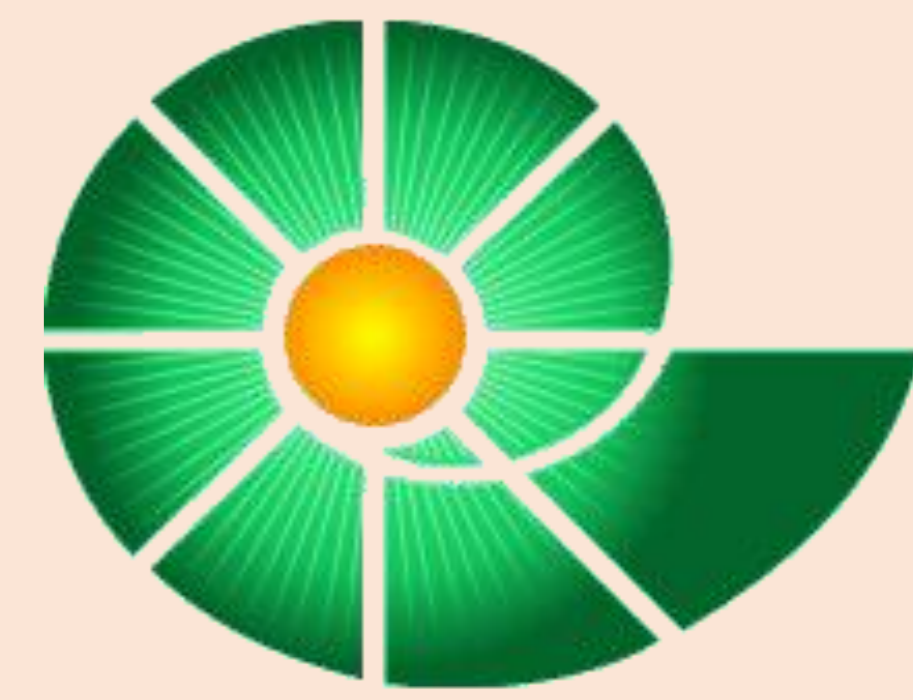
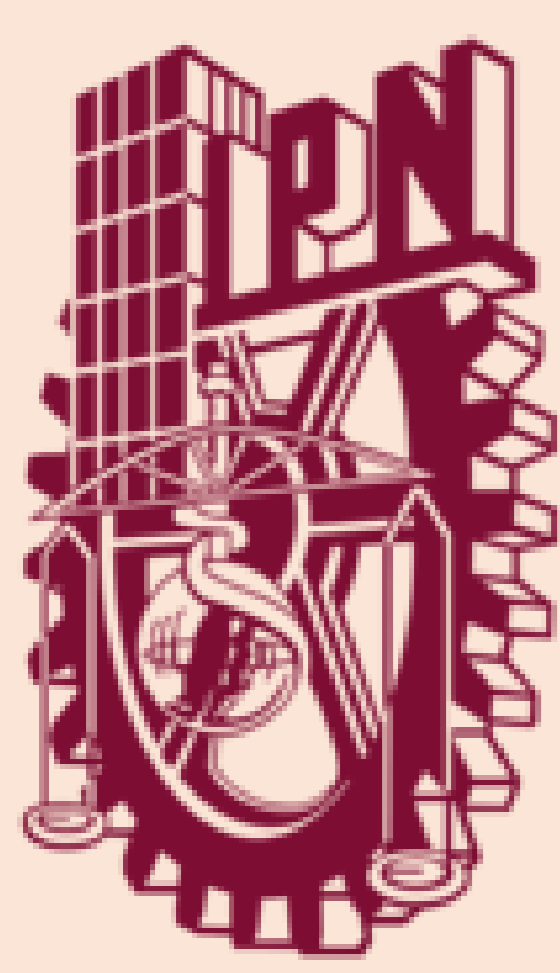


# Mapeo de series de interlatido cardiaco a redes complejas usando el algoritmo de visibilidad: Análisis del parámetro k-M

Héctor E. González Cabrera, Johana Betzabé García Bustamante, Alfredo Salinas Martínez, Eric E. Solís Montufar, Alejandro Muñoz Diosdado  
 Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología  
 Instituto Politécnico Nacional Ciudad de México, México  
 Correos: hector.emilio.gc@gmail.com, amunozdiosdado@gmail.com



En este trabajo se estudia el parámetro k-M para series de tiempo de variabilidad cardiaca. Se consideraron tres grupos, el primero con jóvenes y ancianos sanos en reposo; el segundo con adultos sanos y pacientes con insuficiencia cardiaca (IC) y el tercero con jóvenes y adultos de edad intermedia, primero en reposo y después haciendo actividad física. Se encontraron diferencias entre las gráficas de k-M en el grupo de jóvenes comparado con el de ancianos. Mientras que la media y la desviación estándar de las pendientes k-M son pequeñas para las personas sanas, estos valores son más altos para los ancianos.

## Introducción

Para caracterizar series de tiempo de sistemas complejos se han usado muchas técnicas emergentes; por ejemplo, métodos para la conversión de series de tiempo en redes complejas para la caracterización de tales en términos de las propiedades de la red. Una de las más importantes de esas técnicas es el algoritmo de visibilidad (VGA)[1]. Con base en la teoría de gráficos, cada valor de la serie de tiempo representa un nodo y los nodos están conectados si hay visibilidad entre ellos. El grado de conectividad k es el número de conexiones de cada nodo. El complejo k-M representa la pendiente de la regresión lineal de los pares de magnitud y grado de conectividad. Estos métodos son comúnmente ocupados en series de tiempo con valores altamente volátiles, tales como son los tacogramas o las ondas sísmicas, como las estudiadas en los trabajos de Telesca[2].

## Objetivo

Verificar si el algoritmo es útil para diferenciar entre sujetos sanos y aquellos con problemas cardiacos.

## Metodología

**Experimental:** Los sujetos participantes son citados para realizar una prueba de esfuerzo, la cual se lleva a cabo con holters Fukuda Denshi FM-150. Los sujetos realizan una prueba distinta dependiendo su edad, aquellos sujetos entre 18 y 29 años se le aplica una prueba con 1 hora de descanso y 30 minutos de caminata a 3.5 millas por hora, mientras que a las personas entre 30 y 60 años se le aplica una prueba con 1 hora de descanso y 30 minutos de caminata a 3 millas por hora. Durante la parte de reposos de cada prueba e realiza el cuestionario IPAQ, con el cual se puede medir el estado físico del sujeto.

**Teórico:** Junto con los datos recabados y datos obtenidos de la base de datos Physionet se puede aplicar el método de visibilidad grafica, con lo que se puede mapear una serie de tiempo en nodos y conexiones. Ocupando mas de 100 mil puntos por cada electrocardiograma.

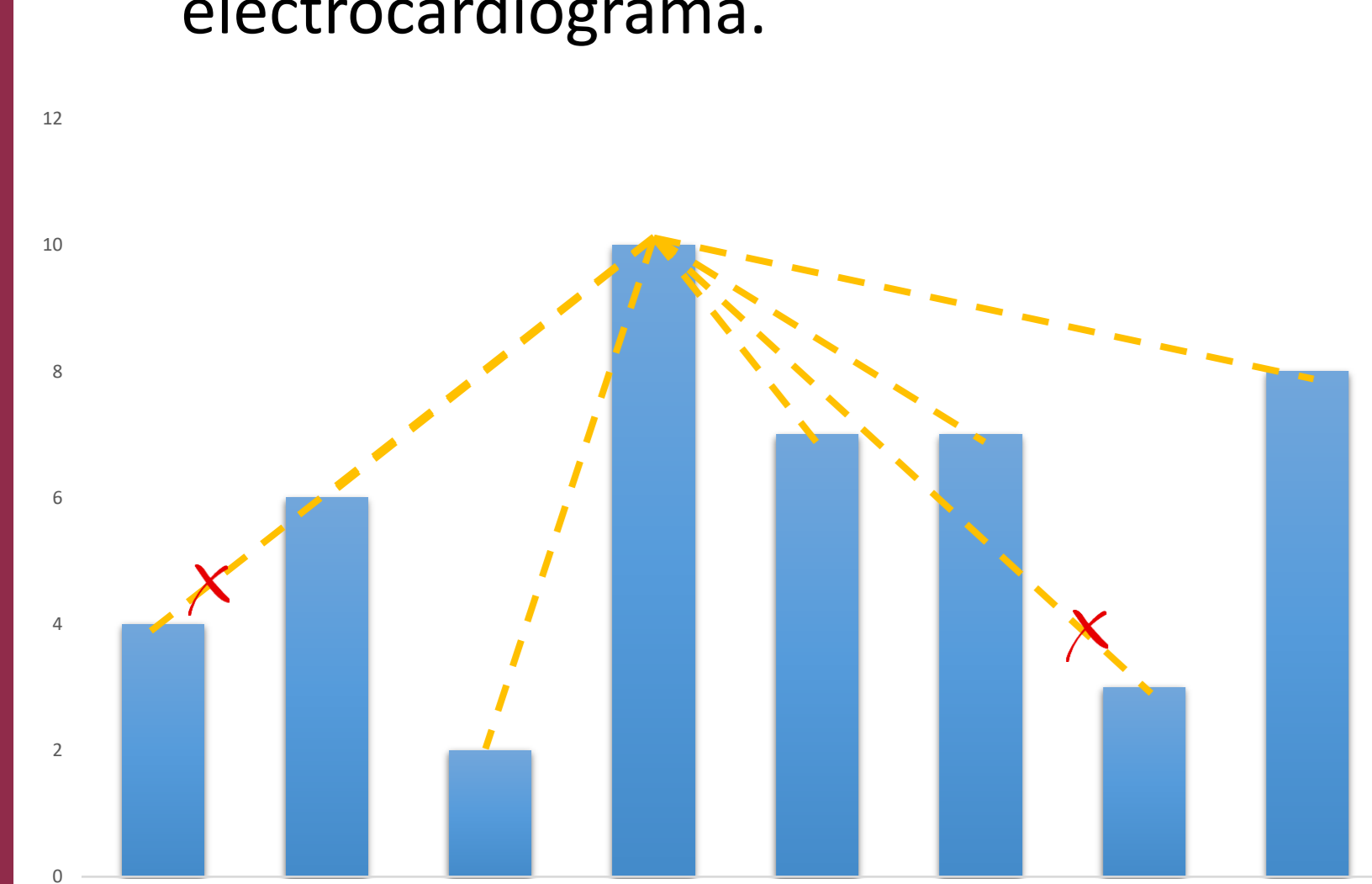


Figura 1. Ejemplo de gráfica obtenida por tacograma de los valores R-R y su visibilidad con otras barras.

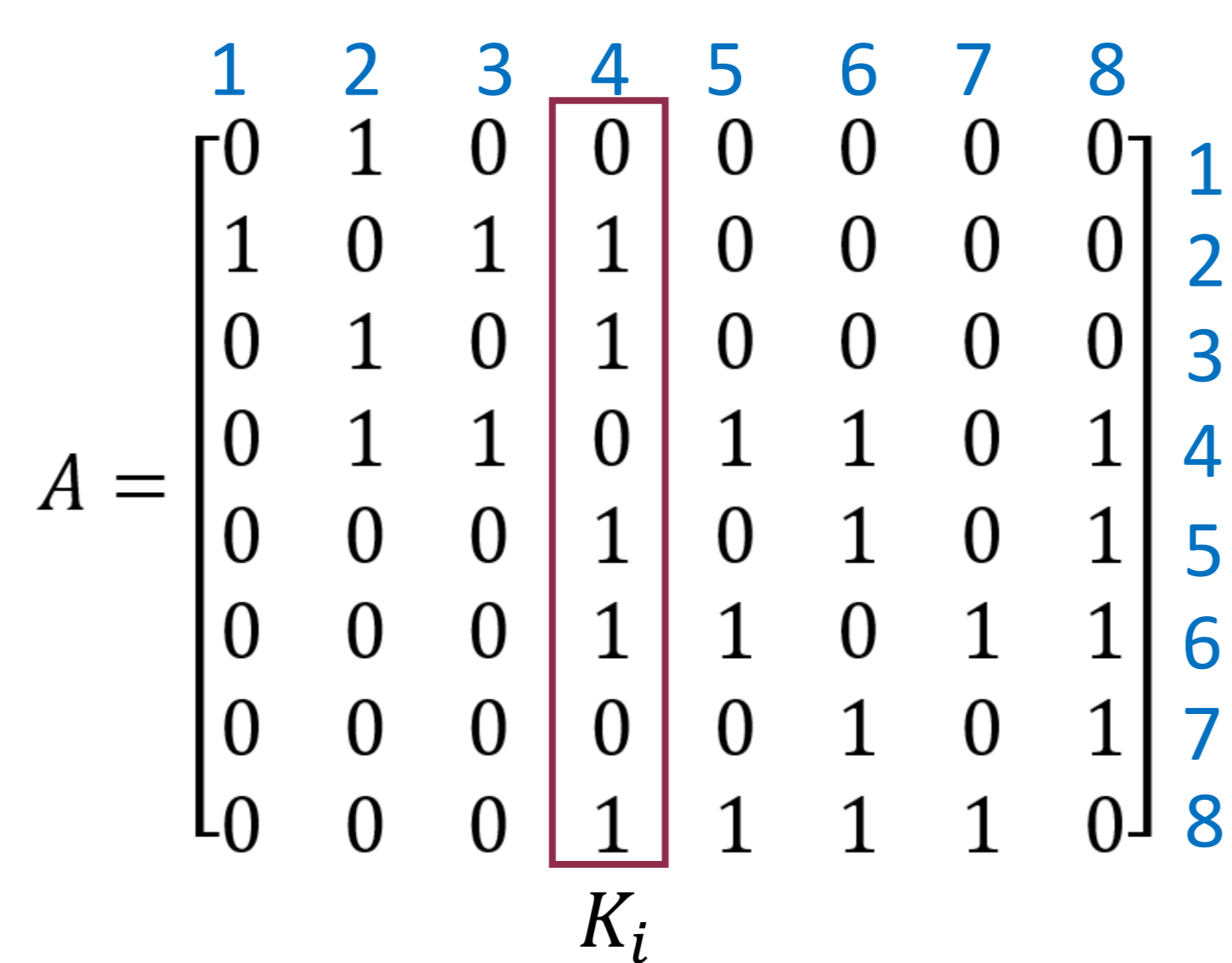


Figura 2. Matriz de visibilidad de adyacencia del ejemplo.

$M_i$	$k_i$
4	1
6	3
2	2
10	5
7	3
7	4
3	2
8	4

Figura 3. Grado de conectividad en comparación de la magnitud de su punto.

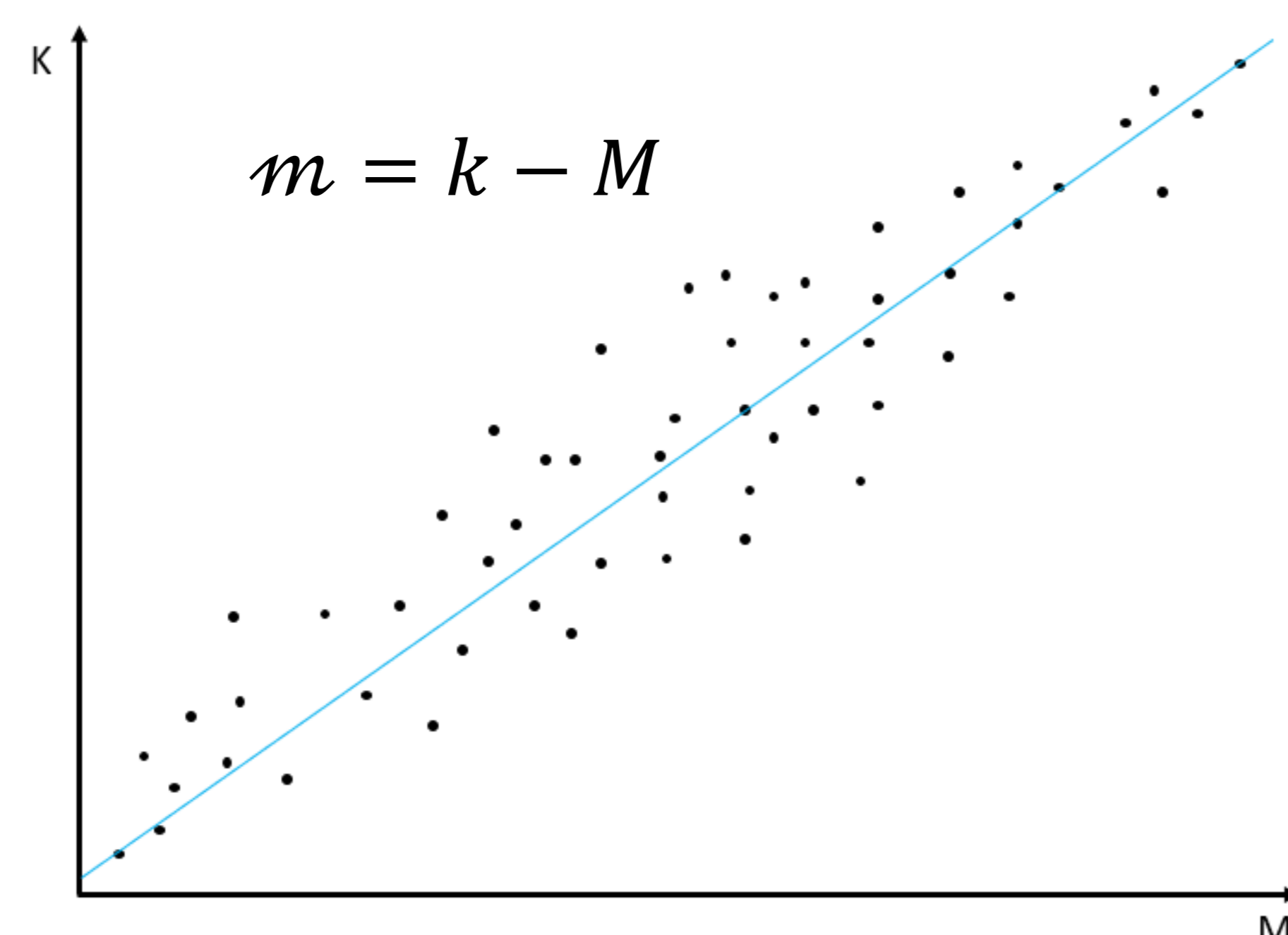


Figura 4. Ejemplo de nube de puntos obtenida en de un tacograma pequeño.

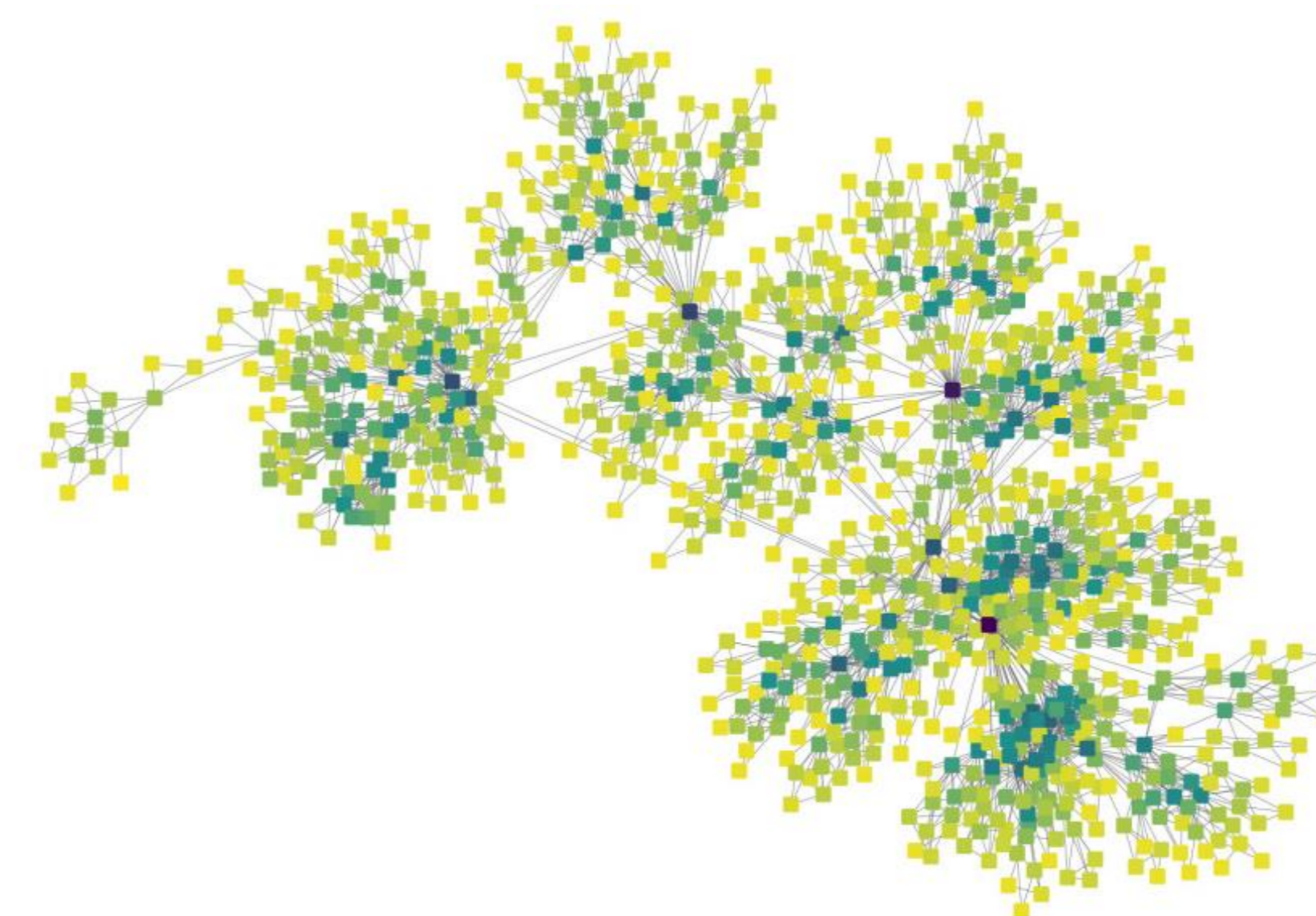


Figura 5. Gráfica de visibilidad de un sujeto joven en reposo. Donde los puntos mas oscuros representan un grado de conectividad mayor.

## Resultados

Se generaron las graficas de visibilidad de las series R-R de cada persona de una data base, permitiendo analizar las graficas k-M de diferentes poblaciones. Para comprobar que existía una diferencia significativa entre personas jóvenes y adultas se realizó un test T-Student a partir de un nivel de significancia de 0.05.

Tabla 1. Valores de la media y desviación estándar de las pendientes de las graficas k-M de la base de datos Fantasía.

	Media	Desviación
Jóvenes	37.001	4.04
Ancianos	65	6.39

Tabla 2. Valores de la media y desviación estándar de la pendiente de los gráficos k-M de sujetos sanos y con insuficiencia cardiaca en periodos de vigilia y dormidos.

	Media	Desviación
Sanos(Vigilia)	47.38	6.12
CHF(Vigilia)	137.73	11.58
Sanos(Dormidos)	48.09	4.87
CHF(Dormidos)	120.97	10.07

Tabla 3. Valores de media y desviación estándar de la pendiente de los gráficos k-M de sujetos jóvenes y adultos durante las pruebas de esfuerzo.

	Media	Desviación
Jóvenes(Descanso)	40.21	4.77
Adultos(Descanso)	70.85	8.04
Jóvenes (Estrés)	240.12	13.10
Adultos (Estrés)	287.41	13.15

## Conclusión

A partir de los datos obtenidos de media y desviación estándar recabados de diferentes sujetos en diversas situaciones, se determinó que el complejo k-M es útil para la discriminación de distintos grupos de personas; sanas y con problemas cardiacos.

## Referencias

- [1] L. Lacasa, B. Luque, J. Luque, and J. C. Nuño, The visibility graph: a new method for estimating the hurst exponent to fractional brownian motion, Europhys. Lett. 86, 30001 (2009).  
 [2] L. Telesca and M. Lovallo, Analysis of seismic sequences by using the method of visibility graph, Europhysics Letters 97(5), 50002 (2012).