

**Gestión inteligente del agua en Aqualia Global: Identificación de variables en el proceso de transformación digital**

Andrés Felipe Calderón Ramírez

Laura Natalia Perilla Quintero

Ricardo Andrés Ayala Garzón

Santiago Amaya Zapata

Santiago Botero García

Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito

**PRI2IS-1L:** Proyecto Integrador 2 - Estrategia de operaciones y procesos

Cesar Rene Beltrán Sotelo

Septiembre 11, 2025

## Resumen

Aqualia Global, una corporación multinacional encargada de la gestión de sistemas de acueducto y alcantarillado en más de 40 ciudades a nivel mundial, enfrenta una creciente presión para modernizar su operación ante desafíos estructurales, tecnológicos y climáticos. Este informe presenta una identificación de las variables clave y los actores involucrados en la situación actual de la empresa, así como la construcción de bucles causales que explican las dinámicas principales que afectan su desempeño. Se abordan tanto los bucles reforzadores como los balanceadores que inciden en la toma de decisiones estratégicas. La transformación digital, basada en la implementación de sensores IoT, análisis de datos y sistemas unificados, es analizada como una respuesta integral a los problemas de pérdidas de agua, fragmentación operativa y desconfianza social. El trabajo se apoya en herramientas de visualización como Lucidchart y Miro para representar gráficamente las interrelaciones sistémicas.

Para el desarrollo del análisis presentado en este informe, se emplearon herramientas digitales orientadas al modelado visual y a la colaboración en entornos complejos:

- Lucidchart: para la creación de diagramas causales y visualización de bucles.
- Miro: para la colaboración y mapeo de actores, variables y relaciones sistémicas.

Estas herramientas fueron fundamentales para estructurar el análisis sistémico, facilitando la comprensión de los elementos clave y las conexiones entre ellos.

*Palabras clave:* Aqualia Global, transformación digital, gestión hídrica, sistemas complejos, bucles causales, sostenibilidad, IoT, eficiencia operativa, modelado sistémico.

## Contenido

<b>Resumen .....</b>	<b>2</b>
<b>Metodología .....</b>	<b>4</b>
<b>Análisis sistémico: mapa mental y bucles causales .....</b>	<b>5</b>
<b>Relaciones de causalidad circular y análisis sistémico .....</b>	<b>16</b>
<b>Resultados .....</b>	<b>20</b>
<b>Conclusiones .....</b>	<b>22</b>

## **Metodología**

Aqualia Global gestiona sistemas de agua en más de 40 ciudades en América Latina, Europa y África, enfrentando el reto de operar en entornos con infraestructuras muy diversas. Mientras algunas ciudades cuentan con redes digitalizadas y modernas, otras aún dependen de sistemas obsoletos, lo que dificulta la consolidación de datos y la toma de decisiones estratégicas. Esta falta de homogeneidad complica la capacidad de la empresa para responder de manera eficiente a los problemas operativos y regulatorios, limitando su competitividad y eficiencia.

El cambio climático ha intensificado estas dificultades, con sequías, lluvias intensas e inundaciones que han puesto a prueba la fragilidad de las redes de agua existentes. Aqualia ha tenido que invertir en sistemas de emergencia y racionamientos, lo que incrementa los costos operativos y genera tensiones con los gobiernos y las comunidades. Además, los usuarios demandan más transparencia, exigiendo información en tiempo real sobre el consumo y la calidad del agua, lo que ha generado reclamos y una pérdida de confianza en la empresa.

Para resolver estos problemas, Aqualia ha propuesto una transformación digital integral que incluye la implementación de sensores IoT, plataformas de análisis en la nube e inteligencia artificial para detectar fugas y fraudes. Esta estrategia busca mejorar la eficiencia operativa, reducir pérdidas de agua y aumentar la transparencia con los usuarios y gobiernos. Sin embargo, la implementación enfrenta grandes desafíos culturales, regulatorios y operativos, lo que hace que la transición hacia un modelo digitalizado sea un proceso complejo y de largo plazo.

## **Análisis sistémico: mapa mental y bucles causales**

Con el propósito de mejorar la situación y encontrar soluciones a los desafíos planteados, se identificaron los **actores internos** y las dificultades que enfrentan dentro del sistema de Aqualia, utilizando un enfoque de pensamiento sistémico. Este análisis permitió detectar problemas clave como la falta de homogeneidad en los sistemas financieros, las resistencias internas a la digitalización y la dispersión tecnológica entre las filiales. Estos factores limitan la eficiencia operativa y la capacidad de tomar decisiones informadas y rápidas.

### **1. Departamento de Finanzas Corporativas**

- **Problema:** Falta de homogeneidad en el sistema de facturación, lo que genera inconsistencias en los reportes financieros e incertidumbre en los flujos de caja.

### **2. Junta Directiva**

- **Rol:** Impulsar la construcción de un ecosistema digital de gestión hídrica inteligente.
- **Problema:** Resistencias internas y dificultades de negociación entre filiales y con gobiernos locales, complicando la implementación de cambios.

### **3. Operadores de Planta**

- **Problema:** Falta de información en tiempo real, lo que dificulta decisiones críticas como ajustar químicos para potabilizar el agua, definir qué válvulas cerrar en caso de fuga y priorizar reparaciones de tuberías con información limitada.

### **4. Personal Técnico**

- **Problema:** Dispersión tecnológica entre filiales, lo que genera un rendimiento laboral deficiente y limita la rotación de personal, dificultando la capacitación y aprovechamiento de la experiencia adquirida.

Del mismo modo, se identificaron los **actores externos** que influyen en el rendimiento de Aqualia. Utilizando el mismo enfoque, se comprendió cómo la infraestructura obsoleta, los efectos del cambio climático, las tensiones con las comunidades y la competencia externa afectan la gestión de los recursos y la percepción de la empresa. Estos factores son fundamentales para comprender el panorama global y guiar la transformación que Aqualia necesita para adaptarse y seguir siendo competitiva.

### 1. Ciudades/Gobiernos Locales

- Dependencia de concesiones que afectan la gestión del agua.
- Problema: Falta de homogeneidad en la infraestructura, lo que complica la toma de decisiones estratégicas a nivel global.
- Pérdidas de agua no contabilizada superiores al 40% debido a fugas, fraudes o errores de medición, lo que incrementa los costos y limita la capacidad de respuesta.
- Las infraestructuras antiguas implican costos elevados de mantenimiento y tratamiento del agua.

### 2. Cambio Climático

- **Impacto:** Sequías prolongadas, inundaciones y lluvias intensas, que ponen presión sobre las infraestructuras de agua.
- **Solución:** Inversiones en sistemas de emergencia y obras de contención, pero esto aumenta los costos operativos y genera tensiones con gobiernos locales y comunidades.

### 3. Clientes

- **Problema:** Información asincrónica y desactualizada sobre el consumo y la calidad del agua, lo que lleva a reclamos crecientes y pérdida de confianza en la empresa.

#### 4. Comunidades Locales

- **Problema:** Desconfianza en la reputación de la empresa, generando protestas y litigios que pueden poner en riesgo los contratos de concesión.

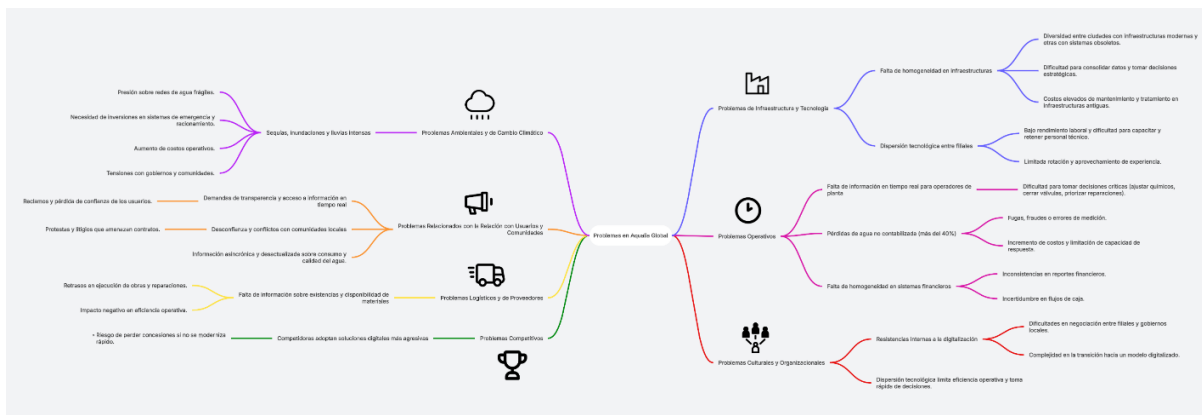
#### 5. Proveedores

- **Problema:** Falta de información sobre existencias y disponibilidad de material, lo que genera retrasos en la ejecución de obras y reparaciones, afectando la eficiencia de la empresa.

#### 6. Competidores

- **Problema:** Los competidores adoptan soluciones digitales más agresivas, lo que podría reducir las concesiones de Aqualia si no se moderniza rápidamente.

Dado el contexto descrito, se desarrolló un mapa mental para identificar y organizar los principales problemas que enfrenta Aqualia Global en su operación y gestión del agua. Este mapa mental facilita la comprensión integral de las dificultades internas y externas, desde aspectos operativos y tecnológicos hasta culturales y ambientales, permitiendo un diagnóstico claro que sirva como base para diseñar estrategias de mejora. En caso de que la figura no se visualice correctamente, se adjunta el archivo en formato PNG como parte de la entrega para su consulta.

**Figura 1***Problemas en Aqualia Global: Clasificación y detalles específicos*

*Nota.* El mapa mental presenta una categorización de los principales problemas enfrentados por Aqualia Global, incluyendo aspectos operativos, culturales, tecnológicos, ambientales, competitivos, logísticos y relacionados con la relación con usuarios y comunidades. Cada categoría está desglosada en problemas específicos y sus implicaciones.

A partir de la identificación y organización de los problemas mediante el mapa mental, el siguiente paso consiste en desarrollar bucles causales que permitan analizar las interrelaciones y dinámicas internas entre los distintos factores. Estos bucles facilitarán la comprensión de cómo ciertos problemas se refuerzan mutuamente o generan efectos secundarios, proporcionando una visión sistémica que es fundamental para diseñar intervenciones efectivas y sostenibles en la gestión de Aqualia Global.



### **1. Bucle de homogeneidad tecnológica y eficiencia operativa (Refuerzo)**

- (+) Infraestructura diversa y obsoleta → (+) Dificultad para consolidar datos → (-) Toma de decisiones estratégicas → (-) eficiencia operativa → (+) dificultad para invertir en modernización (+) → (+) infraestructura diversa y obsoleta.

### **2. Bucle de transformación digital y resistencia interna (Balance)**

- (+) Transformación digital → (+) resistencia interna → (+) retraso en adopción → (-) eficiencia operativa → (+) transformación digital.

### **3. Bucle de información en tiempo real y toma de decisiones críticas (Refuerzo)**

- (-) Información en tiempo real → (+) decisiones deficientes → (+) pérdidas y fallos → (-) información en tiempo real.

### **4. Bucle de dispersión tecnológica y rotación de personal (Refuerzo)**

- (+) Dispersión tecnológica → (-) rendimiento y capacitación → (+) rotación y poca experiencia → (+) dispersión tecnológica.

### **5. Bucle de cambio climático y costos operativos (Balance)**

- (+) Impacto cambio climático → (+) inversiones en sistemas de emergencia → (+) costos operativos → (-) presión sobre recursos → (+) dificultad para mantener infraestructuras → (+) impacto cambio climático.

### **6. Bucle de transparencia, confianza y reclamos (Balance)**

- (-) Transparencia → (+) reclamos → (+) presión por transparencia → (-) inversión en sistemas de monitoreo → (-) transparencia.

### **7. Bucle de pérdidas de agua y capacidad de respuesta (Refuerzo)**

- (+) Pérdidas de agua → (+) costos → (-) capacidad de respuesta → (-) inversión en mantenimiento → (+) pérdidas de agua.

### **8. Bucle de resistencias internas y dificultades de negociación (Balance)**

- (+) Resistencia interna → (-) negociación → (-) implementación → (+) resistencia interna.

### **9. Bucle de competencia y modernización (Refuerzo)**

- (+) Competidores adoptan tecnología → (+) presión para modernizar → (+) inversión en tecnología → (+) competitividad → (+) riesgo concesiones → (+) ajustes estratégicos → (+) competidores adoptan tecnología.

### **10. Bucle de disponibilidad de materiales y eficiencia en reparaciones (Refuerzo)**

- (-) Información inventarios → (-) obras → (-) eficiencia → (+) necesidad de reparaciones → (+) demanda inventarios → (-) información inventarios.

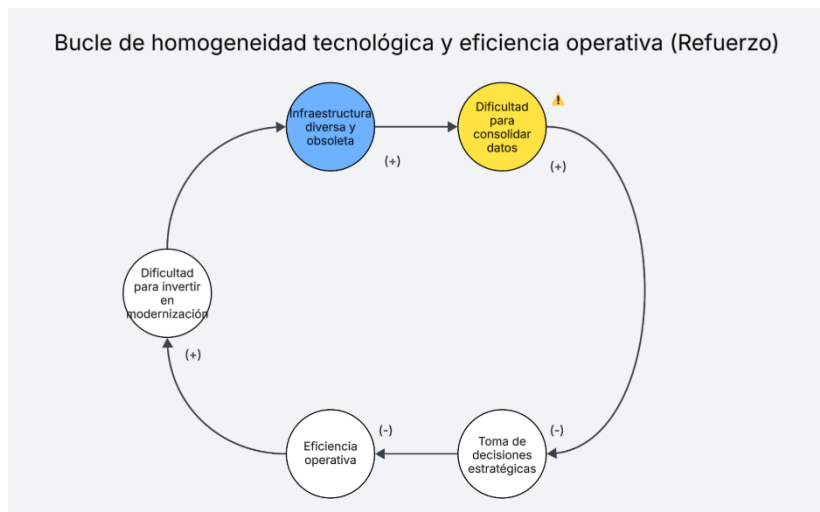
### **11. Bucle de tensión con comunidades y contratos de concesión (Balance)**

- (+) Protestas y litigios → (+) riesgo contratos concesión → (+) presión para mejorar reputación → (-) inversión en transparencia → (+) protestas y litigios.

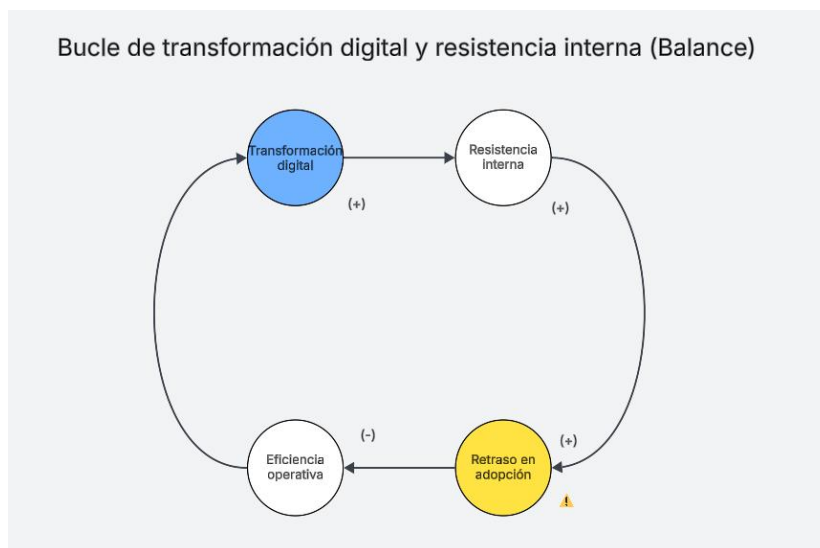
Con base en el análisis de los bucles causales identificados, se diseñaron diagramas sencillos que permiten representar visualmente las relaciones y dinámicas internas entre los diferentes factores que afectan la operación y gestión de Aqualia Global. Estos diagramas facilitan la comprensión de cómo los problemas se interconectan y refuerzan mutuamente, proporcionando una herramienta clara para la toma de decisiones y el diseño de estrategias orientadas a mejorar la eficiencia, transparencia y adaptabilidad del sistema.

**Figura 2**

*Bucle de homogeneidad tecnológica y eficiencia operativa (Refuerzo)*

**Figura 3**

*Bucle de transformación digital y resistencia interna (Balance)*

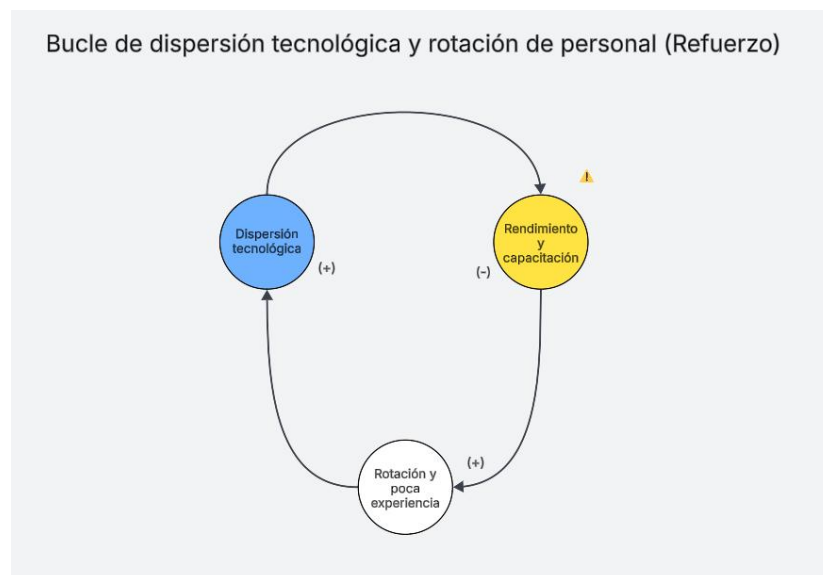


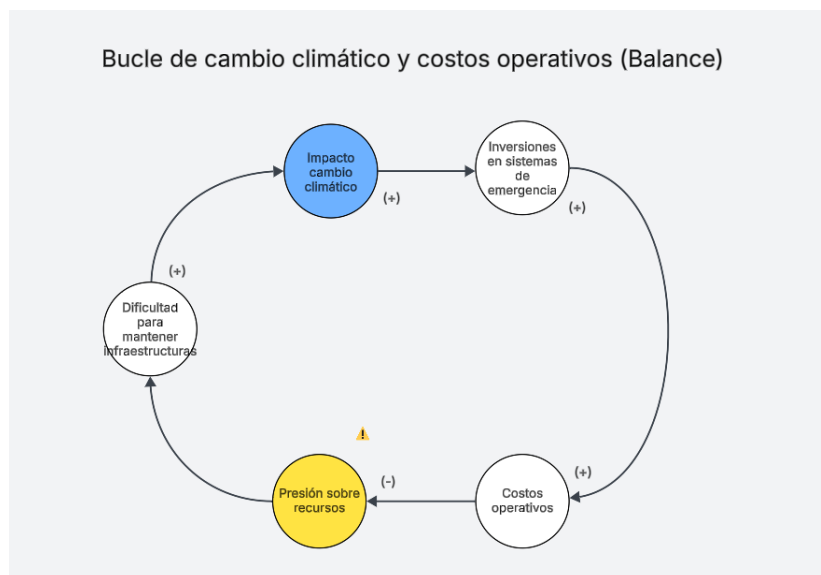
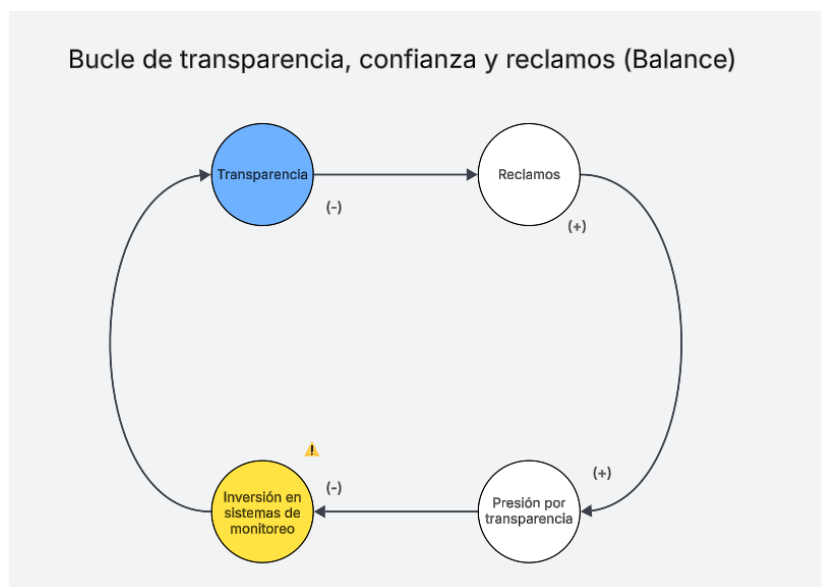
**Figura 4**

*Bucle de información en tiempo real y toma de decisiones críticas (Refuerzo)*

**Figura 5**

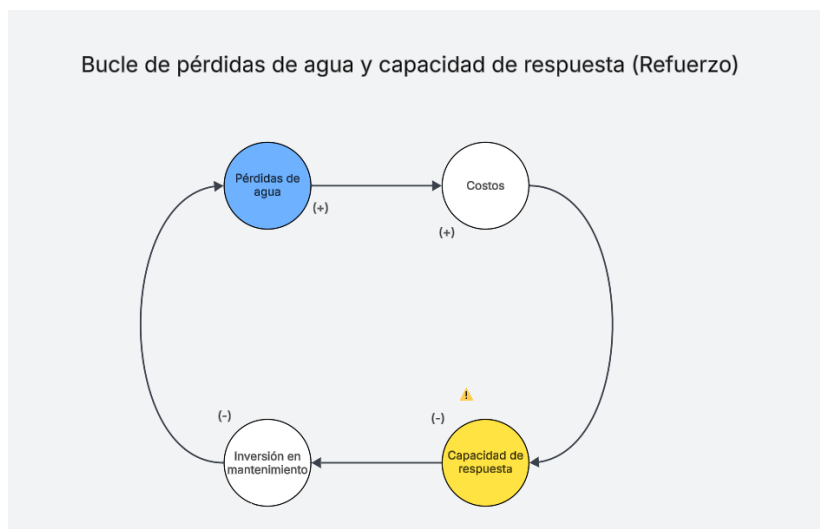
*Bucle de dispersión tecnológica y rotación de personal (Refuerzo)*



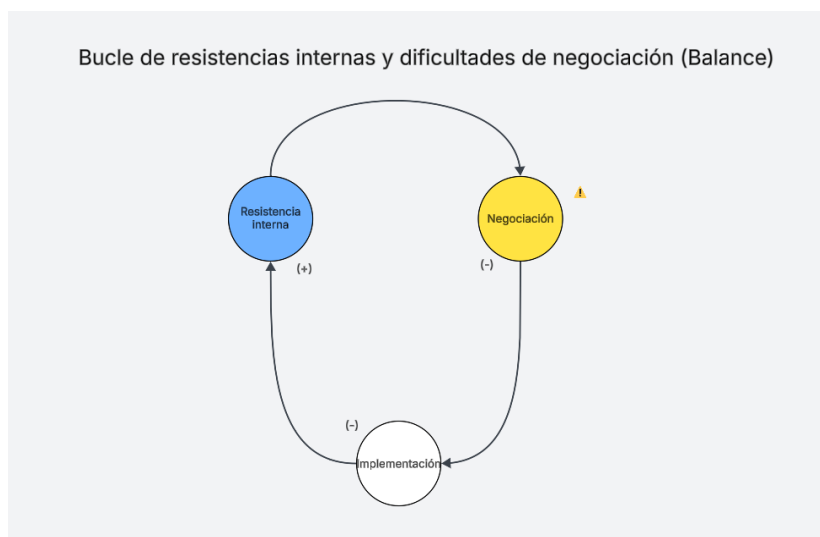
**Figura 6***Bucle de cambio climático y costos operativos (Balance)***Figura 7***Bucle de transparencia, confianza y reclamos (Balance)*

**Figura 8**

*Bucle de pérdidas de agua y capacidad de respuesta (Refuerzo)*

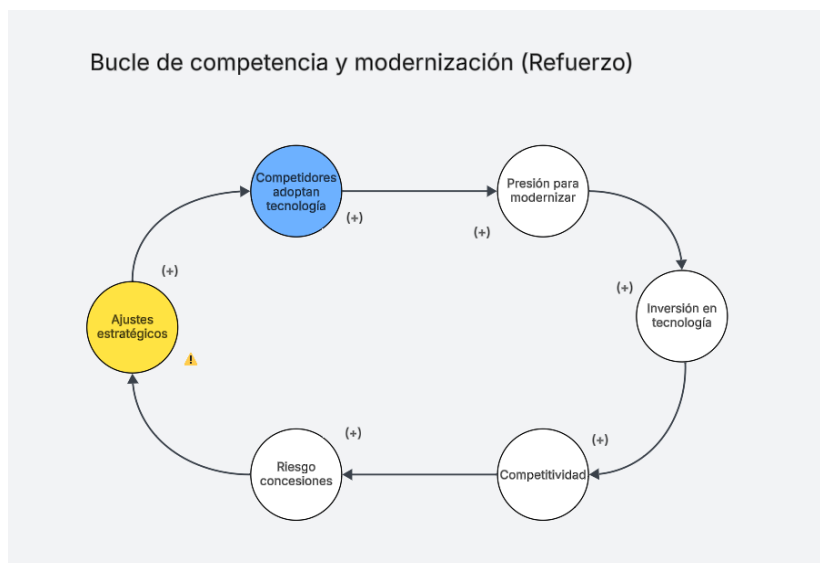
**Figura 9**

*Bucle de resistencias internas y dificultades de negociación (Balance)*

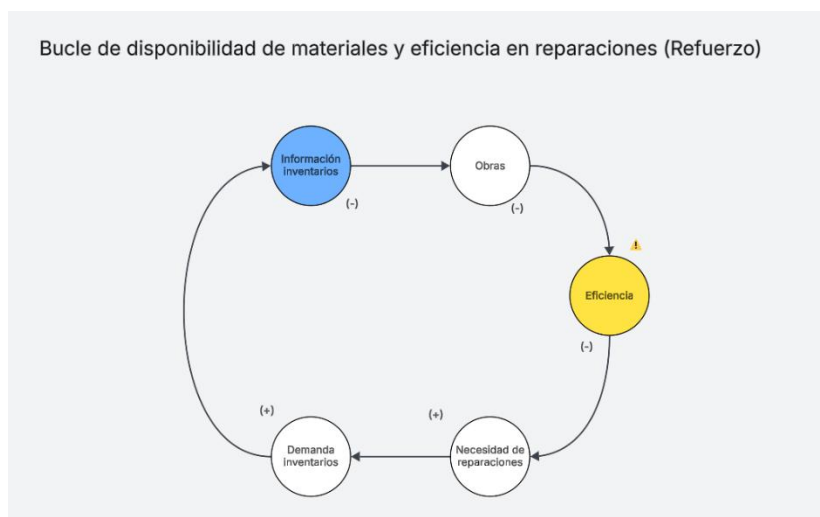


**Figura 10**

*Bucle de competencia y modernización (Refuerzo)*

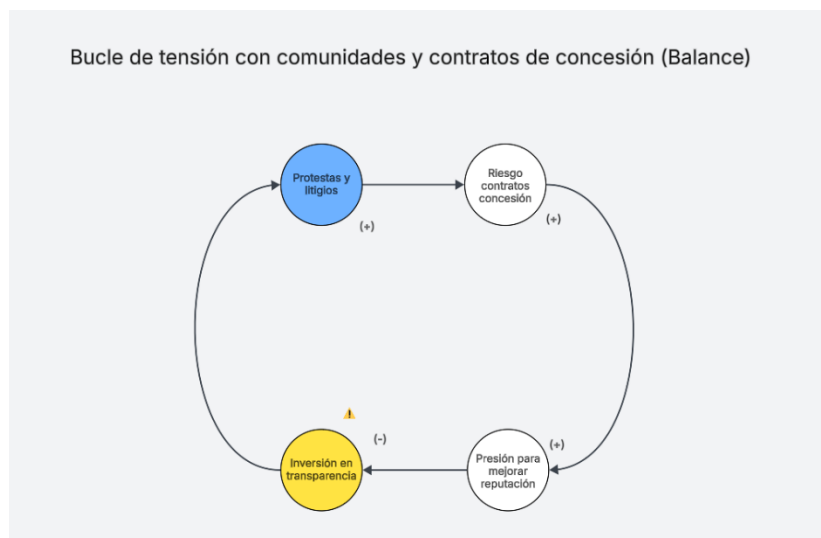
**Figura 11**

*Bucle de disponibilidad de materiales y eficiencia en reparaciones (Refuerzo)*



**Figura 12**

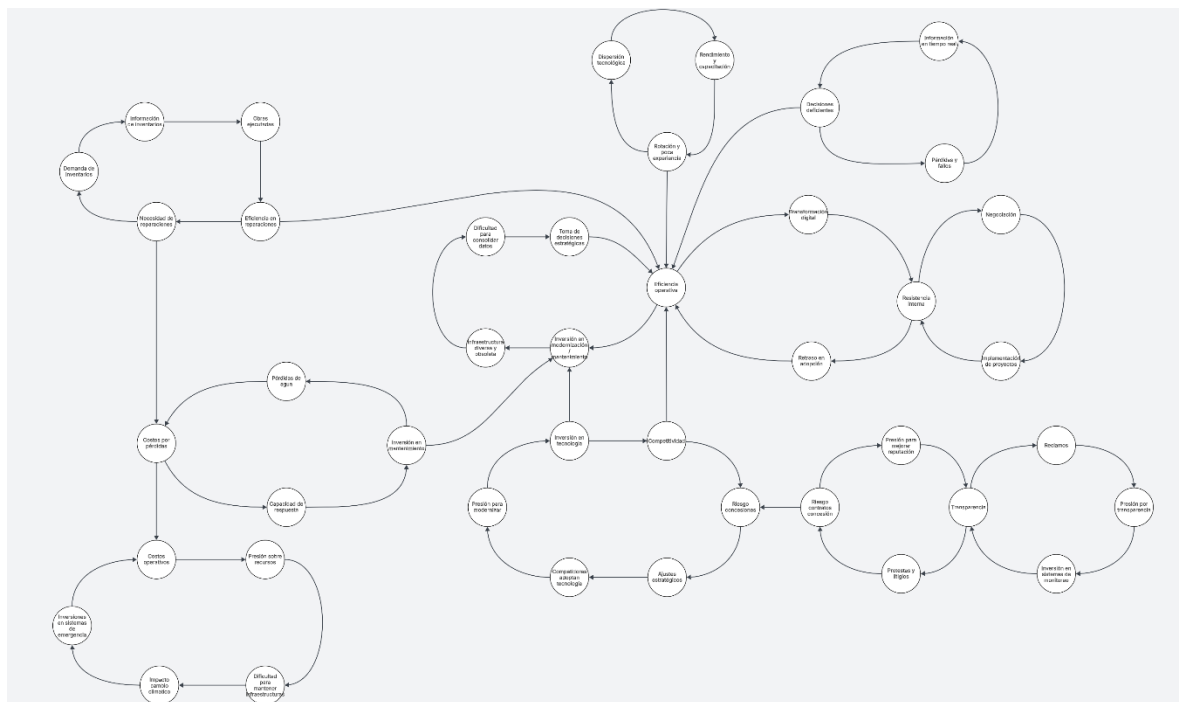
*Bucle de tensión con comunidades y contratos de concesión (Balance)*



### Relaciones de causalidad circular y análisis sistémico

Para profundizar en la comprensión del sistema que rodea a Aqualia Global, se construye un mapa de sistema inicial que refleja las variables y actores principales. Sobre esta base, se identifica un arquetipo sistémico que caracteriza la naturaleza de las dinámicas internas, y se determina al menos un punto de apalancamiento que pueda ser utilizado para mejorar la gestión y operación en el mediano y largo plazo.



**Figura 13***Mapa sistémico de infraestructura, eficiencia y gobernanza en Aqualia Global*

*Nota.* El diagrama muestra las principales variables y relaciones causales que influyen en la gestión de Aqualia Global. Se destacan los bucles de retroalimentación relacionados con la infraestructura tecnológica, la eficiencia operativa, la resistencia cultural y la presión climática, así como los puntos de apalancamiento asociados a la transparencia y la modernización.

El análisis sistémico de la operación de Aqualia Global en sus diferentes regiones permitió identificar un conjunto de puntos de apalancamiento críticos que concentran gran parte de las dinámicas que limitan la eficiencia y competitividad de la compañía. Estos puntos actúan como nodos donde convergen múltiples bucles de refuerzo y balance, y por tanto representan oportunidades estratégicas para intervenir el sistema de manera más efectiva. Entre los hallazgos más relevantes se encuentran:

Dificultad para consolidar datos, originada por la heterogeneidad de la infraestructura y los sistemas de gestión, lo que restringe la capacidad de generar información unificada para la toma de decisiones.

- **Retrasos en la adopción de la transformación digital**, asociados a la resistencia interna y a la falta de alineación en los procesos de cambio, que ralentizan la modernización tecnológica.
- **Decisiones deficientes**, producto de la falta de información en tiempo real y de la limitada integración entre áreas, lo cual incrementa la exposición a pérdidas y fallos operativos.
- **Falta de rendimiento y capacitación del personal**, consecuencia de la dispersión tecnológica y la rotación de empleados, que debilita las competencias organizacionales.
- **Ausencia de presión efectiva sobre los recursos**, lo que reduce la capacidad de priorizar inversiones y gestionar adecuadamente los impactos del cambio climático en las operaciones.
- **Carencia de inversión en sistemas de monitoreo**, lo cual restringe la transparencia y limita la confianza de las comunidades y los reguladores.
- **Débil capacidad de respuesta frente a emergencias y fallos**, derivada del aumento en las pérdidas de agua y de la falta de inversión en mantenimiento oportuno.
- **Escasa capacidad de negociación interna**, que obstaculiza la implementación de proyectos estratégicos y refuerza la resistencia al cambio.

- **Exceso de ajustes estratégicos**, resultado de la presión competitiva y regulatoria, lo que genera un entorno de planeación reactivo y de difícil sostenibilidad.
- **Disminución sostenida de la eficiencia operativa**, que se presenta como un efecto transversal de la fragmentación tecnológica, los retrasos digitales y las decisiones deficientes.
- **Poca inversión en transparencia**, lo cual incrementa los reclamos ciudadanos y debilita la reputación corporativa en los mercados donde opera.

En conjunto, estos puntos de apalancamiento muestran que los desafíos de Aqualia no se reducen únicamente a la dimensión tecnológica, sino que abarcan aspectos culturales, regulatorios y organizativos.

El arquetipo que mejor describe la dinámica de Aqualia Global es el de “Límites al crecimiento”. Inicialmente, la modernización tecnológica y la transformación digital generan un efecto positivo en la eficiencia operativa y en la competitividad de la empresa. Sin embargo, este crecimiento se ve frenado por restricciones estructurales como la infraestructura obsoleta, la dispersión de sistemas entre filiales, los altos costos energéticos y la resistencia cultural dentro de la organización. Estas limitaciones actúan como fuerzas de balance que reducen el impacto de los esfuerzos de modernización y, a largo plazo, limitan la capacidad de la empresa para sostener mejoras en sus operaciones.

El reconocimiento de este arquetipo resulta fundamental, ya que señala que el éxito de la transformación no depende únicamente de inversiones tecnológicas, sino también de la capacidad de la empresa para superar sus limitaciones estructurales y culturales de manera estratégica.

## Resultados

El análisis sistémico realizado sobre la gestión de Aqualia Global permitió comprender las dinámicas internas y externas que limitan su competitividad, eficiencia y capacidad de respuesta frente a los retos ambientales y regulatorios. A través del uso de mapas mentales, bucles causales y diagramas de retroalimentación se logró identificar las principales variables críticas que afectan a la organización y los puntos de apalancamiento sobre los cuales es posible intervenir estratégicamente.

En primer lugar, los bucles causales evidenciaron cómo la infraestructura obsoleta y heterogénea, la resistencia interna a la transformación digital y la dispersión tecnológica refuerzan dinámicas que disminuyen la eficiencia operativa y dificultan la toma de decisiones estratégicas. De igual forma, se observó que los efectos del cambio climático incrementan los costos operativos y generan tensiones con comunidades y gobiernos, configurando un entorno cada vez más complejo de gestionar. La demanda social de mayor transparencia añade presión adicional, dado que la falta de información en tiempo real y la escasa inversión en monitoreo alimentan los reclamos ciudadanos y debilitan la reputación corporativa.

El estudio también permitió identificar un conjunto de puntos de apalancamiento clave, considerados como nodos críticos donde convergen múltiples bucles de retroalimentación. Entre los más relevantes se encuentran:

- Dificultad para consolidar datos por la heterogeneidad de la infraestructura.
- Retrasos en la adopción de la transformación digital debido a resistencias culturales y organizativas.

- Decisiones deficientes, consecuencia de la falta de información en tiempo real.
- Falta de rendimiento y capacitación del personal técnico.
- Ausencia de presión efectiva sobre los recursos, que limita la priorización de inversiones.
- Carencia de inversión en sistemas de monitoreo y transparencia.
- Débil capacidad de respuesta frente a emergencias y fallos.
- Escasa capacidad de negociación para implementar cambios estructurales.
- Exceso de ajustes estratégicos que generan un entorno de planeación reactivo.
- Disminución sostenida de la eficiencia operativa como efecto transversal.
- Poca inversión en transparencia, que incrementa los reclamos y reduce la confianza social.

En conjunto, estos resultados muestran que los desafíos de Aqualia Global no se reducen exclusivamente a la dimensión tecnológica, sino que también incluyen factores culturales, regulatorios, financieros y organizativos. El sistema se encuentra atrapado en un arquetipo de “Límites al crecimiento”, donde los esfuerzos iniciales de modernización digital mejoran la eficiencia y competitividad, pero pronto se ven restringidos por limitaciones estructurales como la infraestructura obsoleta, los altos costos de mantenimiento y la resistencia cultural.

El reconocimiento de este arquetipo constituye un hallazgo central, ya que orienta a la organización hacia la necesidad de intervenir en los puntos de apalancamiento identificados. La clave del éxito no radica únicamente en realizar inversiones tecnológicas, sino en gestionar simultáneamente las resistencias internas, fortalecer la capacitación del personal, aumentar la transparencia y rediseñar los procesos de gobernanza. De esta manera, Aqualia Global podrá sostener a largo plazo una transformación digital resiliente, eficiente y socialmente legítima.

## **Conclusiones**

La realización de estos laboratorios permitió obtener un mayor entendimiento de las funcionalidades internas de la empresa, así como identificar de manera más clara los problemas presentes y analizar cómo estos pueden agravarse si no se gestionan adecuadamente.

Durante la construcción del mapa sistémico surgieron algunas dificultades, principalmente en la integración y conexión de los diferentes bucles causales, ya que representarlos de forma clara y comprensible para explicar la dinámica de la empresa resultó un reto.

No obstante, el ejercicio evidenció el valor del pensamiento sistémico, al mostrar cómo organizar la información de manera estructurada permite identificar los puntos críticos de la organización. Asimismo, se comprendió que las características o problemas existentes dentro de la empresa pueden convertirse en oportunidades de mejora si se gestionan adecuadamente, pero también en factores de riesgo que impactan de forma negativa al sistema si se descuidan.