

SISTEMAS DISTRIBUIDOS 1
(TA050) ROCA

Diseño
Coffee Shop Analysis

16-09-2025

Ascencio Felipe Santino - 110675

Gamberale Luciano Martín - 105892

Zielonka Axel - 110310

Definiciones iniciales

1. Introducción

El presente documento describe el diseño de un sistema distribuido para el análisis de datos de una cadena de cafeterías en Malasia. El objetivo principal es procesar grandes volúmenes de información transaccional, de clientes, de sucursales y de productos, para obtener métricas clave que apoyen la toma de decisiones de negocio.

De acuerdo con los requisitos existentes, el sistema debe permitir responder las siguientes consultas:

1. Listado de transacciones (ID y monto) realizadas entre los años 2024 y 2025, en el rango horario de 06:00 a 23:00, con un monto total mayor o igual a 75.
2. Identificación de los productos más vendidos (nombre y cantidad) y los que más ganancias han generado (nombre y monto) para cada mes de 2024 y 2025.
3. Cálculo del *Total Payment Value* (TPV) por cada semestre en 2024 y 2025, discriminado por sucursal, considerando sólo transacciones entre 06:00 y 23:00.
4. Obtención de la fecha de cumpleaños de los tres clientes con mayor cantidad de compras en 2024 y 2025, para cada sucursal.

Además de los requerimientos funcionales, el sistema deberá cumplir con los siguientes requisitos no funcionales:

- Optimización para entornos multicomputadoras, asegurando la escalabilidad ante el crecimiento de datos.
- Inclusión de un *middleware* que abstraiga la comunicación entre nodos mediante grupos.
- Ejecución única del procesamiento con capacidad de *graceful quit* frente a señales de terminación (SIGTERM).

El diseño se realizará bajo un enfoque de arquitectura distribuida, buscando flexibilidad, robustez y capacidad de escalar en entornos reales de procesamiento de datos.

2. Definición Técnica del Sistema Distribuido

El sistema distribuido propuesto permite al usuario interactuar mediante una consola, desde la cual los usuarios envían las instrucciones y datasets necesarios para el procesamiento, y a cambio reciben como salida de la misma el resultado de las consultas realizadas. La infraestructura se implementará sobre contenedores Docker, los cuales emulan múltiples nodos computacionales. Cada nodo se especializa en la ejecución de una operación determinada, tales como filtrado, mapeo, reducción, ordenamiento o combinación de datos.

El sistema recibe como entrada un conjunto de archivos con la información a procesar:

- `menu_items.csv`
- `payment_methods.csv`
- `stores.csv`
- Múltiples archivos `transaction_items.csv`
- Múltiples archivos `transactions.csv`
- Múltiples archivos `users.csv`
- `vouchers.csv`

Estos archivos son distribuidos entre los distintos nodos según lo que requiera cada operación. La comunicación entre el nodo coordinador y los nodos de procesamiento se gestiona mediante un *middleware*, el cual se describe en detalle en una sección posterior.

2.1. Operaciones Distribuidas

Las operaciones fundamentales soportadas por el sistema son las siguientes:

1. **Filter:** Permite seleccionar subconjuntos de datos en función de condiciones específicas. Una misma instancia puede aplicar diferentes filtros según el criterio definido en la consulta (por ejemplo, filtrar por fechas, montos o rangos horarios).
2. **Map:** Transforma los datos de entrada generando nuevas columnas o reformatando la información existente. Ejemplo: Agregar un campo con el mes y año a partir de una fecha, o calcular un contador auxiliar.
3. **Reduce:** Agrupa datos por una clave determinada y aplica una función de agregación (como sumas, conteos o acumulaciones). Existen múltiples variantes, dependiendo de qué métrica se busque consolidar.
4. **Join:** Combina registros de diferentes datasets en función de un campo común, permitiendo enriquecer la información (ejemplo: Unir transacciones con usuarios para obtener la fecha de nacimiento del cliente).
5. **SortBy:** Ordena los registros de acuerdo con uno o más criterios, ya sea de manera ascendente o descendente. Es fundamental para identificar los elementos más significativos en cada consulta (por ejemplo, productos más vendidos).

Cada nodo de operación está diseñado para ser genérico y flexible: Puede ejecutar cualquier variante de las funciones mencionadas según el rol específico del nodo, siendo el sistema coordinador quien le envía los datos y la configuración necesaria para que realice la tarea solicitada.

3. Implementación del Usuario

La interacción de los usuarios con el sistema distribuido se realizará mediante un esquema multihilo. Para cada usuario que se conecte, se levantarán dos hilos principales:

- **Hilo de envío:** Encargado de transmitir al sistema distribuido todos los archivos necesarios (`menu_items.csv`, `transactions.csv`, `users.csv`, entre otros). Este hilo asegura que la consulta planteada disponga de la información completa para ser resuelta.
- **Hilo de recepción:** Dedicado a permanecer en escucha, esperando la respuesta correspondiente a las consultas solicitadas. Una vez que los nodos de procesamiento finalizan, este hilo recibe los resultados y los entrega al usuario.

De esta manera se logra una interacción no bloqueante y escalable. La arquitectura está diseñada para soportar múltiples usuarios en simultáneo, escalando el número de hilos proporcionalmente a la cantidad de clientes activos.

4. Mecanismo de Optimización del Uso de Recursos

Cada computadora que participa como nodo de procesamiento en el sistema distribuido estará dedicada a ejecutar una operación determinada (por ejemplo, filtrado o reducción). Con el objetivo de aprovechar al máximo los recursos de hardware, se definirá un número óptimo de procesos por computadora, en función de la cantidad de núcleos disponibles en el CPU.

El mecanismo utilizado será un esquema de *Fork-Join* combinado con el paradigma *Map-Reduce*, lo que permite paralelizar el procesamiento de datos y consolidar los resultados en etapas posteriores.

Es importante destacar que se decidió implementar la paralelización mediante **multiprocesos** y no mediante **multithreading**. La justificación de esta elección radica en que Python presenta limitaciones para tareas de cómputo intensivo debido al *Global Interpreter Lock* (GIL). La librería de **multiprocessing** permite crear procesos independientes que aprovechan mejor las capacidades de CPUs con múltiples núcleos.

5. Uso de Archivos Intermedios

En el diseño del sistema se contempla la generación de archivos intermedios durante el procesamiento de las consultas. Esta decisión se fundamenta en dos aspectos clave:

1. **Gestión de grandes volúmenes de datos:** Al superar la memoria RAM disponible en el sistema distribuido, los archivos en disco permiten fragmentar y procesar los datos de manera incremental, evitando saturaciones de memoria.
2. **Respaldo de información:** Los archivos intermedios actúan como puntos de control que facilitan futuras implementaciones de tolerancia a fallas. En caso de interrupciones, será posible retomar el procesamiento desde un estado parcial previamente almacenado.

El uso de archivos intermedios, si bien introduce un costo adicional de I/O, aumenta la robustez del sistema y habilita mejoras posteriores en términos de recuperación y confiabilidad.

Descripción de ejecución de las consultas

6. Descripción de las Consultas

El sistema debe ser capaz de responder a las siguientes consultas, de acuerdo con la lógica planteada en el enunciado. A continuación, se detalla el paso a paso de cada una de ellas, indicando las tablas necesarias, las columnas relevantes y la secuencia de operaciones distribuidas.

6.1. Consulta 1: Transacciones filtradas

Objetivo: Obtener las transacciones (ID y monto) realizadas durante 2024 y 2025, entre las 06:00 y las 23:00 horas, con un monto total mayor o igual a 75.

- **Tablas requeridas:** `transactions`.
- **Columnas utilizadas:** `transaction_id`, `created_at`, `final_amount`.
- **Pasos:**
 1. Filtrar transacciones entre 2024 y 2025, en el rango horario indicado.
 2. Filtrar transacciones con monto mayor o igual a 75.
 3. Generar el reporte y devolverlo al usuario.

6.2. Consulta 2: Productos más vendidos y más rentables

Objetivo: Identificar, para cada mes de 2024 y 2025, los productos más vendidos (nombre y cantidad) y los productos que más ganancias generaron (nombre y monto).

- **Tablas requeridas:** `transaction_items`, `menu_items`.
- **Columnas utilizadas:**
 - De `transaction_items`: `item_id`, `created_at`, `quantity`, `subtotal`.
 - De `menu_items`: `item_id`, `item_name`.
- **Pasos:**
 1. Filtrar los `transaction_items` de 2024 y 2025.
 2. Generar una nueva columna `year_month` a partir de la fecha.
 3. Para productos más vendidos:
 - a) Calcular contador de cantidad (`item_counter`).
 - b) Reducir por clave `year_month`, `item_id` sumando las cantidades.
 - c) Ordenar por cantidad descendente.
 4. Para productos más rentables:
 - a) Calcular monto acumulado (`total_amount_counter`).
 - b) Reducir por clave `year_month`, `item_id` sumando subtotales.
 - c) Ordenar por monto descendente.
 5. Unir con `menu_items` para obtener nombres de los productos.
 6. Generar el reporte y devolverlo al usuario.

6.3. Consulta 3: TPV por semestre y sucursal

Objetivo: Calcular el *Total Payment Value* (TPV) por cada semestre de 2024 y 2025, para cada sucursal, considerando únicamente transacciones realizadas entre 06:00 y 23:00.

■ **Tablas requeridas:** `transactions`.

■ **Columnas utilizadas:** `store_id`, `created_at`, `final_amount`.

■ **Pasos:**

1. Filtrar transacciones entre 2024 y 2025, dentro del rango horario.
2. Generar nueva columna `year_semester` a partir de la fecha.
3. Reducir por clave `year_semester`, `store_id` sumando los montos finales.
4. Generar el reporte y devolverlo al usuario.

6.4. Consulta 4: Clientes más frecuentes y cumpleaños

Objetivo: Obtener la fecha de cumpleaños de los tres clientes con mayor número de compras durante 2024 y 2025, discriminado por sucursal.

■ **Tablas requeridas:** `transactions`, `users`.

■ **Columnas utilizadas:**

- De `transactions`: `user_id`, `store_id`, `created_at`.
- De `users`: `user_id`, `birthdate`.

■ **Pasos:**

1. Filtrar transacciones de 2024 y 2025.
2. Generar clave combinada `store_user` con `store_id` y `user_id`.
3. Calcular contador de compras (`buys_counter`).
4. Reducir por clave `store_user` sumando los contadores.
5. Ordenar en forma descendente por número de compras.
6. Seleccionar los tres usuarios con más compras por sucursal.
7. Unir con `users` para obtener las fechas de nacimiento.
8. Generar el reporte y devolverlo al usuario.

Vistas 4+1

7. Vista de Escenarios

7.1. Casos de uso

Para modelar la interacción principal entre los actores y el sistema, se presenta un diagrama de casos de uso. Este diagrama identifica al actor principal/client, denominado “Cafetería”, y las cuatro funcionalidades clave que el sistema debe proveer, correspondiendo directamente a las consultas de negocio definidas en los requerimientos.

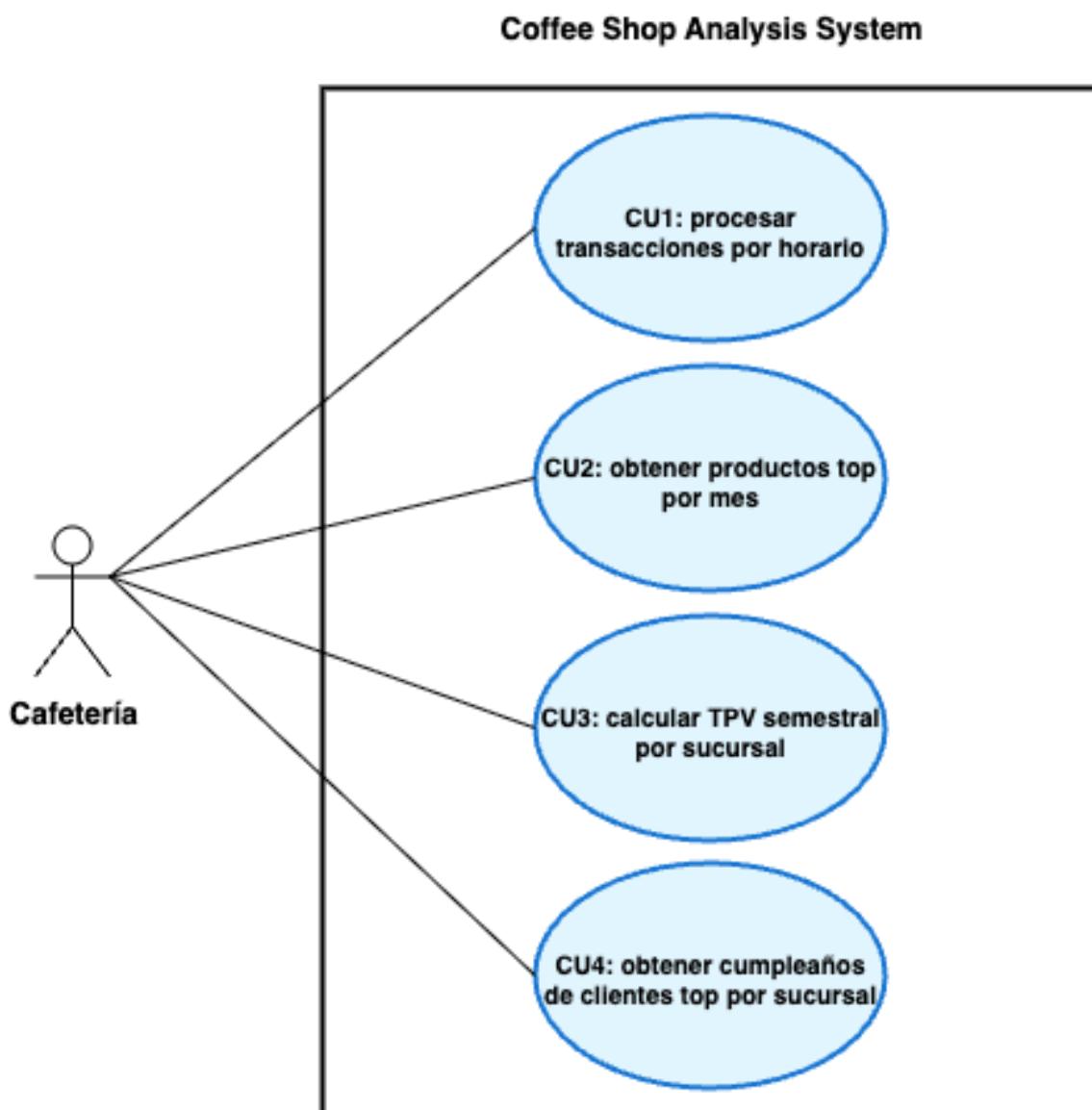


Figura 1: Casos de Uso

8. Vista de Procesos

8.1. Diagramas de Actividades

Los diagramas de actividad describen el flujo de trabajo lógico para cada una de las consultas funcionales. A continuación, se presenta un diagrama para cada consulta, detallando la secuencia de acciones y las decisiones desde el inicio de la solicitud hasta la presentación de los resultados finales.

8.1.1. Diagrama de Actividades de la primera consulta

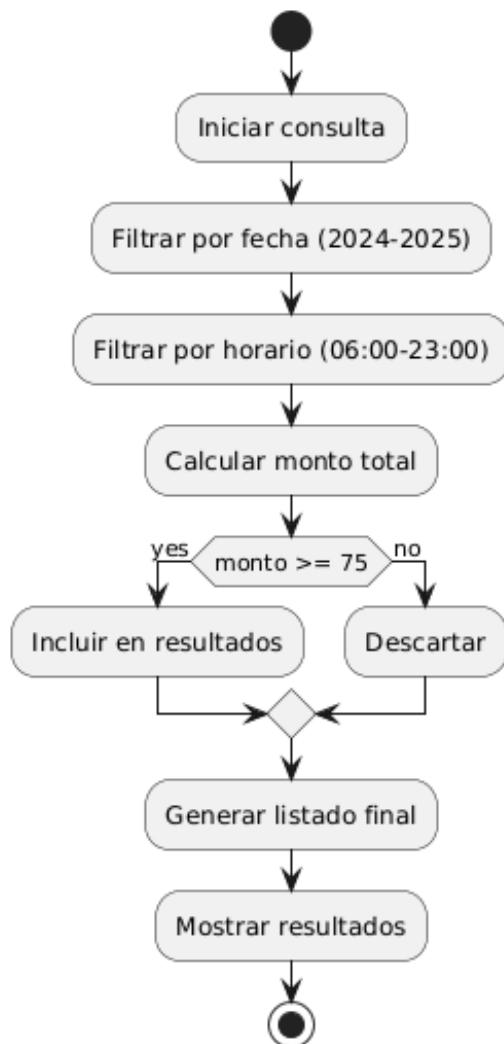


Figura 2: Actividad de la primera consulta

8.1.2. Diagrama de Actividades de la segunda consulta

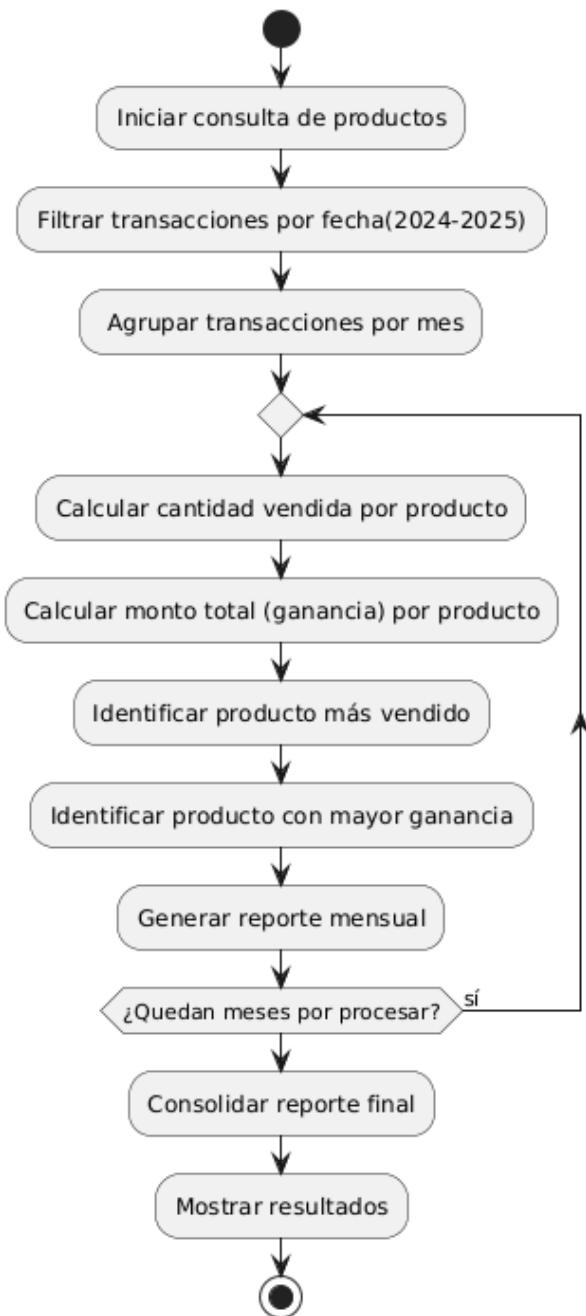


Figura 3: Actividad de la segunda consulta

8.1.3. Diagrama de Actividades de la tercera consulta

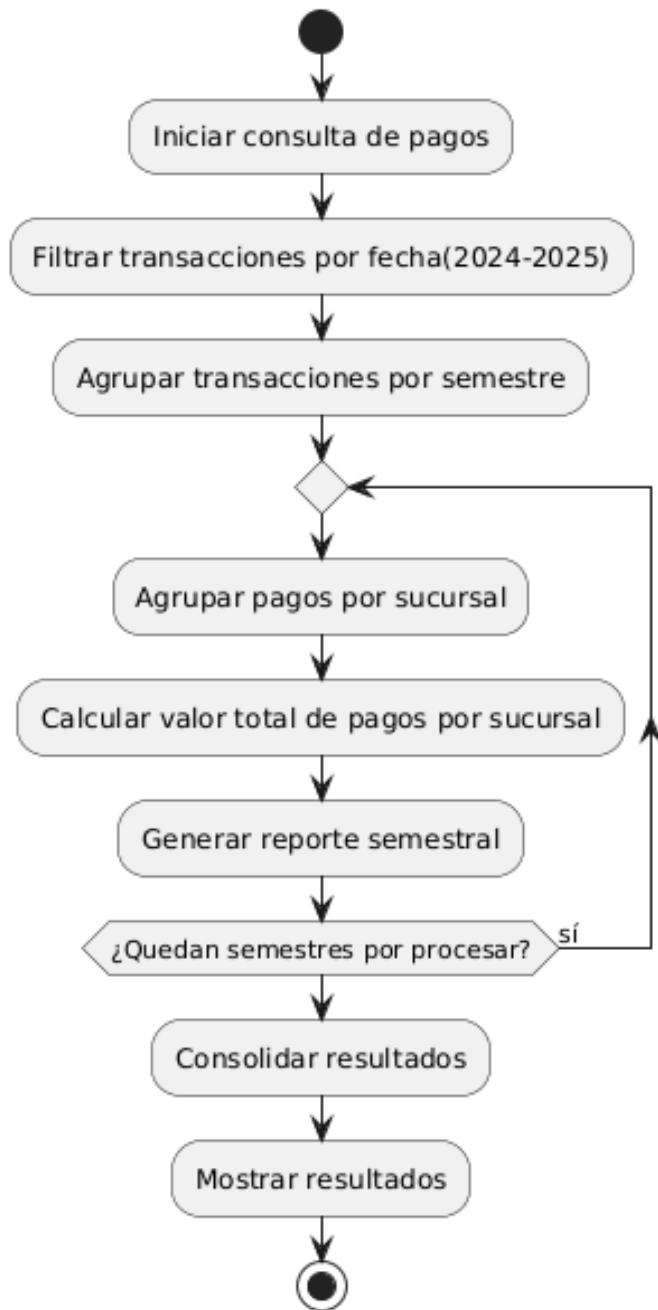


Figura 4: Actividad de la tercera consulta

8.1.4. Diagrama de Actividades de la cuarta consulta

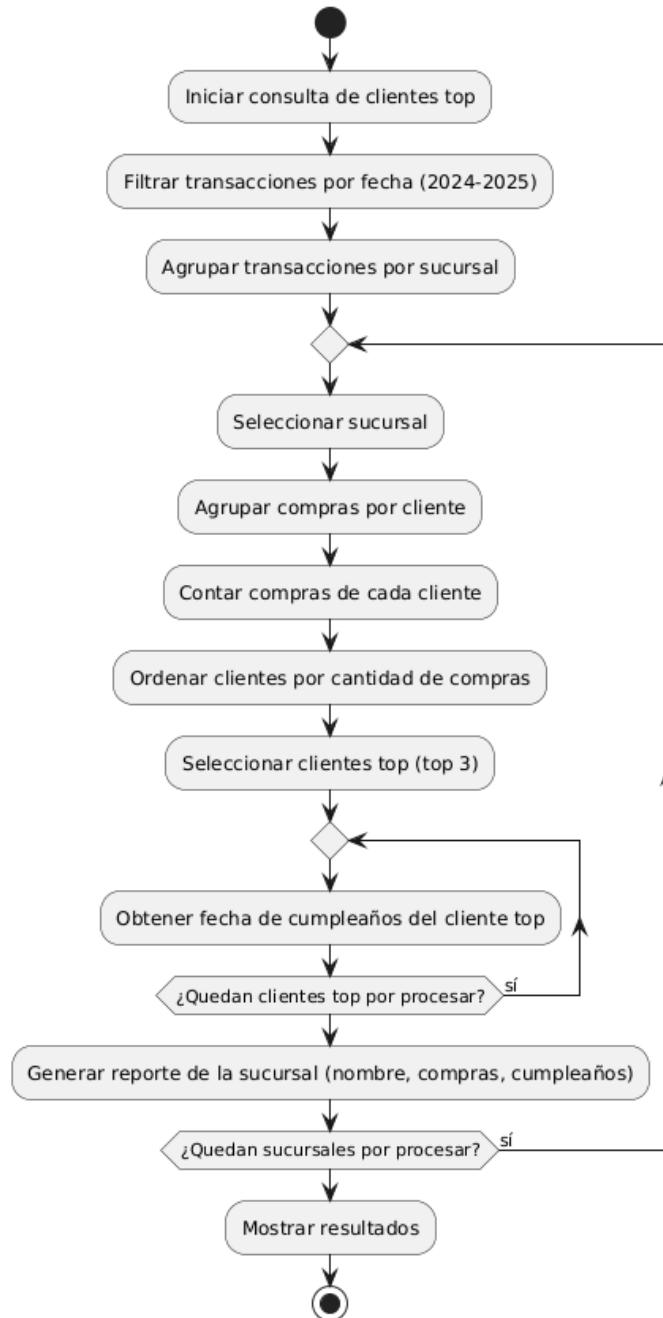


Figura 5: Actividad de la cuarta consulta

8.2. Diagramas de Secuencia

Para ilustrar la interacción temporal y el intercambio de mensajes entre los distintos componentes del sistema, se utilizan los diagramas de secuencia. Cada diagrama modela la ejecución de una consulta, mostrando cómo el Client Process envía lotes de datos al Server, el cual coordina las operaciones distribuidas entre los nodos especializados como Filter, GroupBy y ReduceBy hasta obtener y devolver el reporte final.

8.2.1. Diagrama de Secuencia de la primera consulta

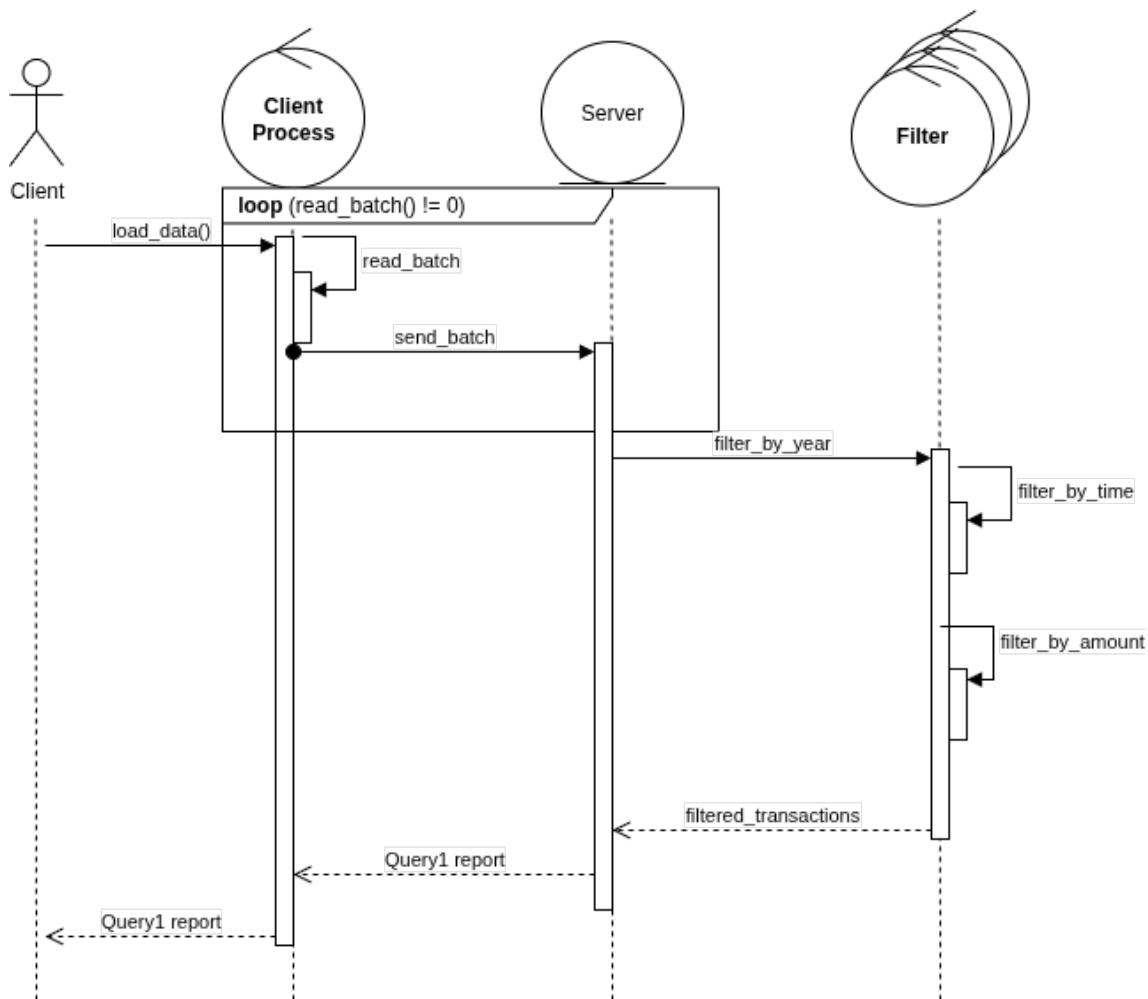


Figura 6: Secuencia de la primera consulta

8.2.2. Diagrama de Secuencia de la segunda consulta

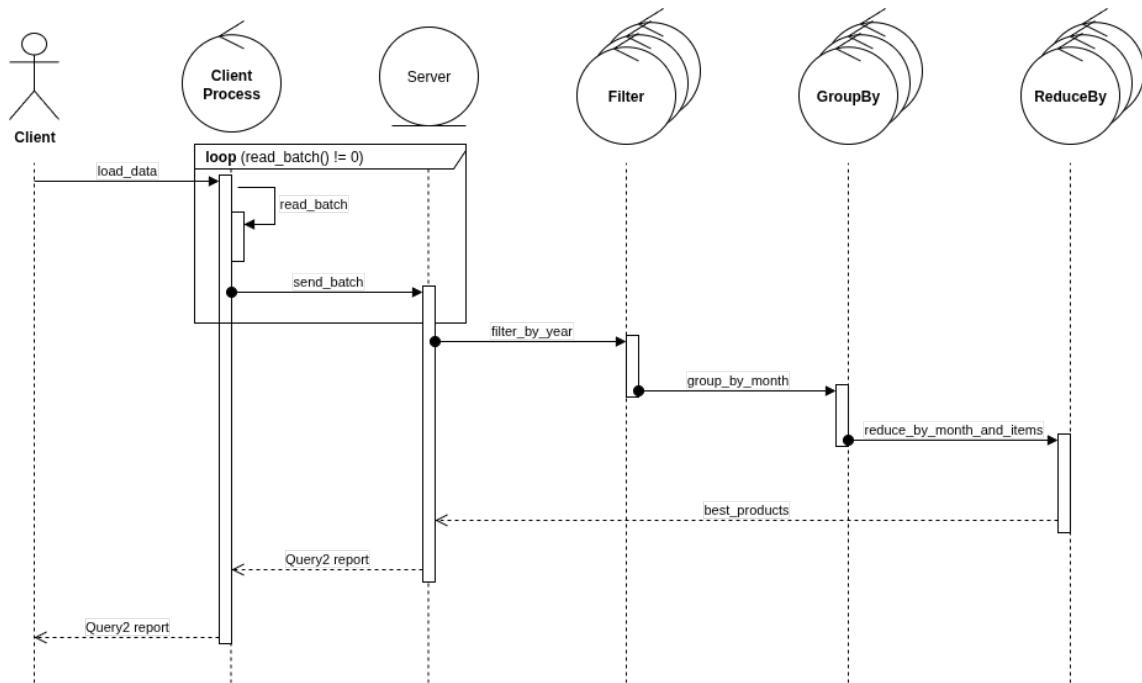


Figura 7: Secuencia de la segunda consulta

8.2.3. Diagrama de Secuencia de la tercera consulta

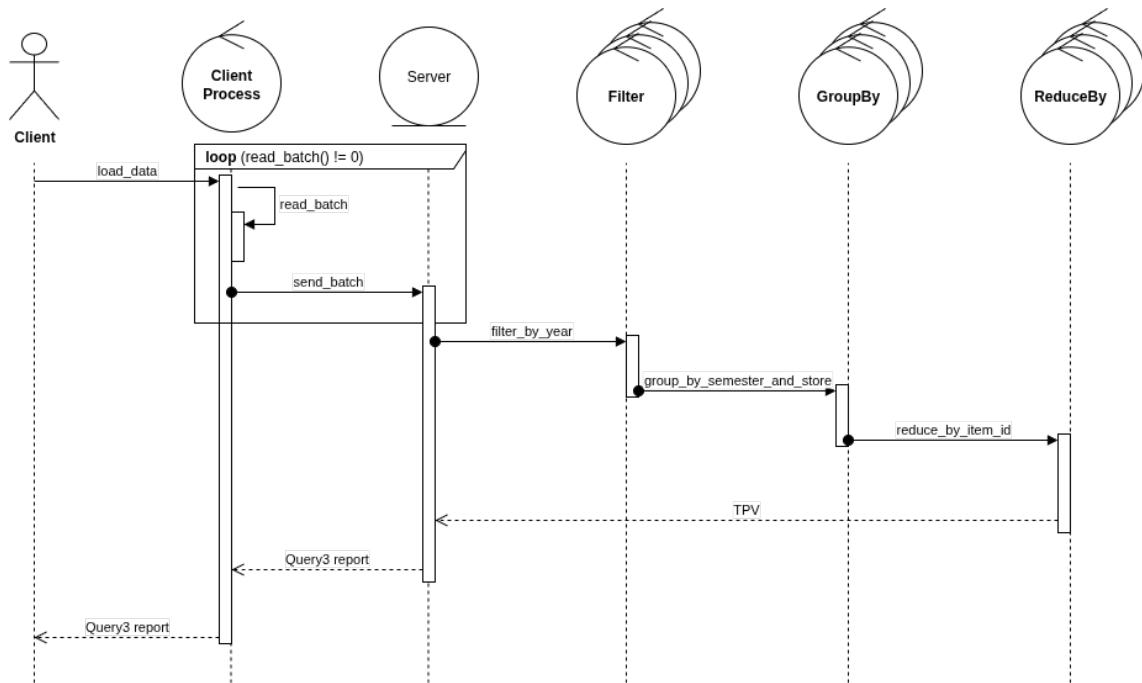


Figura 8: Secuencia de la tercera consulta

8.2.4. Diagrama de Secuencia de la cuarta consulta

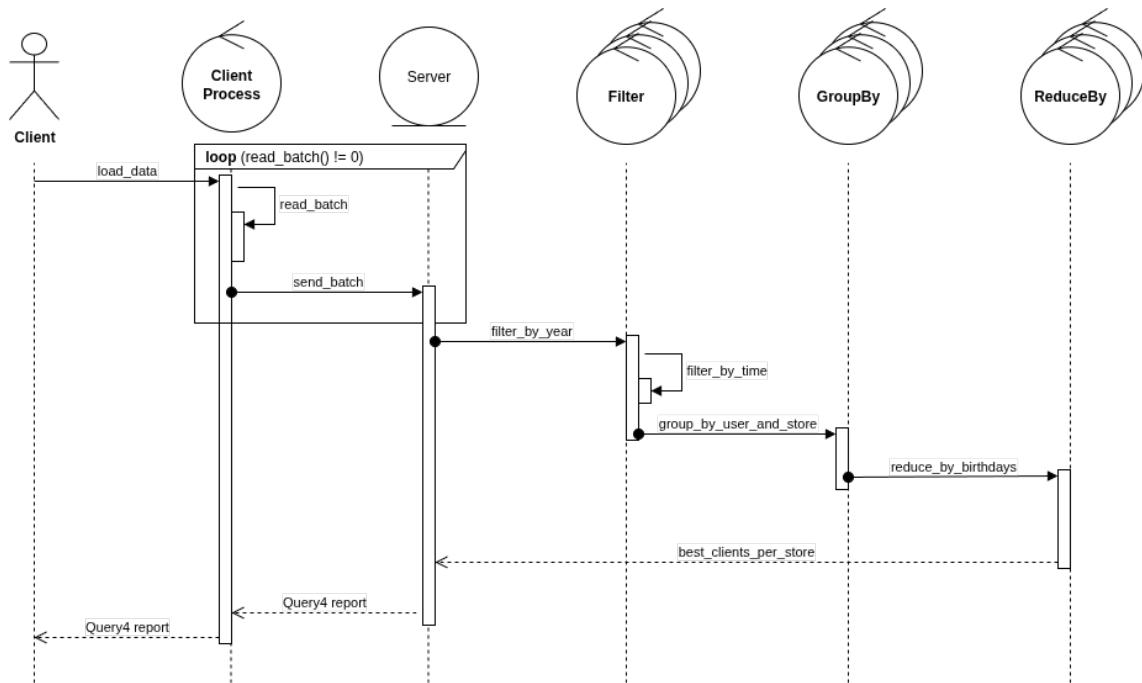


Figura 9: Secuencia de la cuarta consulta

9. Vista Física

9.1. Diagrama de Robustez

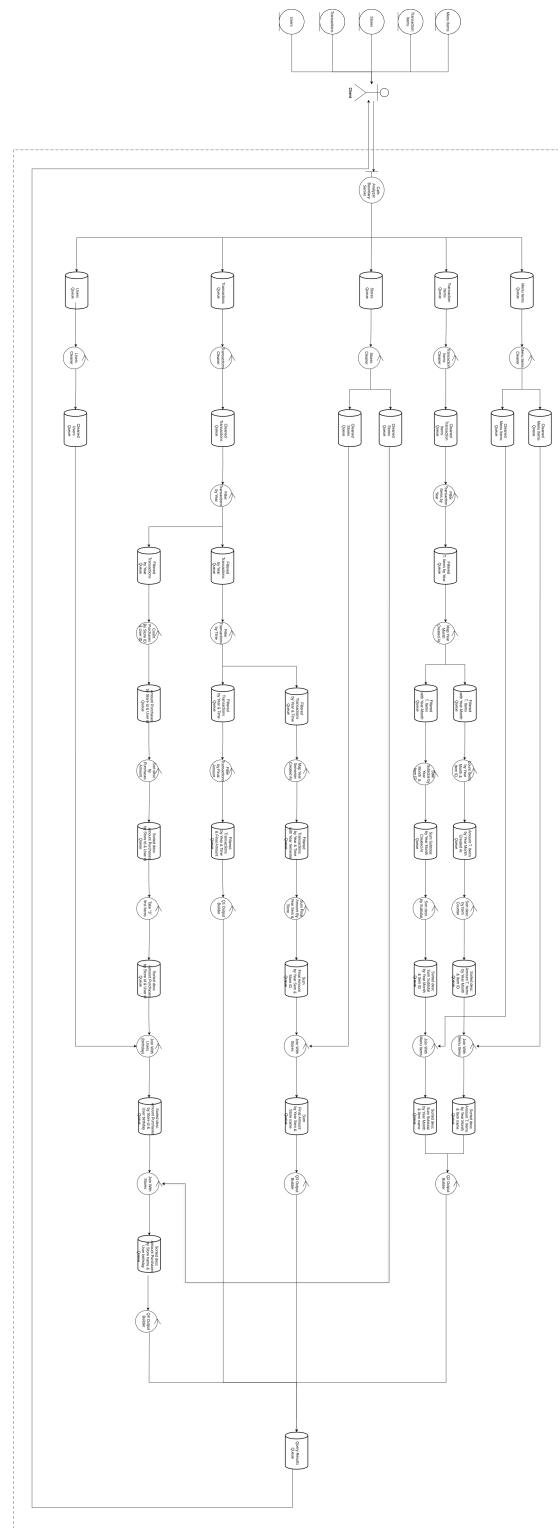


Figura 10: Diagrama de Robustez

9.2. Diagrama de Despliegue

Dentro de la vista física realizamos el diagrama de despliegue, el cual ilustra la topología del sistema distribuido en términos de sus nodos computacionales. El diagrama muestra los distintos grupos de nodos especializados (Data Cleaners, Filters, Maps, Joins, etc.) y cómo se interconectan a través de un componente central: el MOM Broker. Esta arquitectura facilita la comunicación asincrónica y el desacoplamiento entre los procesos.

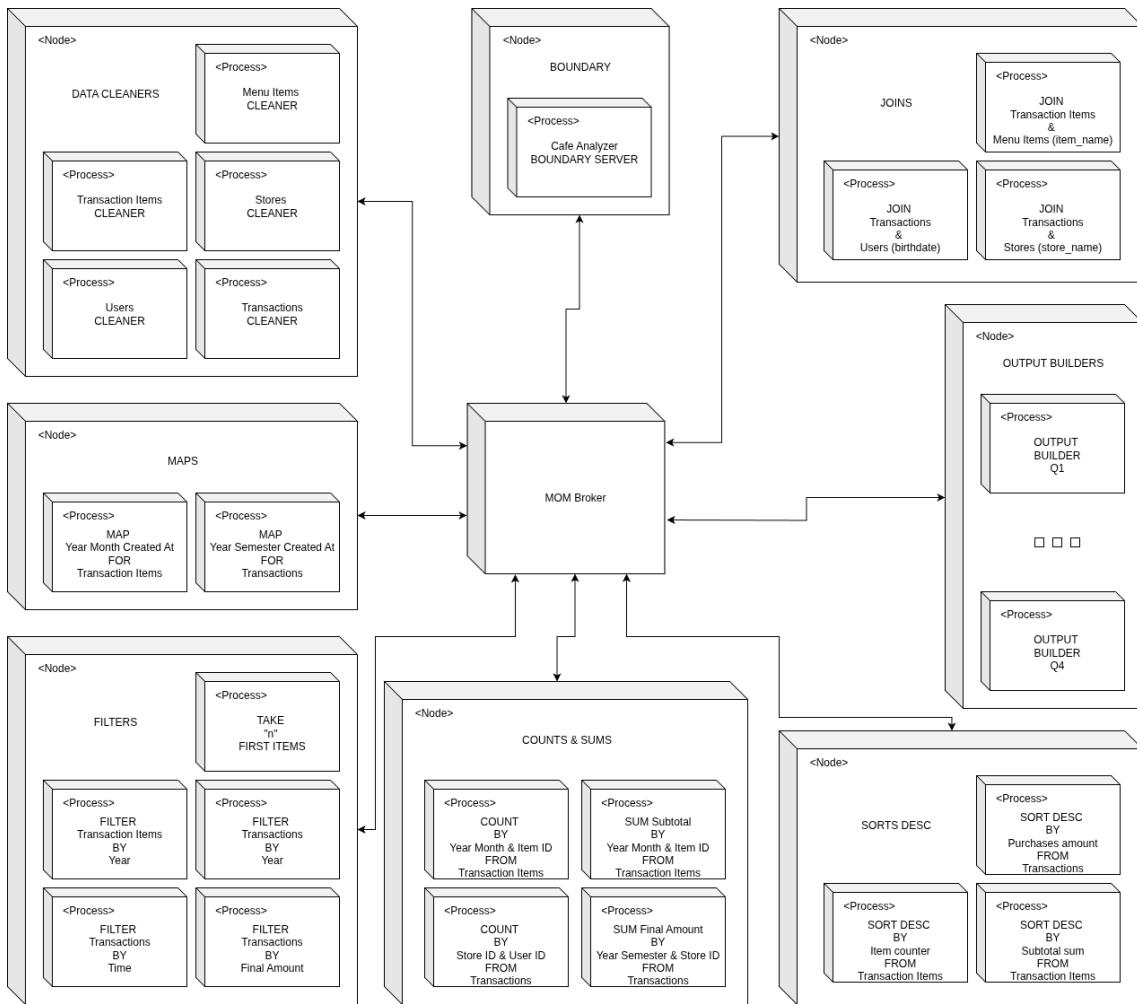


Figura 11: Diagrama de Despliegue

10. Vista de Desarrollo

10.1. Diagrama de Paquetes

La vista de desarrollo organiza el sistema en un conjunto de paquetes lógicos para promover una alta cohesión y un bajo acoplamiento. El diagrama muestra los componentes clave: el paquete `shared` contiene la lógica de comunicación común, como el `MQConnectionHandler`; el paquete `controllers` agrupa las distintas operaciones distribuidas (filtros, mapeos, etc.); y los paquetes `client` y `server` definen los puntos de entrada de la aplicación.

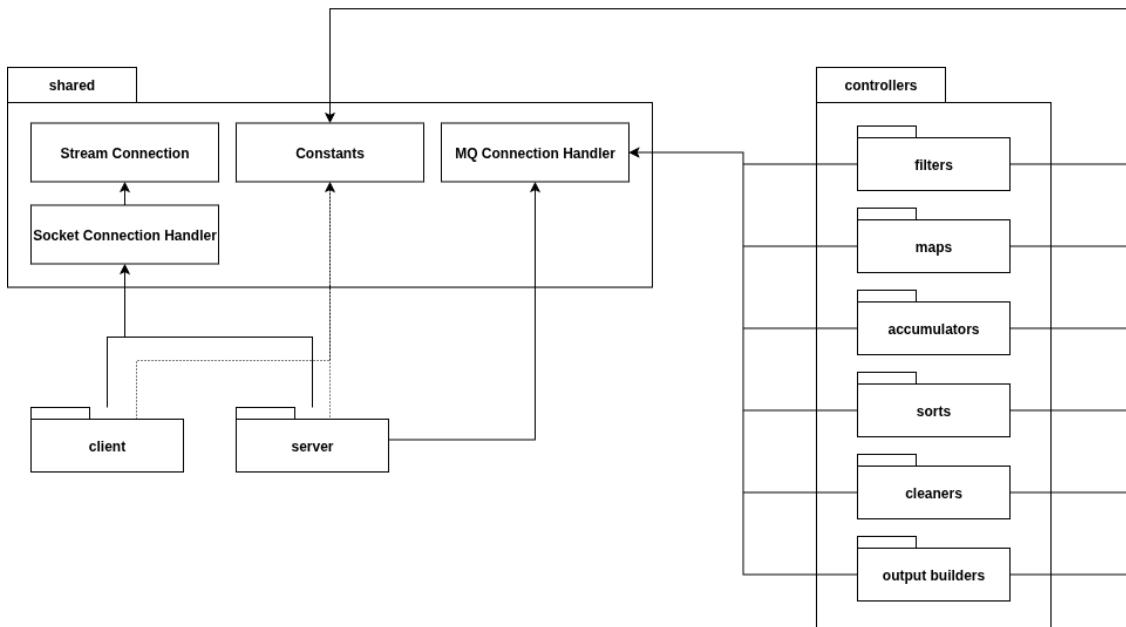


Figura 12: Vista de Desarrollo - Diagrama de Paquetes

11. Vista Lógica

11.1. Diagrama de Clases

La vista lógica detalla la estructura estática del sistema a través de diagramas de clases. El diseño se basa en la herencia y la abstracción para maximizar la reutilización de código. Como se observa en los siguientes diagramas, se define una clase base abstracta Controller de la cual heredan las distintas operaciones especializadas (Filter, Count, Sum, etc.), permitiendo que el sistema maneje diferentes tipos de tareas de manera uniforme y extensible.

11.1.1. Diagrama de Clases - DataCleaner

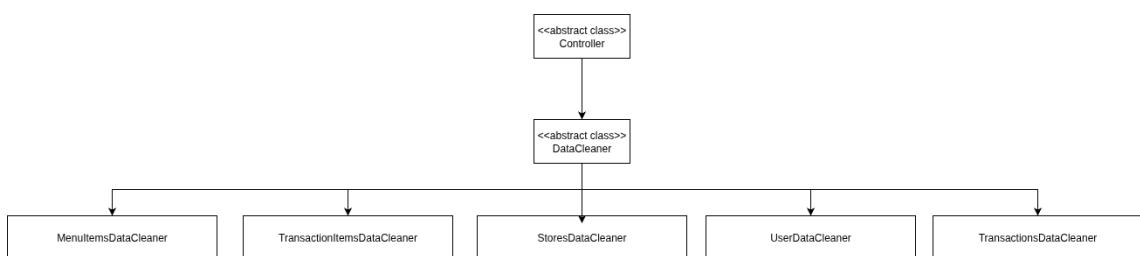


Figura 13: Clase DataCleaner

11.1.2. Diagrama de Clases - Filter

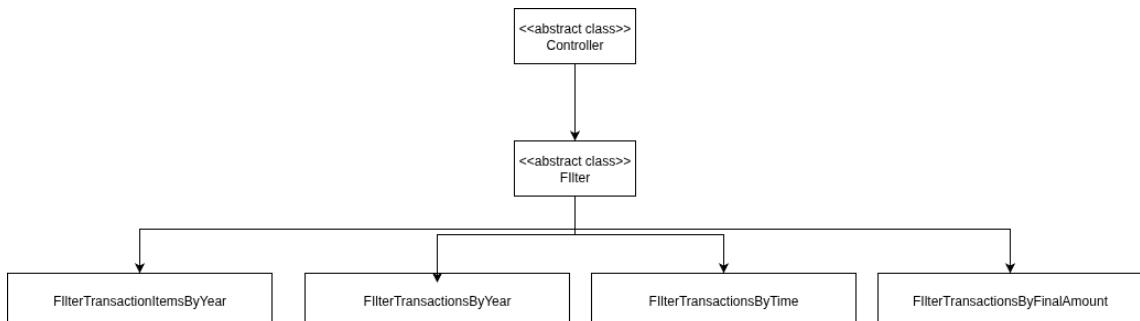


Figura 14: Clase Filter

11.1.3. Diagrama de Clases - Count y Sum

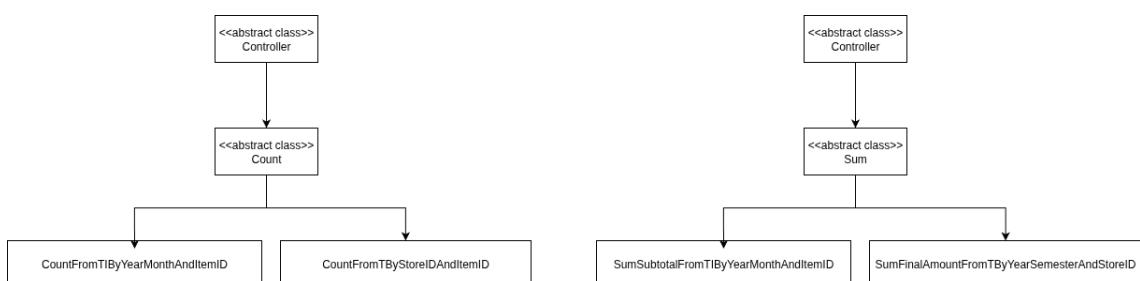


Figura 15: Clases Count y Sum

11.1.4. Diagrama de Clases - SortDesc

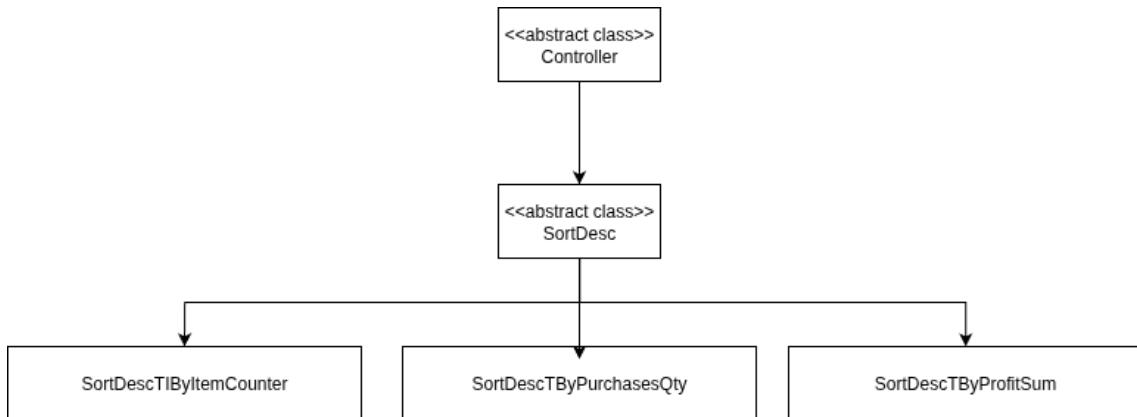


Figura 16: Clase SortDesc

11.1.5. Diagrama de Clases - Join

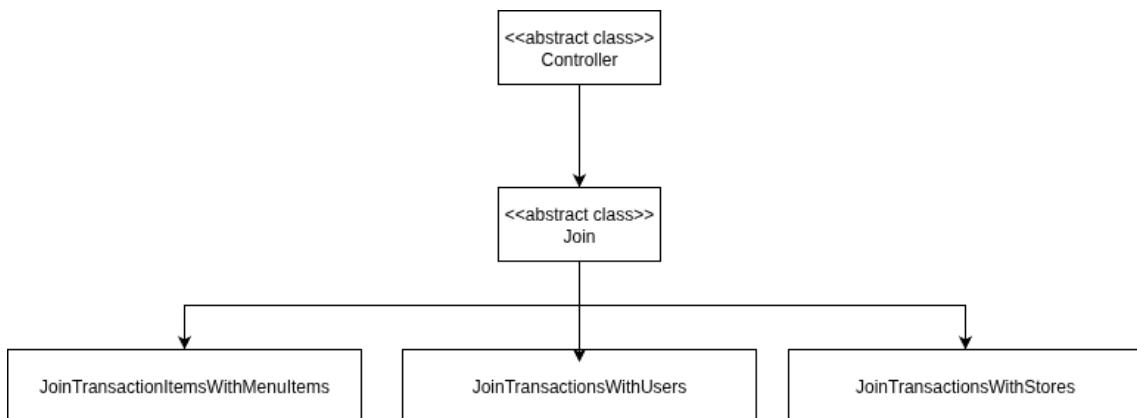


Figura 17: Clase Join

11.1.6. Diagrama de Clases - OutputBuilder

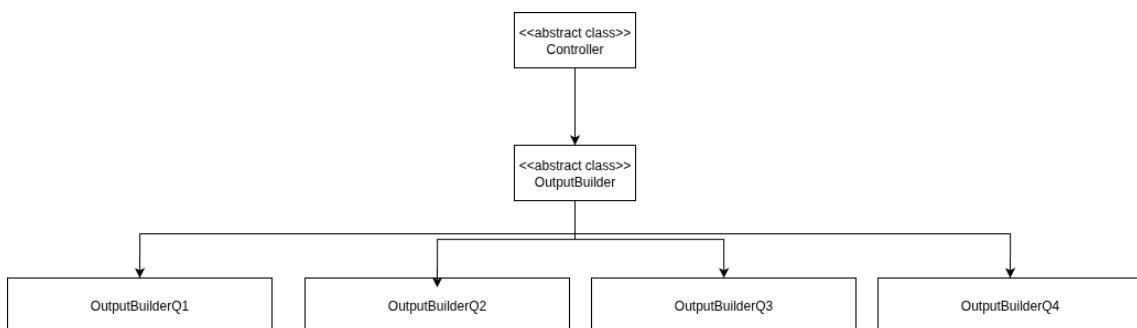


Figura 18: Clase OutputBuilder

Diagrams

12. Diagrama de Grafo Acíclico Dirigido (DAG)

El flujo de procesamiento completo para resolver las consultas se modela como un Grafo Acíclico Dirigido (DAG). Este diagrama visualiza las dependencias entre las distintas operaciones distribuidas. Cada nodo en el grafo representa una tarea (ej. Clean, Filter by Year, Count Items), y las aristas indican el flujo de datos desde una etapa hacia la siguiente, mostrando cómo se combinan las distintas fuentes de datos para producir los resultados finales (Q1, Q2, Q3, Q4).

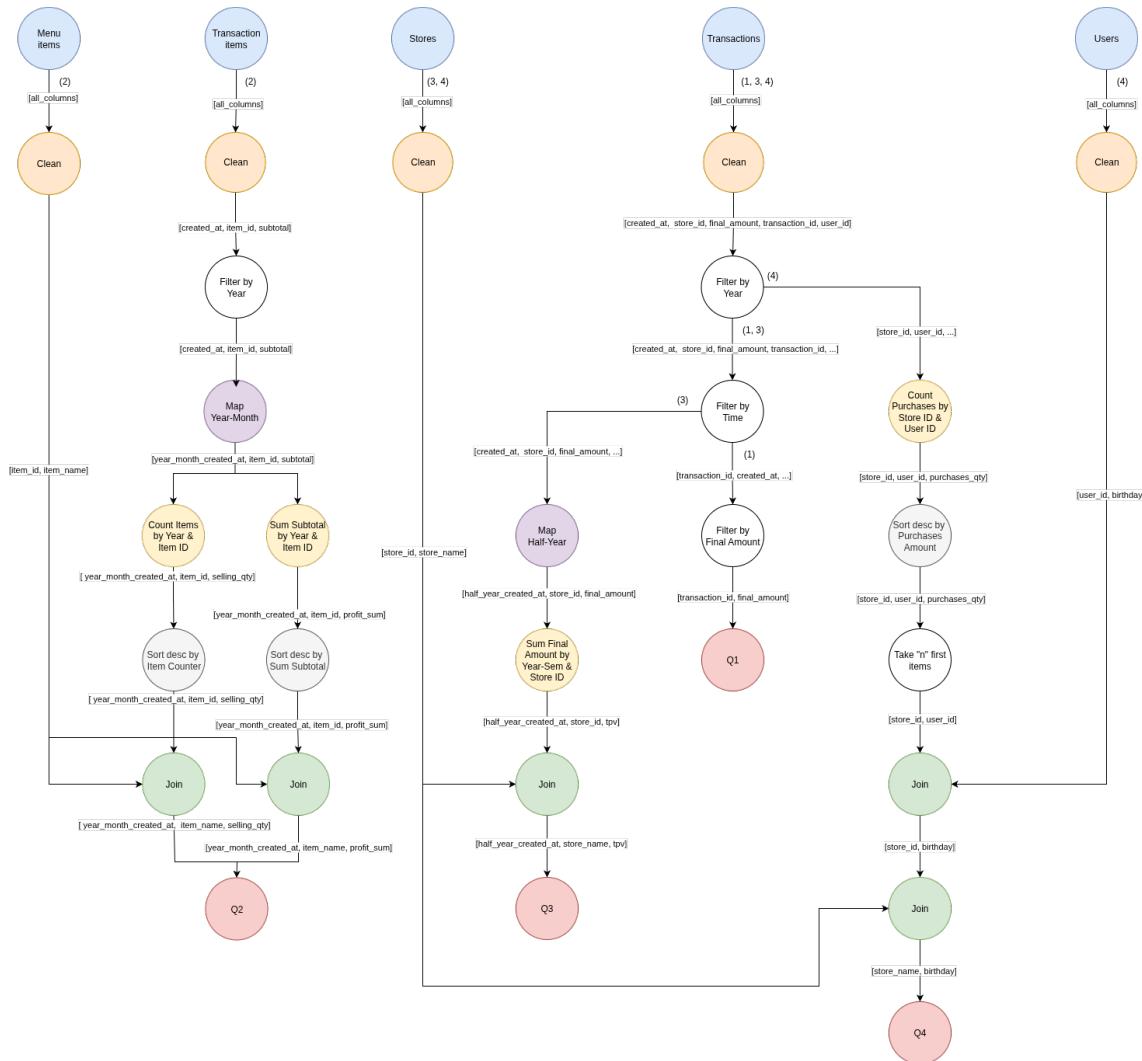


Figura 19: Diagrama de Grafo Acíclico Dirigido (DAG)

Middleware y Protocolos

13. Middleware

El middleware interno que se utiliza, constituye el pilar de la comunicación del sistema “Coffee Shop Analysis”, diseñado para orquestar la interacción entre el server y los múltiples nodos de procesamiento. Su arquitectura se basa en un modelo de Middleware Orientado a Mensajes (MOM), implementado con un bróker central (como por ej. RabbitMQ), tal como se visualiza en el Diagrama de Despliegue.

La función principal de este middleware es abstraer la complejidad de la comunicación en red, permitiendo que los nodos interactúen de forma desacoplada y asincrónica. En lugar de conexiones directas punto a punto, los nodos se comunican a través de colas y tópicos que se definirán en etapas posteriores.

La implementación de la lógica de conexión se centraliza en el componente ‘MQConnectionHandler’ del paquete ‘shared’, asegurando un manejo consistente de las comunicaciones.

Sobre esta capa de mensajería, operará un protocolo de aplicación personalizado que definirá la estructura de los mensajes para el envío de datasets, la transmisión de resultados y el manejo de errores. Este diseño no solo cumple con el requisito de abstraer la comunicación mediante grupos, sino que también le agrega al sistema, escalabilidad y flexibilidad, permitiendo añadir o remover nodos de procesamiento dinámicamente sin alterar la lógica central.

14. Mensajes y Protocolos

14.1. Protocolo

Para la implementación del sistema distribuido se desarrollará un protocolo de comunicación específico, adaptado a las necesidades del presente trabajo. Este protocolo definirá las reglas de interacción entre el nodo coordinador, los nodos de procesamiento y los clientes del sistema.

Si bien en esta instancia no se describen en detalle sus especificaciones, en futuras versiones del documento se incluirá una definición exhaustiva que abarcará la estructura de los mensajes, las secuencias de intercambio y las condiciones de sincronización entre los distintos componentes.

14.2. Mensajes

Como parte del protocolo, se establecerá un conjunto de mensajes bien definidos, orientados a cubrir las operaciones básicas del sistema: envío de datasets, distribución de tareas, transmisión de resultados y manejo de errores.

En esta versión del documento se deja asentado únicamente el alcance general. La descripción detallada de los tipos de mensajes, su formato, los encabezados y las posibles extensiones se incorporará en una próxima iteración de diseño.

Mecanismos de control

15. Mecanismos de Control

15.1. Mecanismos de Control de Sincronización

En el diseño del sistema distribuido se prevé la incorporación de mecanismos de control de sincronización, con el objetivo de evitar problemas asociados a la concurrencia, tales como *race conditions* o *deadlocks*. Estos mecanismos garantizarán un acceso ordenado a los recursos compartidos y la correcta coordinación entre los procesos en ejecución.

En futuras versiones del documento se detallarán las técnicas específicas adoptadas, así como las estrategias de coordinación entre procesos y nodos distribuidos.

15.2. Mecanismos de Control de Señales

El sistema incorporará un manejo explícito de señales a fin de asegurar una finalización correcta y segura de los procesos. En particular, se controlará la señal **SIGTERM**, permitiendo un *graceful quit* que libere recursos, cierre archivos abiertos y mantenga la consistencia del sistema.

La descripción detallada de las rutinas de manejo de señales y los escenarios contemplados se incluirán en próximas iteraciones del documento.

15.3. Mecanismos de Control de Fallas

Se contemplará el desarrollo de mecanismos de control de fallas para aumentar la robustez y confiabilidad del sistema. Estos mecanismos estarán orientados a gestionar situaciones adversas como caídas de procesos, pérdida de nodos de cómputo o interrupciones inesperadas durante la ejecución.

El objetivo es garantizar, en la medida de lo posible, la continuidad del procesamiento y la recuperación parcial de información. En futuras versiones del documento se describirán las estrategias de detección, mitigación y recuperación ante fallas.

Planificación del desarrollo

16. Cronograma teórico del desarrollo

16.1. Diseño

Previo al inicio del desarrollo efectivo del diseño, el equipo realizó una instancia de planificación para organizar la distribución de responsabilidades. El objetivo fue asegurar que cada integrante asumiera un conjunto de tareas equilibrado, alineado tanto con sus fortalezas como con las necesidades del proyecto.

La planificación se estructuró en función de las vistas arquitectónicas requeridas, los diagramas de modelado, la documentación conceptual y las definiciones de base.

A continuación, se detalla la distribución inicial de las tareas:

Integrante 1

- Vista Lógica.
- Vista de Desarrollo.
- Vista Física.
- Vista de Procesos.
- Diseño inicial/conceptual del Middleware.

Integrante 2

- Escenarios de uso (Casos de Uso).
- Diagrama de Secuencia.
- Diagrama de Actividades.
- Diagrama de Robustez.
- DAG (Directed Acyclic Graph).
- Diagrama de Paquetes.

Integrante 3

- Redacción de las definiciones iniciales.
- Creación de los cronogramas.
- Descripción detallada de la ejecución de las consultas.
- Explicaciones introductorias de los mecanismos de control y protocolos.

Una vez que se interpretó de forma correcta el enunciado y todos expresaron sus preferencias a la hora del desarrollo de las tareas, se hizo la asignación respectiva de roles a cada integrante del equipo.

16.2. Escalabilidad

El desarrollo de esta entrega cuenta con un tiempo estimado de 2.5 semanas. Durante la primera semana se realizará un análisis detallado de los criterios de escalabilidad, los requisitos técnicos y el alcance de la entrega, así como la planificación y distribución de tareas entre los integrantes del equipo.

En las semanas posteriores se definirán y ejecutarán las labores específicas de cada integrante, las cuales se documentarán en versiones futuras de este informe. La presente sección cumple únicamente la función de establecer la planificación inicial.

16.3. Multi-Client

El desarrollo de esta entrega cuenta con un tiempo estimado de 2 semanas. La primera semana estará destinada al análisis de los criterios, requisitos y alcance de la funcionalidad de múltiples clientes, junto con la planificación y asignación de tareas a cada integrante del equipo.

En la semana restante se abordará la ejecución de las labores planificadas, que se detallarán en próximas versiones de este documento. En esta instancia se deja asentada únicamente la planificación teórica.

16.4. Tolerancia

El desarrollo de esta entrega cuenta con un tiempo estimado de 3.5 semanas. La primera semana se dedicará al análisis de criterios, requisitos de tolerancia a fallos y alcance de la entrega, además de la planificación y distribución de responsabilidades entre los integrantes.

Las semanas siguientes estarán orientadas a la implementación progresiva de los mecanismos planificados. Las labores específicas por integrante se incluirán en futuras actualizaciones de este documento.

16.5. Paper

El desarrollo de esta entrega cuenta con un tiempo estimado de 1.5 semanas. Durante la primera semana se llevará a cabo el análisis de criterios, requisitos de formato y alcance de la entrega, así como la planificación y reparto de tareas.

El tiempo restante será utilizado para la redacción y consolidación del documento final, cuyos detalles se incorporarán en versiones posteriores de este informe. La presente sección constituye únicamente la documentación inicial de la planificación.

17. Cronograma real del desarrollo

17.1. Diseño

El desarrollo del diseño se llevó a cabo en un período de dos semanas, conformando un equipo de tres integrantes.

Durante la **primera semana**, el grupo se enfocó en interpretar en profundidad los requisitos planteados en el enunciado, analizar la lógica de las consultas y definir el diseño conceptual del sistema. Asimismo, en esta etapa se realizó la repartición de tareas entre los integrantes, de manera de optimizar el tiempo de ejecución restante.

En la **segunda semana**, cada integrante se abocó a las actividades asignadas, según el siguiente detalle:

Luciano

- Vista Lógica.
- Vista de Desarrollo.
- Vista Física.
- Vista de Procesos.
- Diseño inicial/conceptual del Middleware.
- Diagrama de Paquetes.

Axel

- Escenarios de uso (Casos de Uso).
- Diagrama de Secuencia.
- Diagrama de Actividades.
- Diagrama de Robustez.
- DAG (Directed Acyclic Graph).

Felipe

- Redacción de las definiciones iniciales.
- Creación de los cronogramas.
- Descripción detallada de la ejecución de las consultas.
- Explicaciones introductorias de los mecanismos de control y protocolos.