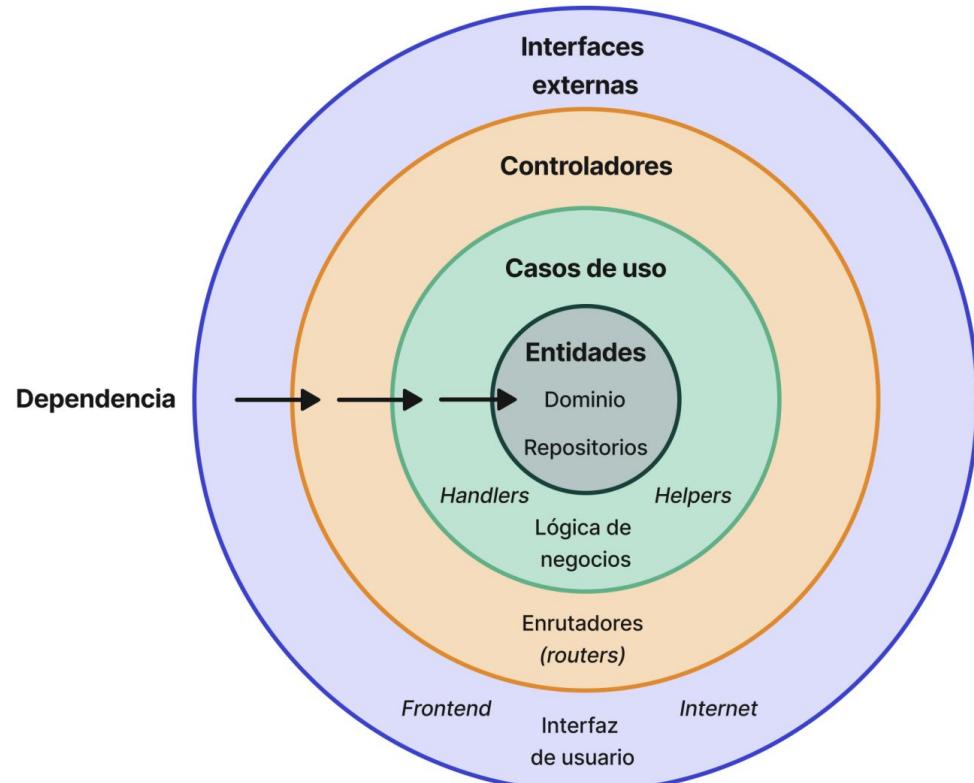
Users		
PK	id	INT
	firebase_uid	STRING UNIQUE
	blockchain_account_id	STRING UNIQUE
	user_name	STRING
	manager_name	STRING
	phone	STRING
	created_at	DATE
	updated_at	DATE
	deleted_at	DATE NULL



Diseño de backend

Para el **backend** se eligió:

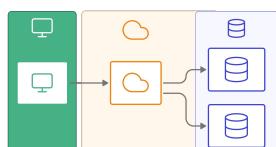
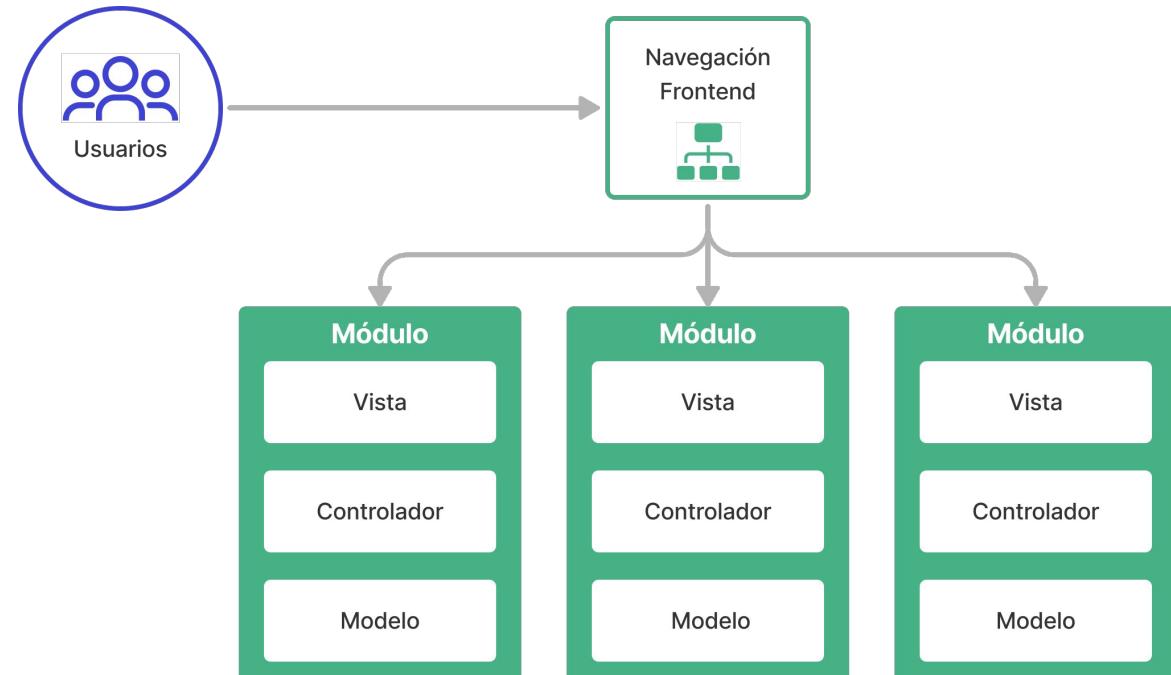
- Estándar **API REST**.
- Patrón **Clean Architecture**.
- Separación de responsabilidades para favorecer la **mantenibilidad**.



Diseño de frontend

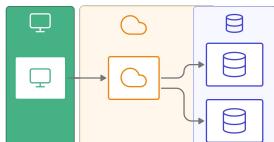
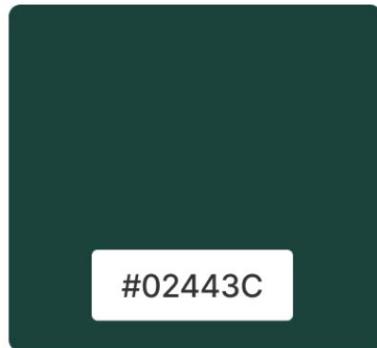
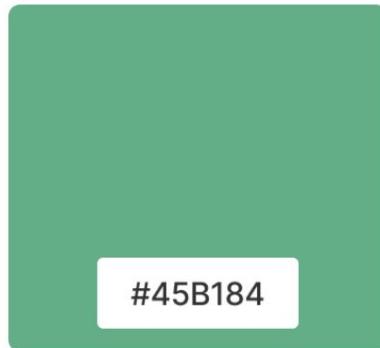
Para el **frontend** se eligió:

- Patrón **MVC (Modelo Vista Controlador)**
- Código modular y **mantenible**.
- Apropiado para aplicaciones **multi-rol**.



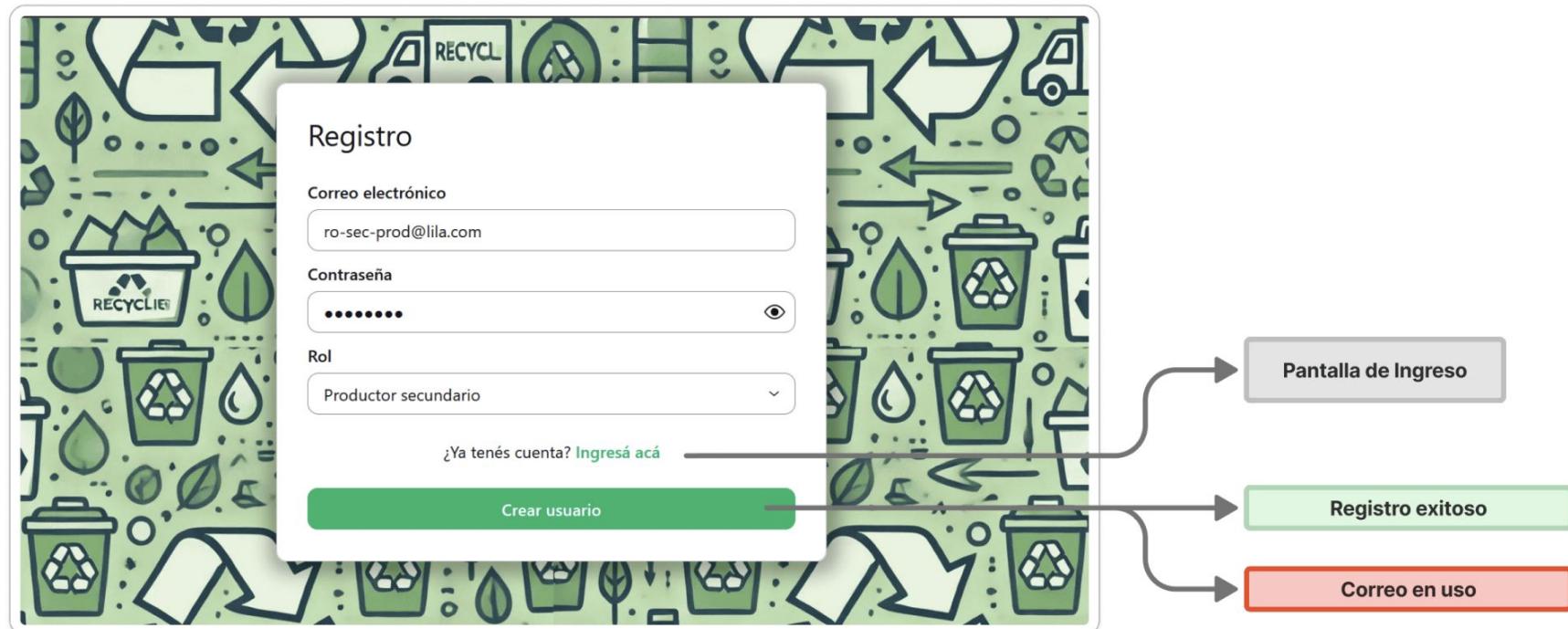
Diseño de interfaz

- Se definió la **paleta de colores** y **estética** de la interfaz de usuario.
- Alineado con el concepto de economía circular.

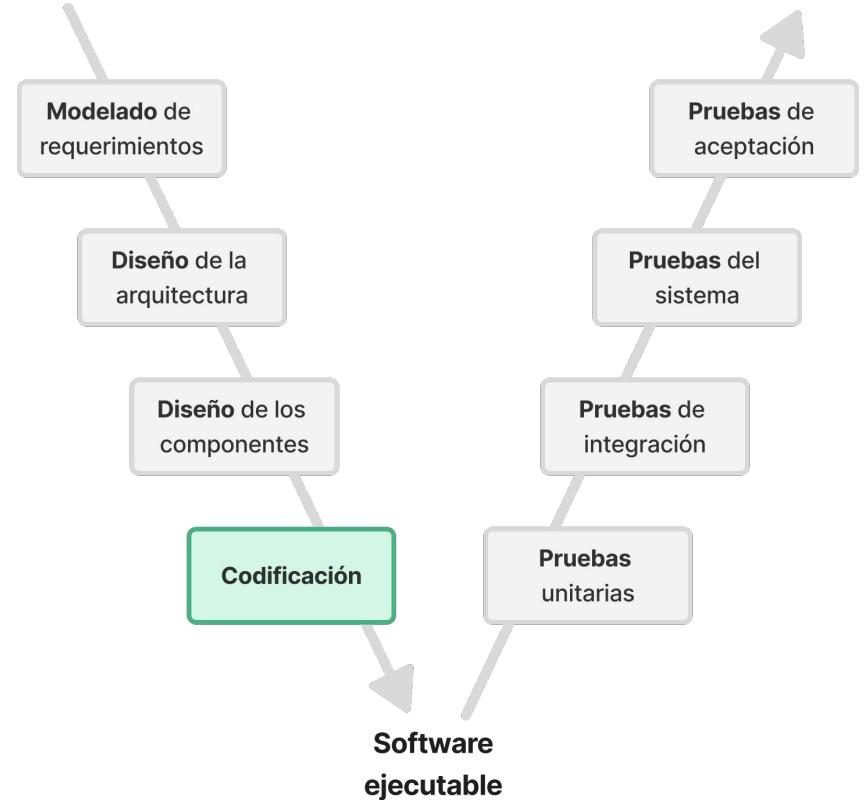


Flujos de usuario

Ilustran cómo debe verse y comportarse la aplicación **antes de ser programada**.



Implementación



Codificación

Objetivo: implementar código ejecutable que responda al diseño y los requerimientos definidos en las etapas previas.

Entrada: historias de usuario, requerimientos y arquitectura de software.

Resultado: prototipo de software funcional completo.

- ¡Finalmente se programa el sistema!
- Se implementó un módulo a la vez y luego se integraron.
- Duración: 10 semanas
- El código se complementa con **documentación** explicativa.

```
contracts > RecycledMaterialContract.sol
interface ProductBottlesBatchContract {}

contract RecycledMaterialContract {
    address public contractOwner;
    mapping(uint256 id => WasteBottle) public wasteBottles;
    uint256 public nextWasteBottleId = 1;
    mapping(uint256 id => RecycledMaterialBatch) public recycledMaterialBatches;
    uint256 public nextRecycledMaterialBatchId = 1;

    BaseBottlesBatchContract private baseBottlesBatchContract;
    ProductBottlesBatchContract private productBottlesBatchContract;

    modifier onlyContractOwner() {
        require(msg.sender == contractOwner, "Unauthorized");
        _;
    }

    modifier onlyBaseOrProductContract() {
        require(
            msg.sender == address(baseBottlesBatchContract) ||
            msg.sender == address(productBottlesBatchContract),
            "Unauthorized"
        );
        _;
    }

    function transferOwnership(address newOwner) external onlyContractOwner {
        contractOwner = newOwner;
    }
}
```

Documentación

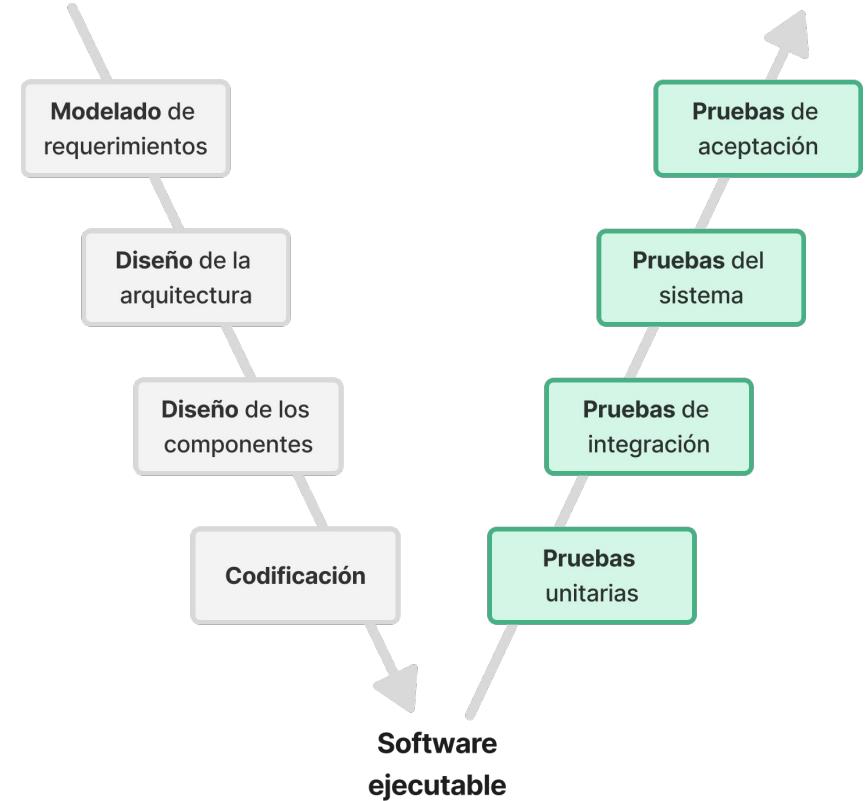
Objetivo: asegurar la **mantenibilidad** del código, **facilitar la colaboración futura** y **consolidar el conocimiento** técnico del proyecto.

Tipos de documentación implementada:

- Comentarios dentro del código
- Documentación OpenAPI interactiva

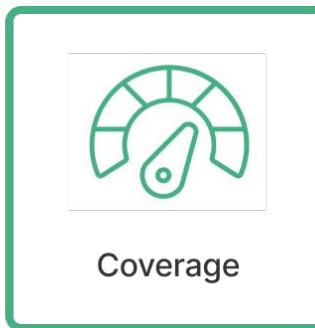
The screenshot shows the Swagger UI interface for a RESTful API. At the top, it displays the title "Sistema de Trazabilidad de Botellas API" with version 1.0.0 and OAS 3.0. Below the title, a sub-header indicates it's an API for tracking the life cycle of glass bottles in blockchain. A dropdown menu labeled "Servers" shows "/api/blockchain-test - Current API server". On the right, there's a green "Authorize" button with a lock icon. The main content area is organized into sections: "1. Autenticación" (Authentication) and "2. Productor Primario" (Primary Producer). Each section contains several API operations with their methods, URLs, and descriptions. For example, under "Autenticación", there are three operations: POST /auth/register (Registers a new user), GET /auth/user (Gets the data of the authenticated user), and PUT /auth/user (Updates the data of the authenticated user). Under "Productor Primario", there are four operations: GET /producer/batch/{id} (Gets a batch of base bottles by its ID), DELETE /producer/batch/{id} (Deletes a batch of base bottles), GET /producer/batches/user (Gets all batches of base bottles for the authenticated user), and POST /producer/batch (Creates a new batch of base bottles). Each operation has a small lock icon and a dropdown arrow to its right.

Pruebas



Pruebas unitarias

Objetivo: validar la unidad más pequeña de código de forma aislada del resto del sistema.



Módulo	Coverage Objetivo	Coverage Alcanzado	Cant. de Pruebas
Contratos inteligentes	100 %	100 %	98
API backend	80 %	90.84 %	317
Aplicación frontend	60 %	65.27 %	286

Pruebas de integración

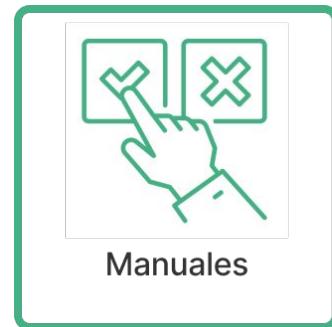
Objetivo: verificar que los **módulos del sistema interactúen correctamente** cumpliendo sus responsabilidades.



```
Test Suites: 5 passed, 5 total
Tests:       18 passed, 18 total
Snapshots:   0 total
Time:        119.97 s
Ran all test suites matching /tests\\integration/i.
```

Pruebas de sistema

Objetivo: verificar que el **prototipo completo cumple con los requerimientos** funcionales y no funcionales definidos al inicio del proyecto.



Manuales



Exhaustivas



#	Módulo	Tests	Descripción	Resultado	Incidencias
1	Auth Module	9	Registro, ingreso, manejo de sesión,	8/9 OK	1
2	Producers Module	12	Creación, edición y eliminación de lo-	9/12 OK	2

Pruebas de aceptación con usuarios

Objetivo: verificar que **el sistema satisface las necesidades y expectativas del usuario** final, definidas en el modelado de requerimientos.

- **Usuarios reales** en un entorno controlado.
- Pruebas **guiadas** y **libres**.
- El **experimento** se realizó en un laboratorio de computación de la Facultad de Ingeniería con **voluntarios del entorno académico**.



Resultados del experimento

10

Usuarios

63

Total Pruebas

9

Incidencias

3

Sugerencias



Sugerencias aplicadas: antes

Seguimiento

Tipo ID

Botella Reciclada 16

Buscar

ENVASE ID #2

PRODUCTO ID #3

RESIDUO ID #16

RECICLAJE ID #15

Información General

Cantidad de envases: 1000

Vendidos: 10

Fecha de creación: 25/4/2025

Ubicación de origen: Mendoza

Detalles de la Botella

Peso: 400g

Color: verde

Espesor: 2 mm

Forma: cuello alto

Composición

Material	Cantidad	Unidad
Sílice	75	%
Óxido de sodio	15	%
Óxido de calcio	8	%

Sugerencias aplicadas: después

Seguimiento

Tipo ID

Lote Base 1 Buscar

ENVASE ID #1 **PRODUCTO** ID #1 **RESIDUO** ID #4 **RECICLAJE** ---

```
graph LR; A(( )) --- B(( )); B --- C(( )); C --- D(( ));
```

Información General

Cantidad de envases: 900
Vendidos: 300
Fecha de creación: 30/4/2025
Ubicación de origen: Mendoza

Detalles de la Botella

Peso: 300g
Color: verde
Espesor: 3 mm
Forma: cuello largo

Composición

Material	Cantidad	Unidad
Vidrio	100	%

Tesina Final de Grado

Rocío Corral Mena

2025

58

Video Demostración

Demostración en vivo

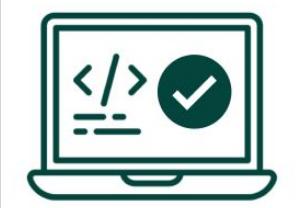
RECEMOS A LOS DIOSES DE LAS DEMOS



Conclusiones

Resultados obtenidos

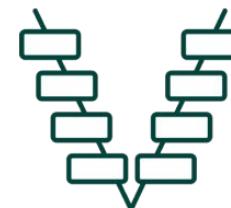
Se desarrolló un **prototipo tecnológico** de sistema de trazabilidad para envases de vidrio en la industria vitivinícola, utilizando **tecnología blockchain**, que permite rastrear el ciclo de vida de los envases desde su producción hasta su reciclaje.



Resultado exitoso



Prototipo validado



Metodología de desarrollo

Perspectivas futuras

Se considera que este prototipo representa una **prueba de concepto** con un gran **potencial de expansión**:



Diversos materiales



Aplicaciones a medida



Automatización IoT



Programas de incentivos

TESINA FINAL DE GRADO

Licenciatura en Ciencias de la Computación

¡Gracias!

¿Preguntas?



UNCUYO
UNIVERSIDAD
NACIONAL DE CUYO



FACULTAD
DE INGENIERÍA

