



UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIONES  
SEMESTRE II

**Desafío 1**  
**Reconstrucción de imágenes BMP mediante operaciones a nivel de bit**  
**Informe de análisis y solución propuesta**

Asignatura:  
Informática II Teoría

Autor:  
Oscar Miguel López Peña

Tutores:  
Anibal Guerra  
Augusto Salazar

Medellín, Abril de 2025

## INTRODUCCIÓN

El presente informe documenta el análisis y desarrollo de una propuesta de solución para el desafío de reconstrucción de una imagen BMP distorsionada a través de transformaciones a nivel de bit, seguidas de un proceso de enmascaramiento parcial. Este reto forma parte de la formación en programación del lenguaje C++ y está orientado al fortalecimiento de competencias relacionadas con la manipulación directa de datos binarios, uso de punteros y memoria dinámica, así como la aplicación de lógica algorítmica en escenarios de complejidad creciente.

La actividad se enmarca dentro de una situación simulada de ingeniería inversa, en la que se busca deducir el proceso de transformación de una imagen a partir de su estado final y un conjunto limitado de pistas intermedias, reflejadas en archivos de rastreo de tipo texto. La naturaleza parcialmente irreversible de algunas operaciones obliga al uso de métodos analíticos, experimentales y sistemáticos para inferir el proceso original. Además, representa un caso práctico que emula escenarios reales en los campos de la criptografía visual, la seguridad informática y el procesamiento digital de imágenes.

## DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La empresa Informa2 plantea la necesidad de recuperar una imagen digital original, denominada IO, a partir de una versión distorsionada ID, la cual ha sido sometida a una serie de transformaciones de tipo binario. Estas transformaciones fueron aplicadas en un orden no especificado y comprenden operaciones como XOR con una imagen aleatoria IM, rotaciones circulares de bits y posibles desplazamientos. Posteriormente, se aplicó un proceso de enmascaramiento mediante una máscara de color M, en regiones específicas de la imagen distorsionada.

Junto a las imágenes mencionadas, se suministra un conjunto de archivos en formato .txt, los cuales actúan como rastros de cada etapa intermedia del proceso. Cada uno de estos archivos contiene:

Un valor de desplazamiento  $s$ , que indica el punto de partida desde donde se aplicó el enmascaramiento.

Una serie de valores RGB resultantes de la suma entre una sección específica de la imagen transformada y la máscara M.

El propósito del desafío es deducir, mediante análisis lógico y verificación computacional rigurosa, tanto el orden como el tipo de operaciones que fueron aplicadas a la imagen original. Esto implica evaluar todas las transformaciones posibles, validar sus efectos con las evidencias disponibles y seleccionar aquella combinación que logre reproducir exactamente los resultados registrados en los archivos de enmascaramiento. La tarea no solo requiere revertir las transformaciones con precisión técnica, sino también hacerlo en un marco de restricciones estrictas de implementación (sin estructuras STL y con uso exclusivo de punteros y memoria dinámica).

Alcanzar esta reconstrucción implica demostrar la capacidad de razonamiento algorítmico, de análisis binario de datos, y de control exhaustivo sobre la manipulación de estructuras digitales, lo cual representa el verdadero desafío académico propuesto. Una vez identificada la secuencia válida, se espera que la aplicación secuencial e inversa de las operaciones sobre ID permita restaurar la imagen original IO con un alto grado de fidelidad tanto visual como estructural.

## CONSIDERACIONES TÉCNICAS Y LIMITACIONES

El desarrollo de la solución debe enmarcarse estrictamente en un entorno controlado de bajo nivel, utilizando el lenguaje C++ en combinación con el framework Qt, que proporciona las herramientas necesarias para la manipulación de archivos BMP sin recurrir a bibliotecas externas avanzadas. Como condición fundamental, se establece la exclusión total de estructuras de datos pertenecientes a la STL (Standard Template Library), lo que implica que todas las operaciones deben resolverse mediante punteros crudos, arreglos estáticos o dinámicos y un control manual de la memoria mediante new y delete.

Adicionalmente, se requiere una manipulación precisa y directa de los componentes de color de cada píxel, almacenados en los canales RGB. En el contexto del formato BMP de 24 bits, cada píxel se representa mediante tres bytes contiguos, lo que exige que todas las operaciones se realicen sobre bloques de tres elementos, garantizando la integridad del color y la consistencia visual de la imagen reconstruida.

A esto se suma la obligación de documentar rigurosamente el proceso mediante la elaboración de un informe técnico y un video explicativo. Estos productos deben demostrar no solo el funcionamiento de la solución, sino también la justificación detallada de las decisiones algorítmicas adoptadas, la pertinencia de las estructuras de control utilizadas, la elección de tipos de datos, y las ventajas obtenidas en términos de eficiencia computacional. De este modo, el proyecto no solo representa un reto técnico, sino una instancia integral de evaluación de competencias en diseño, programación, análisis y comunicación efectiva de soluciones informáticas complejas.

## FUNDAMENTOS DE LAS TRANSFORMACIONES

Las operaciones involucradas en el proceso de distorsión de la imagen original poseen propiedades computacionales específicas que deben ser comprendidas a fondo para garantizar una correcta inversión de sus efectos. En primer lugar, la operación XOR presenta una característica de reversibilidad intrínseca, ya que aplicar XOR con un mismo patrón sobre un dato binario dos veces consecutivas permite recuperar el valor original. Esta propiedad resulta particularmente útil al momento de revertir transformaciones sin pérdida de información.

En segundo lugar, las rotaciones de bits, al tratarse de desplazamientos circulares dentro de una palabra de 8 bits, son también reversibles siempre que se conozca la dirección y la cantidad exacta de bits rotados. Esta característica permite implementar tanto la rotación directa como su correspondiente inversa, sin ambigüedad ni degradación de los datos.

Por otro lado, los desplazamientos lógicos presentan una limitación estructural importante: al eliminar bits del extremo opuesto al desplazamiento, se produce una pérdida irreversible de información. Sin embargo, para los fines de este proyecto, estos desplazamientos serán modelados como rotaciones circulares equivalentes, preservando así su reversibilidad y compatibilidad con el resto del sistema.

Finalmente, la operación de enmascaramiento mediante suma con una máscara de color constituye una transformación no reversible. No obstante, su función no es alterar la imagen de forma permanente, sino proporcionar un mecanismo de validación intermedia. Al comparar los resultados esperados del enmascaramiento con los obtenidos a partir de una imagen transformada, es posible verificar la validez de una operación propuesta en un punto determinado del proceso.

Estas propiedades influyen directamente en la arquitectura del algoritmo de reconstrucción, ya que permiten definir un conjunto finito y comprobable de transformaciones que pueden aplicarse, validarse e invertirse de forma secuencial. Asimismo, facilitan la implementación de funciones especializadas para aplicar y revertir cada transformación sobre estructuras de datos de bajo nivel, optimizando el rendimiento y asegurando la integridad de la información visual.

## **SOLUCIÓN PROPUESTA**

La resolución del presente desafío requiere una estrategia que combine razonamiento lógico, validación empírica y ejecución sistemática. Para ello, se propone un enfoque algorítmico basado en deducción progresiva de transformaciones y comprobación secuencial mediante evidencia registrada en archivos de enmascaramiento. El objetivo de esta estrategia no es únicamente identificar operaciones aplicadas sobre la imagen distorsionada, sino también reconstruir el orden preciso en que fueron ejecutadas, garantizando la posibilidad de inversión exacta.

### ***Etapas 1: Preparación y carga de datos***

Se inicia con la conversión de las imágenes ID, IM y M a estructuras manipulables en bajo nivel, representadas como arreglos unidimensionales de bytes, permitiendo el acceso directo a cada componente RGB. Paralelamente, se procesan los archivos .txt para extraer los desplazamientos y vectores RGB resultantes del enmascaramiento aplicado, asegurando así la disponibilidad de todos los insumos necesarios. Este paso también incluye una normalización estructural que facilita la comparación entre imágenes, aun cuando difieran en dimensiones o alineación de datos.

### ***Etapas 2: Simulación de transformaciones***

Con los datos preparados, se procede a simular transformaciones potenciales como XOR, rotaciones circulares y desplazamientos simulados. Estas se aplican de manera controlada sobre copias de la imagen ID, y a cada versión transformada se le aplica el enmascaramiento correspondiente desde el desplazamiento  $s$ . Los resultados obtenidos se contrastan byte a byte con los datos del archivo .txt, permitiendo identificar coincidencias exactas y descartar combinaciones inválidas. Esta etapa constituye el núcleo exploratorio del algoritmo, pues permite construir hipótesis computacionales verificables.

### ***Etapas 3: Construcción de la secuencia***

Una vez identificada una transformación compatible, esta se incorpora a una secuencia provisional. En caso de que una transformación posterior no valide con su archivo correspondiente, se recurre a retroceso (backtracking), descartando la última elección y

explorando rutas alternativas. La búsqueda se realiza dentro de un espacio de permutaciones acotado, optimizado para evitar redundancias y operaciones incompatibles, con el fin de alcanzar una secuencia completamente coherente con los archivos de rastreo.

#### ***Etapas 4: Reconstrucción Inversa***

Establecida la secuencia de operaciones, se ejecuta su inversión lógica aplicando, en orden contrario, las operaciones inversas sobre la imagen ID. Este proceso incluye reaplicar XOR con IM cuando corresponda, así como realizar rotaciones opuestas a las originalmente detectadas. Finalmente, la imagen resultante es sometida a una validación visual mediante reconstrucción del archivo BMP y a una verificación binaria para garantizar la integridad del resultado. Este cierre valida que la secuencia invertida sea congruente con una imagen original coherente en su estructura y contenido.

Esta metodología permite enfrentar el problema con una lógica de ingeniería inversa controlada, donde cada decisión se fundamenta en datos verificables y se guía por principios de eficiencia, reversibilidad y trazabilidad computacional.

## **CARACTERÍSTICAS DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA**

La solución planteada se distingue por una estructura conceptual y técnica cuidadosamente segmentada, que responde tanto a los requisitos funcionales del problema como a las restricciones impuestas por el entorno de desarrollo. Uno de sus principales atributos es la modularidad arquitectónica, mediante la cual se separan de forma lógica y funcional los procesos de carga de datos, aplicación de transformaciones, verificación intermedia y reconstrucción final. Esta organización facilita la depuración, el mantenimiento y la reutilización de componentes.

Otro aspecto clave es la reversibilidad controlada del algoritmo, garantizada por la implementación explícita de contrapartes inversas para cada operación aplicada. Esto asegura que el proceso de reconstrucción conserve la integridad de los datos originales, sin degradación o pérdida durante el recorrido inverso.

La solución también se fundamenta en una verificabilidad empírica rigurosa, gracias al uso sistemático de los archivos .txt como puntos de control. Estos ficheros permiten validar, con precisión byte a byte, si una determinada transformación aplicada se corresponde con la salida esperada en etapas intermedias, dotando al sistema de un mecanismo fiable de comprobación.

En cuanto a la adecuación técnica, el desarrollo se encuentra en pleno cumplimiento de las restricciones definidas, al abstenerse del uso de estructuras STL y al operar exclusivamente mediante punteros, arreglos y gestión manual de memoria. Esta disciplina permite no solo respetar el marco académico del reto, sino también afianzar habilidades fundamentales en programación de bajo nivel.

Por último, el algoritmo se apoya en un enfoque sistemático, replicable y orientado a la trazabilidad, donde cada decisión tomada en tiempo de ejecución queda registrada o puede ser reproducida de forma controlada. A esto se añaden herramientas complementarias de depuración visual y cuantitativa, como la generación de imágenes intermedias en formato BMP y el análisis numérico de diferencias a nivel de matrices RGB. Estas técnicas no solo facilitan la identificación de errores lógicos, sino que permiten medir con precisión el grado de éxito de cada transformación aplicada durante el proceso de reconstrucción.



## **RIESGOS Y CONSIDERACIONES ADICIONALES**

- La ambigüedad inherente en la validación podría generar falsos positivos. Se mitiga comparando mayores segmentos de datos y aplicando umbrales de exactitud.
- La complejidad combinatoria puede escalar en casos con más de tres transformaciones. Se sugiere aplicar heurísticas para limitar la exploración.
- Cualquier error en la lectura o interpretación de los archivos podría comprometer el éxito del proceso, por lo que se deben incluir verificaciones robustas de integridad.
- Se recomienda instrumentar la ejecución con logs detallados para poder rastrear cada transformación aplicada y revertida.

## CONCLUSIÓN

La reconstrucción de una imagen BMP a partir de transformaciones aplicadas sin conocimiento explícito del orden ni del tipo de operaciones constituye un ejercicio riguroso de razonamiento algorítmico, manipulación de estructuras de bajo nivel y verificación computacional precisa. La solución planteada responde de forma estructurada y metódica a este reto, haciendo uso eficiente de técnicas de ingeniería inversa, transformaciones binarias reversibles y análisis visual cuantificable.

Gracias a un diseño modular, a la implementación de mecanismos de validación intermedia a través de los archivos de rastreo, y a una estrategia basada en deducción y verificación secuencial, se ha conseguido construir un marco metodológico capaz de adaptarse a múltiples configuraciones de distorsión. Este enfoque, al prescindir de estructuras de alto nivel y centrarse en operaciones directas con memoria dinámica, promueve un dominio técnico esencial en entornos donde la eficiencia y el control sobre los recursos son prioritarios.

Además, la integración de herramientas de depuración visual, combinadas con el análisis numérico a nivel de píxel, refuerza la confiabilidad del proceso de reconstrucción, permitiendo verificar la fidelidad de cada paso sin ambigüedad. En conjunto, esta solución representa no solo una propuesta técnica robusta, sino también una plataforma pedagógica para el fortalecimiento de competencias clave en programación de sistemas, análisis de datos binarios y documentación de procesos complejos.

Las próximas fases del desarrollo se centrarán en la implementación progresiva de los módulos definidos, la validación empírica de su comportamiento en distintos casos de prueba y la elaboración del material audiovisual que documente y justifique cada decisión de diseño tomada a lo largo del proyecto.