

Magnificación Euleriana de Cambios Sutiles en Secuencias de Video

Javier M. Matadamas-Flores, María G. Prieto-Pantoja, Juan A. Castañón-García,

Carlos H. García-Capulín, Raúl E. Sánchez-Yáñez

Universidad de Guanajuato, División de Ingenierías del Campus Irapuato-Salamanca. Salamanca, Gto. 36885, México.

jm.matadamasflores@ugto.mx, mg.prietopantoja@ugto.mx, ja.castanongarcia@ugto.mx, carlosg@ugto.mx, sanchezy@ugto.mx

Resumen

En este proyecto se aplica la Magnificación Euleriana de Video para resaltar cambios sutiles que normalmente pasan desapercibidos en una secuencia de video, como las ligeras variaciones en el color de la piel causadas por los latidos del corazón o las pequeñas variaciones de movimiento causadas por la respiración. Para evaluar la efectividad de la técnica, se ha seleccionado un método para la estimación del ritmo cardíaco sin contacto, analizando el cambio de coloración facial producida por el flujo sanguíneo. Luego, se comparan las estimaciones del ritmo cardíaco obtenidos a partir de un video normal y de otro, obtenido al ser tratado con la técnica. Ambas estimaciones se contrastan con los valores proporcionados por un oxímetro digital que se usa como valor de referencia. Esta comparación permite comprobar que, tras el procesamiento del video, los cambios sutiles se vuelven detectables y cuantificables, lo que muestra el potencial de este método de magnificación como herramienta útil en diversas aplicaciones.

Palabras clave: Magnificación Euleriana, Procesamiento de video, Aplicaciones, Estimación de ritmo cardíaco.

Introducción

El ojo humano y los sistemas de video tradicionales tienen una capacidad limitada para captar variaciones sutiles en los cuadros de un video. Sin embargo, muchos procesos físicos y fisiológicos generan cambios mínimos que, aunque invisibles a simple vista, pueden contener información valiosa. Estas variaciones pueden manifestarse como fluctuaciones en el color, vibraciones o movimientos leves, presentes en fenómenos como el ritmo cardíaco, la respiración o la resonancia de estructuras. En estos casos, se busca magnificar o visibilizar tales variaciones, haciendo visible artificialmente algo oculto o que no puede apreciarse con el ojo humano. Esto ha sido históricamente un desafío que requiere de técnicas avanzadas de captura y procesamiento.

En este contexto, la técnica de Magnificación Euleriana de Video (o EVM, por las siglas en inglés para *Eulerian Video Magnification*), introducida por investigadores del Instituto Tecnológico de Massachusetts (Wu *et al.*, 2012), propone un enfoque computacional que permite hacer visibles dichas variaciones mediante el procesamiento de videos convencionales. La EVM se basa en la descomposición espacial de los cuadros del video, es decir, separar cada cuadro de video en distintos niveles de detalle, y el filtrado temporal de las señales que describen cómo cambian los valores de color o movimiento a lo largo del tiempo. Esta metodología permite amplificar sólo los cambios que ocurren dentro de un rango de frecuencias definido, sin necesidad de utilizar equipos de alta precisión o sensores especializados.

Desde su introducción, esta técnica ha demostrado gran versatilidad en distintos campos de aplicación. Por ejemplo, en biología experimental, en (Lauridsen *et al.*, 2019), se ha empleado para observar y cuantificar el ritmo cardíaco y respiratorio en pequeños animales de laboratorio sin necesidad de contacto físico. En botánica, ha sido utilizada para detectar cambios cromáticos sutiles asociados con la fotosíntesis, lo cual permite distinguir entre vegetación real y artificial a partir del comportamiento óptico de las hojas verdes, esto se reportó en (Taj-Eddin *et al.*, 2017).

Aunque el enfoque de esta investigación se centra en la magnificación del color, cabe destacar que la EVM también puede aplicarse a la magnificación del movimiento, ampliando significativamente su campo de acción. Según lo expuesto en (Ahmad *et al.*, 2024), esta variante ha sido utilizada con éxito en áreas como la detección temprana de fallos estructurales en puentes y edificios, el análisis de vibraciones mecánicas en equipos industriales, o la evaluación del movimiento respiratorio en pacientes neonatales. Estos ejemplos de aplicaciones resaltan la versatilidad de la EVM y muestran su potencial como herramienta no invasiva para analizar, en diferentes contextos, fenómenos de otro modo imperceptibles. Ello abre la posibilidad de extender el presente trabajo hacia otras dimensiones del análisis visual no invasivo.

En este trabajo, se propone aplicar la técnica de magnificación Euleriana enfocada exclusivamente en los cambios de color, con el propósito de hacer perceptibles las variaciones provocadas por el pulso sanguíneo en el rostro humano. Como parte de la validación, se utiliza un segundo método que estima los latidos por minuto a partir de la señal extraída del video, y se comparan los resultados obtenidos sobre videos con y sin magnificación, tomando como referencia un oxímetro digital.

En las siguientes secciones se describe el proceso completo de implementación de la EVM para la magnificación de color, desde la captura del video hasta la reconstrucción de la secuencia procesada. Posteriormente, se presenta una aplicación experimental centrada en la estimación del ritmo cardíaco como medio para validar la utilidad de la técnica. Finalmente, se discuten los resultados obtenidos, donde se observa que la Magnificación Euleriana de Video mejora la claridad de las señales visuales asociadas al pulso, haciendo evidentes micro variaciones que de otro modo pasan desapercibidas a simple vista.

Metodología

La metodología implementada en este proyecto se centra en el uso de la técnica de la EVM orientada específicamente a la magnificación de cambios sutiles en el color. Esta metodología permite apreciar micro variaciones que se encuentran presentes en el video original pero ocultas a la percepción humana, validando su utilidad en contextos donde se desea extraer información fisiológica o estructural de manera no invasiva.

Magnificación Euleriana de color

La Magnificación Euleriana de color es una modalidad de la EVM que permite hacer visibles variaciones sutiles del color en una secuencia de cuadros, en donde normalmente tales variaciones son imperceptibles para el ojo humano. A diferencia de los métodos basados en el seguimiento de movimiento, esta técnica adopta una perspectiva fija sobre los píxeles de los cuadros del video, analizando cómo cambia su valor de color a lo largo del tiempo sin necesidad de rastrear su desplazamiento. Cada píxel se trata como una señal temporal, y se buscan fluctuaciones en su intensidad que correspondan a cambios cíclicos o periódicos dentro de una banda de frecuencia definida. El proceso comienza con la separación del video en sus componentes temporales, sobre los cuales se aplica un filtro pasa banda que aísla únicamente las frecuencias de interés. Estas señales filtradas se amplifican multiplicándolas por un factor definido por el usuario, y luego se recombinan con la señal original para obtener un video donde las variaciones en el color son más significativas. De esta forma, fluctuaciones de color que antes estaban presentes pero ocultas a simple vista, ahora son visibles en los cuadros de video, sin alterar de forma drástica el contenido global de éstos.

En la Figura 1 se presenta un diagrama de flujo que resume las principales etapas del proceso de Magnificación Euleriana de color implementado en este proyecto. Desde la adquisición del video hasta la reconstrucción final, el esquema permite visualizar cómo se transforman los datos a lo largo de cada etapa. Esta representación facilita comprender el flujo general del sistema y cómo se integran sus componentes para revelar de manera efectiva micro variaciones visuales.

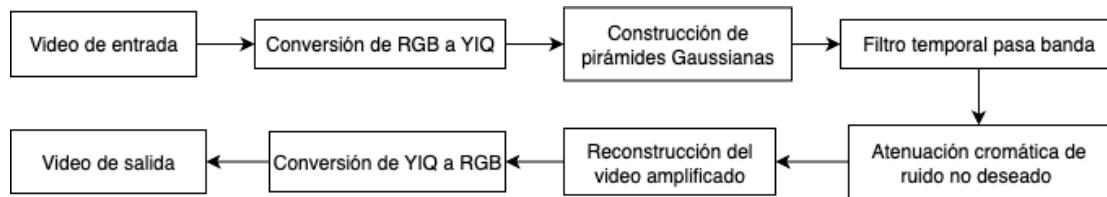


Figura 1. Diagrama de flujo del proceso de Magnificación Euleriana de color. Resume el recorrido del video desde su captura hasta la reconstrucción final con las variaciones de color ya resaltadas.

Conversión del espacio de color RGB a YIQ

Antes de aplicar cualquier procesamiento espacial o temporal sobre los cuadros del video, es necesario realizar una conversión del espacio de color original (RGB) a un espacio más adecuado para el análisis de variaciones cromáticas: el espacio YIQ. Esta representación separa la información de luminancia (Y, *luma*) de los componentes de color (I, *in-phase* y Q, *quadrature*), lo que permite trabajar de forma diferenciada sobre el color sin alterar la estructura luminosa de la imagen. La elección del espacio YIQ no es casual. Dado que muchas de las variaciones sutiles que se desean amplificar ocurren principalmente en los tonos y no en el brillo general de la imagen, separar estos componentes facilita aplicar filtros, amplificación y atenuación selectiva de manera más controlada. Además, con lo anterior se evitan efectos indeseados como la sobresaturación o distorsión de la imagen resultante. Una vez convertidos los cuadros a este espacio de color, se continúa con la siguiente etapa: la descomposición espacial mediante pirámides Gaussianas, que permite analizar las señales de color a diferentes escalas de detalle.

Construcción de pirámides Gaussianas

Para lograr una amplificación más precisa y controlada, la Magnificación Euleriana de color no se aplica directamente sobre los cuadros del video, sino sobre una representación jerárquica conocida como pirámide Gaussiana. Esta estructura permite descomponer cada cuadro de video en niveles de detalle, desde los más finos (alta resolución) hasta los más gruesos (baja resolución), lo que facilita procesar independientemente las distintas escalas espaciales (Burt & Adelson, 1983). La construcción de una pirámide Gaussiana implica aplicar sucesivos filtros de desenfoque (filtros Gaussianos) y reducir la resolución del cuadro en cada paso. Cada nivel generado conserva una versión suavizada del cuadro original, con menor contenido de alta frecuencia. Este enfoque resulta útil para analizar y magnificar variaciones sutiles que podrían pasar desapercibidas, ya que algunas señales de interés se manifiestan con mayor claridad en ciertos niveles.

Para ilustrar el proceso anterior, en la Figura 2 se presenta una secuencia visual que muestra cómo se degradan progresivamente los detalles de un cuadro de un video a medida que se avanza en los niveles de una pirámide Gaussiana. Cada nivel conserva únicamente las estructuras más grandes del cuadro anterior, eliminando los detalles finos. A medida que se desciende en la pirámide, el cuadro se vuelve más borroso y pequeño, lo que permite analizar variaciones visuales a diferentes escalas espaciales. Esta representación no sólo permite observar el efecto del filtrado y la reducción espacial, sino que también ayuda a comprender cómo se separa la información en distintas escalas antes de aplicar el filtrado temporal en la magnificación Euleriana.

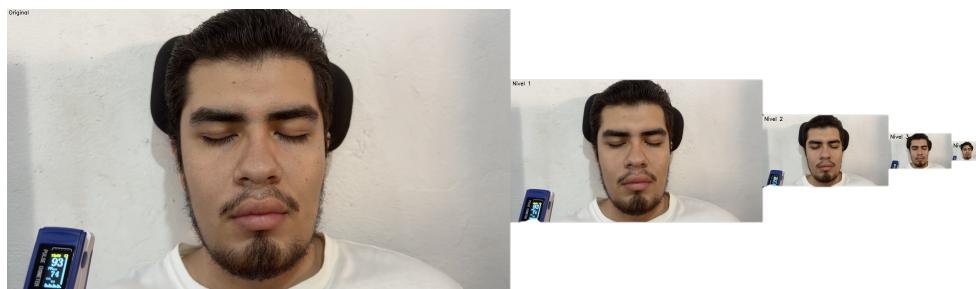


Figura 2. Representación de los distintos niveles de una pirámide Gaussiana construida a partir de un cuadro de video. De izquierda a derecha se muestra el cuadro original y los niveles 1 a 4 generados mediante filtrado Gaussiano y reducción progresiva de resolución.

Filtro temporal pasa banda

Después de descomponer espacialmente cada cuadro del video en diferentes niveles mediante la pirámide Gaussiana, se procede a analizar cómo cambia cada punto del cuadro de video a lo largo del tiempo. Es decir, se observa la evolución del color de cada píxel en cada nivel de la pirámide, como si se tratara de una señal que varía en el tiempo.

Cada una de estas señales, una por píxel, puede contener oscilaciones sutiles, que en conjunto forman patrones de cambio invisibles al ojo humano. Para detectarlas, se realiza un análisis de frecuencia que permite separar los distintos ritmos o velocidades de cambio presentes en esas señales. Así, es posible aislar únicamente aquellas variaciones que ocurren dentro de un rango específico de frecuencias. Una vez identificadas estas fluctuaciones, se amplifican multiplicándolas por un factor definido por el usuario. Este proceso de análisis y amplificación temporal por píxel es la clave para resaltar variaciones muy leves que son prácticamente invisibles de otro modo.

Atenuación cromática

Al procesar señales muy pequeñas en un video, también se corre el riesgo de exagerar algunos efectos no deseados, como colores demasiado intensos, parpadeos o distorsiones de algún tipo. Estos efectos pueden hacer que el resultado final se vea artificial o difícil de interpretar. Para evitar que estos artefactos afecten la calidad del resultado, se requiere una etapa de refinamiento antes de reconstruir los cuadros del video. Así, se aplica una técnica llamada atenuación cromática, que consiste en moderar los cambios hechos en las componentes de color, sin afectar el brillo general de la imagen. De esta forma, se conserva la naturalidad del video, pero haciendo visibles señales que antes estaban ocultas.

Reconstrucción del video

Una vez resaltadas las componentes de interés en la señal, el último paso consiste en generar una versión final del video sin que la magnificación altere su estructura visual original. Para lograrlo, se reincorpora la información amplificada a los cuadros originales del video, sumando los cambios calculados a cada cuadro en la secuencia de video. Este proceso asegura que los detalles relevantes se destaquen, mientras que el contenido general del video permanece casi sin cambios.

En los casos en que el procesamiento se realiza sobre una pirámide Gaussiana, es necesario además realizar una reconstrucción espacial, que consiste en combinar nuevamente todos los niveles de la pirámide para recuperar el cuadro en su resolución original. Este paso implica volver a subir progresivamente la resolución de los niveles inferiores hasta ensamblar la imagen final para después regresarla al espacio de color RGB. Así, el sistema produce un video visualmente coherente, en el que las micro variaciones previamente invisibles se han vuelto perceptibles a simple vista.

Para visualizar el efecto de la magnificación sobre el contenido del video, en la Figura 3 se muestra una comparación directa entre cuadros originales y sus contrapartes procesadas en dos momentos distintos del video. Las imágenes (a) y (b) corresponden al cuadro 31, mientras que (c) y (d) al cuadro 279. En ambos casos, la imagen de la izquierda muestra el cuadro original, y la de la derecha su versión procesada. Esta comparación permite evidenciar cómo el proceso de magnificación realza sutiles variaciones en la coloración de la piel, imperceptibles en el video original.

En el primer par [(a) y (b)] de la Figura 3, se observa un enrojecimiento leve en áreas como la frente, mejillas y cuello, mientras que en el segundo par [(c) y (d)] ocurre un fenómeno inverso: la coloración tiende hacia tonos más pálidos o verdosos. Estas fluctuaciones, que se repiten de forma periódica en el tiempo, son indicativas del flujo sanguíneo y pueden vincularse con el pulso cardíaco. La visualización confirma que el sistema logra preservar la coherencia visual general del video.

Parámetros para aplicar la EVM

En la Tabla 1 se describen detalladamente los parámetros utilizados por el método de EVM, indicando su identificador, tipo de dato, función principal y una breve explicación de su impacto en la magnificación de color. Esta tabla funciona como una guía para comprender cómo cada valor influye en la detección de variaciones cromáticas dentro del video, así como en la calidad y estabilidad del resultado final. La correcta combinación de estos valores permitió ajustar con precisión la sensibilidad del sistema, haciendo visibles sutiles cambios periódicos pero sin resaltar sobremanera efectos no deseados.

Tabla 1. Parámetros de la magnificación de color.

Parámetro	Nombre	Tipo de dato	Función principal	Descripción
-v	--video_ruta	cadena	Ruta del video de entrada	Se especifica la ruta del video que se desea procesar.
-l	--nivel	entero	Niveles de la pirámide Gaussiana	Controla el número de niveles en la pirámide Gaussiana. A mayor nivel, se logra un mayor desenfoque y se capturan variaciones de color más globales. Influye en el grado de suavidad y en la escala espacial del análisis.
-a	--alfa	entero	Factor de amplificación	Define el factor de amplificación de las señales filtradas. Un valor mayor aumenta la visibilidad de los cambios sutiles de color, pero también puede amplificar el ruido si se excede.
-lo	--omega_bajo	punto flotante	Frecuencia mínima (Hz) del filtro temporal	Es la frecuencia mínima (en Hz) del filtro temporal. Junto con ho, define el rango de frecuencias que se desea conservar. Las variaciones fuera de ese rango se eliminan para aislar señales específicas.
-ho	--omega_alto	punto flotante	Frecuencia máxima (Hz) del filtro temporal	Es la frecuencia máxima (en Hz) del filtro temporal. Junto con lo, determina el rango de frecuencias que serán amplificadas, eliminando fluctuaciones demasiado lentas o rápidas.
-at	--atenuación	punto flotante	Atenuación de los canales "I" y "Q"	Factor de reducción aplicado a los canales cromáticos (I y Q) después de la amplificación. Ayuda a suavizar el efecto visual y evita artefactos como saturación excesiva o parpadeos.

Resultados

Para evaluar la efectividad de la técnica de la EVM, se realizaron pruebas centradas en la magnificación de variaciones cromáticas sutiles asociadas a los latidos del corazón. Se compararon videos procesados y no procesados mediante la EVM, aplicando un análisis de señal para estimar el ritmo cardíaco. Los resultados permiten observar cómo el procesamiento mejora la claridad de las señales de interés y la precisión de la estimación, especialmente en condiciones visuales no ideales.

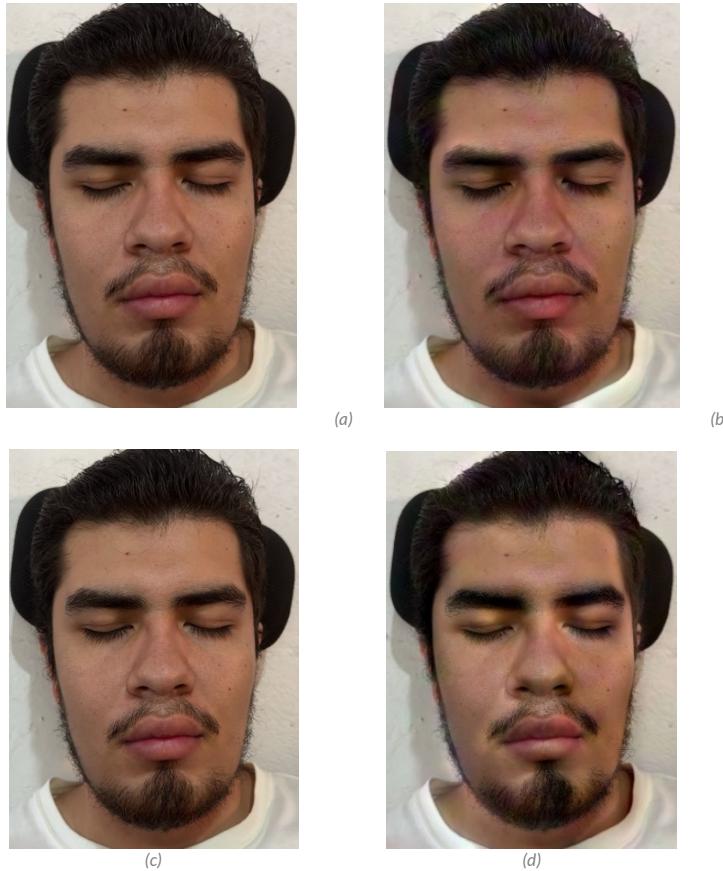


Figura 3. Comparación visual entre cuadros originales [(a) y (c)] y sus versiones magnificadas [(b) y (d)], correspondientes a los cuadros 31 y 279, respectivamente. En el cuadro 31 (a-b), la amplificación revela un leve enrojecimiento en el rostro, especialmente en la frente y mejillas, mientras que en el cuadro 279 (c-d), se evidencia un cambio de tonalidad hacia colores más pálidos o verdosos. Estas variaciones son producto del procesamiento mediante pirámide Gaussiana y reflejan sutiles cambios asociados al flujo sanguíneo que, sin procesar el video, permanecerían invisibles al ojo humano.

Grabación de video

Para este proyecto se utilizó el software de código abierto OBS Studio (Open Broadcaster Software, 2025), que permite obtener grabaciones de alta calidad con control preciso sobre resolución, velocidad de cuadros y compresión. Se empleó una cámara fija montada sobre un trípode, en un entorno con iluminación constante y uniforme, sin parpadeos ni sombras móviles. Durante la grabación, el sujeto permaneció lo más inmóvil posible, evitando movimientos bruscos o expresiones exageradas, a fin de no introducir variaciones ajenas al análisis. También se evitó el uso de filtros, estabilización electrónica o compresión excesiva. Las grabaciones se obtuvieron con una resolución de 1440×810 píxeles, con una tasa de 30 cuadros por segundo (fps) en formato .mov y con una tasa de bits constante (10000) con el fin de obtener los mejores resultados y que, a la vez, se agilizara el procesamiento.

Código utilizado para la EVM

Para llevar a cabo la amplificación de color mediante la EVM, se utilizó como base el código disponible públicamente en el repositorio de GitHub *Eulerian-Video-Magnification* (Belgacem, 2023). Este repositorio contiene una implementación funcional del algoritmo original, orientado tanto a la amplificación de movimiento como de color. Sin embargo, con el objetivo de simplificar el proceso y adaptarlo específicamente a la amplificación de color, se realizaron diversas modificaciones al código fuente. En particular, se reorganizaron los módulos para que el procesamiento estuviera enfocado exclusivamente en la variante de la EVM basada en pirámides Gaussianas, centrada en resaltar sutiles fluctuaciones cromáticas, y la generación de gráficas que permitan visualizar cómo es que fluctúa el color a lo largo del tiempo.

Parámetros utilizados

Se evaluaron y ajustaron los parámetros necesarios para lograr un tratamiento efectivo del color mediante la EVM. En el artículo *Eulerian Video Magnification for Revealing Subtle Changes in the World* (Wu *et al.*, 2012), los autores utilizan en su video de prueba denominado “face” un factor de amplificación de 100, una frecuencia mínima de 0.83 Hz y una frecuencia máxima de 1.0 Hz. A partir de múltiples pruebas empíricas y un análisis consciente del efecto de cada parámetro sobre el resultado final, se determinó que los valores óptimos para este proyecto son: un factor de amplificación de 40, una frecuencia mínima de 0.8 Hz y una frecuencia máxima de 1.5 Hz. Dos parámetros adicionales no son mencionados explícitamente en el documento original, pero sí se encuentran en el repositorio de GitHub utilizado como base para esta implementación (Belgacem, 2023). En dicho repositorio, se sugiere utilizar una atenuación de 1.0 y entre 4 y 6 niveles en la pirámide. Tras realizar pruebas exploratorias, se optó por emplear 4 niveles, ya que a ese nivel se observaron con mayor claridad los cambios cromáticos deseados. Debido a la correcta elección de estos parámetros, y en conjunto con las condiciones de grabación descritas previamente, los videos procesados permiten hacer visibles las micro variaciones en el color de la piel provocadas por el flujo sanguíneo. La Figura 4 muestra una comparación entre un video original y el video amplificado, por medio de una gráfica espacio-temporal donde se aprecia cómo la técnica de Magnificación Euleriana de color logra resaltar cambios sutiles que de otro modo serían imperceptibles a simple vista. Esta visualización refuerza la efectividad del método aplicado en este proyecto.

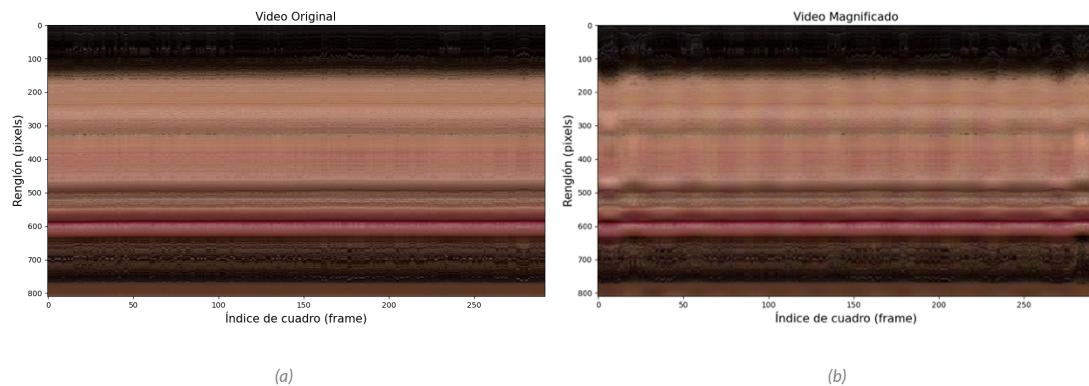


Figura 4. Comparación entre el video original (a) y el video amplificado (b) mediante la técnica de Magnificación Euleriana de color. Cada gráfica muestra la evolución temporal de los valores de color en una misma línea horizontal del video a lo largo del tiempo. En el video amplificado se observan con mayor claridad las oscilaciones cromáticas asociadas al pulso que, en el video original, pasan desapercibidas.

Estimación del ritmo cardíaco

El ritmo cardíaco es una medida fundamental en el monitoreo de la salud cardiovascular. Tradicionalmente, su medición se realiza mediante dispositivos de contacto como oxímetros o monitores cardíacos. Sin embargo, en los últimos años han emergido técnicas no invasivas basadas en video que permiten estimar los latidos por minuto sin necesidad de contacto físico. Este enfoque se basa en el principio de la fotopletismografía remota, una técnica que permite, a partir de video, detectar pequeños cambios en la piel causados por el flujo sanguíneo con cada latido. Dichas variaciones son imperceptibles al ojo humano, pero pueden ser captadas por una cámara convencional y magnificadas mediante la EVM, particularmente cuando se trabaja sobre la componente de color. De esta forma, completamente no invasiva en su origen, se pueden visualizar y analizar los pulsos cardíacos manifiestos en el rostro de una persona (Poh *et al.*, 2010).

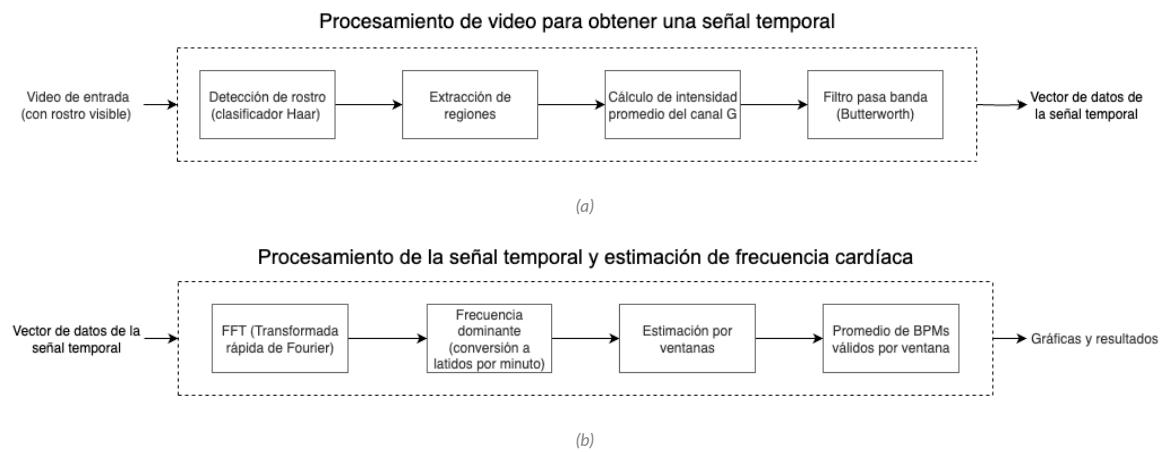


Figura 5. Diagrama de bloques del proceso de estimación del ritmo cardíaco a partir de un video. En (a) se presenta el procesamiento para la extracción de una señal unidimensional a partir de la secuencia de video, lo que incluye la detección del rostro y regiones de interés y la extracción del canal verde y valores promedio, uno para cada cuadro, resultando una señal variante en el tiempo. En (b) se indica el procesamiento de la señal temporal, que se filtra y analiza en el dominio de la frecuencia para estimar el ritmo cardíaco de forma no invasiva.

Flujo general del proceso de estimación del ritmo cardíaco por medio de video

Para estimar el ritmo cardíaco a partir de un video, se sigue una serie de pasos que permiten aislar y analizar las señales ópticas relacionadas con el flujo sanguíneo. La Figura 5 muestra un diagrama de bloques del proceso de estimación del ritmo cardíaco. En él se ilustran las etapas principales, permitiendo entender cómo un video del rostro humano puede analizarse para obtener el ritmo cardíaco sin necesidad de contacto físico. Esta visualización destaca la secuencia lógica del procedimiento: capturar el video, localizar el rostro, extraer la señal de color relacionada con el pulso, y convertir dicha señal en una estimación de ritmo cardíaco.

En primer lugar, se detecta el rostro del individuo en cada cuadro del video. Luego, se seleccionan regiones específicas del rostro donde los cambios de color son más notables. En estas regiones se extrae el canal verde de la imagen (componente G del modelo RGB). Posteriormente, se construye una señal temporal con los valores promedio del canal verde a lo largo del tiempo. Esta señal se filtra en una banda de frecuencia específica (0.8–3.0 Hz), correspondiente al rango normal de pulsaciones humanas. Finalmente, se aplica una transformada rápida de Fourier (FFT) para identificar la frecuencia dominante en la señal, la cual se traduce directamente en la estimación del ritmo cardíaco.

El procedimiento fue desarrollado adaptando material del repositorio publicado por (Oved, 2022), disponible en GitHub, el cual fue modificado para ajustarse a las necesidades específicas del análisis realizado en este trabajo.

Procesamiento de video para obtener una señal temporal

El primer paso en la estimación del ritmo cardíaco a partir de video consiste en preparar adecuadamente los datos visuales. Para ello, se parte del análisis de un video donde el rostro de una persona permanece visible durante varios segundos. El objetivo es extraer información relevante relacionada con los cambios sutiles en el color de la piel que se producen con cada latido del corazón.

En cada cuadro del video, se utiliza un algoritmo de detección facial para localizar la cara del individuo. Una vez detectado el rostro, se seleccionan tres regiones específicas donde las variaciones de color tienden a ser más evidentes: la frente, la mejilla izquierda y la mejilla derecha. Estas zonas son recortadas y procesadas individualmente. A continuación, se calcula el valor promedio de intensidad en el canal verde dentro de cada región seleccionada. Esta elección se debe a que el canal verde ha demostrado ser más sensible a las variaciones inducidas por la perfusión sanguínea. Posteriormente, se realiza un promedio ponderado de las tres regiones según su tamaño, obteniendo así una única señal temporal que representa cómo cambia la intensidad del canal verde a lo largo del tiempo.

Procesamiento de la señal temporal y estimación del ritmo cardíaco

Una vez que se ha generado la señal temporal que representa las variaciones de color en el rostro, el siguiente paso consiste en analizarla para identificar la frecuencia predominante asociada al ritmo cardíaco. Dado que la señal extraída puede contener fluctuaciones indeseadas producto del ruido o de variaciones no relacionadas con el pulso, se aplica un filtro digital pasa banda de tipo Butterworth. Este filtro permite aislar únicamente las frecuencias dentro del rango típico del ritmo cardíaco humano (entre 0.8 y 3 Hz), eliminando componentes de baja y alta frecuencia no relevantes. De este modo, se preservan las oscilaciones útiles asociadas a los latidos del corazón, facilitando su análisis y posterior estimación.

Sobre la señal previamente filtrada se aplica una Transformada Rápida de Fourier, una herramienta matemática que permite identificar sus frecuencias dominantes. El análisis de la transformada revela cuál es la frecuencia más fuerte dentro del rango esperado, lo que se traduce directamente en una estimación del ritmo cardíaco. Sin embargo, el ritmo cardíaco no es constante durante toda la grabación: puede acelerarse o disminuir ligeramente en distintos momentos. Por esta razón, además de obtener una estimación general, se implementa un análisis más detallado mediante ventanas deslizantes. Este enfoque consiste en recorrer la señal utilizando segmentos temporales consecutivos, dentro de los cuales se calculan de forma individual los latidos por minuto (usaremos el término común BPM, por las siglas en inglés para *beats per minute*). El tamaño de estas ventanas no es fijo, sino que se ajusta automáticamente en función del ritmo estimado, buscando cubrir un número mínimo de ciclos cardíacos (por ejemplo, cinco latidos por ventana). De esta forma, cada segmento contiene suficiente información para obtener una estimación confiable sin perder resolución temporal. A medida que la ventana se desplaza por la señal, se genera una serie de valores de latidos por minuto localizados, los cuales reflejan cómo varía el ritmo cardíaco del individuo a lo largo del video. El análisis por ventanas proporciona una visión más rica y dinámica del comportamiento fisiológico, permitiendo detectar eventuales cambios o irregularidades en el pulso que podrían pasar desapercibidos en una estimación global.

Comparación de resultados con y sin magnificación Euleriana de color

Con el fin de evaluar el impacto de la EVM en la estimación del ritmo cardíaco, se analizaron dos escenarios distintos utilizando videos del mismo individuo bajo condiciones diferentes. En ambos casos, se procesaron dos versiones de cada video: una original sin tratamiento y otra magnificada mediante la técnica de la EVM de color. Posteriormente, se aplicó el mismo flujo de análisis descrito previamente para estimar el valor promedio de BPM, empleando la información del canal verde en regiones faciales específicas.

En el Caso 1, correspondiente a un video con buena calidad de iluminación y condiciones estables, la estimación del ritmo cardíaco fue consistente tanto en el video original como en el amplificado, mostrando una coincidencia con el valor de referencia obtenido mediante un oxímetro digital (± 1 latido por minuto de margen de error). Esto sugiere que la EVM no introduce distorsiones en señales ya suficientemente claras.

En el Caso 2, en cambio, el video original presentaba condiciones menos favorables (peor iluminación y un poco de movimiento), lo que resultó en una estimación desviada respecto al valor del oxímetro. Al aplicar la amplificación, se logró una mejora significativa en la exactitud, acercando la estimación al valor de referencia. Esto evidencia la utilidad de la EVM para amplificar sutiles cambios de color que, de otro modo, podrían pasar desapercibidos.

En la Tabla 2 se presentan los resultados cuantitativos de ambos casos, ilustrando la estabilidad del método cuando no es necesario amplificar y su capacidad para mejorar la estimación cuando las condiciones lo requieren.

Tabla 2. Comparación de resultados del video sin y con EVM de color con respecto al oxímetro digital.

Número de Caso	Ritmo cardíaco (dada en BPM) del oxímetro	Ritmo cardíaco del video sin amplificar	Ritmo cardíaco del video con EVM de color	Diferencia de ritmo cardíaco del video sin procesar con respecto al oxímetro	Diferencia de ritmo cardíaco del video con EVM de color con respecto al oxímetro
Caso 1	74	74.9	74.9	0.9	0.9
Caso 2	73	68.62	72.3	4.38	0.7

Además de los resultados numéricos presentados, se generaron representaciones gráficas que permiten visualizar el comportamiento de la señal utilizada para estimar el ritmo cardíaco en ambos casos de estudio. En la Figura 6 se comparan las señales obtenidas a partir del promedio de la intensidad de los niveles de gris en un video sin procesar (columna izquierda) y con EVM (columna derecha), bajo condiciones de iluminación y postura estables (Caso 1). En la misma figura, se aprecian gráficas en tres niveles o filas; gráficas que están intrínsecamente conectadas, ya que representan etapas sucesivas del procesamiento de la señal que concluye en la estimación del ritmo cardíaco.

En la fila superior, se muestra la evolución temporal de la intensidad promedio del canal verde en regiones faciales, la cual contiene la señal del pulso mezclada con ruido e interferencias debidas a movimiento, iluminación o compresión del video. Se observa que la señal original presenta una variabilidad más caótica y menos definida, mientras que la señal amplificada muestra oscilaciones regulares y claramente visibles, que corresponden al ritmo cardíaco. Cada gráfica en la segunda fila muestra esa misma señal luego de haber sido sometida a un filtrado pasa banda del tipo Butterworth, lo que permite aislar las frecuencias que corresponden al rango fisiológico del ritmo cardíaco (entre 0.8 y 3 Hz), eliminando componentes de baja y alta frecuencia no relacionadas con la actividad cardiovascular. Se puede notar que la versión amplificada presenta un patrón mucho más limpio y periódico. Finalmente, cada gráfica en la fila inferior corresponde al espectro de frecuencia de la señal filtrada, y donde se puede observar el componente dominante de frecuencia, que representa la estimación final del pulso. Los espectros de frecuencia revelan un pico dominante más definido en la señal amplificada, lo que facilita la estimación del ritmo cardíaco con mayor precisión.

Al analizar las gráficas en la Figura 6, en su conjunto, se obtiene una visión clara del proceso: desde la adquisición ruidosa de la señal original, pasando por su depuración, hasta la obtención de una estimación precisa del ritmo cardíaco. Además, se posibilita el evaluar visualmente la calidad del procesamiento, ya que una señal más limpia y un espectro con un pico más definido indican una mayor confiabilidad en la estimación de los latidos por minuto.

La Figura 7 presenta una comparación detallada entre las señales obtenidas sin y con la aplicación de la EVM al video del segundo caso. En la primera fila se observa la señal cruda, correspondiente al promedio de intensidad de los niveles de gris; sin la EVM, la señal presenta variaciones poco definidas, mientras que con la EVM se hacen evidentes oscilaciones periódicas más marcadas. Al aplicar el filtro pasa banda de Butterworth (segunda fila), estas oscilaciones se realzan aún más, permitiendo una mejor identificación de la señal pulsante. Finalmente, en la tercera fila, el análisis espectral revela una frecuencia dominante más clara y precisa en la señal amplificada, lo que se traduce en una mejor estimación de los BPM. Esta comparación demuestra la efectividad de la EVM para mejorar la visibilidad de variaciones sutiles, incluso en escenarios de baja calidad de captura, reforzando su utilidad como herramienta no invasiva para el monitoreo del ritmo cardíaco.

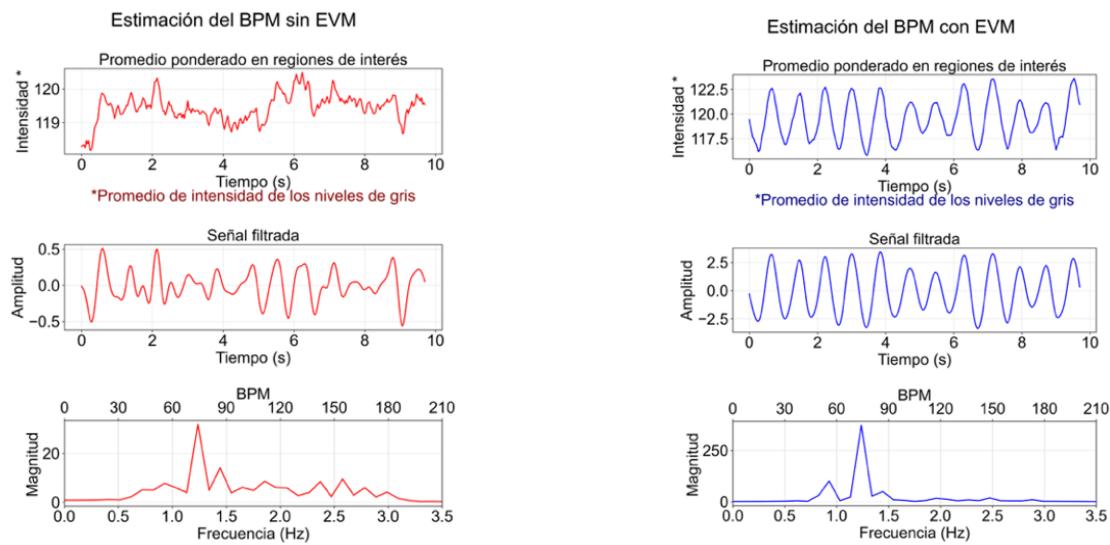


Figura 6. Representación gráfica de las señales extraídas del video original (izquierda) y del video con EVM (derecha) en el Caso I de estudio. De arriba a abajo se muestran: la señal del canal verde en función del tiempo, la señal filtrada mediante un filtro Butterworth pasa banda, y el espectro de frecuencia resultante expresado en Hz. Aunque el valor promedio del ritmo cardíaco es similar, se observa una mayor claridad y regularidad en la señal amplificada.

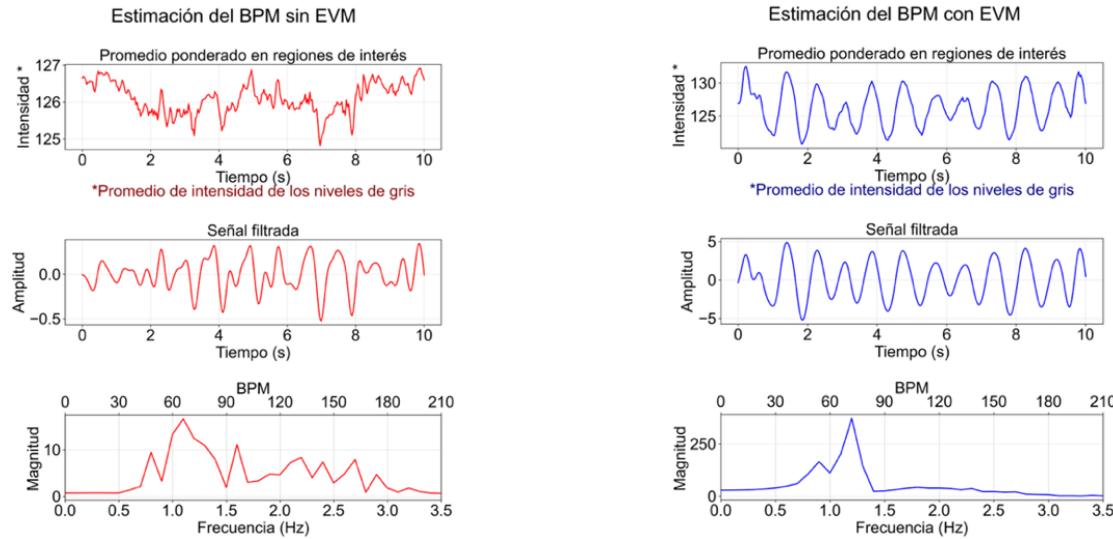


Figura 7. Comparación entre señales sin EVM (izquierda) y con EVM (derecha) para el Caso 2. Primera fila: señal obtenida del promedio de niveles de gris. Segunda fila: señal filtrada con filtro Butterworth. Tercera fila: espectro de potencia de la señal filtrada, indicando la frecuencia dominante asociada al ritmo cardíaco. Se observa que la EVM mejora la claridad y periodicidad de la señal, facilitando una estimación más precisa del ritmo cardíaco.

Conclusiones

La Magnificación Euleriana de Video, particularmente en la modalidad de color, probó ser una herramienta eficaz para tratar y resaltar cambios sutiles en la coloración de la piel, imperceptibles a simple vista. Al aplicar esta técnica sobre videos de rostro humano, fue posible resaltar micro variaciones cromáticas asociadas al flujo sanguíneo, permitiendo que estas señales sean detectadas y analizadas para estimar los latidos por minuto sin contacto físico. La adaptación del código del repositorio (Belgacem, 2023) permitió construir una solución específica centrada únicamente en la magnificación de color, ajustando parámetros clave como el nivel de la pirámide Gaussiana, el rango de frecuencias del filtro temporal, el factor de amplificación y la atenuación de los canales cromáticos. Esto facilitó una configuración más controlada y eficiente del proceso, logrando resultados visuales coherentes y datos más robustos. Los resultados obtenidos muestran que, al comparar los latidos por minuto estimados entre videos sin procesar y videos procesados con EVM, la técnica mejora la precisión de la estimación y la exactitud, al acercarse más a los valores de referencia obtenidos con un oxímetro digital. Esto valida el uso de la EVM como una herramienta complementaria en sistemas de monitoreo remoto, especialmente en contextos donde se requiere un método no invasivo y de bajo costo. Además, el análisis gráfico de la señal del color, su versión filtrada y el espectro de frecuencia mostró de manera clara cómo la EVM mejora la calidad de la señal, eliminando ruido y fortaleciendo las componentes periódicas asociadas al pulso. Este proyecto no solo muestra la efectividad de la magnificación Euleriana de color como técnica de procesamiento de video, sino que también sienta las bases para futuras investigaciones orientadas a integrar el algoritmo, explorando su potencial en salud, ingeniería, y otras áreas donde las micro variaciones visuales contienen información valiosa y difícil de detectar por medios convencionales.

Referencias

- Ahmad, K., Ibrahim, A.-W S., & Sadiq, A. (2024). The Applications based on video motion magnification techniques. *Journal La Multiapp*, 5(1), 1-9. <https://doi.org/10.37899/journallamultiapp.v5i1.814>
- Belgacem, H. B. (2023). *Eulerian-Video-Magnification* [Repositorio de código]. GitHub. <https://github.com/hbenbel/Eulerian-Video-Magnification>
- Burt, P., & Adelson, E. (1983). The Laplacian pyramid as a compact image code. *IRE Transactions On Communications Systems*, 31(4), 532-540. <https://doi.org/10.1109/tcom.1983.1095851>
- Lauridsen, H., Gonzales, S., Hedwig, D., Perrin, K. L., Williams, C. J. A., Wrege, P. H., Bertelsen, M. F., Pedersen, M., & Butcher, J. T. (2019). Extracting physiological information in experimental biology via Eulerian video magnification. *BMC Biology*, 17(1). <https://doi.org/10.1186/s12915-019-0716-7>
- Oved, G. (2022). *webcam-heart-rate-monitor* [Repositorio de código]. GitHub. <https://github.com/giladoved/webcam-heart-rate-monitor>
- Open Broadcaster Software. (2025, 27 de junio). *OBS Studio* (versión 31.0.4) [Software de código abierto]. <https://obsproject.com/>
- Poh, M., McDuff, D. J., & Picard, R. W. (2010). Non-contact, automated cardiac pulse measurements using video imaging and blind source separation. *Optics Express*, 18(10), 10762. <https://doi.org/10.1364/oe.18.010762>
- Taj-Eddin, I. A., Afifi, M., Korashy, M., Ahmed, A. H., Cheng, N. Y., Hernandez, E., & Abdel-Latif, S. M. (2017). Can we see photosynthesis? Magnifying the tiny color changes of plant green leaves using Eulerian video magnification. *Journal Of Electronic Imaging*, 26(06), 1. <https://doi.org/10.1117/1.jei.26.6.060501>
- Wu, H., Rubinstein, M., Shih, E., Guttag, J., Durand, F., & Freeman, W. (2012). Eulerian video magnification for revealing subtle changes in the world. *ACM Transactions On Graphics*, 31(4), 1-8. <https://doi.org/10.1145/2185520.2185561>