



# Procesamiento de imágenes y análisis de migración celular



Nicolás González Muñoz  
nicolas.gonzalezmu@sansano.usm.cl  
Laboratorio de Modelación I - MAT282

Profesor: Pedro Gajardo  
Profesional externo: Rina Ortiz  
Centro de Biotecnología Dr. Daniel Alkalay Lowitt -  
UTFSM

## Resumen y Objetivos

El análisis de migración celular es muy útil para saber como se movilizará y replicará cierto tipo de célula en un ambiente determinado, como por ejemplo, células cancerígenas en el cuerpo humano. Sin embargo, estos estudios pueden tomar días para ser finalizados.

Esto genera la necesidad de automatizar este proceso, para así reducir el tiempo y esfuerzo que requiere entregar resultados consistentes.

## Fenómeno y Objetivos Iniciales

En el caso a estudiar se colocan una cierta cantidad de células en una placa, a las cuales las hacen reaccionar a un estímulo determinado, para así estudiar el movimiento de la población. Dichas células son fotografiadas a intervalos constantes de tiempo y se analizan dichas imágenes.

Para poder realizar un análisis lo más simple posible, se intentará segmentar las imágenes, para después entregar datos sobre su movimiento.

## Modelo Matemático

Dado un conjunto de  $k$  imágenes, se necesita binarizar cada imagen de manera que se pueda encontrar cada célula de manera sencilla. Para ello, a cada imagen le aplicaremos la composición de funciones  $f - g \circ f_2 \circ f$ . Este proceso toma la matriz que representa cada imagen, a cada entrada de dicha matriz se le asigna un valor de 0 si esta pertenece al intervalo  $I = [\bar{x} - 0.7\sigma, \bar{x} + 0.7\sigma]$  o 1 si esto no ocurre, obteniendo una matriz binarizada. Luego se transforma en su matriz morfológica y se le quita un punto a cada conglomerado, para volverla a binarizar. Finalmente se le sustrae esta última matriz a la primera matriz binaria que se obtuvo.

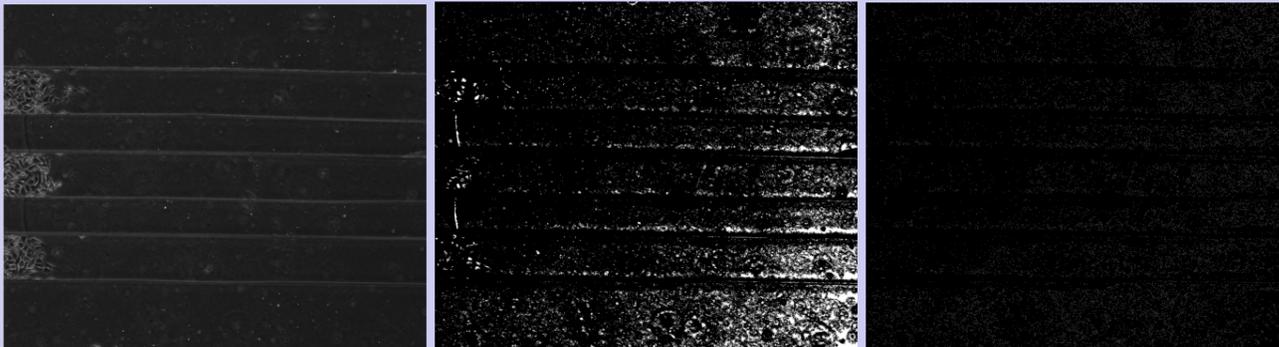
Para la parte del análisis de migración celular, es necesario obtener la distancia euclidiana, distancia total, velocidad media e instantánea, persistencia y direccionalidad de cada célula y/o de la población.

Para esto se usa la función  $h_2$ , para determinar el recorrido que realiza un punto seleccionado y así poder discriminar entre lo que es célula y lo que no lo es.

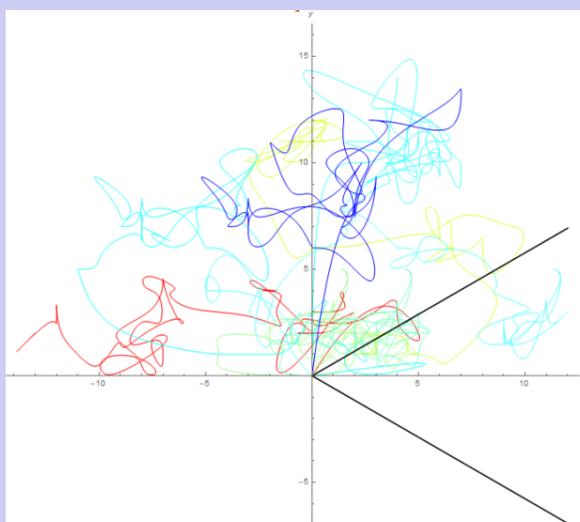
Una vez que se conoce la trayectoria de las células a estudiar, podemos realizar el análisis matemático correspondiente.

## Resultados

Al programar un algoritmo computacional que aplica el modelo señalado, se obtienen los siguientes resultados para la segmentación de imágenes:



Para el análisis posterior se obtuvieron los siguientes resultados generales:



Distancia euclidiana promedio:  $-1.4306[\mu m]$   
Longitud promedio de trayectoria:  $183.697[\mu m]$   
Distancia final promedio:  $13.4247[\mu m]$   
Velocidad promedio:  $0.172485[\mu m/min]$   
Rapidez promedio:  $0.0126054[\mu m/min]$   
Persistencia promedio:  $0.00922666$   
Direccionalidad:  $0\%$

Hora de término: 11:48:43 GMT-4.

Tiempo transcurrido: 11.7144 min

Estos resultados son coherentes con lo que se podría esperar. Además, se logró reducir el tiempo de análisis desde al menos un día hasta tan solo 12 minutos.

## Background

A continuación se colocan las definiciones y funciones que se utilizaron en el modelamiento:

- Definiciones matemáticas:
  - $A_i$ : Matriz de  $n$  por  $m$  que representa la fotografía  $i$ , de una serie de  $k$  fotografías.
  - Matriz morfológica: Matriz que tiene como entradas enteros no negativos, las cuales representan conglomerados de puntos blancos en una imagen.
  - $\bar{x}$ : Promedio del valor de los pixeles (entrada de la matriz) en la primera imagen, en escala de grises.
  - $\sigma$ : Desviación estandar asociada al promedio definido arriba.
  - $f$ : Función que binariza una imagen a partir de la matriz que la representa
  - $f_2$ : Función que convierte una matriz en su respectiva matriz morfológica.
  - $g$ : Función que recibe como argumento una matriz morfológica y convierte solo una entrada de cada conglomerado en 0. Luego la vuelve a binarizar.
  - $h_1$ : Toma como argumentos un punto en  $\mathbb{R}^2$  y una matriz, retornando la coordenada con valor distinto de 1 más cercana al punto entregado.
  - $h_2$ : Aplica la función  $h_1$  a la serie de matrices que representan el set de imágenes.
- Parámetros biológicos:
  - Distancia euclidiana: Desplazamiento horizontal de una célula.
  - Persistencia: Razón entre la distancia euclidiana y la distancia total.
  - Direccionalidad: Cantidad de células dentro de un ángulo de  $60^\circ$ , el cual está definido por la dirección en que se encuentra el estímulo.

## Conclusiones

El algoritmo computacional logró reducir bastante el tiempo de análisis. Sin embargo, las imágenes con mucho ruido o manchas pueden producir que se pierda algo de información. Pese a ello, la pérdida de información no es demasiado grande y puede ser controlado mediante la variación de algunos parámetros o aplicando mejores filtros.