



PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
DEPARTAMENTO INGENIERIA DE SISTEMAS  
Proyecto Introducción a Sistemas Distribuidos  
Período Académico 2025-30

## Sistema Distribuido de Préstamo de Libros

40%

### Objetivos

- Desarrollar una solución a un problema de estructura distribuida.
- Utilizar patrones de comunicación síncronos y asíncronos.
- Resolver problemas que se presentan en sistemas distribuidos, tales como fallas en los componentes y persistencia de datos.
- Reconocer atributos de calidad (ej. desempeño, resiliencia) asociados a la implementación de un sistema distribuido

### Descripción del Sistema a Desarrollar

El objetivo del proyecto es **desarrollar un sistema de préstamo de libros** para estudiantes y profesores de la Universidad Ada Lovelace. Este sistema funcionará en al menos dos sedes de la Biblioteca de dicha Universidad. La arquitectura general del sistema se muestra en la figura 1:

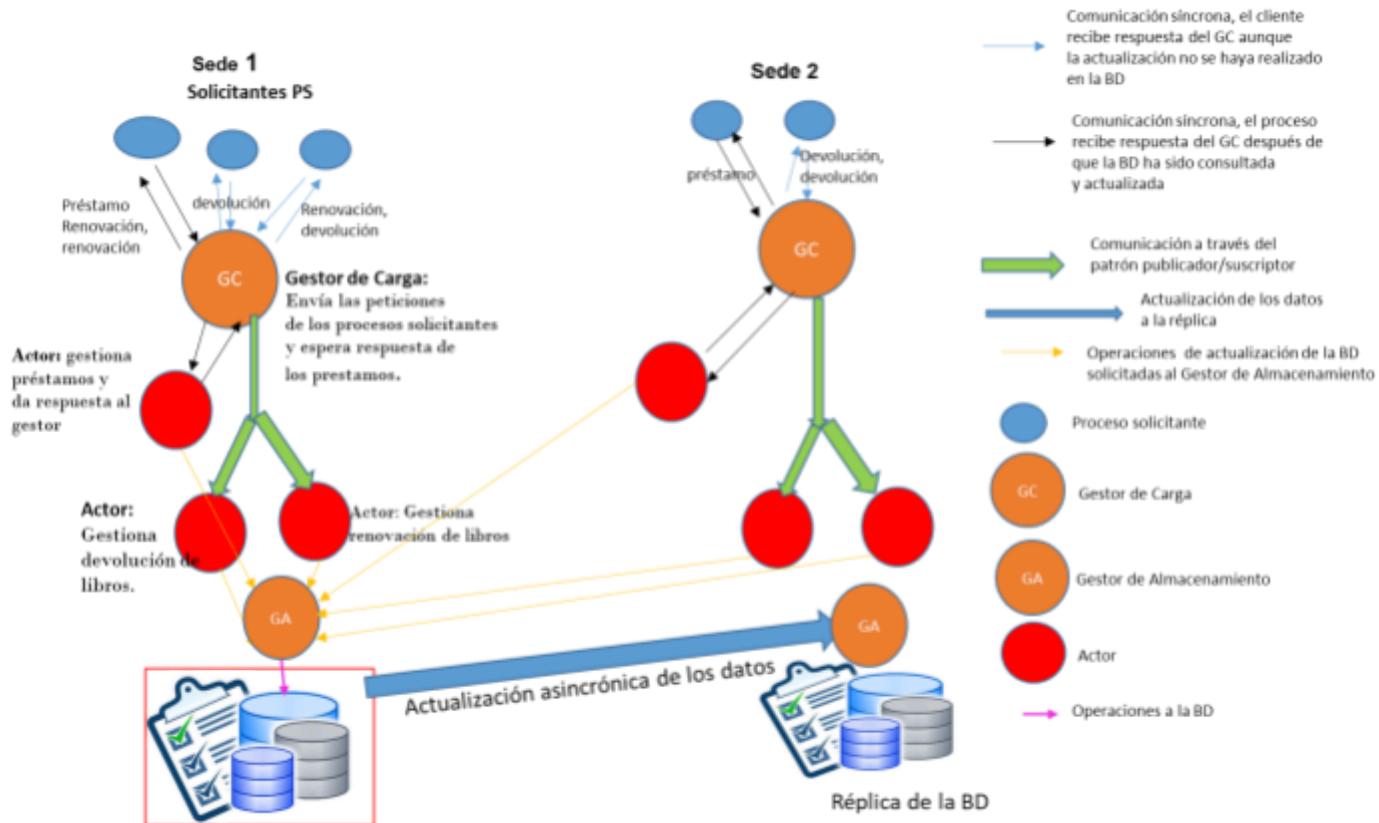


Figura 1: Componentes del Sistema. Nota: la figura muestra ejemplos de los tres tipos de operaciones. En el sistema de la derecha se pueden realizar todas las operaciones disponibles.

Los componentes del sistema se describen a continuación:

**Procesos Solicitantes (PS):** son los procesos que invocarán los usuarios de la biblioteca cuando requieran algún servicio. Las operaciones o servicios ofrecidos por estos procesos son:

1. **Devolver un libro:** permite a un usuario devolver un determinado libro.
2. **Renovar un libro:** permite a un usuario renovar, por una semana adicional, un libro que ya posee. Solo se permitirán dos renovaciones por cada libro.
3. **Solicitar prestado un libro:** por medio de esta operación se solicita el préstamo de un determinado libro. El préstamo se puede solicitar por un periodo máximo de 2 semanas.

La idea es que los **PS** generen requerimientos de estos tres tipos, provenientes de un archivo de texto previamente configurado, de manera que se lean las peticiones de forma automática. Cada archivo, utilizado por cada proceso PS, debe tener no menos de 20 requerimientos de los tres tipos. Los procesos PS deben recibir como argumento de entrada el nombre del archivo. Se supone que todos los requerimientos son válidos sintácticamente. Alternativamente, los PS pueden usar un generador de Carga como JMETER (<https://jmeter.apache.org/>) o Locust (<https://locust.io/>) para generar los requerimientos hacia el Gestor de Carga.

**Gestor de Carga:** este proceso recibe las peticiones de los PS y, dependiendo del tipo de solicitud, realiza las siguientes acciones:

1. *Devolver un libro:* en este caso, el **Gestor** acepta de forma inmediata la operación y le devuelve al PS una respuesta positiva indicando que la biblioteca está recibiendo el libro. Una vez que le ha respondido al cliente de tipo PS, el Gestor **publica** un requerimiento de registro de operación (**en este caso el tópico publicado es Devolución**) que será atendido por uno de los procesos Actores, tal y como se muestra en la Figura 1. El requerimiento debe llevar la información del libro devuelto. Existirá al menos un proceso de tipo Actor que se suscribirá al tópico **Devolución**. Cuando el Actor tome el requerimiento realizará la actualización en la BD a través del Gestor de Acceso.
2. *Renovar un libro:* al igual que en el caso anterior, el **Gestor** acepta de forma inmediata la operación y le devuelve al PS una respuesta positiva indicando la nueva fecha de entrega (1 semana a partir de la fecha actual). Una vez que le ha respondido al cliente de tipo PS, el Gestor publica un tópico **Renovación** con los datos correspondientes al libro. El mensaje asociado al tópico debe llevar la fecha actual y la nueva fecha de entrega del libro. Un libro puede renovarse hasta dos veces. Uno de los procesos Actores se suscribirá a este tópico y cuando reciba mensajes de este tipo, realizará la actualización correspondiente en la BD.
3. *Solicitar prestado un libro:* en este caso el Proceso Solicitante (PS) hará el requerimiento de un libro y esperará a que el Gestor le dé respuesta sobre el préstamo. El Gestor le asigna el trabajo a un proceso Actor que debe validar en la BD la existencia de ejemplares del libro; una vez que compruebe la disponibilidad, dará respuesta positiva o negativa al Gestor para que éste pueda responder al PS. Los estudiantes decidirán si el libro lo puede solicitar únicamente por el código (sería una especie de ISBN) o pueden permitir la solicitud por otros campos: título, autor, etc. El Gestor dará respuesta positiva al PS (se otorga el préstamo por un periodo de dos semanas) o negativa (actualmente no hay ejemplares disponibles del libro o no existe en la biblioteca).

**Actores:** son los procesos encargados de interactuar con el Gestor de Carga (GC) y el Gestor de Almacenamiento (GA). Existirán al **menos 2 procesos actores que se comunicarán con el Gestor bajo el patrón Publicador/Suscriptor para devoluciones y renovaciones de libros, y al menos un tercer actor destinado a atender las solicitudes de préstamos de forma síncrona**. Según llega información de los tópicos a los que se suscriben, los actores responsables actualizan la BD. El o los actores que se encargan de otorgar un libro en préstamo, deben verificar en la BD que el libro existe y que pueden otorgarlo. Dado que la devolución de los libros sí se hace de forma asíncrona, es posible que la solicitud de un libro sea negada, aun cuando éste ya haya sido devuelto por otro usuario.

#### **Gestor de Almacenamiento y Persistencia**

Existe un proceso GA que se encarga de realizar las operaciones sobre la réplica primaria de la BD, así como las actualizaciones a la réplica secundaria. Las actualizaciones de la segunda réplica se realizan de forma asíncrona.

**Datos Iniciales:** La BD debe llenarse inicialmente con datos de al menos 1000 libros, 200 de los cuales están ya prestados (50 en una sede y 150 en otra). Las operaciones de devolución, renovación y préstamo de libros se realizarán acorde con estos datos cargados inicialmente. Cada entidad libro debe tener al menos: un código, un nombre y el número de ejemplares disponibles. Existen libros que tienen un único ejemplar. Ud. puede colocar los datos adicionales que considere necesario en su diseño. Al inicio, ambas sedes tendrán una copia idéntica de la Base de Datos de libros. La "BD" puede implementarse con archivos de texto o puede usar una BD real. Si usa una BD real debe asegurarse que las réplicas se manejan como lo pide el enunciado. Cualquier cambio lo debe consultar con su profesor.

**Procesos y número de computadores para la realización del proyecto:** la implementación debe tener al menos los 4 tipos de procesos obligatorios descritos anteriormente: PS, GC, Actores y GA. Aunque en el dibujo se muestran como máximo 3 procesos del tipo PS, pueden crearse más. Solo habrá un GC y un GA en cada sede y tres procesos actores, uno para manejar cada tipo de solicitud (tópico). Ud. puede agregar los procesos con funciones adicionales que considere conveniente. El proyecto se deberá probar en al menos tres computadores: en un computador deben colocar el Gestor de Carga y Actores de la sede 1. En otro computador el Gestor de Carga y Actores de la sede 2. En un tercer computador coloque los procesos solicitantes de ambas sedes.

## Detalles de la Implementación

**Comunicación:** para la comunicación entre el Gestor de Carga y los Actores para las operaciones de Renovación y Devolución deben implementar un patrón publicador/suscriptor. Las operaciones de préstamo se deben realizar de forma síncrona, es decir cuando el PS recibe respuesta es porque las actualizaciones ya se han realizado en la BD (aquí pueden usar el patrón request-reply o algún otro patrón síncrono de la librería ZeroMQ). Entre los PS y el GC la comunicación puede también ser síncrona. Es obligatorio usar la librería ZeroMQ para las comunicaciones entre los diferentes procesos del proyecto (<https://zguide.zeromq.org/>)

**Fallas:** En su implementación deben considerar una posible falla del GA y/o de la réplica primaria de la BD. Si esto ocurre, todos los procesos deben comenzar a usar inmediatamente la réplica que se encuentra en la segunda sede. Cuando el nuevo proceso entra en operación, la reconexión y distribución de cargas debe hacerse de forma automática, es decir, será transparente para el cliente; las operaciones deben continuar en el punto en que se habían dejado y no iniciar desde el principio.

**Necesario para la evaluación:** el día de la sustentación es importante que se pueda observar:

- Estado inicial de la BD (original y réplica) y como va quedando a medida que se realizan las operaciones.
- Operaciones que van realizando cada uno de los procesos y resultado de la operación, si aplica.

## Medidas de Rendimiento

Una vez implementado el proyecto, el equipo realizará pruebas, para evaluar el diseño o implementación inicial **con alguna de las siguientes mejoras (seleccionar e implementar solo una)**:

- A) Gestores seriales vs gestores multihilos.
- B) Comunicaciones asíncronas vs síncronas: implementar de forma síncrona también las operaciones de devolución y préstamo, es decir, que cuando los PS reciben respuesta ya la BD está actualizada.

Los grupos escogerán la opción A ó B y realizarán las medidas que se indican a continuación con el sistema planteado originalmente y con el sistema modificado según la opción escogida. En la primera columna se indica cómo variará la carga y en la segunda las variables a medir:

	<b>Experimento I</b>	<b>Experimento II</b>
<b>Numero de procesos PS generando requerimientos (distribuirlos equitativamente por sede)</b>	Variables a medir: <ul style="list-style-type: none"> <li>- T. Respuesta promedio (y desv. standard) de las solicitudes de préstamo.</li> <li>- Cantidad de solicitudes procesadas (respuesta dada a los PS) en un periodo de 2min.</li> </ul>	Variables a medir: <ul style="list-style-type: none"> <li>- T. Respuesta promedio (y desv. standard) de las solicitudes de préstamo.</li> <li>- Cantidad de solicitudes procesadas (respuesta dada a los PS) en un periodo de 2 min.</li> </ul>
<b>4</b>		
<b>6</b>		
<b>10</b>		

Tabla 1: Escenarios de prueba y variables a medir.

Realice gráficos de las variables respuesta en función del número de PS por sede. Comente los resultados obtenidos. Qué diseño es más escalable, justifique su respuesta en función de los resultados obtenidos.

## PRIMERA ENTREGA (15%)

La primera entrega se **realizará el domingo 5 de octubre de la semana 10, para sustentar en la semana 11 (cada grupo en su hora de clase)**

La primera entrega consta de un informe donde se debe especificar:

- Modelos del sistema (Arquitectónico, interacción, fallos y seguridad). Cómo se aplican los conceptos de estos modelos al proyecto.

- Diseño de **TODO** el sistema: Diagrama de despliegue, Diagrama de componentes, Diagrama de clases y diagrama de secuencia. Este diseño debe incluir el o los componentes para enmascarar las fallas del sistema.
- El protocolo de pruebas que utilizará para la entrega final (considere **todos** los tipos de prueba que deben realizarse a un sistema), haciendo énfasis en las pruebas de desempeño.
- Cómo va a obtener las métricas de desempeño de la tabla 1: si usando herramientas de monitoreo externas o va a insertar instrucciones especiales en el código. En caso de usar herramientas de monitoreo, cuáles son y cómo las va a usar.

Adicionalmente deben tener implementado:

- Solicitud de operaciones de devolución y renovación **desde los PS hasta los Actores**. Estos 3 procesos deben estar ubicados en al menos dos computadoras distintas.
- Mecanismo para generar los requerimientos (lectura de un archivo o usando un generador de carga)

El día de la sustentación, cada equipo tendrá 15 minutos para mostrar sus resultados y responder las preguntas que tengan los profesores.

**Es posible que se den recomendaciones sobre cómo será la sustentación, días antes de la fecha de la misma. Esté atento a estas indicaciones.**

#### **SEGUNDA ENTREGA (15%)**

La entrega se realizará el 16 de noviembre para sustentar en la semana 17. El día de la sustentación los integrantes del equipo deben **mostrar la funcionalidad del proyecto**. Deben estar presentes todos los integrantes del grupo. La sustentación es presencial.

La entrega se compone de:

- En un archivo .zip código fuente de los programas que conforman el sistema y un archivo README donde indique cómo ejecutarlo.
- Se debe complementar la documentación de la primera entrega. Los archivos fuente deben estar documentados.
- Un video de máximo 10 minutos donde explica los siguientes aspectos de su proyecto:
  - Distribución de componentes en máquinas.
  - Librerías y patrones usados
  - Tratamiento de la falla del GA/BD.
  - Generación de carga
- Un informe de máximo 5 páginas donde expliquen los experimentos realizados y resultados obtenidos. Aparte de las especificaciones que se encuentran en el informe, deben agregar: **especificaciones de hw y sw donde se realizaron las medidas** y herramientas de medición utilizadas. Debe mostrar en tablas y gráficos los resultados obtenidos, así como un análisis de dichos resultados.

**Equipos de Trabajo.**

El proyecto se realizará en grupos de trabajo de máximo de 3 personas

**No puede existir replicación de documentos ni de código fuente entre grupos, lo cual se consideraría plagio.**

M. Curiel/R. Paez/J. Corredor/O. De Castro.

## Calificación I Entrega

**Valor 15%, evaluado sobre 5pts**

Indicador	Valoración en puntos /5pts	Excelente	Competente	Deficiente
Informe (presentación, completitud)	0.5	0.5	0.25	<0.25
Diseño del Proyecto	1.5	[1.5,1]	(1, 0.25]	< 0.25
Protocolo de pruebas	0.5	0.5	0.25	< 0.25
Modelos del Sistema (modelos de fallas, interacción y seguridad)	0.25	0.25	0.15	<0.15
Obtención de las métricas de rendimiento	0.25	0.25	0.15	<0.15
Implementación Inicial	2	[2,1.5]	(1.5, 1.0]	< 1.00
<b>total</b>	<b>5ptos</b>			

Indicador	Excelente	Competente	Deficiente
Informe	La presentación del informe es impecable, sin problemas de ortografía o redacción. El informe contiene todos los aspectos solicitados	El informe tiene fallas menores en la presentación, ortografía y/o redacción. El informe contiene todos los aspectos solicitados	El informe tiene fallas importantes en la presentación, ortografía y/o redacción. No contiene todos los aspectos solicitados.

Diseño del Proyecto	Se presentan todos los artefactos de diseño exigidos en el enunciado: diagrama de componentes, diagrama de clases, diagrama de secuencia y diagrama de despliegue. Se incluyen todos los componentes del sistema final, incluyendo tolerancia a fallas y persistencia. Los diagramas están correctos.	Los diagramas incompletos o algunos diagramas están incorrectos.	No se realizan los diagramas exigidos en el enunciado o los diagramas presentados están incorrectos. No se considera TODO el sistema que se va a implementar en el diseño.
Protocolo de pruebas	En el protocolo presentado por los estudiantes, las pruebas son suficientes para evaluar la funcionalidad de la aplicación con y sin la presencia de fallas.	En el protocolo presentado no se contemplan todas las pruebas importantes. Está incompleto.	Los estudiantes no presentan protocolo de pruebas funcionales.
Modelos de sistema	Se hace una descripción de los modelos fundamentales adaptados al proyecto.	Se describen parcialmente los modelos fundamentales adaptados al problema a resolver.	No se presenta ni se describen los modelos fundamentales o la descripción no está relacionada con el proyecto a resolver.
Obtención de las métricas de rendimiento	Se describe de forma clara y completa las herramientas y/o metodología para obtener el valor de las métricas.	En el informe no está suficientemente claro el procedimiento para obtener los valores de las métricas.	No se mencionan en el informe ni el procedimiento ni las herramientas para obtener el valor de las métricas de rendimiento.
Implementación Inicial	Todas las funcionalidades requeridas en el enunciado para la	De los siguientes aspectos, solo 2 fueron implementados correctamente:	La implementación inicial es bien deficiente, se observan falencias en

	<p>primera entrega están implementadas correctamente. El sistema funciona en más de un computador (físico o máquina virtual)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Solicitud de operaciones de devolución y renovación <b>desde los PS hasta los Actores.</b></li> <li>● Mecanismo para generar los requerimientos (lectura de un archivo o usando un generador de carga)</li> <li>● Ejecución en 2 máquinas.</li> </ul>	2 o mas de los de los puntos mencionados en la celda anterior
--	--	--	---

## Calificación II Entrega

Valor 25%

**Informe de rendimiento 10% (Evaluado sobre 5ptos)**

**Resto de la entrega (corrida, sustentación, etc.) 15%**

## Rúbricas

### Informe de Rendimiento

	Valoración en puntos	Excelente	Competente	Deficiente
Informe: presentación, ortografía y redacción	1	0.75	0.5	< 0.5
Presentación de los datos: datos presentados en tablas y gráficos. Los gráficos están construidos correctamente.	2	[2,1]	(1, 0.5]	< 0.5
Análisis de los resultados: el grupo comenta los resultados de interés y deriva conclusiones	2	[2,1]	(1, 0.5]	< 0.5

cónsonas con estos resultados				
<b>Total</b>	5			

### Descripción

	<b>Valoración en puntos</b>	<b>Excelente</b>	<b>Competente</b>	<b>Deficiente</b>
Informe: presentación. Ortografía y redacción	1	La presentación del informe es impecable sin problemas de ortografía o redacción	El informe tiene fallas menores en la presentación, ortografía y/o redacción	El informe tiene fallas importantes en la presentación, ortografía y/o redacción
Presentación de los datos: datos presentados en tablas y gráficos.	2	Se grafican todas las variables solicitadas, los gráficos están construidos correctamente (títulos, unidades, etc.)	Faltan algunos gráficos o, están completos, pero faltan elementos que contribuyen a su comprensión: qué se está graficando, cuáles son las unidades de medida, etc.	No se realizan gráficos o se realizan muy pocos gráficos. La presentación de los gráficos es bastante deficiente.
Análisis de los resultados: el grupo comenta los resultados de interés y deriva conclusiones cónsonas con estos resultados	2	Los estudiantes comentan los resultados obtenidos y presentan conclusiones sobre la arquitectura del sistema y los patrones de comunicación.	Los estudiantes comentan los resultados obtenidos pero no presentan conclusiones sobre la arquitectura del sistema y los patrones de comunicación.	Los estudiantes no comentan los resultados obtenidos o los comentarios son muy deficientes.

### Funcionamiento del Sistema, Sustentación

<b>Indicador</b>	<b>Valoración en puntos /5</b>	<b>Excelente</b>	<b>Competente</b>	<b>Deficiente</b>
------------------	--------------------------------	------------------	-------------------	-------------------

Todos los procesos son implementados correctamente	0.5	0.5	0.25	< 0.25
Operación Préstamo	0.75	0.75	0.5	< 0.25
Operación Devolución/Renovación	0.75	0.75	0.5	< 0.25
Persistencia/actualización de réplicas	0.5	0.5	0.25	< 0.25
Corrida en 3 máquinas	0.75	(0.75, 0.5]	(0.5, 0.25]	< 0.25
Tratamiento de Fallas del GA-BD	0.5	0.5	0.25	< 0.25
Código	0.25	0.25	(0.25, 0.15]	< 0.15
Exposición, video	1	[1,0.75]	(0.75, 0.5]	< 0.5
Total	5pts			

#### Descripción

	Excelente	Competente	Deficiente
Implementación de los procesos	Los procesos definidos en el enunciado del proyecto son implementados correctamente según las especificaciones	Hay deficiencias en alguno de estos aspectos: a) Comportamiento que debe tener el proceso. b) Uso del patrón de comunicación recomendado  La mayoría (no todos) de los procesos se implementaron correctamente.	De los 2 aspectos mencionados en la celda anterior, dos o más funcionan de forma incorrecta o incompleta.
Operación Préstamo	La operación funciona de forma correcta usando un patrón síncrono de la librería zeroMQ. La BD se actualiza correctamente.	La operación préstamo funciona correctamente, pero tienes alguno de estos dos problemas: - No se usó un patrón síncrono - No se hace la actualizació	La operación de préstamo no se implementó o se implementó de forma muy deficiente (hay varios errores)

		n correctamen te en la BD	
Operación Devolución/Renovación	Las operaciones funcionan de forma correcta usando el patrón Publicador/Suscriptor de la librería zeroMQ. La BD se actualiza correctamente.	Las operaciones funcionan bastante bien pero hay fallas o bien en el patrón de comunicación utilizado o en la actualización de la BD.	Las operaciones no se implementan o se implementan de forma muy deficiente.
Persistencia/actualización de réplicas	Los campos definidos para la BD son adecuados. Todas las actualizaciones se realizan de forma correcta. La actualización de la réplica se realiza según las indicaciones del enunciado.	Se detectan pequeños problemas en la actualización de datos o de réplicas.	No se implementa la persistencia o no se implementa la réplica.
Corrida en 3 máquinas	El sistema funciona en al menos tres computadoras (o máquinas virtuales) según la arquitectura sugerida en el enunciado del proyecto	El sistema funciona solo en dos computadoras y/o máquinas virtuales	Todos los componentes del sistema se instalan y funcionan en una sola computadora.
Tratamiento de Fallas del Servidor del GA-BD	Ante la falla del GA la inicialización de un proceso homólogo y conexión a la réplica funciona de forma correcta. La falla se detecta de forma automática usando un patrón, como por ejemplo, el health check. Los estudiantes explican el o los	Ante la falla del GA se levanta un proceso homólogo que asume de forma correcta sus funciones conectándose a la réplica. La falla no se detecta de forma automática. Los estudiantes no explican claramente los patrones de resiliencia implementados.	No se implementa la tolerancia a fallas de este componente.

	patrones de resiliencia implementados		
Código	El código está bien estructurado, sangrado (indentation) del código correcto y documentado (hay documentación de archivos, funciones o métodos, algoritmos, etc)	El código es funcional pero presenta alguno de estos problemas: documentación, estructura o sangrado.	El código es deficiente, sin orden ni documentación
Sustentación, video	Se siguen todas las reglas dadas para la sustentación, se presentan todos los elementos importantes del sistema y se responden de forma adecuada todas las inquietudes del evaluador. Se entrega el video en el que se evidencia claramente la arquitectura de la aplicación, su funcionamiento y los elementos de tolerancia a fallas.	Hay alguna <i>falla menor</i> en uno o dos de los siguientes elementos: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Seguimiento de las reglas dadas para la sustentación</li> <li>- Presentación de las funcionalidades del sistema</li> <li>- Respuesta correcta a todas las preguntas del evaluador.</li> <li>- El video no ilustra de manera suficiente la arquitectura, el funcionamiento de la aplicación o la tolerancia de las fallas.</li> </ul>	Hay <i>fallas</i> importantes en 3 o más de los siguientes elementos: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Seguimiento de las reglas dadas para la sustentación</li> <li>- Presentación de las funcionalidades del sistema</li> <li>- Respuesta correcta a todas las preguntas del evaluador.</li> <li>- El video es deficiente o no se adjunta.</li> </ul>