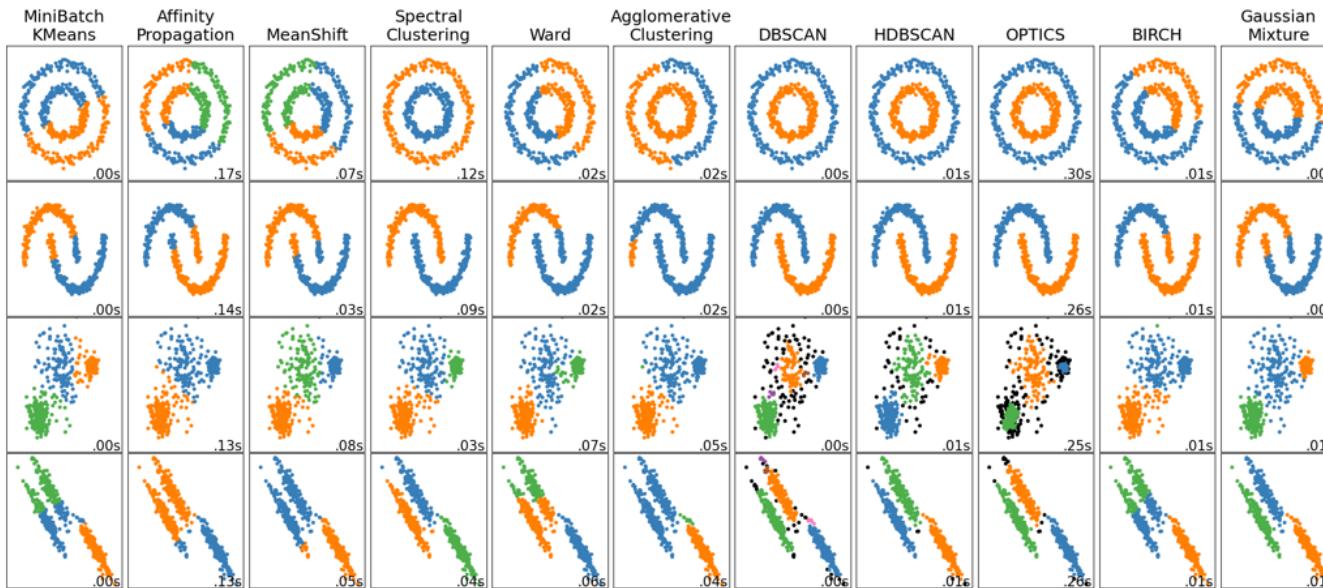


Introducción a la Bioinformática

Data Analysis | Data Clustering

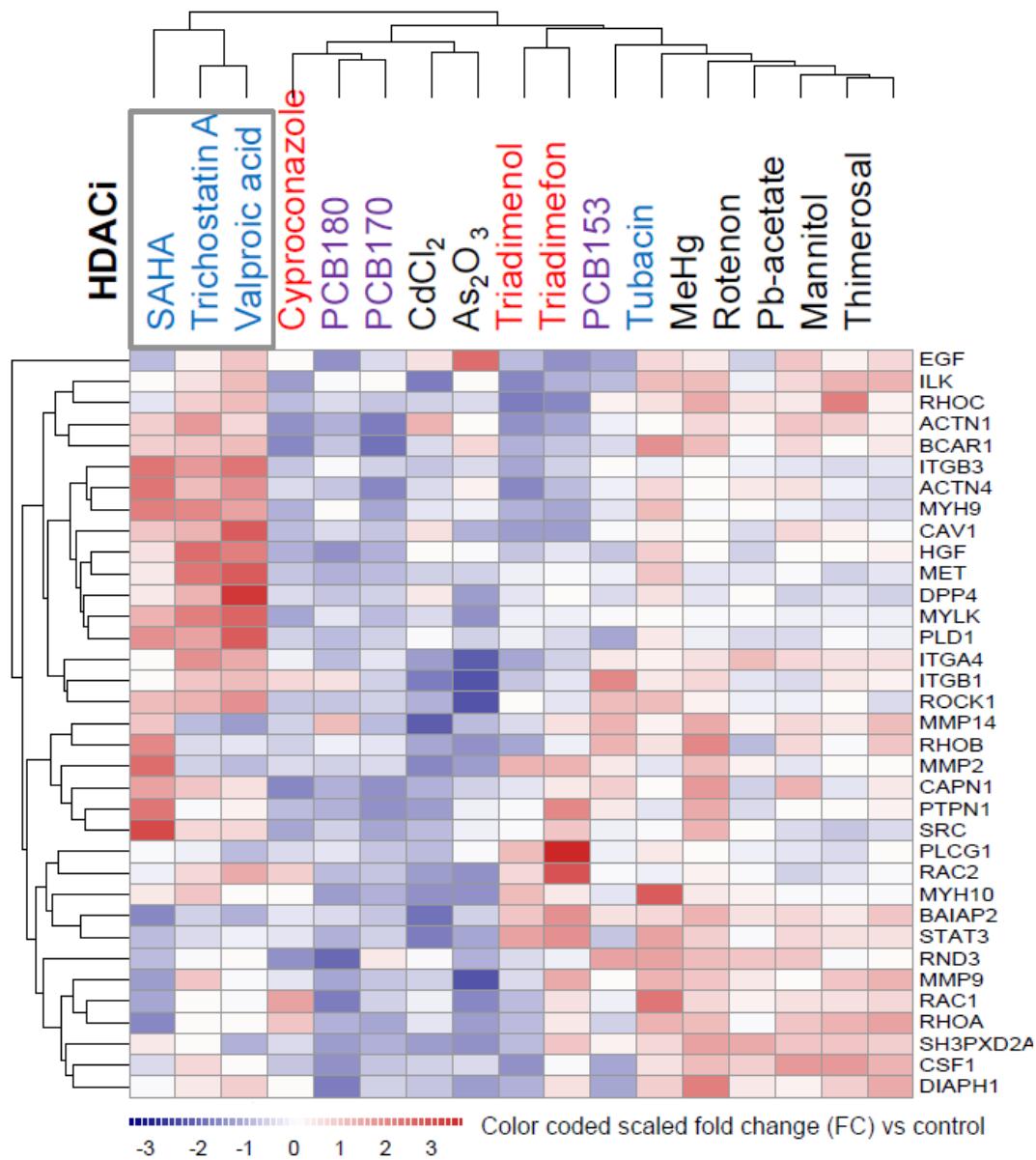


Fernán Agüero
Instituto de Investigaciones Biotecnológicas, UNSAM

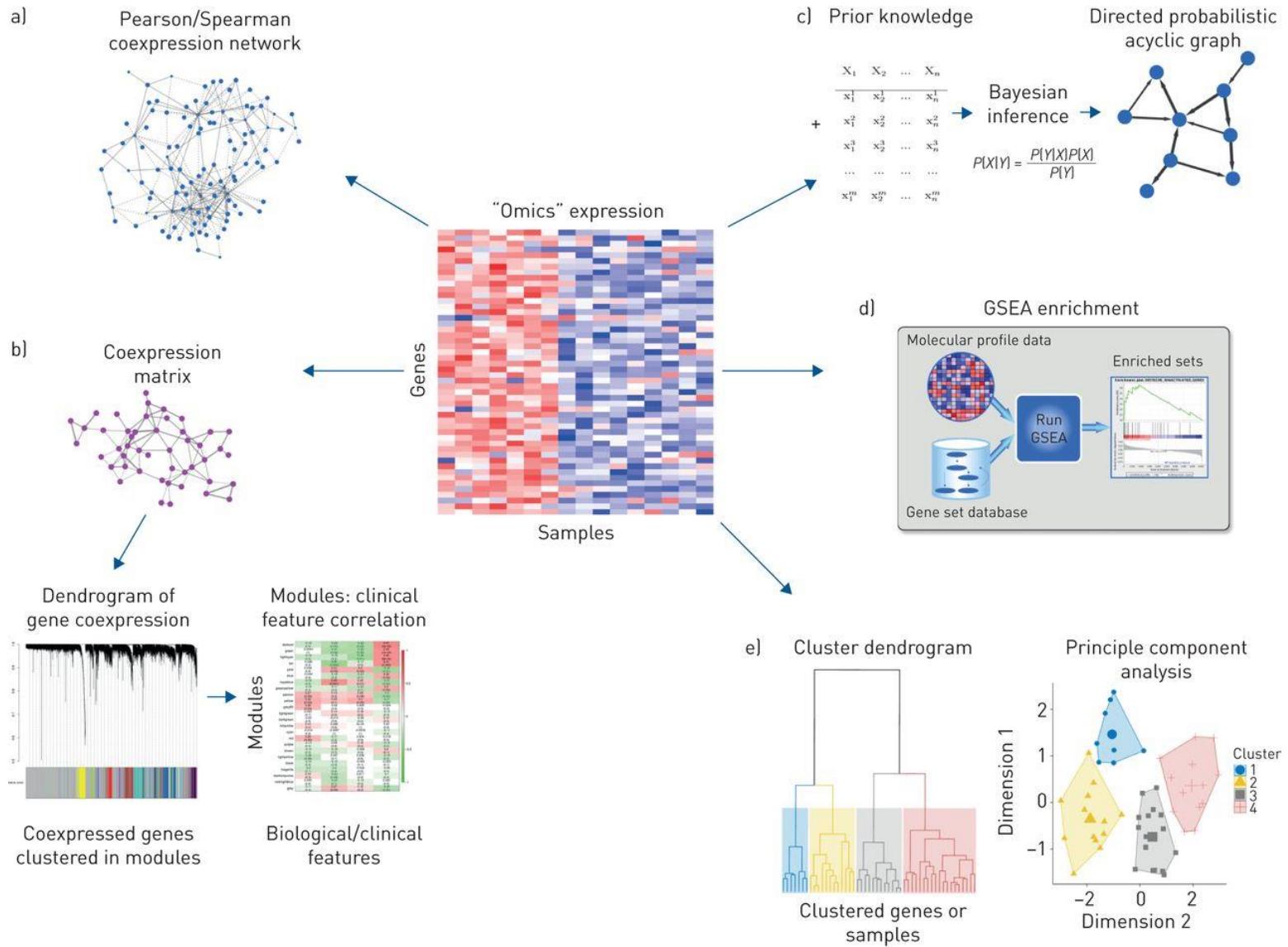
Por qué queremos analizar datos?

- Ayudar a la intuición | Construir intuición
 - Encontrar estructura / orden interno en datos altamente dimensionales
- Generación de hipótesis
 - Encontrar y caracterizar grupos similares de objetos en los datos
- Aprender de los datos | Generación de conocimiento
 - Reglas subyacentes, patrones recurrentes, tópicos salientes
- Resumir los datos | Comprimir
 - Reducir dimensionalidad, Generar resúmenes con información relevante (“*Sumarizar los datos*”)
- Visualización
 - Facilita entender los datos al cerebro humano

Por qué queremos analizar datos: generar hipótesis

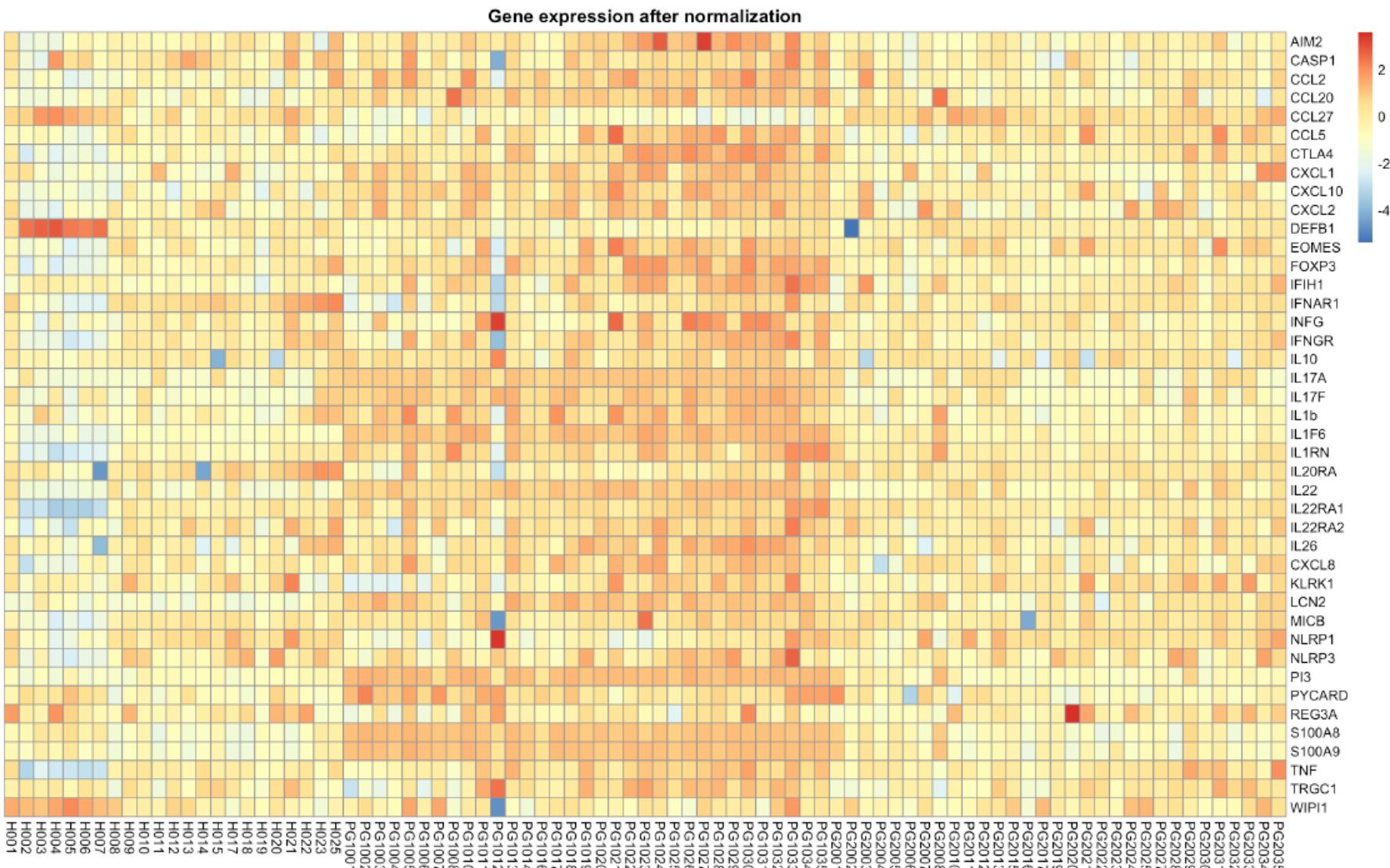


Por qué queremos analizar datos: aprender



Guillaume Noell et al. Eur Respir Rev 2018;27:170110

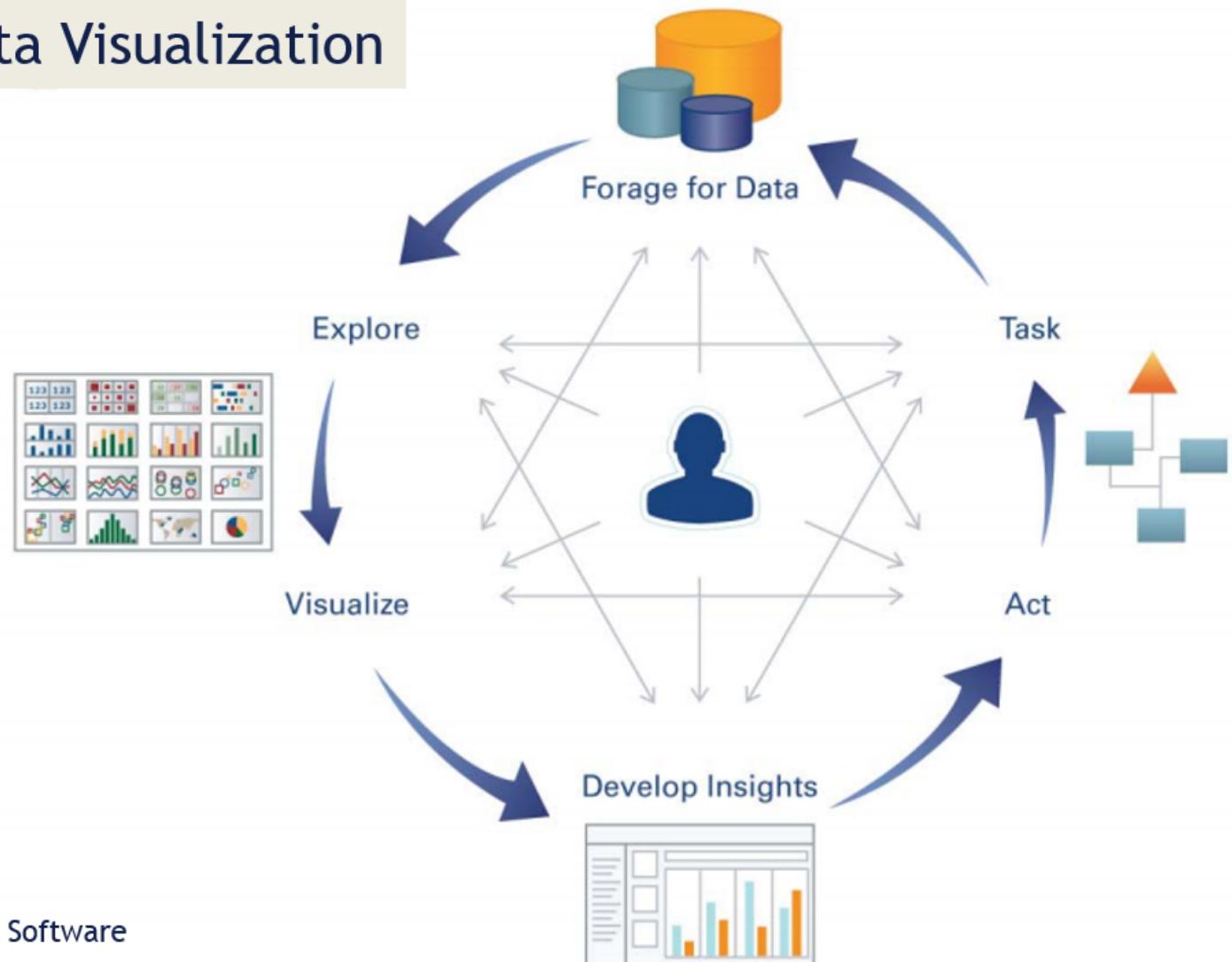
Resumir los datos | Comprimir



Por qué visualizar datos?

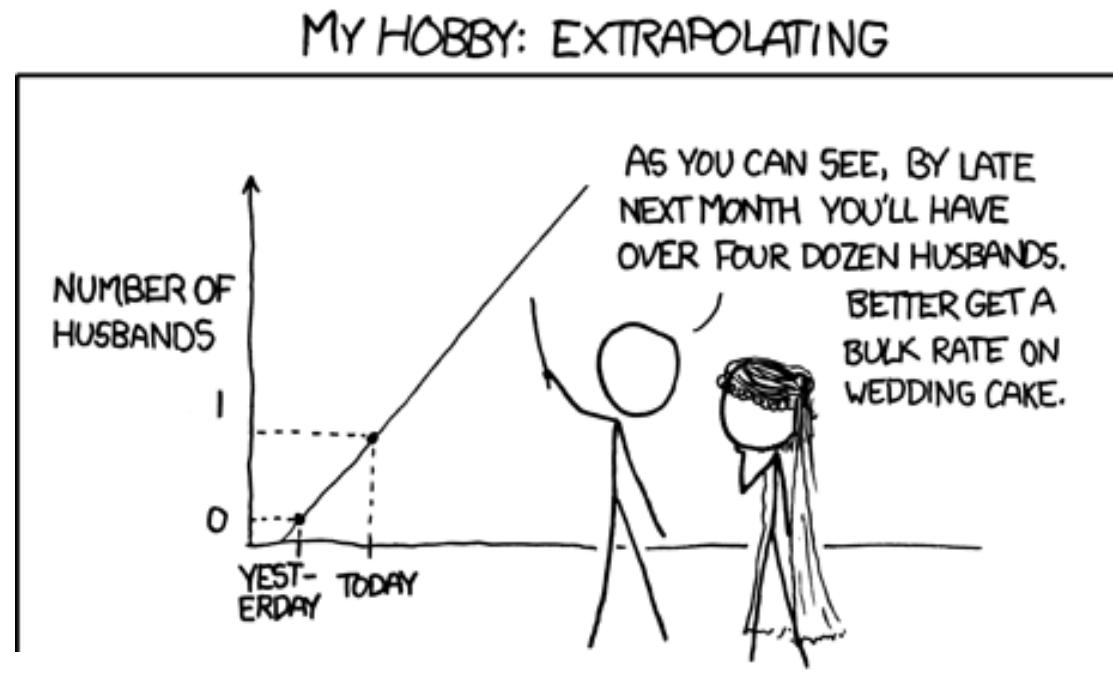
answer questions

With Data Visualization



Source: Tableau Software

Problemas en el análisis de datos



If you torture the data
long enough, it will
confess to anything.

RONALD COASE

Economist, Nobel Prize (1991)

Agrupamiento de datos / Data Clustering

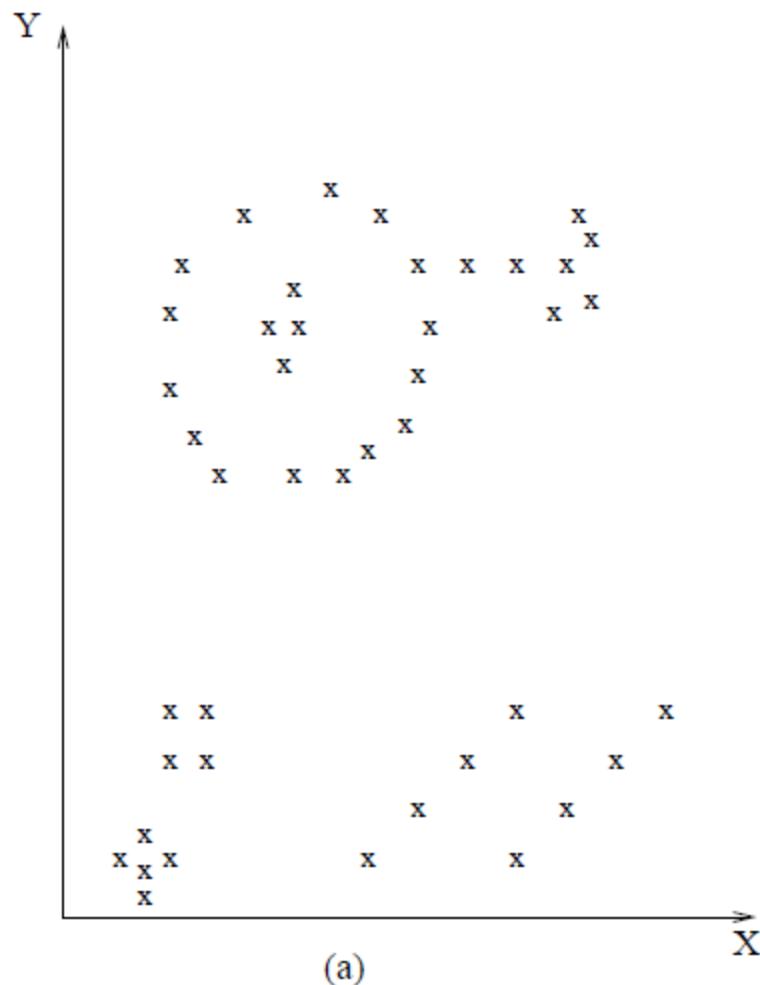
- El **agrupamiento de datos** consiste en la **clasificación** de objetos diferentes grupos, de manera que objetos similares son agrupados en el mismo grupo.
- Otra definición: particionar un conjunto de datos en subconjuntos o *clusters* de tal manera que estos tengan “algo en común”.
 - El problema: cuantificar “algo en común”
 - Proximidad
 - Similitud
 - Es un tipo de aprendizaje ***no supervisado***
 - Es un problema combinatorio difícil

Hay muchos tipos de datos ...

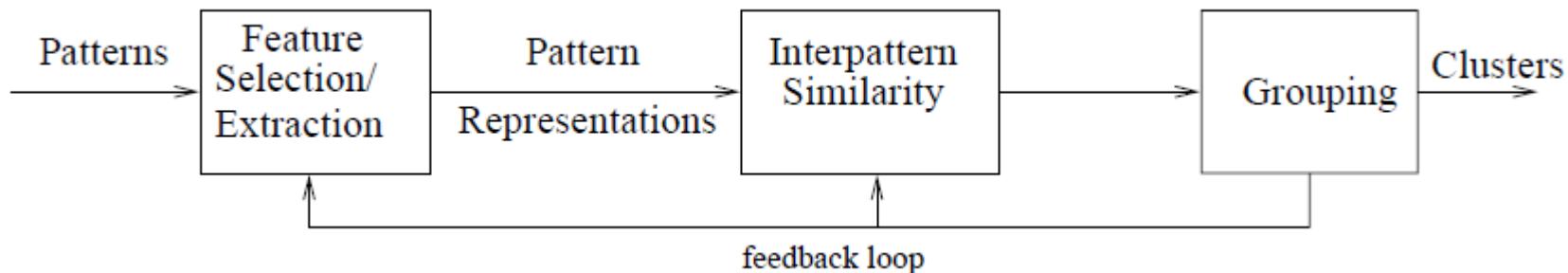
Se pueden agrupar:

- **Secuencias (DNA, RNA)**
 - Ej: Agrupar por similitud/identidad global
 - Ej: Agrupar por presencia de motivos o señales
- **Medidas de expresión de genes**
 - Ej: Agrupar todos los genes que tienen alta expresión
- **Abstracts en PubMed**
 - Ej: Agrupar abstracts en base a número de palabras compartidas
- **Marcadores morfológicos**
 - Ej: Puntos fluorescentes en una imagen de microscopía (por ej para delinear una membrana o cualquier otra estructura celular)
- **O todo a la vez**
 - **Vectores multidimensionales**

Data clustering example



Steps in data clustering



Feature selection:

- Identificar en el dataset el subset de características (features) más informativo para agrupar objetos

Pattern representations:

- La manera de representar una característica afecta directamente a las medidas de similitud

Pattern proximity:

- Hay muchas maneras de medir proximidad (distancias). En general se calculan distancias de a pares, para todos los objetos a agrupar

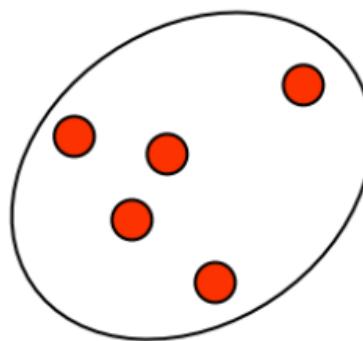
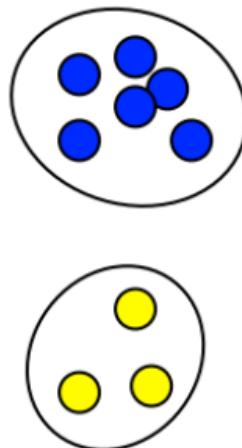
Clustering:

- Hay muchos algoritmos (estrategias) de clustering

Cluster validation analysis

- La estructura de agrupamiento es válida si no puede obtenerse simplemente por azar o no es producto de un artefacto del método

Particional vs Jerárquico

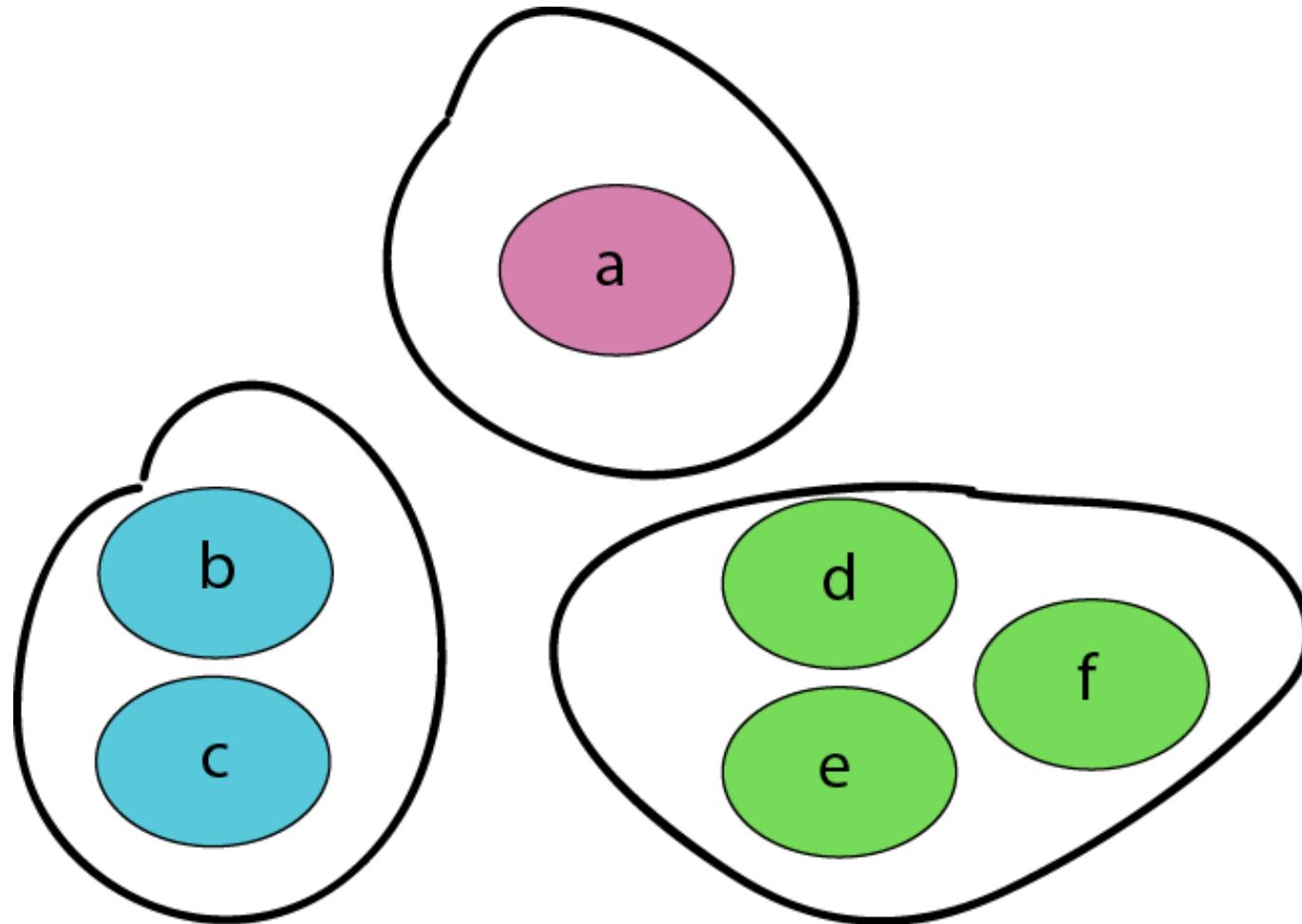


Each sample(point) is assigned to a unique cluster

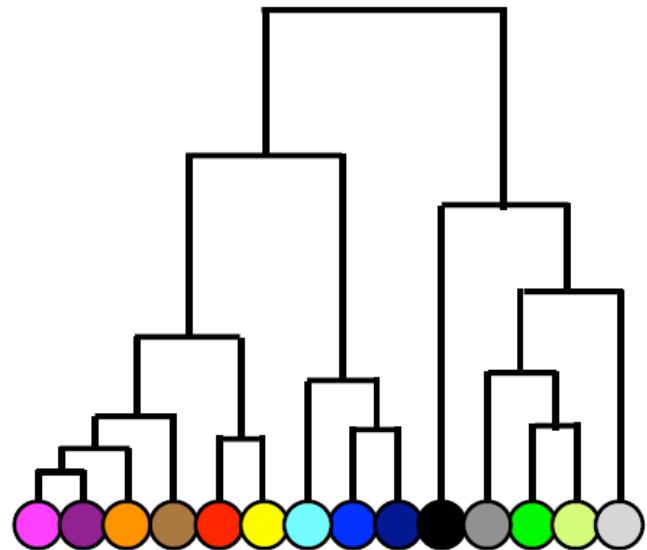
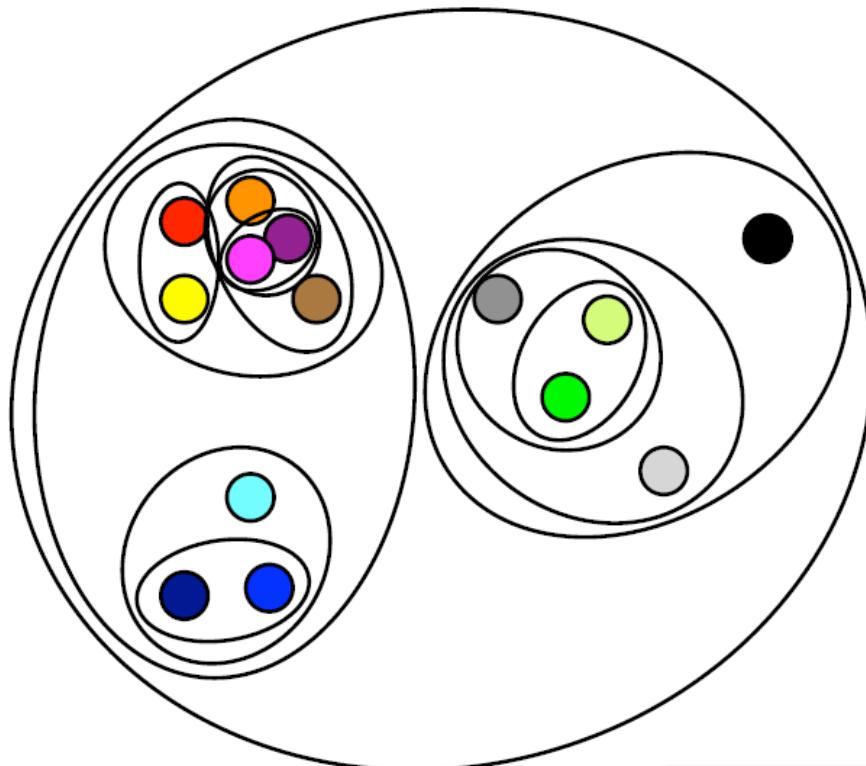
Creates a nested and hierarchical set of partitions/clusters

Estrategias de Clustering: clustering particional

A diferencia de los algoritmos jerárquicos, se obtiene **una única partición de los datos** (una única estructura de clusters)



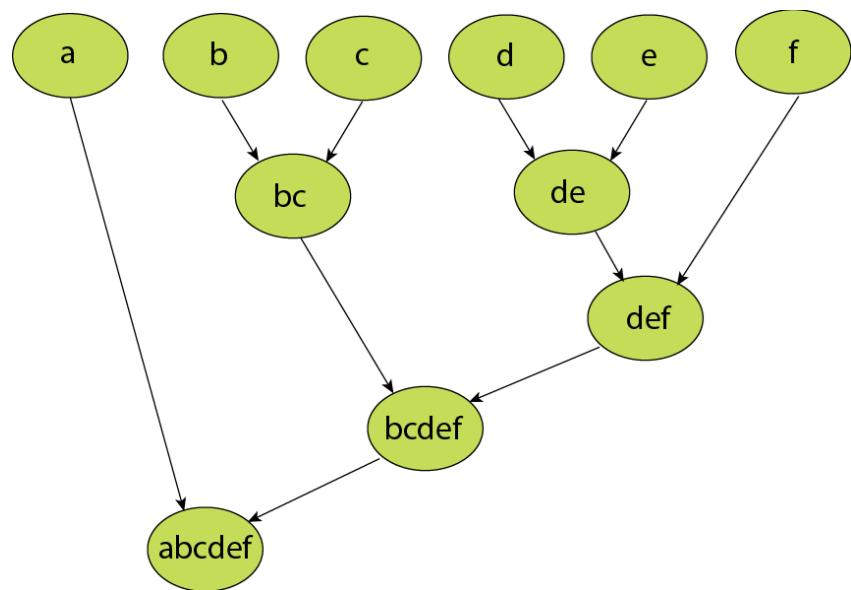
Hierarchical clustering



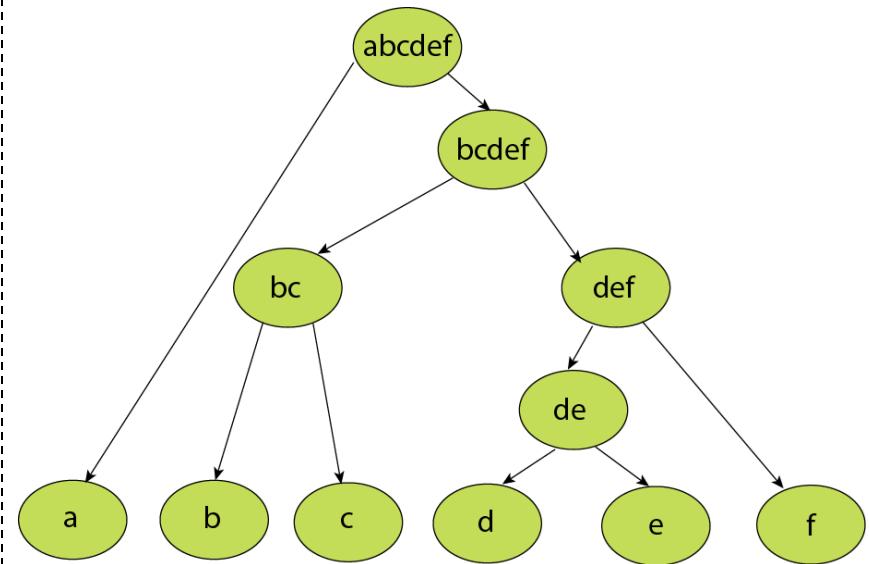
Hierarchical clustering is usually depicted as a dendrogram (tree)

Estrategias de Clustering: Clustering jerárquico

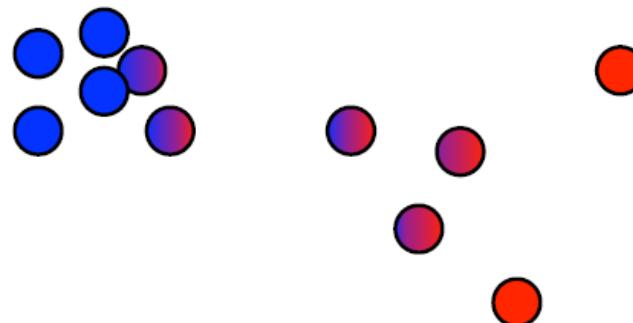
Agglomerativo



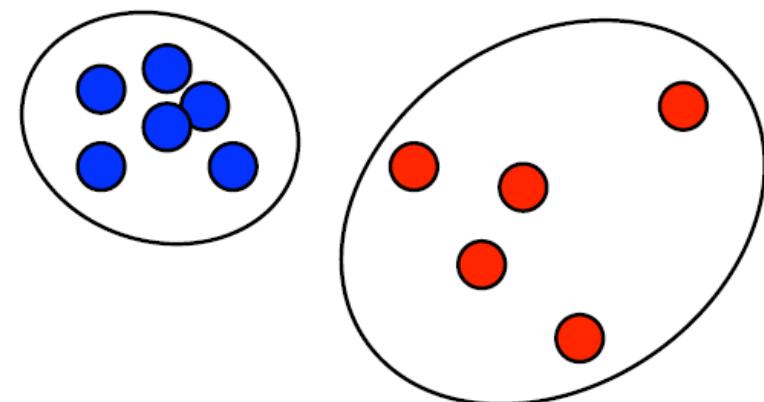
Divisible



Fuzzy vs Non-Fuzzy (Difuso vs No-Difuso)



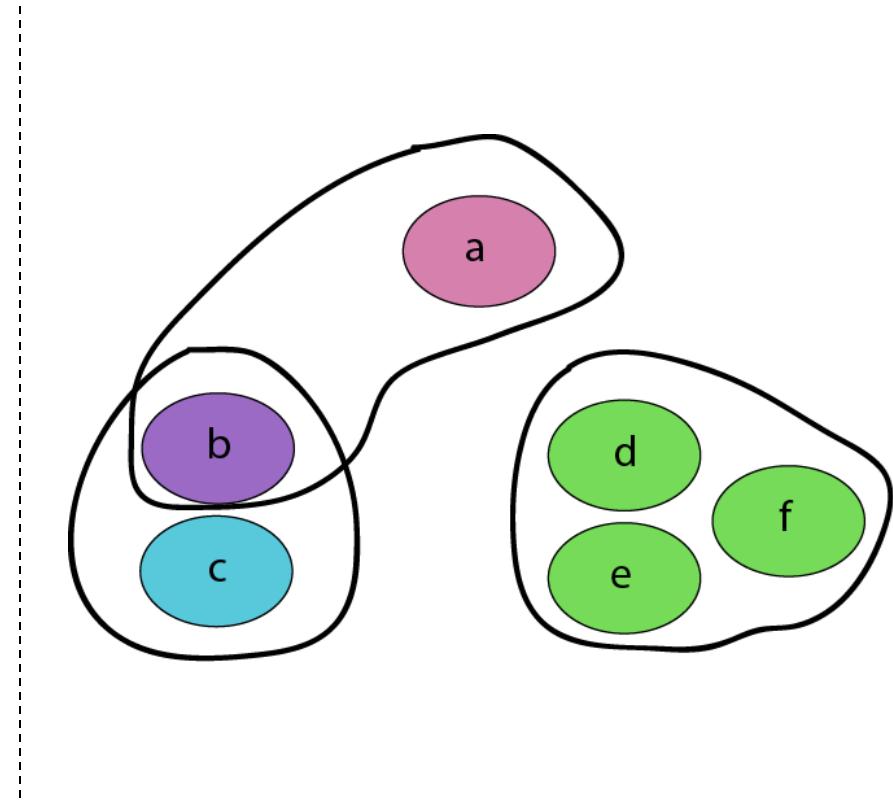
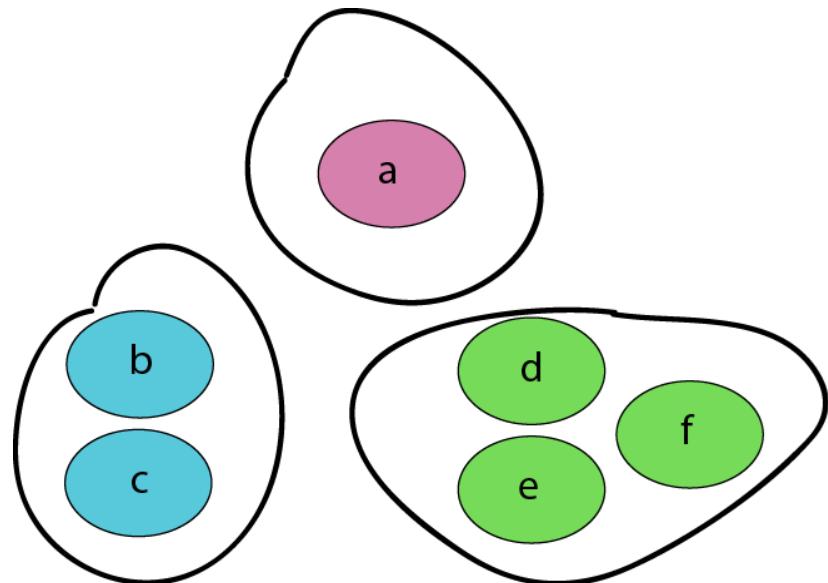
Each object belongs to each cluster with some weight



Each object belongs to exactly one cluster

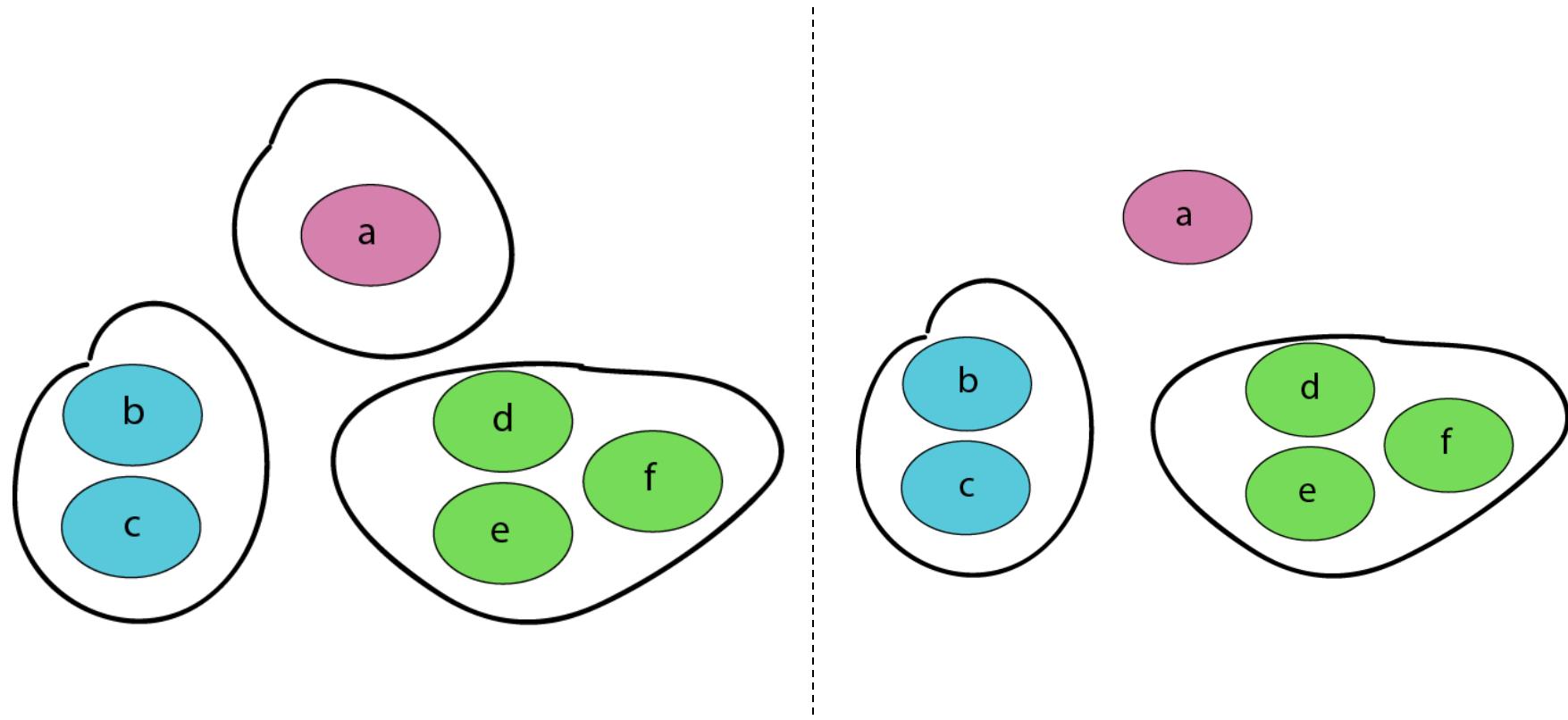
Propiedades de los clusters

Disjuntos vs. No disjuntos
(hard) (fuzzy)



Propiedades de los clusters

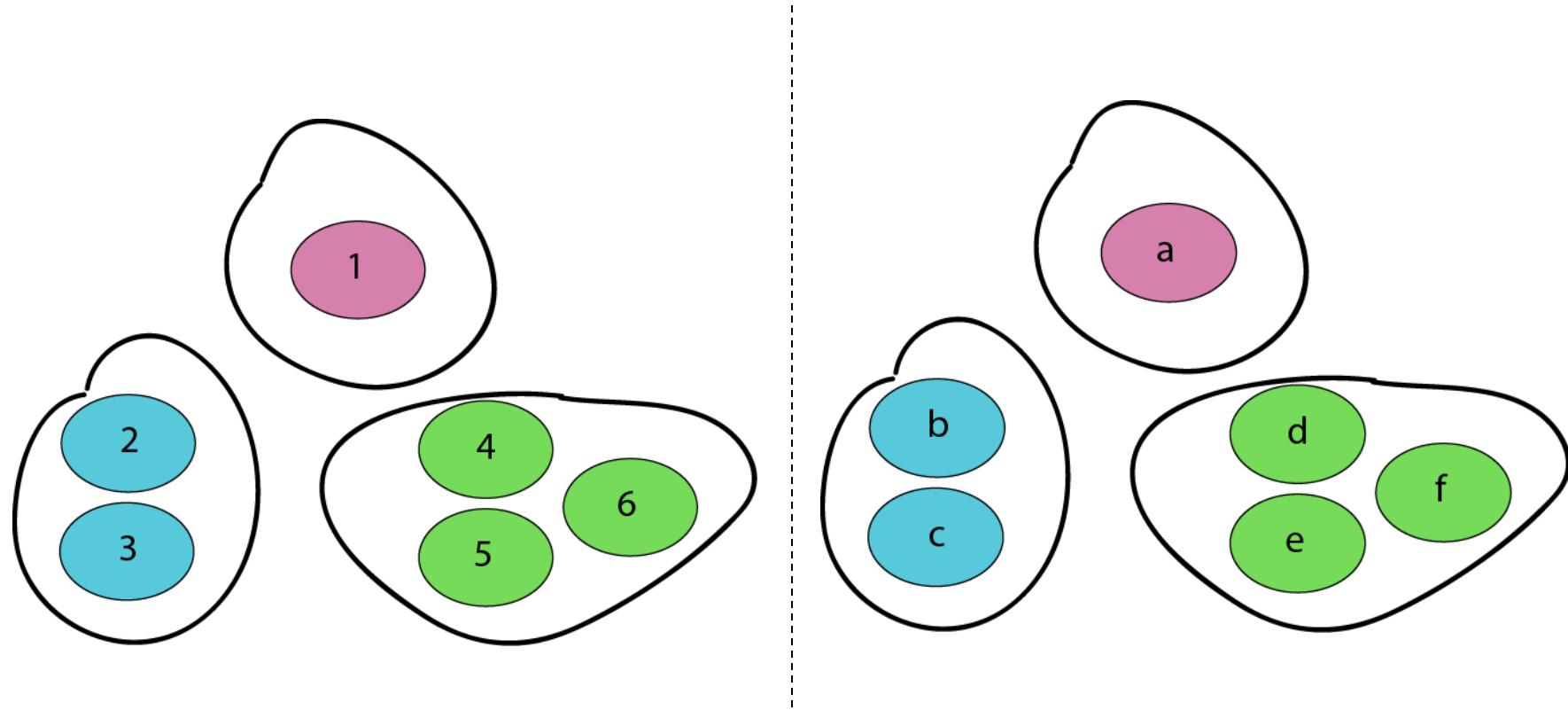
Completos vs. Incompletos



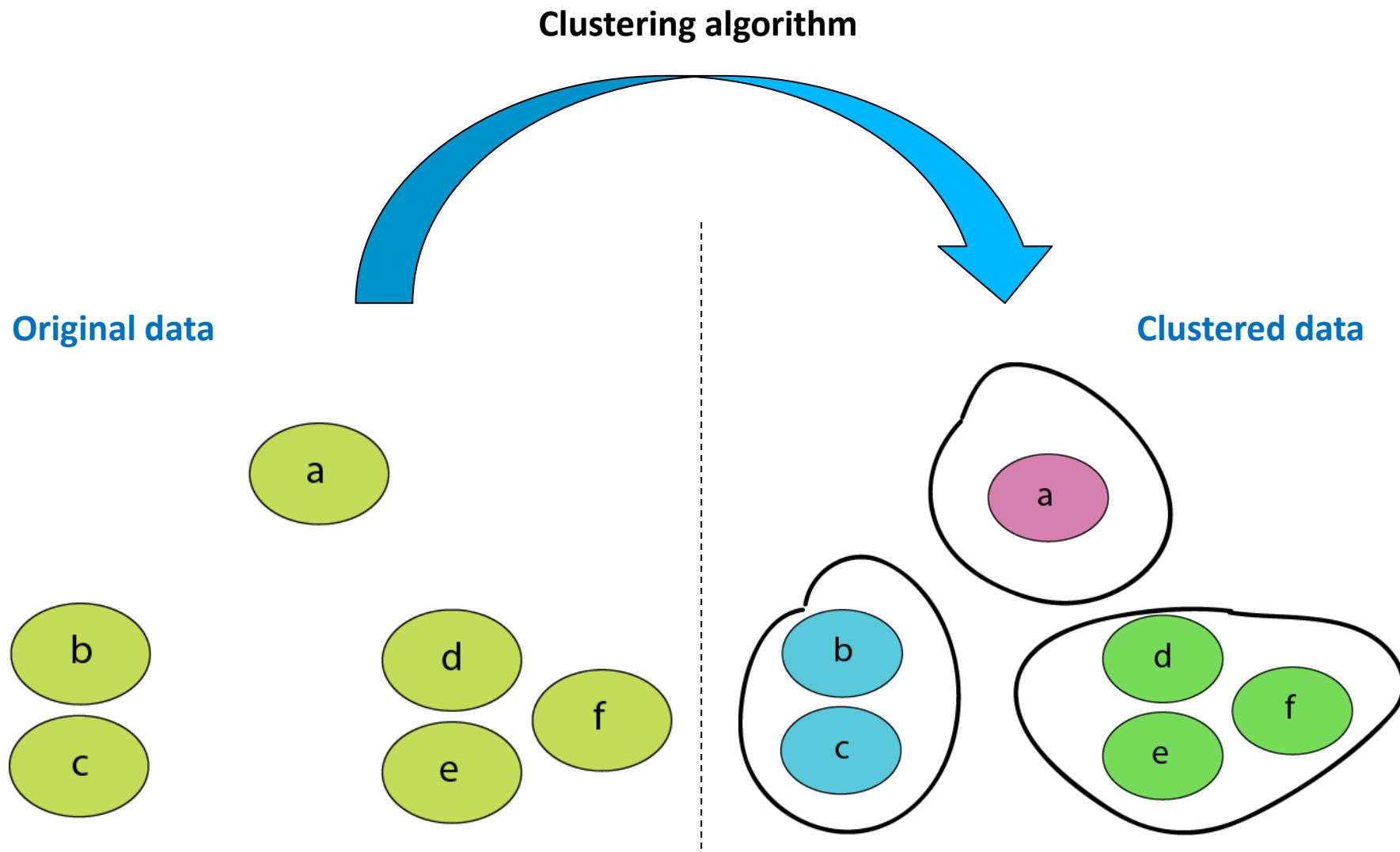
Propiedades de los clusters

Numéricos vs. Categóricos

Cómo calcular distancias entre objetos?



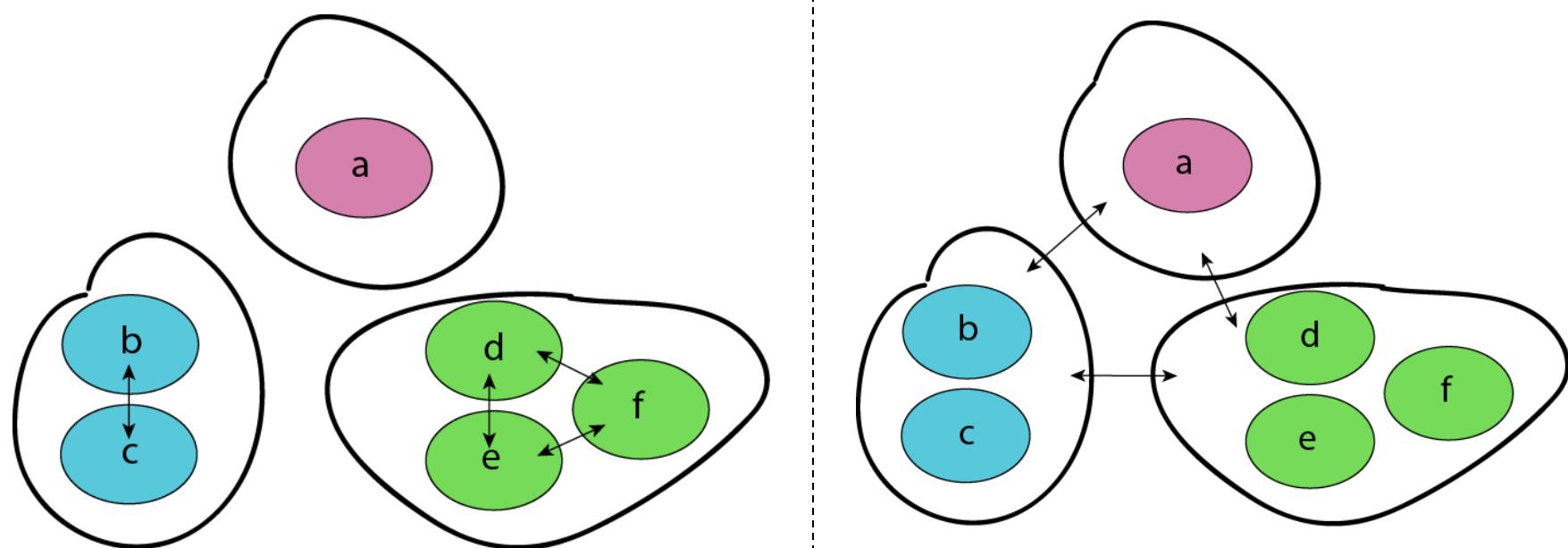
Objetivo



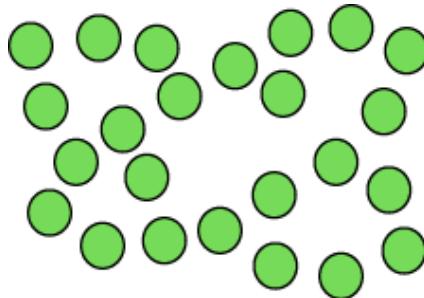
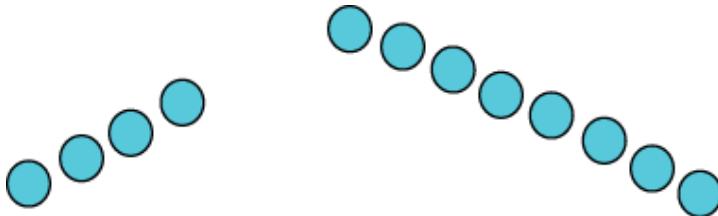
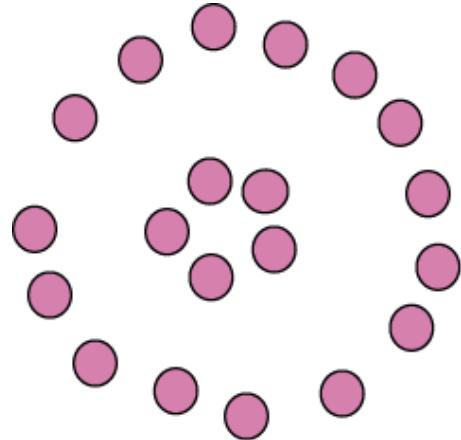
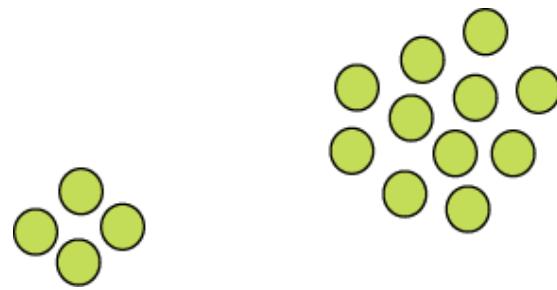
Objetivo del algoritmo

Minimizar la distancia intracluster

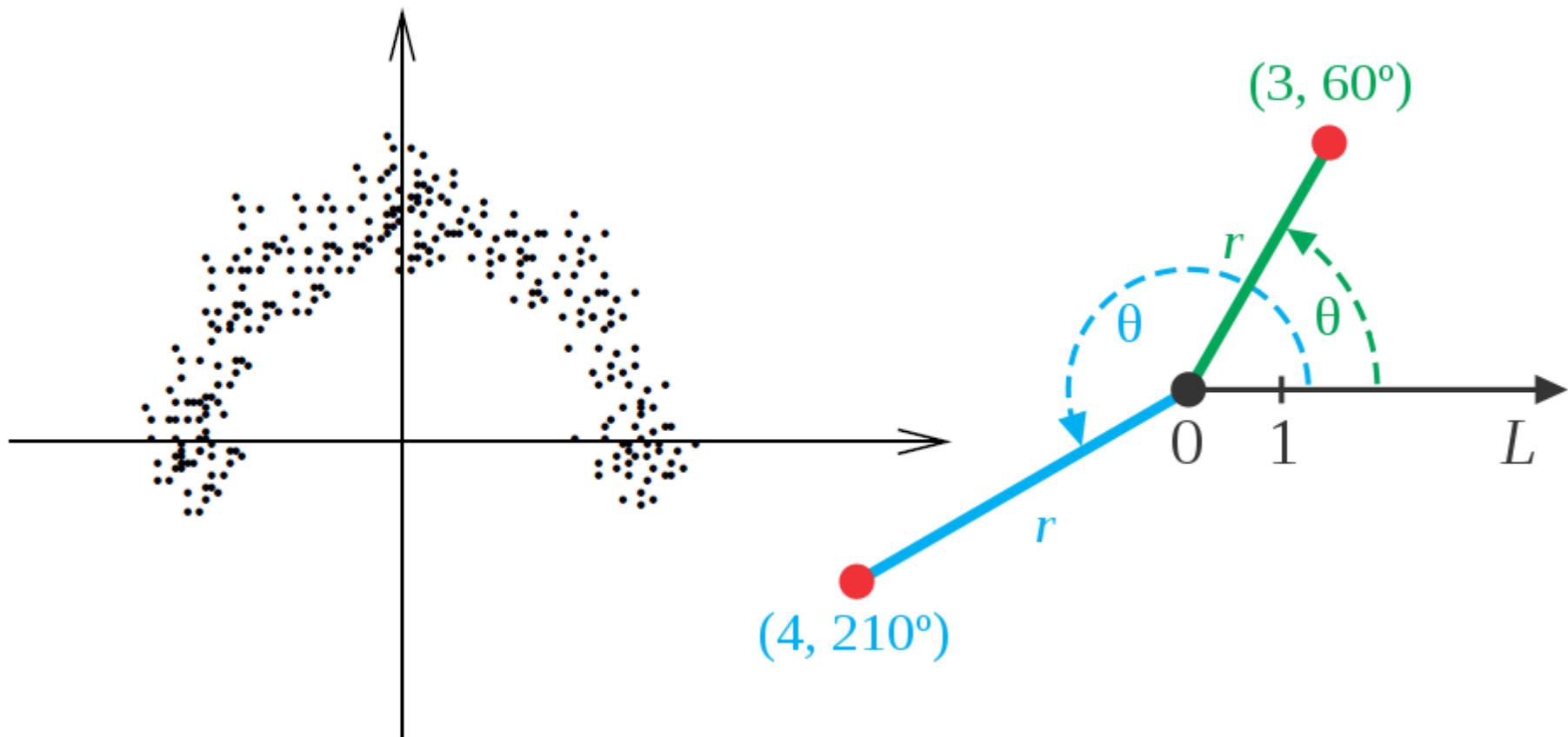
Maximizar la distancia entre clusters



Formas de los clusters



Clustering: data representation example



Cluster curvilineo, donde los puntos están mas o menos equidistantes del origen. Jain AK, Murty MN, Flynn PJ (1999) Data clustering: a review.

Clustering: eligiendo métricas

Desafío: seleccionar las **métricas apropiadas** para cuantificar y medir variables de interés.

Alinear métricas con los objetivos del análisis.

Distintos tipos de datos requieren distintas métricas.

- **Datos numéricos:** media, mediana, desvio, correlaciones ...
- **Datos categóricos:** cuentas, proporciones, moda
- **Secuencias biológicas:** identidad, similitud, ...
- **Time-series:** promedio deslizante, tasas de crecimiento, etc.

**Y las métricas de
distancias?**

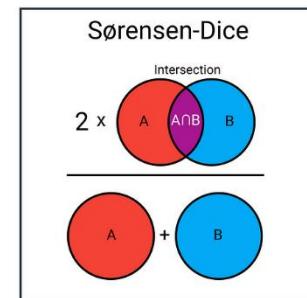
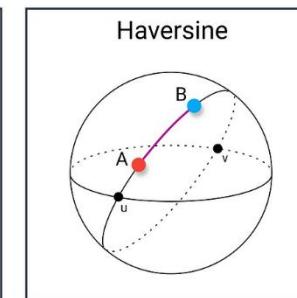
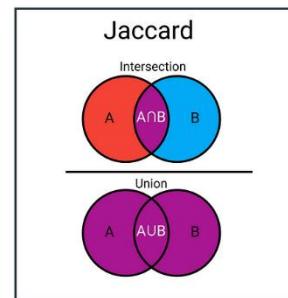
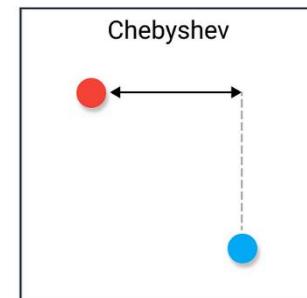
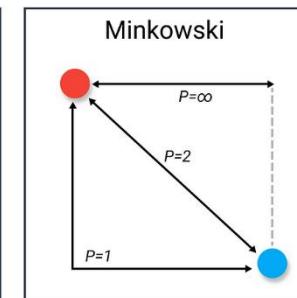
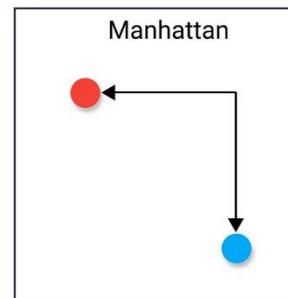
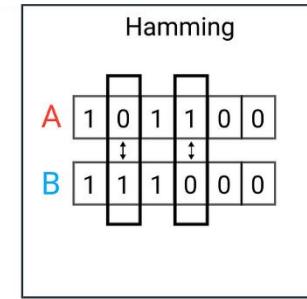
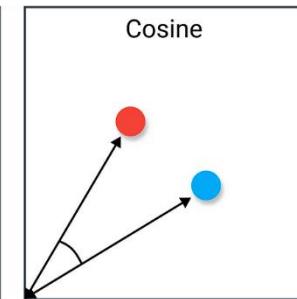
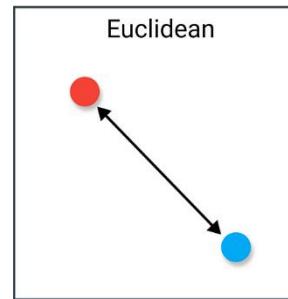
Métricas de distancia

Distancia entre datos numéricos

Distancia entre datos categóricos

Distancia entre secuencias
biológicas?

Distancia entre datos temporales
(time-series)



Propiedades de las métricas de distancia

1. Simetría

$$d(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = d(\mathbf{y}, \mathbf{x})$$

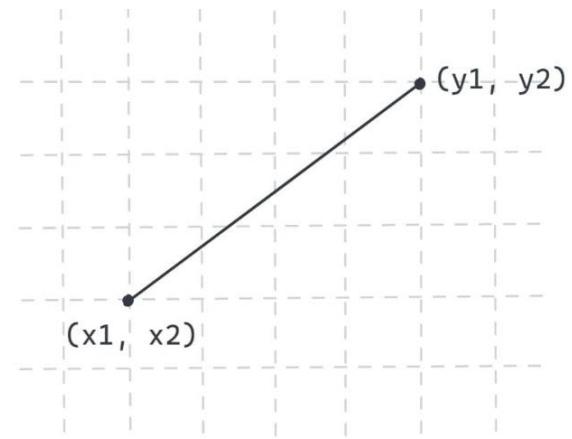
2. No-negatividad

$$d(\mathbf{x}, \mathbf{y}) \geq 0$$

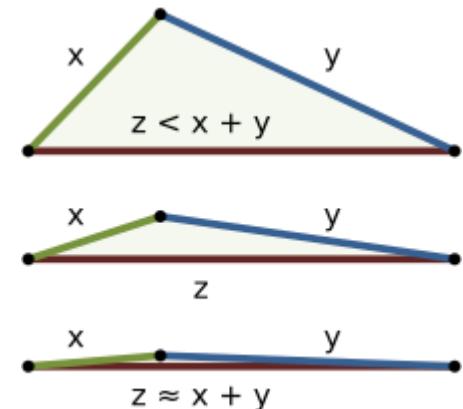
3. Desigualdad triangular

$$d(\mathbf{x}, \mathbf{z}) \leq d(\mathbf{x}, \mathbf{y}) + d(\mathbf{y}, \mathbf{z})$$

En todo triángulo la suma de las longitudes de dos lados cualesquiera es siempre mayor a la longitud del lado restante.



Euclidean Distance in 2D Plane



https://en.wikipedia.org/wiki/Triangle_inequality

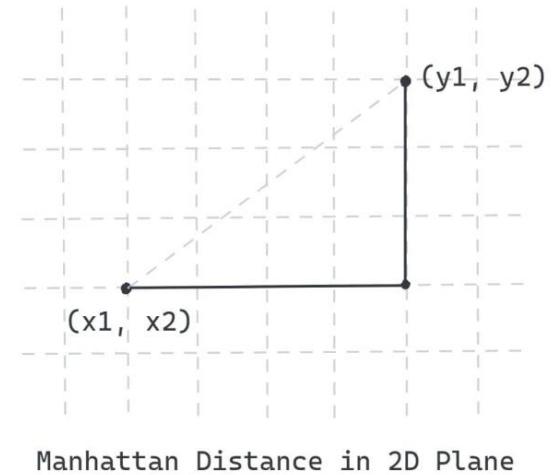
Distancia Manhattan - Taxi - Citiblock

En 2 dimensiones:

$$d(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = |x_1 - y_1| + |x_2 - y_2|$$

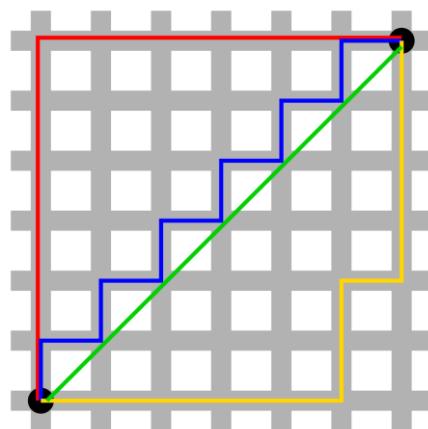
En más dimensiones (n):

$$d(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = \sum_{i=1}^n |x_i - y_i|$$



Distancia entre datos numéricos

- Datos 2D (x,y)
- Gen (x) → Señal (y)
- Señal Gen Ctrl (x,y) → Señal Gen Exp (x,y)



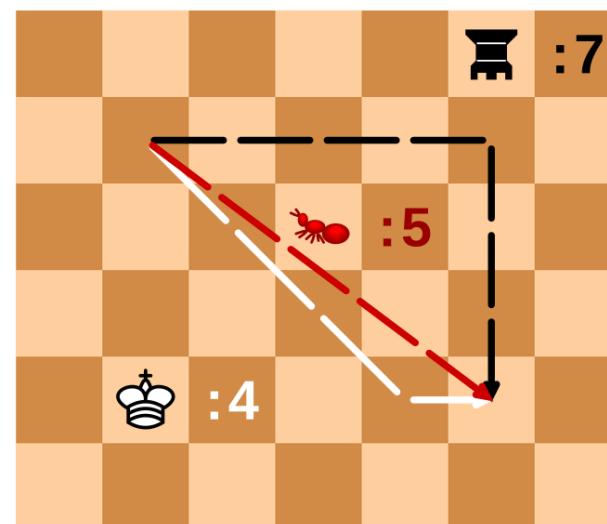
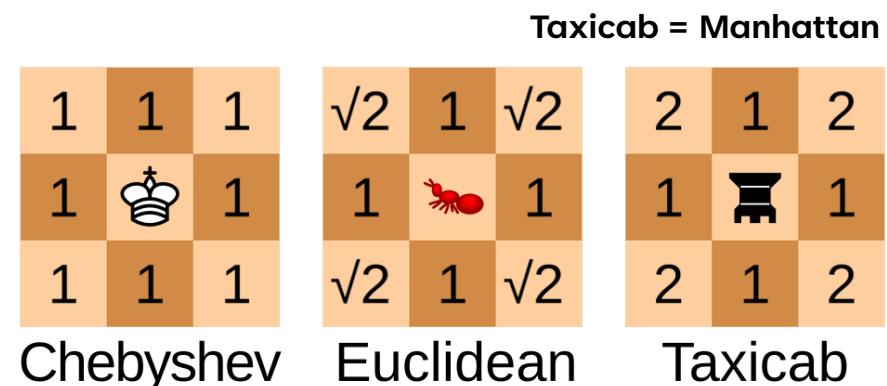
countData

gene	ctrl_1	ctrl_2	exp_1	exp_1
geneA	10	11	56	45
geneB	0	0	128	54
geneC	42	41	59	41
geneD	103	122	1	23
geneE	10	23	14	56
geneF	0	1	2	0
...
...
...

colData

id	treatment	sex
ctrl_1	control	male
ctrl_2	control	female
exp_1	treatment	male
exp_2	treatment	female

Sample names:
ctrl_1, ctrl_2, exp_1, exp_2



https://en.wikipedia.org/wiki/Metric_space

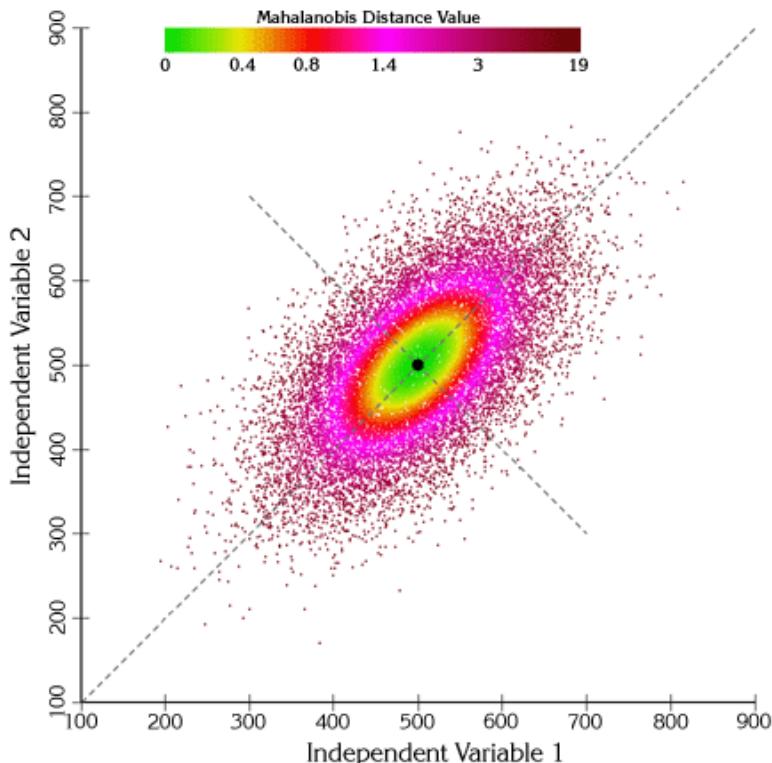
0s

```
1 from scipy.spatial import distance
2
3 x = [3,6,9]
4 y = [1,0,1]
5
6 print("Manhattan: ", distance.cityblock(x,y))
7 print("Euclidean: ", distance.euclidean(x,y))
8 print("Chebyshev: ", distance.chebyshev(x,y))
9 print("Minkowski (p=1): ", distance.minkowski(x,y, 1))
10 print("Minkowski (p=2): ", distance.minkowski(x,y, 2))
11 print("Minkowski (p=3): ", distance.minkowski(x,y, 3))
12 print("Minkowski (p=5): ", distance.minkowski(x,y, 5))
13 print("Minkowski (p=50): ", distance.minkowski(x,y, 50))
14 print("Minkowski (p=100): ", distance.minkowski(x,y, 100))
```

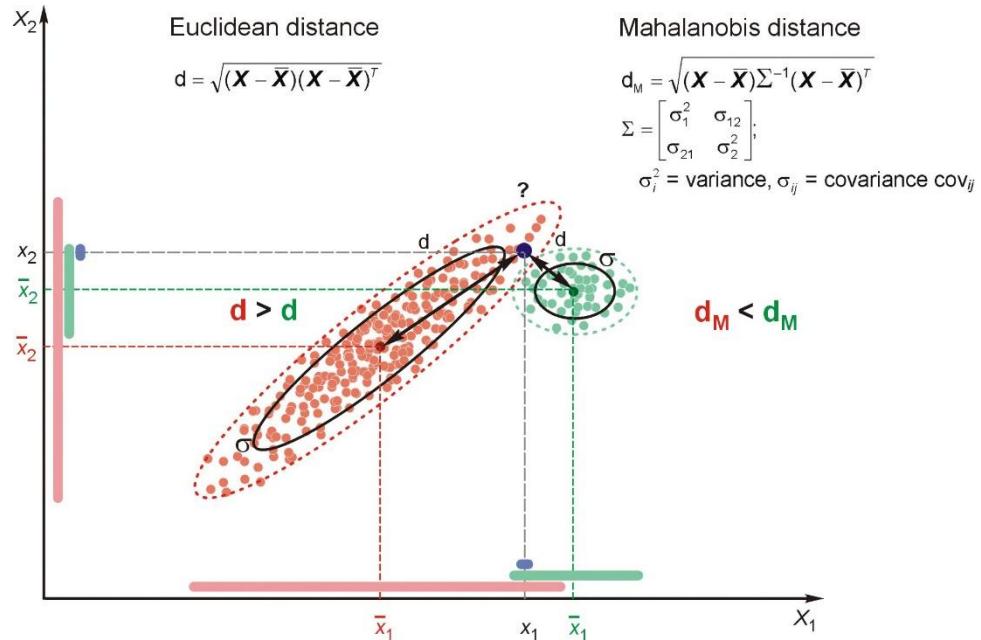
```
→ Manhattan: 16
    Euclidean: 10.198039027185569
    Chebyshev: 8
    Minkowski (p=1): 16.0
    Minkowski (p=2): 10.198039027185569
    Minkowski (p=3): 9.028714870948003
    Minkowski (p=5): 8.349372677182826
    Minkowski (p=50): 8.00000009061144
    Minkowski (p=100): 8.00000000000027
```



Distancia de Mahalanobis



La distancia de Mahalanobis es la distancia euclídea entre los puntos después de haber sido transformados a través de una transformación lineal que asigna un elipsoide ajustado a los puntos a una esfera.



Ejemplo de la diferencia entre la distancia euclídea (d) y la distancia de Mahalanobis (d_M) en el espacio 2D para dos clusters.

Uno de los clusters es muy alargado y el otro es redondo. La distancia euclídea al centroide del cluster alargado es mayor que la del cluster redondo. Por el contrario, la distancia de Mahalanobis al centroide del cluster alargado es menor que la del cluster redondo.

Distancias de edición: Hamming y Levenshtein

Hamming: número de sustituciones necesarias para convertir una secuencia o cadena de caracteres en otra.

1. GATTACATC
2. GCTACATC

Distancia **Hamming** entre **seq1** a **seq2** = 2

- | | |
|--------------|---|
| 1 | 2 |
| 1. GATTACATC | |
| 2. GCTACATC | |

https://en.wikipedia.org/wiki/Hamming_distance

Distancias de edición: Hamming y Levenshtein

Levenshtein: número de inserciones, sustituciones o delecciones necesarias para convertir una secuencia o cadena de caracteres en otra.

1. GATTACATC
2. GCTACATC

Distancia **Levenshtein** entre **seq1** a **seq2** = 2

- | | |
|--------------|---|
| 1 | 2 |
| 1. GATTACATC | |
| 2. GCTACATC | |

https://en.wikipedia.org/wiki/Hamming_distance

Distancias de edición: Hamming y Levenshtein

Levenshtein: número de inserciones, sustituciones o delecciones necesarias para convertir una secuencia o cadena de caracteres en otra.

1. Lunes
2. Jueves

Distancia Levenshtein entre **seq1** a **seq2** = 3

1. Lunes → Junes → Juees → Jueves
2. Jueves →Lueves → Lunves → Lun-es

https://en.wikipedia.org/wiki/Levenshtein_distance

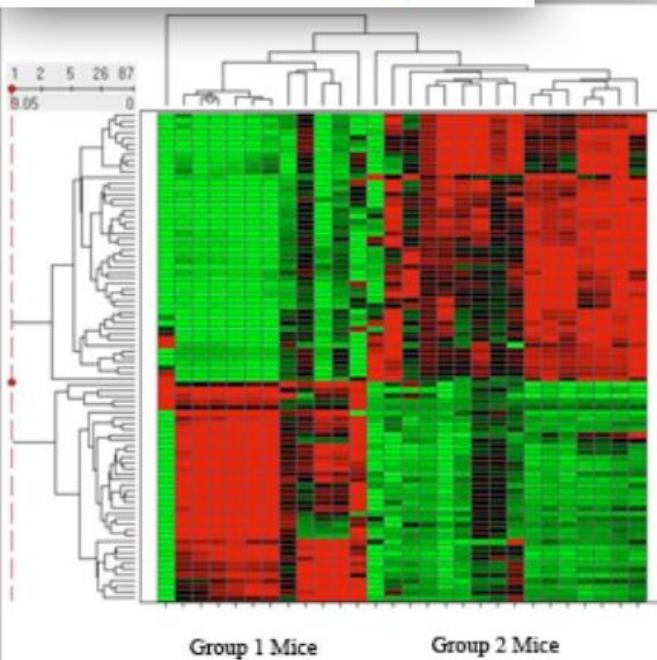
Calcular Hamming y Levenshtein

1. GTTCATAC
2. GCTACATC

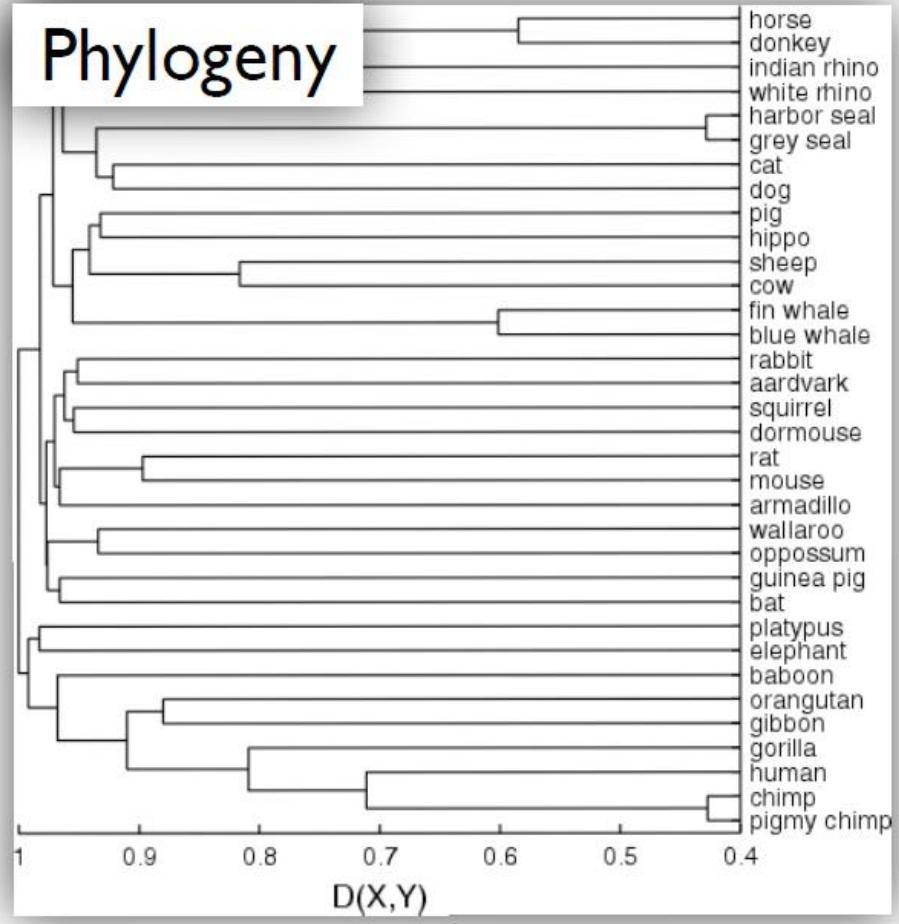
```
> library(stringdist)
> stringdist('GTTCATAC', 'GCTACATC', method='hamming')
[1] 5
> stringdist('GTTCATAC', 'GCTACATC', method='lv')
[1] 3
```

Ejemplos de clustering en bioinformática

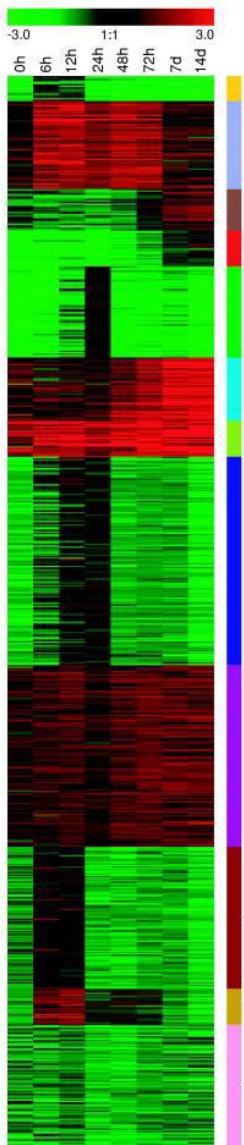
Gene expression clustering



Phylogeny



Clustering in bioinformatics: expression data



Expresión de genes a lo largo de un experimento.

No importa tanto si los genes se expresan mucho o poco (ej agrupar por nivel de expresión no tiene sentido)

Importa el comportamiento de cada gen a lo largo de un tratamiento experimental.

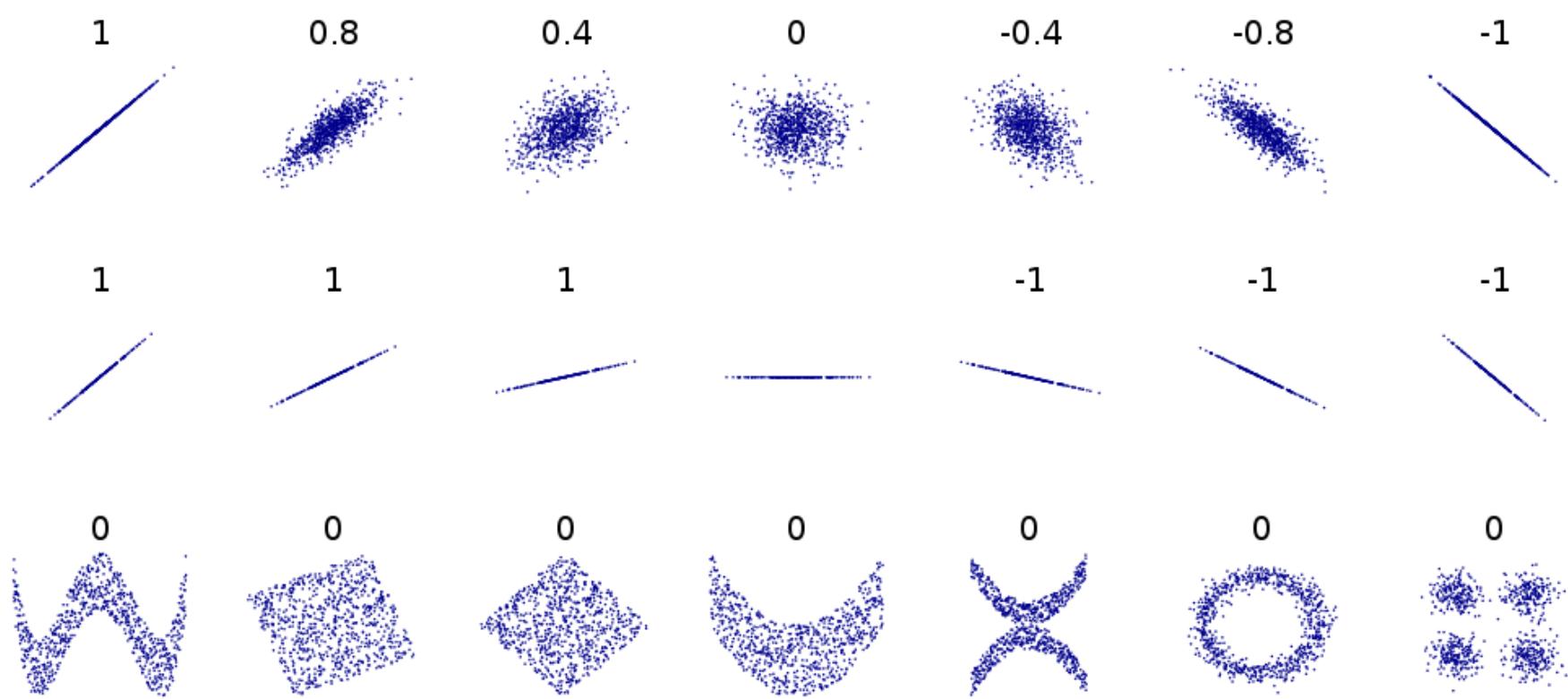
Correlation distance. Mide la dependencia entre datos.

CD = 0 si los datos son independientes.
CD = 1 si tienen dependencia.

Clustering of ESTs found to be differentially expressed during fat cell differentiation. Shown is k-means clustering of 780 ESTs found to be more than twofold upregulated or downregulated at a minimum of four time points during fat cell differentiation. ESTs were grouped into 12 clusters with distinct expression profiles.

Hackl *et al.* *Genome Biology* 2005 6:R108 doi:10.1186/gb-2005-6-13-r108

Correlation distance: Pearson's correlation



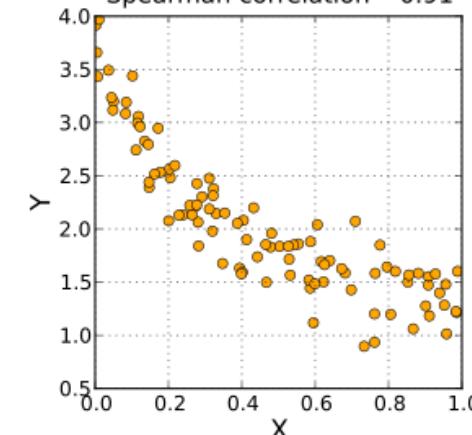
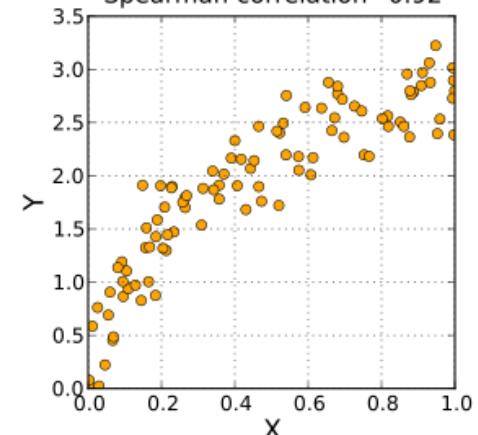
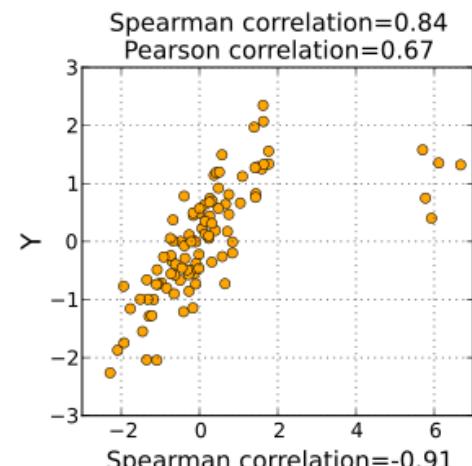
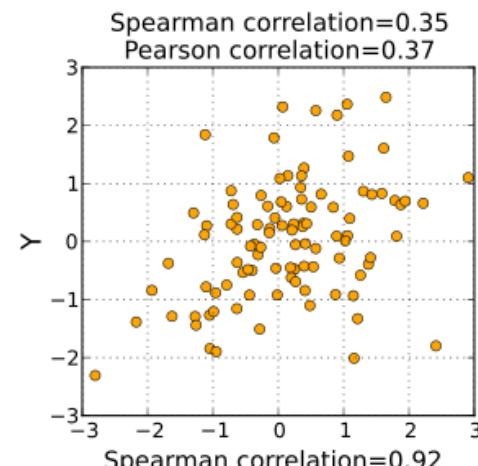
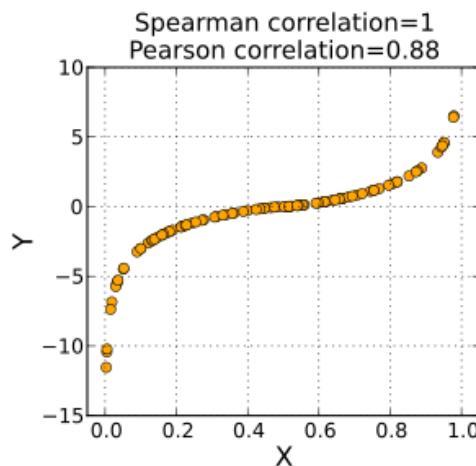
Several sets of (x, y) points, with the Pearson correlation coefficient of x and y for each set. Note that the correlation reflects the noisiness and direction of a linear relationship (top row), but not the slope of that relationship (middle), nor many aspects of nonlinear relationships (bottom). N.B.: the figure in the center has a slope of 0 but in that case the correlation coefficient is undefined because the variance of Y is zero.

<http://en.wikipedia.org/wiki/Correlation>

Correlation distance: Spearman's rank correlation

Spearman **Rank** Correlation Coefficient. Es una correlación de rankings (orden), entre dos variables. Resume la dependencia estadística de dos variables.

Mientras que la correlación de Pearson asume dependencia lineal entre las variables, la correlación de Spearman asume **dependencia monotónica** (si una variable sube, la otra sube también, y *vice versa*).

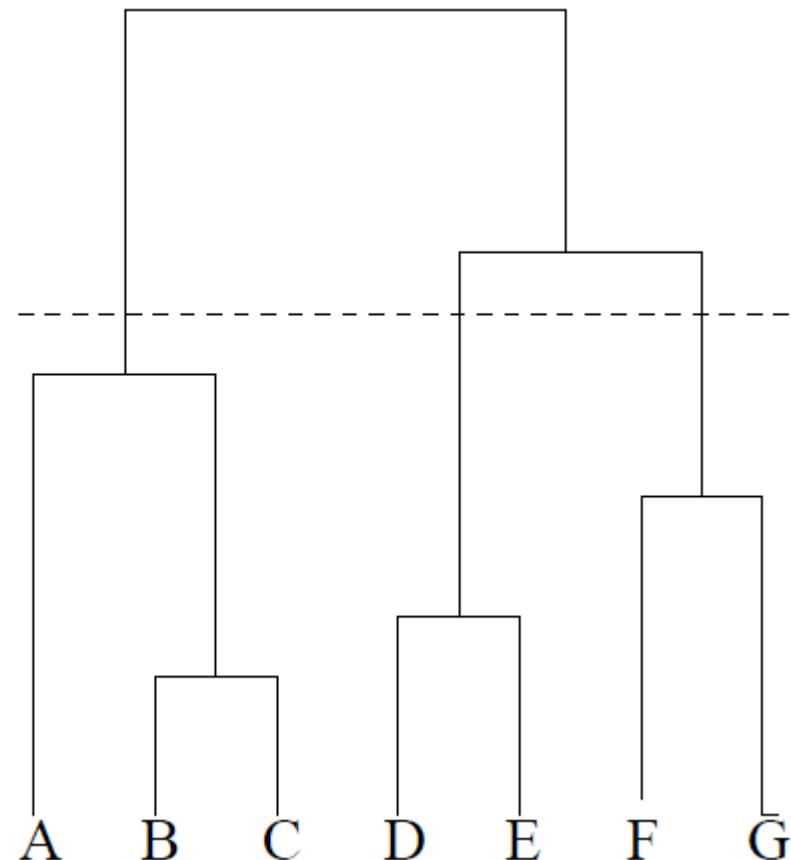
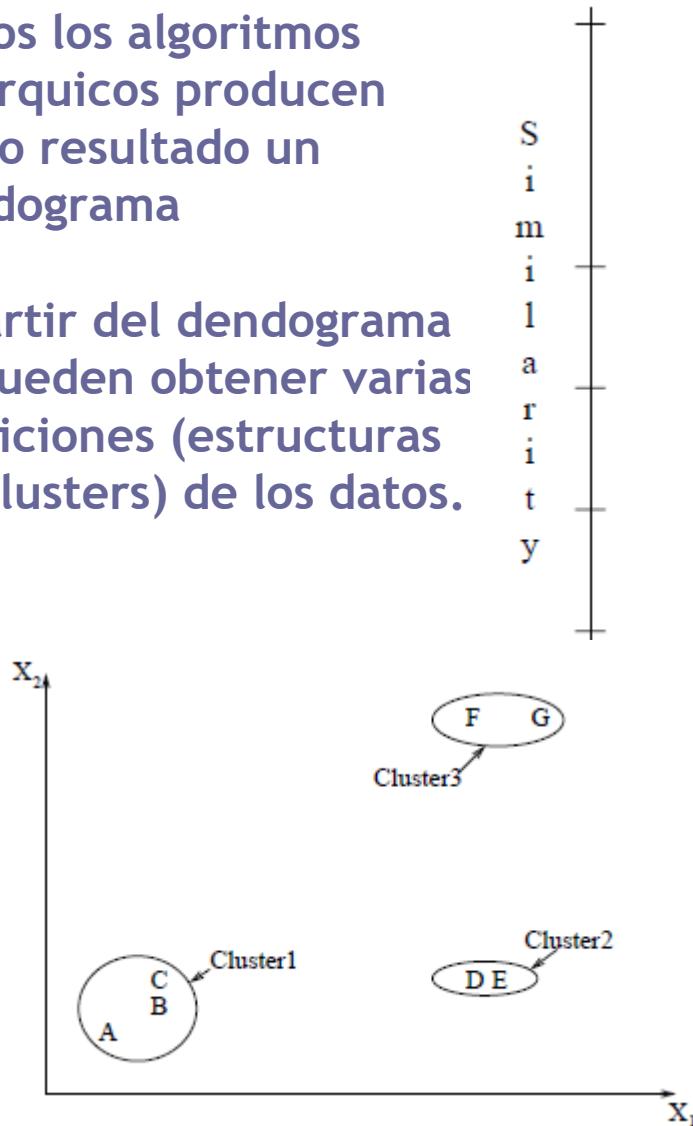


Intervalo

Clustering algorithms: hierarchical clustering

Todos los algoritmos jerárquicos producen como resultado un dendograma

A partir del dendograma se pueden obtener varias particiones (estructuras de clusters) de los datos.



https://en.wikipedia.org/wiki/Hierarchical_clustering

Single-linkage, Complete-Linkage, Average-Linkage

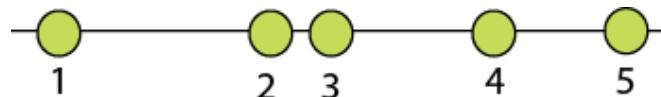
Clustering Jerárquico

Agglomerativo

Si hay un error en algún paso no se puede volver atrás ...

Hierarchical clustering

Dado un conjunto de N (5) elementos a ser agrupado y una matriz de distancia (o similitud) de N x N:



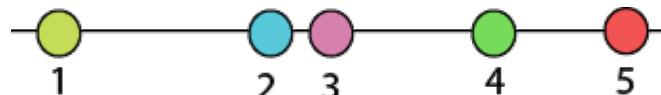
<i>d</i>	1	2	3	4	5
1	0	5	6	10	13
2	5	0	1	5	8
3	6	1	0	4	7
4	10	5	4	0	3
5	13	8	7	3	0

Hierarchical clustering

Comenzar por asignar cada item a un cluster.

Tenemos 5 clusters

En este paso, las distancias entre los clusters son las mismas que entre los elementos de cada cluster

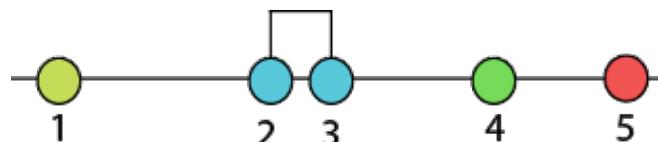


d	1	2	3	4	5
1	0	5	6	10	13
2	5	0	1	5	8
3	6	1	0	4	7
4	10	5	4	0	3
5	13	8	7	3	0

Hierarchical clustering

Encontrar el par más cercano de clusters y unirlo en un único cluster.

Tenemos 4 clusters



d	1	2	3	4	5
1	0	5	6	10	13
2	5	0	1	5	8
3	6	1	0	4	7
4	10	5	4	0	3
5	13	8	7	3	0

Hierarchical clustering

Calcular las distancias entre el nuevo cluster y los viejos clusters

En **single-linkage** la distancia que se usa es la **mínima** entre distintos elementos de un cluster

Los elementos se agrupan **siempre** encontrando la **mínima** distancia en la matriz

<i>d</i>	1	2	3	4	5
1	0	5	6	10	13
2	5	0	1	5	8
3	6	1	0	4	7
4	10	5	4	0	3
5	13	8	7	3	0

<i>d</i>	1	2-3	4	5
1	0	5	10	13
2-3	5	0	4	7
4	10	4	0	3
5	13	7	3	0

Hierarchical clustering

En el algoritmo **complete-linkage** la distancia que se usa en la nueva matriz es la **máxima** entre distintos elementos de un cluster

Los elementos se agrupan **siempre** encontrando la **mínima** distancia en la matriz

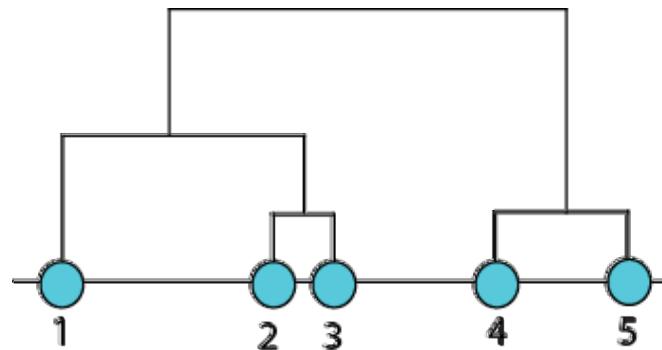
Y en **average-linkage**?

<i>d</i>	1	2	3	4	5
1	0	5	6	10	13
2	5	0	1	5	8
3	6	1	0	4	7
4	10	5	4	0	3
5	13	8	7	3	0

<i>d</i>	1	2-3	4	5
1	0	6	10	13
2-3	6	0	5	8
4	10	5	0	3
5	13	8	3	0

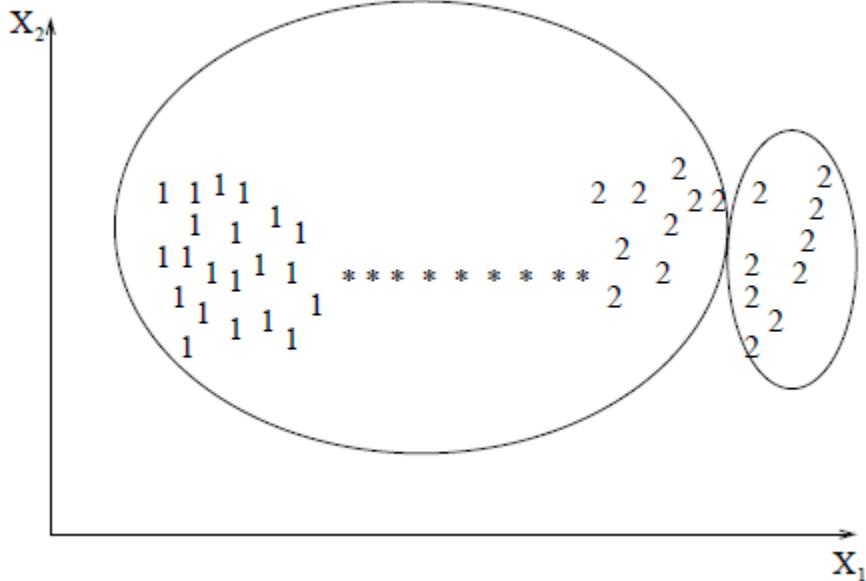
Single-linkage

Repetir los pasos 2 y 3 hasta que todos los elementos se encuentren en el mismo cluster de tamaño N (5)

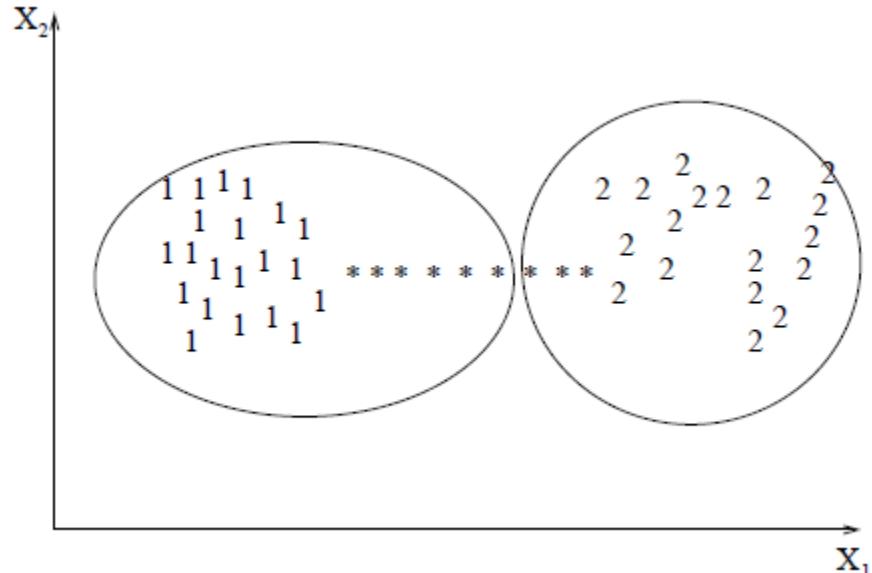


Diferencias entre single vs complete linkage

Single-link



Complete-link



Ejemplo: dataset compuesto por elementos pertenecientes a dos clases, conectadas por una cadena de datos ruidosos. Tomado de Jain AK, Murty MN, Flynn PJ (1999)
Data clustering: a review.

Diferencias entre single vs complete linkage

Single linkage: ejemplo Mucinas *T. cruzi*

Cluster 358

TTTTTTTEAPTTTTTQAPSTTTETPTTTTRAPSRLREIDGSLSSSAWVCAP
MKVSDSDAPSPTTTTTTTTEAPINTAINTEAPTTTRAPSRLREVDGSLSSSAWVCVP
PSTDQTNTNADDSAKKNTAATINTTTTTAPEAPSTTTAEAPTTTRAPSRLREIDGTLSSSAWVCAP
TTTTSTTEAPTTTTTEAPTTTRAPSRLREIDGSLSSSAWVCAP
TTGAPTTTRAPSRLREIDGSLSSSAWFAR
TTTTAAPEAPTTTRAPSRLREIDGSLSSPAWVC
TTTTKAPTTTTTESPTTATTEVPTTTTRAPSRLREIDGSLSS
VKKAEDAAATTNTTKAPITTTT
ADPTTSARTPSRLREIDGSLGSSAWVC
PSTTTTRAPSLLRESDGSL
FFGVWQTKPFEPSPLRSDGS
TTNTSAPSRLRSVDGSLSSS
EKLRQRSSILREIDDVENHASQS
APSNTTMNTEAPTTTSRAP
TATSTTSTEAPTTTRAP
QQPSVSANPVQQIQQKANAPT
RRECASTAADDSSARKTYLRP
DHVNTNADDSAKKTTAATT
...

Diferencias entre single vs complete linkage

Complete linkage: ejemplo Mucinas T. cruzi

Cluster 695

TTTTTTTEAPTTTTTTQAPSTTTETPTTTTRAPSRLREIDGSLSSSAWVCAP
TPTTTTRAPSRLREIDGSLSSSAWVCA
TTAAPTTTRAPSRLREIDGSLSSSAWVCAP
TTTTEAPTTTRTPSRLREIDGSLSSS
TTTTEAPTTTRTPSRLREIDGSLSSS
APTTTITRTPSRLRESDGSLSSSAWVCA
SNTAMITEAPTTTRTTTEAPSRLREIDGSLSSSAWVCA

Cluster 393

TTGAPTTTRAPSRLREIDGSLSSSAWFAR
TMNTEAPTTTTTTTTRAPSRLREIDGSLSSSAWMCAP
PITTTTAPEAPTTTRAPTTTELPTTTTRAPSRLREIDGSLSSS
EAPTTATTRAASRLREIDGSLSSS
APSNTTMNTEAPTTTSRAP

Diferencias entre single vs complete linkage

Complete linkage: ejemplo Mucinas *T. cruzi*

Cluster 695

```
TTTTTTTEAPTTTTTTQAPSTTTETPTTTTRAPSRLREIDGSLSSSAWVCAP  
-----TPTTTTRAPSRLREIDGSLSSSAWVCA  
-----TTAAPTTTRAPSRLREIDGSLSSSAWVCAP  
-----TTTTEAPTTTRTPSRLREIDGSLSSSS  
-----TTTTEAPTTTRTPSRLREIDGSLSSSS  
-----APTTTITRTPSRLRESDGSLSSSAWVCA  
-----SNTAMITEAPTTTRTTTEAPSRLREIDGSLSSSAWVCA
```

Cluster 393

```
-----TTGAPTTTRAPSRLREIDGSLSSSAWVFAR  
-----TMNTEAPTTTTTTTRAPSRLREIDGSLSSSAWMCAP  
PITTAAPEAPTTTRAPTTTELPTTTTRAPSRLREIDGSLSSSS  
-----EAPTTATTRAASRLREIDGSLSSSS  
-----APSNTTMNTEAPTTTSRAP
```

Otras Variantes

Hierarchical clustering techniques applied to phylogenetic reconstruction:

UPGMA (Unweighted Pair Group Method with Arithmetic Mean)

Usado para reconstruir filogenias

Usa la media aritmética (average-link)

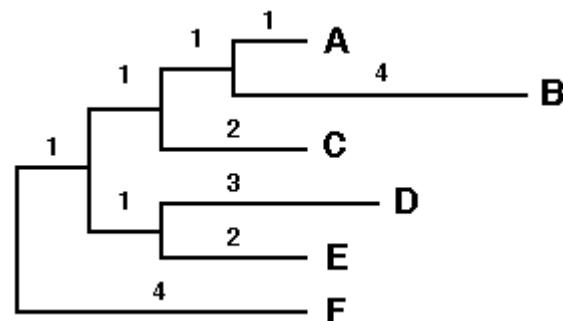
Distancias ultramétricas

Neighbor-joining

Usado para reconstruir filogenias

Usa la media aritmética

Las distancias son aditivas



Clustering algorithms: K-means

Es muy rápido!

Particional

Usa Distancia euclídea

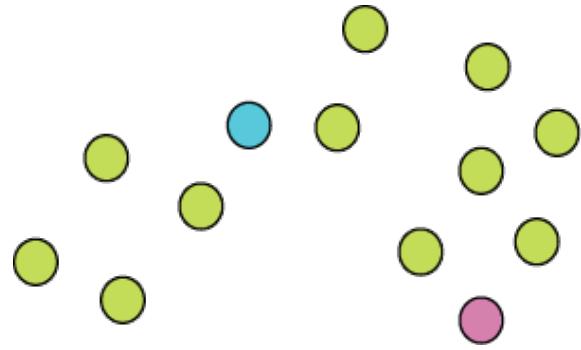
Necesita el valor de k (Nro de clusters)

Util para búsqueda de prototipos

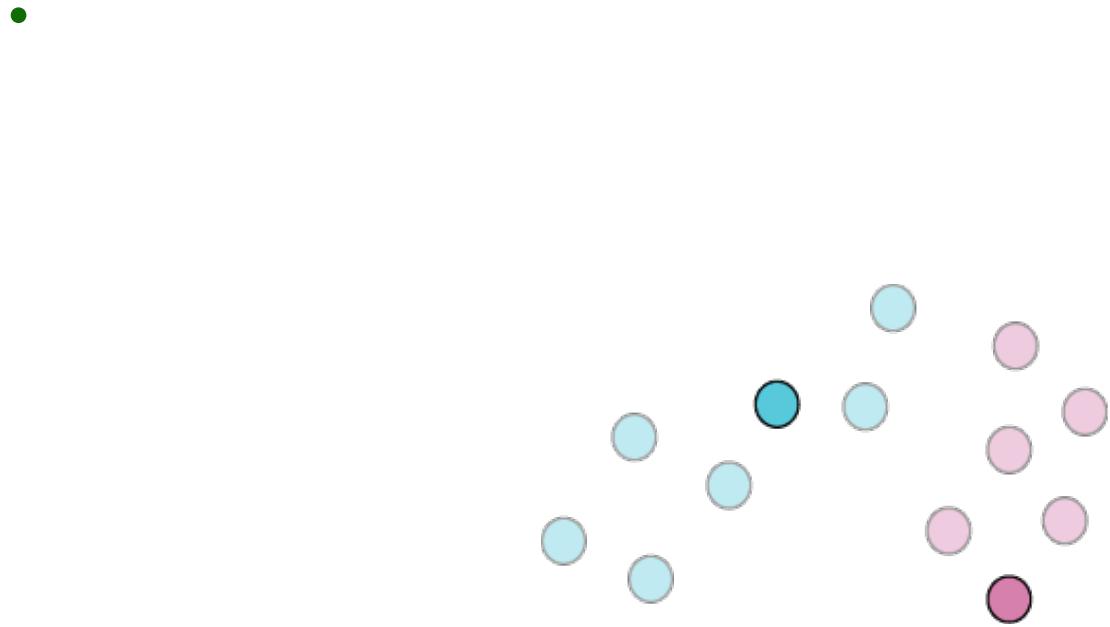
Sensible a outliers

K-means

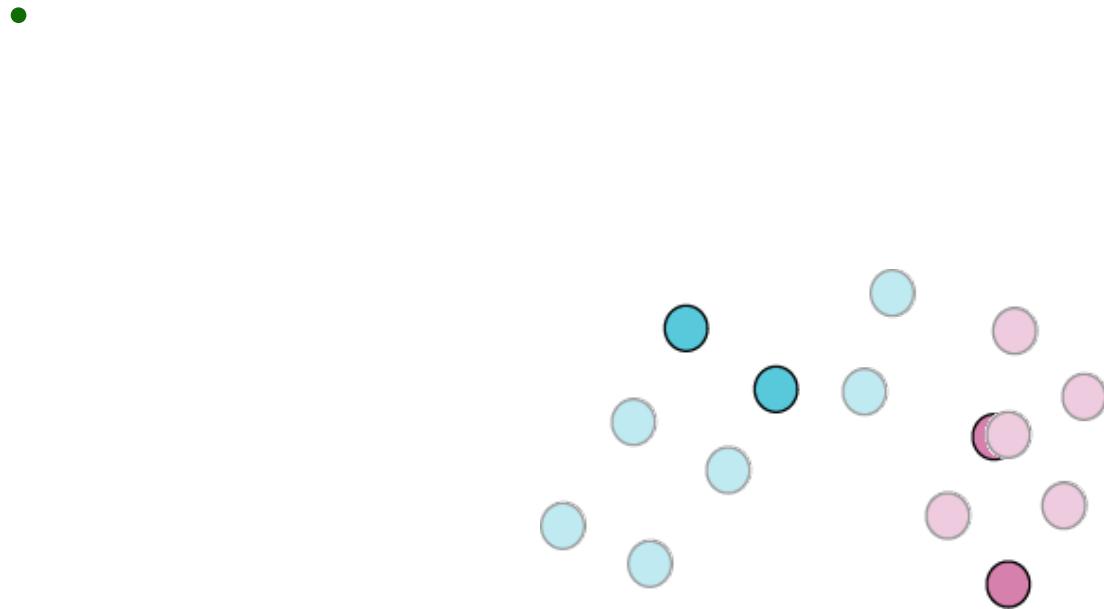
.



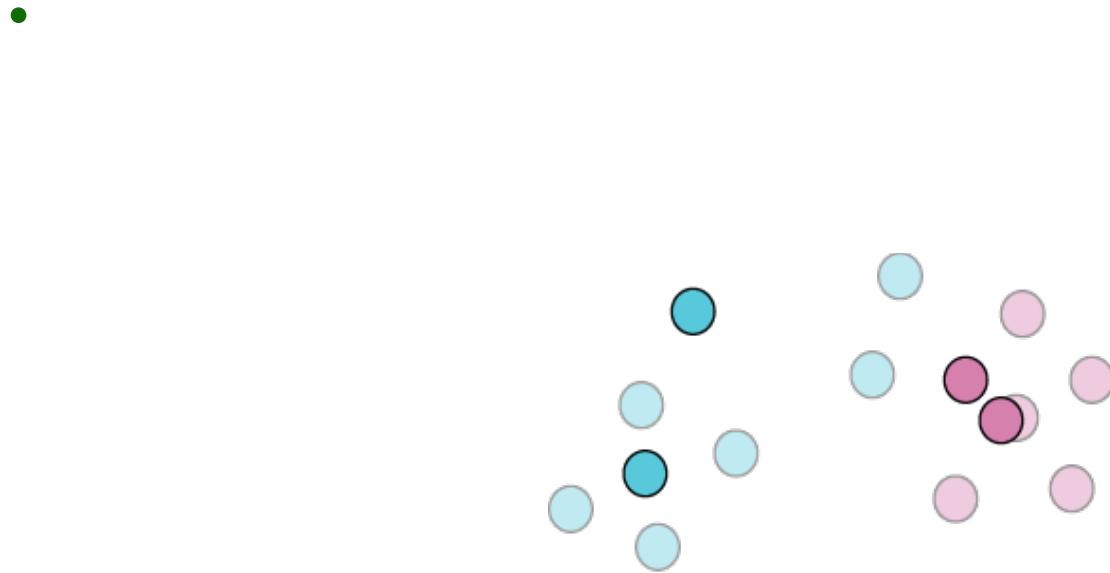
K-means



K-means



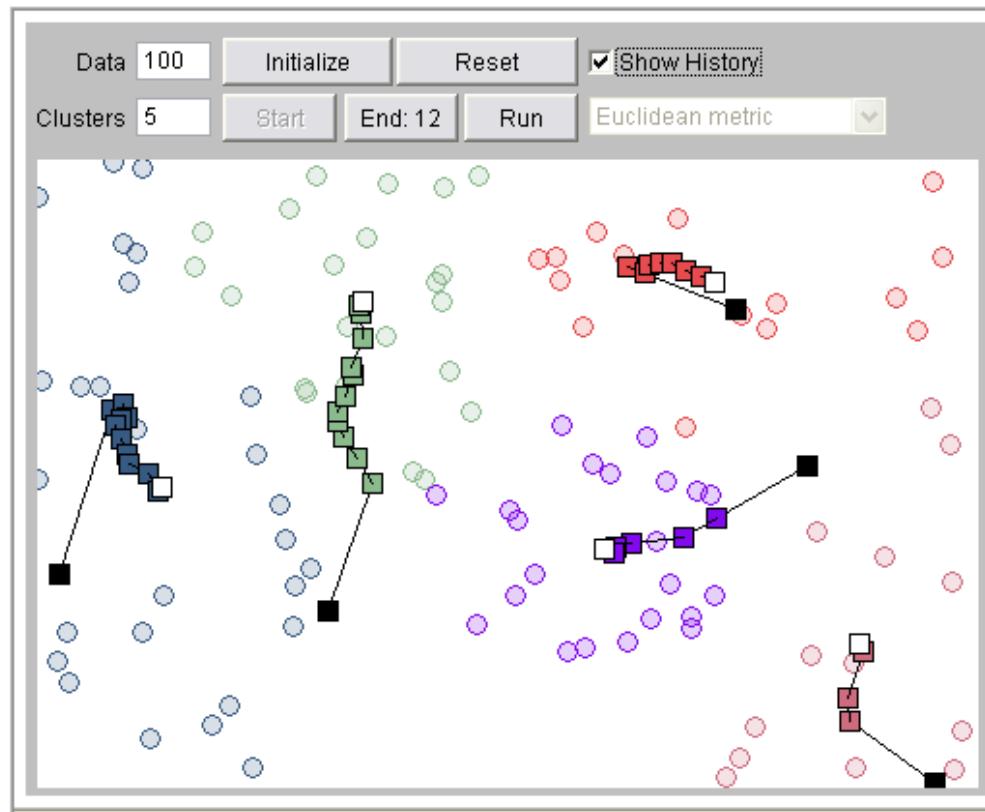
K-means



K-means

K-means - Interactive demo

This applet requires Java Runtime Environment version 1.3 or later. You can download it from the [Sun Java website](#).



http://home.dei.polimi.it/matteucc/Clustering/tutorial_html/AppletKM.html

Clustering: hay que analizar los resultados!

Dado un set de datos al azar, **sin ninguna estructura**, los algoritmos de clustering siempre encuentran agrupamientos!

Gold Standard: los agrupamientos, corresponden a categorías naturales? (**Validación externa**)

Cuán bien están maximizados y minimizados la similitud intra-cluster y la disimilaridad inter-cluster? (**Validación interna**)

Validación interna: Silhouette Index

$$\frac{1}{k} \sum_k \left(\frac{1}{|c_k|} \sum_{\vec{x}_i \in c_k} \frac{b(\vec{x}_i) - a(\vec{x}_i)}{\max[b(\vec{x}_i), a(\vec{x}_i)]} \right)$$

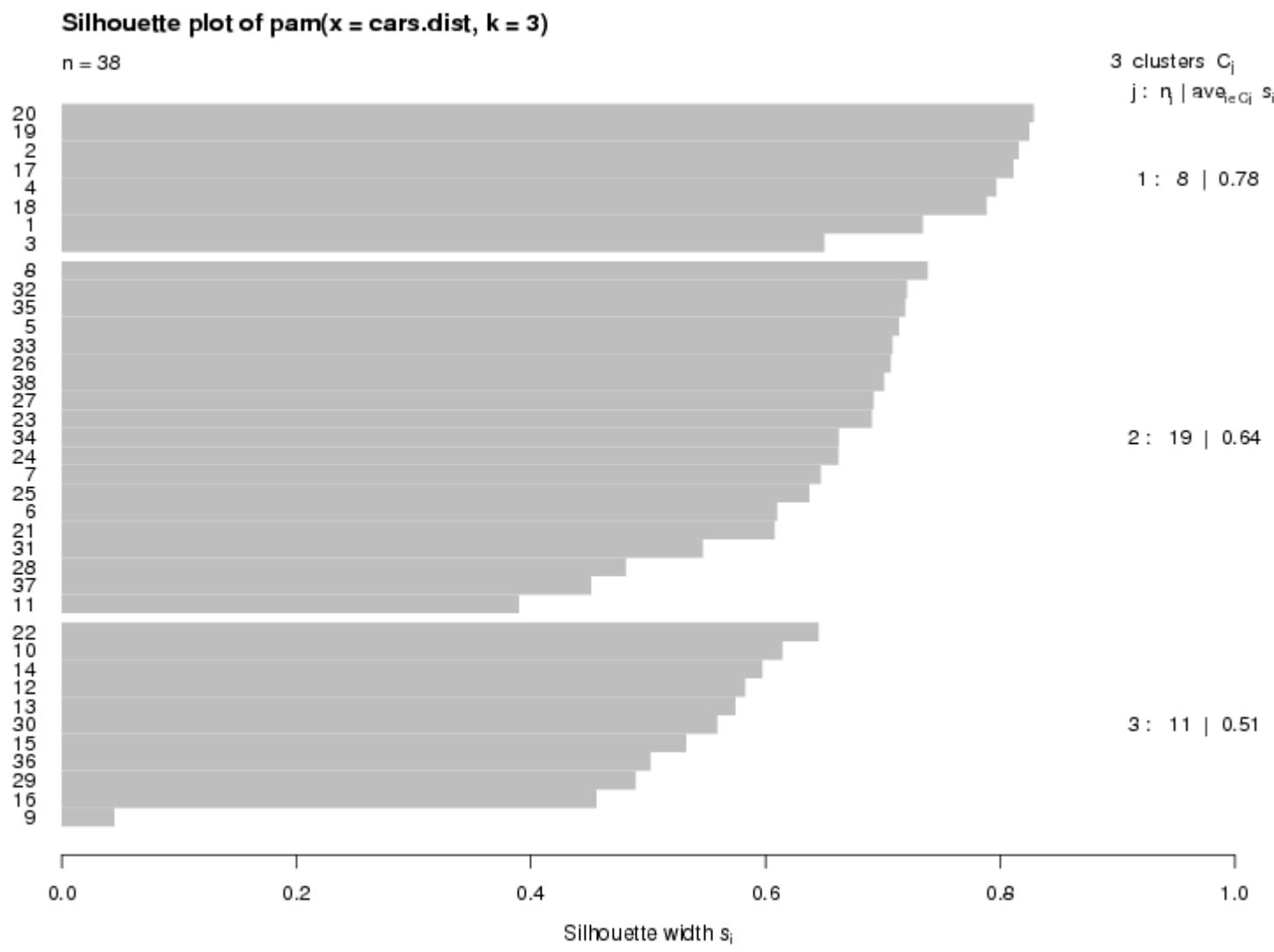
$a(\vec{x}_i)$ average distance from \vec{x}_i to other instances in same cluster

$b(\vec{x}_i)$ average distance from \vec{x}_i to instances in next closest cluster

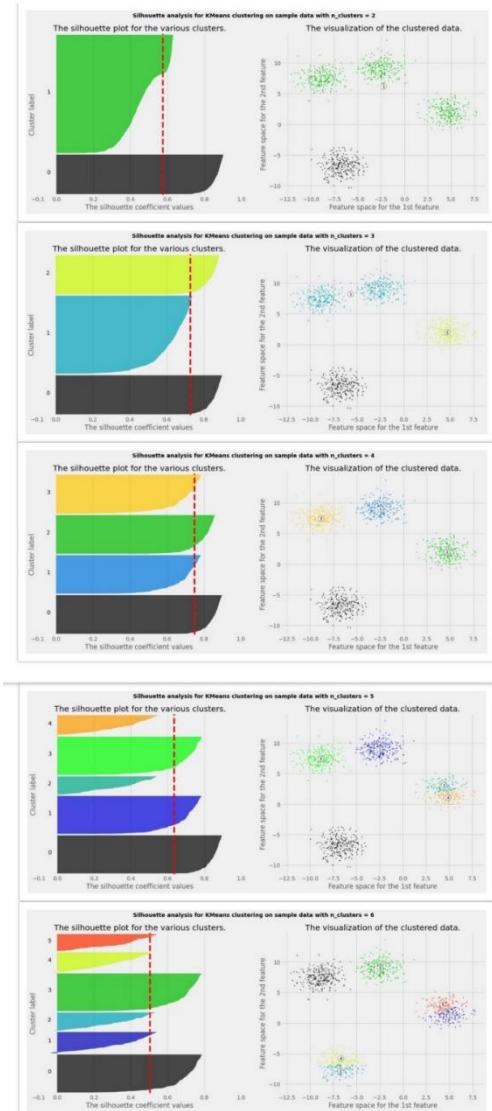
SI = 1 means element is well placed in its cluster

SI = 0 means element might well be placed in another cluster

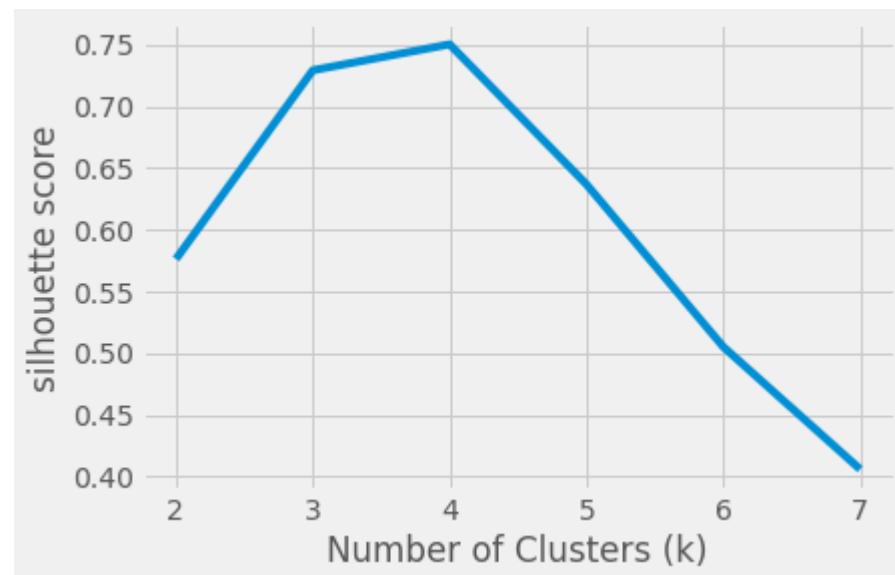
Validación interna: Silhouette Index



Combinando K-means + Silhouette



modo exploratorio: Acá la idea no es combinar para validar clustering final, sino para *encontrar el mejor k*.



Fuente: <https://towardsdatascience.com/silhouette-method-better-than-elbow-method-to-find-optimal-clusters-378d62ff6891>

Combinando Silhouette Index con Cross-Validation

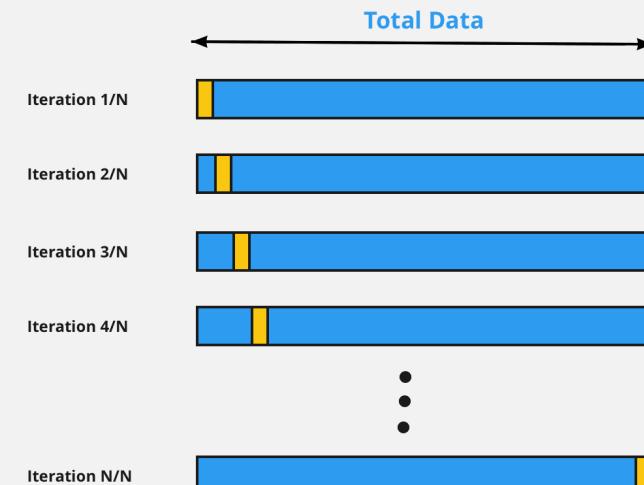
Qué es cross-validation?

Cross-validation es el proceso de crear varias distribuciones de los datos, a partir de un solo dataset. Se usa en machine learning para generar pares de distribuciones para aprendizaje y testeo. En cross-validation los datos se partitionan en k subsets, $S_1 \dots S_k$, cada uno se lo llama un *fold*. Los folds son usualmente del mismo tamaño aproximadamente.

Qué es Leave-One-Out cross-validation?

Es un caso especial de cross-validation. En este caso el numero de folds (subsets) es igual al numero de casos (tamaño total del dataset). Es muy cercano al metodo estadístico jack-knife.

LOOCV: Leave One Out Cross Validation



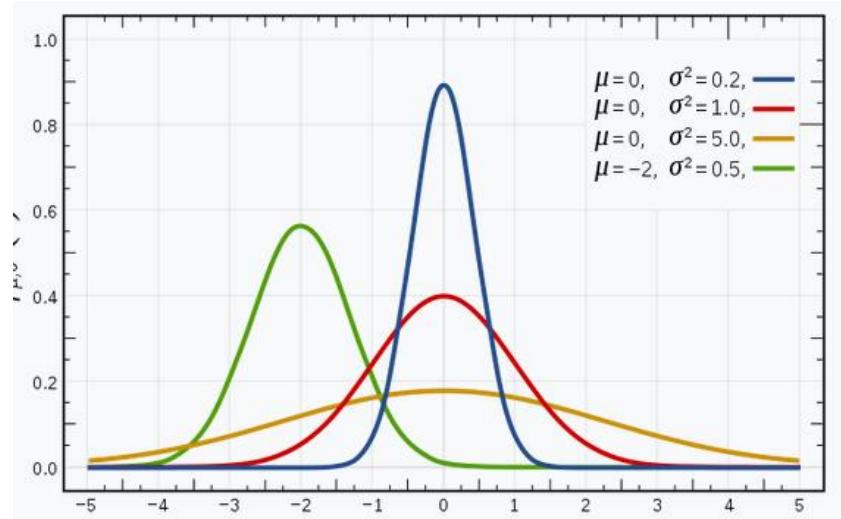
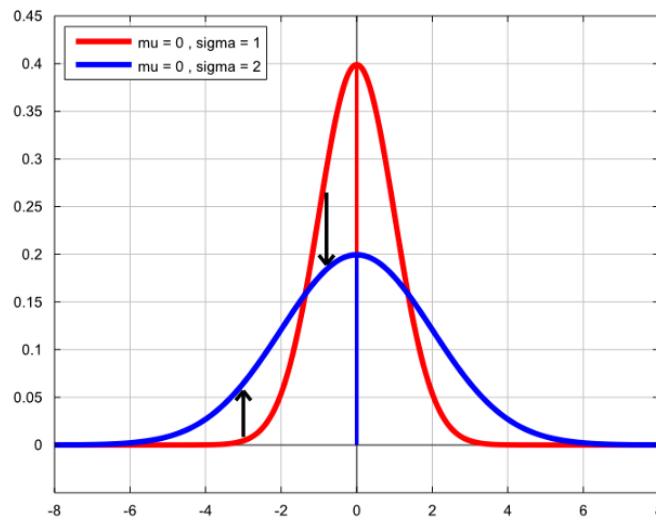
dataaspirant.com

Clustering usando Gaussian Mixture Models

Que son los Gaussian Mixture Models (GMMs)?

Estos modelos asumen que hay un **determinado número** de distribuciones Gausianas, y que cada una de ellas representa un **cluster**.

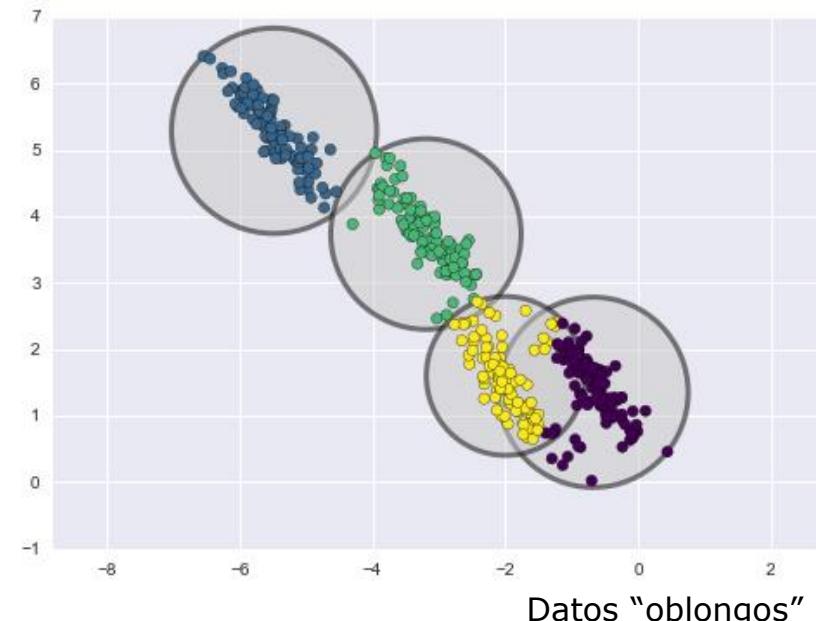
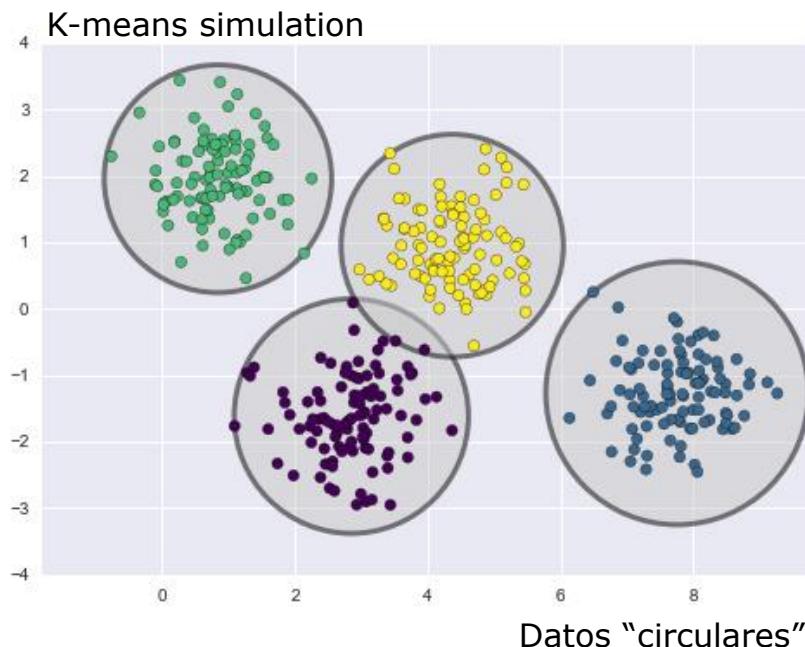
Los modelos de *mixturas Gausianas* pueden usarse para etiquetar y agrupar datos de la misma manera que k-means. Pero, mientras que k-means no usa la dispersión de los datos, los GMMs si.



<https://towardsdatascience.com/gaussian-mixture-models-d13a5e915c8e>

Clustering usando Gaussian Mixture Models

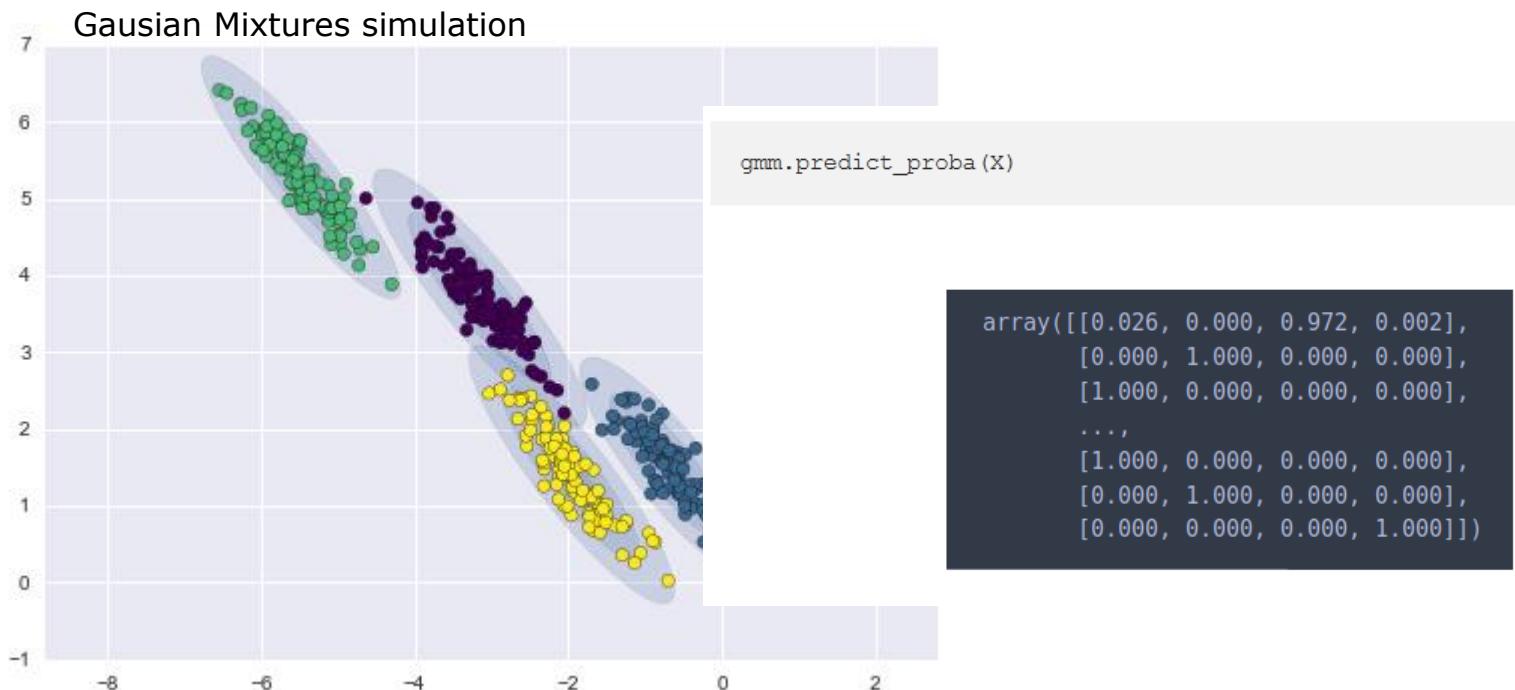
Una manera de pensar K-means es que forma clusters con un punto central imaginario (centroide) y un radio definido por el elemento más distante de cada cluster. En 2D eso genera **círculos**.



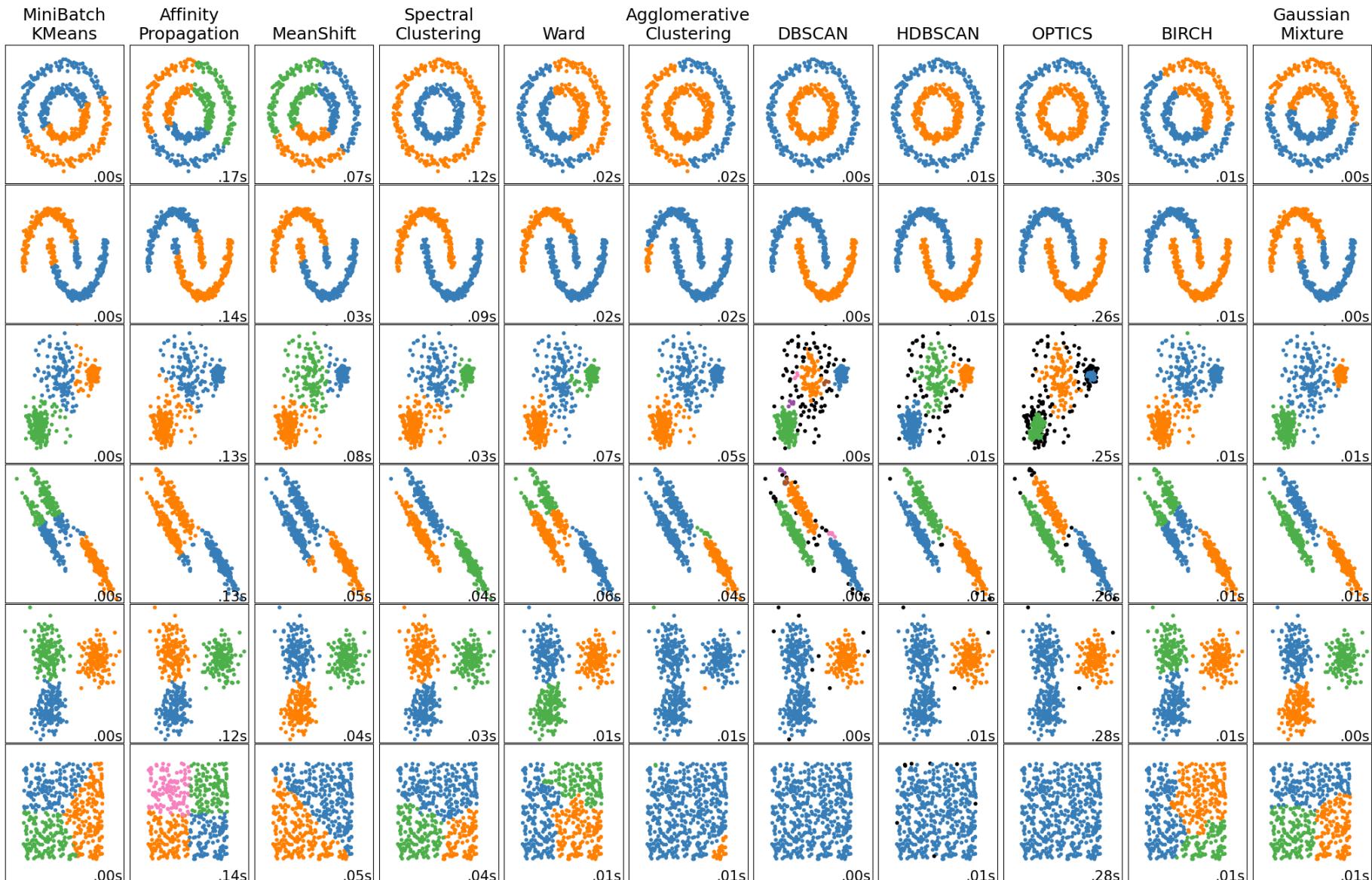
Clustering usando Gaussian Mixture Models

K-means asigna puntos a cada cluster en forma estricta (**hard classification**)

Mientras que las **Mixturas Gaussiana**s son **modelos probabilísticos**. Así que además de asignar puntos a un cluster, podemos calcular la probabilidad de que ese punto pertenezca a ese cluster (o a otro!).



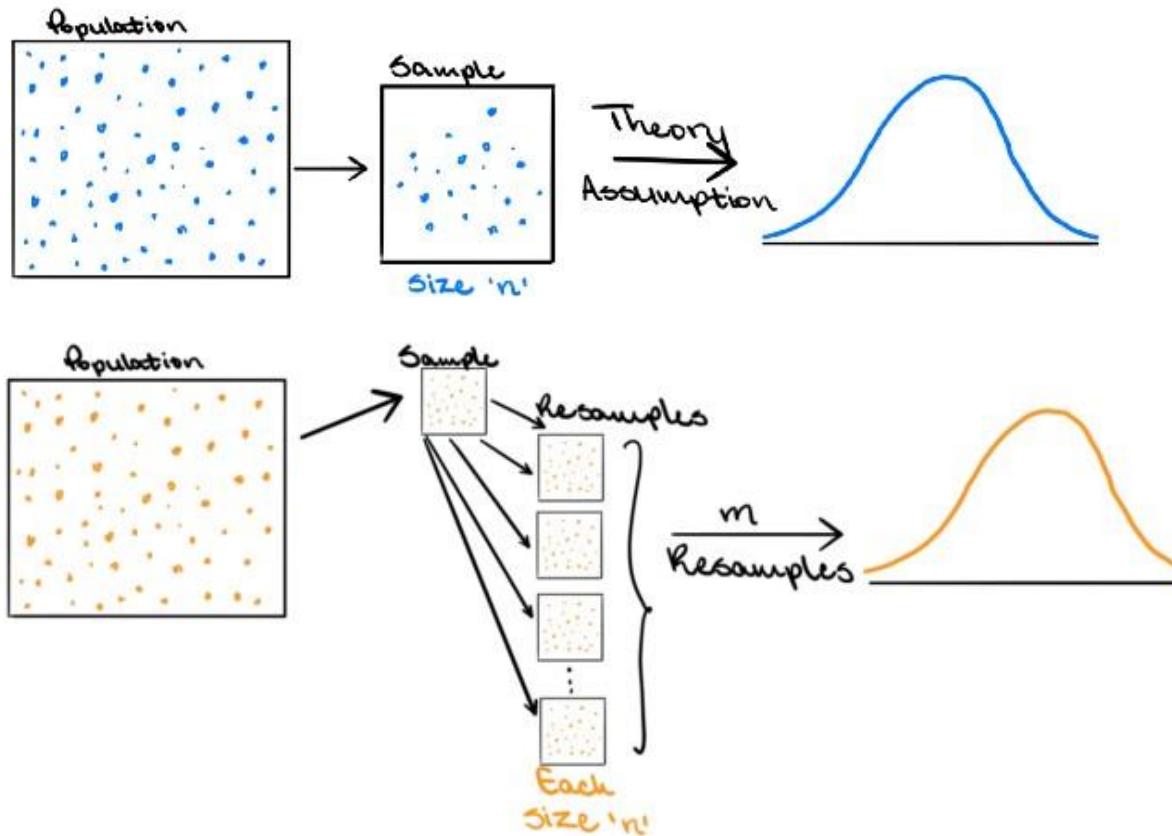
Clustering algorithms



<https://scikit-learn.org/stable/modules/clustering.html>

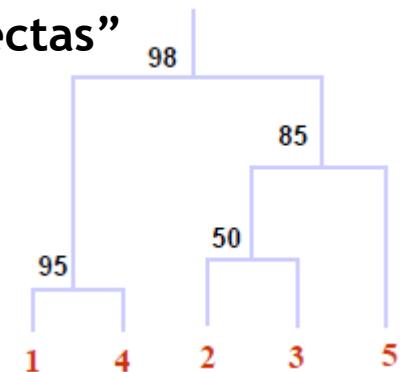
Bootstrapping

- Simulaciones con Bootstrapping
 - Bootstrap resampling technique (Efron 1982)
 - Remuestreo de un conjunto de datos para generar nuevos conjuntos de muestras de esos datos.



- **Bootstrap test**

- Bootstrap resampling technique (Efron 1982)
- Dado un número de genes M y un árbol calculado por un método cualquiera, se genera un nuevo set de genes M' en el cual n elegidos al azar son reemplazados, también al azar.
- En base a este nuevo set M' se recalcula el árbol utilizando el mismo método y se comparan las topologías del árbol.
- Esto se repite varias veces (100, 1000 repeticiones) y se calcula, para cada rama un valor de bootstrap
- Bootstrap value: % de veces que la rama aparece en los distintos árboles
- Bootstrap values $\geq 95\%$ corresponden a ramas “correctas”

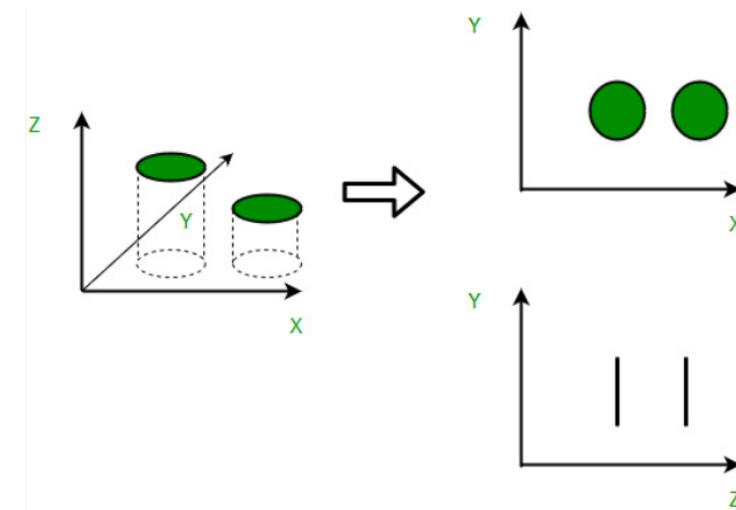


Técnicas de Reducción de Dimensionalidad

La **dimensionalidad de los datos** simplemente se refiere al **número de variables** (features) en un dataset.

Pero no todas las variables (dimensiones) son igualmente útiles!

- **Sin datos:** algunas variables no tienen datos para todos los objetos
- **Baja varianza:** algunas variables no muestran cambios
 - Ojo, la varianza depende del rango! Normalizar antes!
- **Alta correlación:** algunas variables pueden estar altamente correlacionadas
 - tiene sentido dejar solo una de ellas!

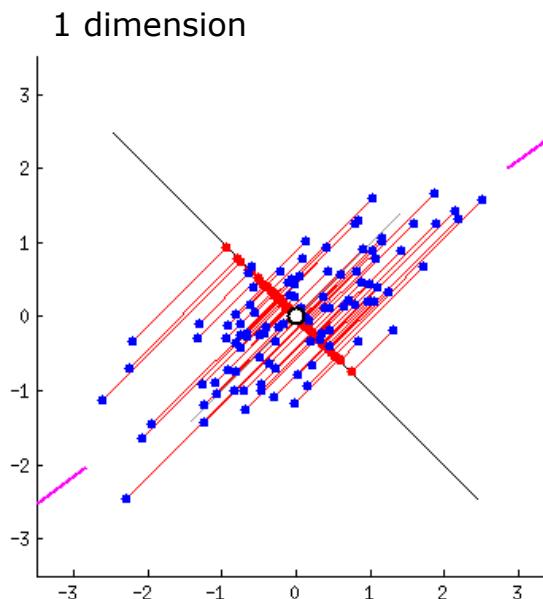
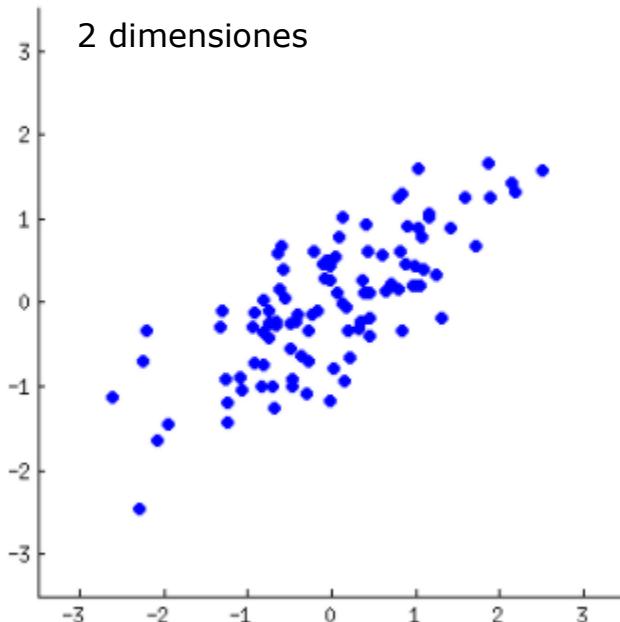


Técnicas de Reducción de Dimensionalidad

PCA = Principal Component Analysis

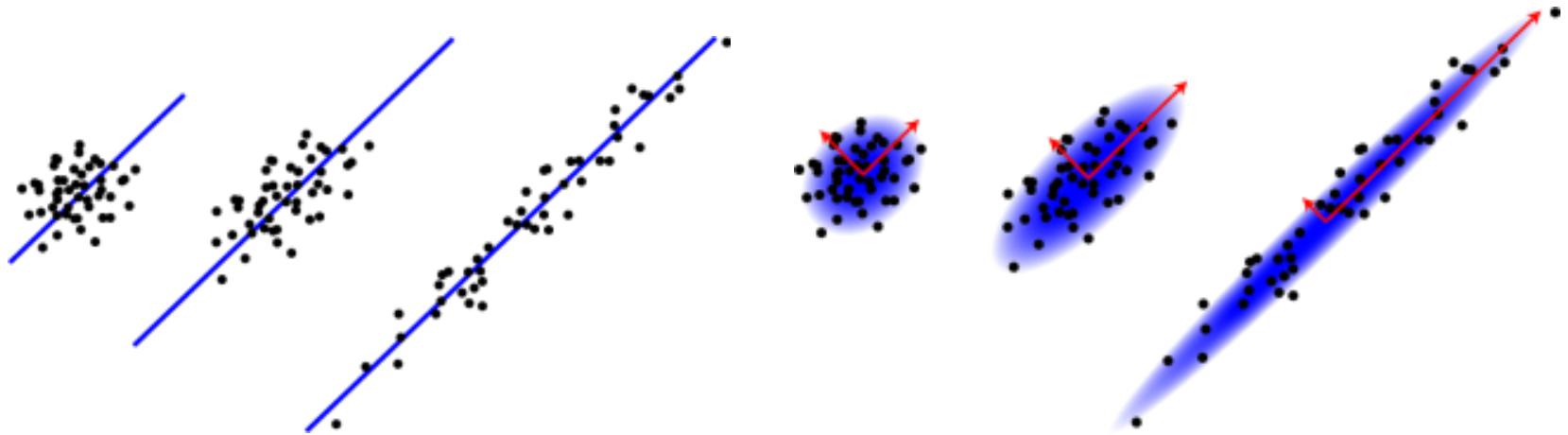
Procedimiento para transformar en forma ortogonal los datos

A partir de n coordenadas, se obtienen un nuevo conjunto de n coordenadas, pero transformadas en su componente principal.



<https://www.kdnuggets.com/2015/05/7-methods-data-dimensionality-reduction.html>

PCA = Principal Component Analysis



Regresión lineal sobre 3 conjuntos de datos

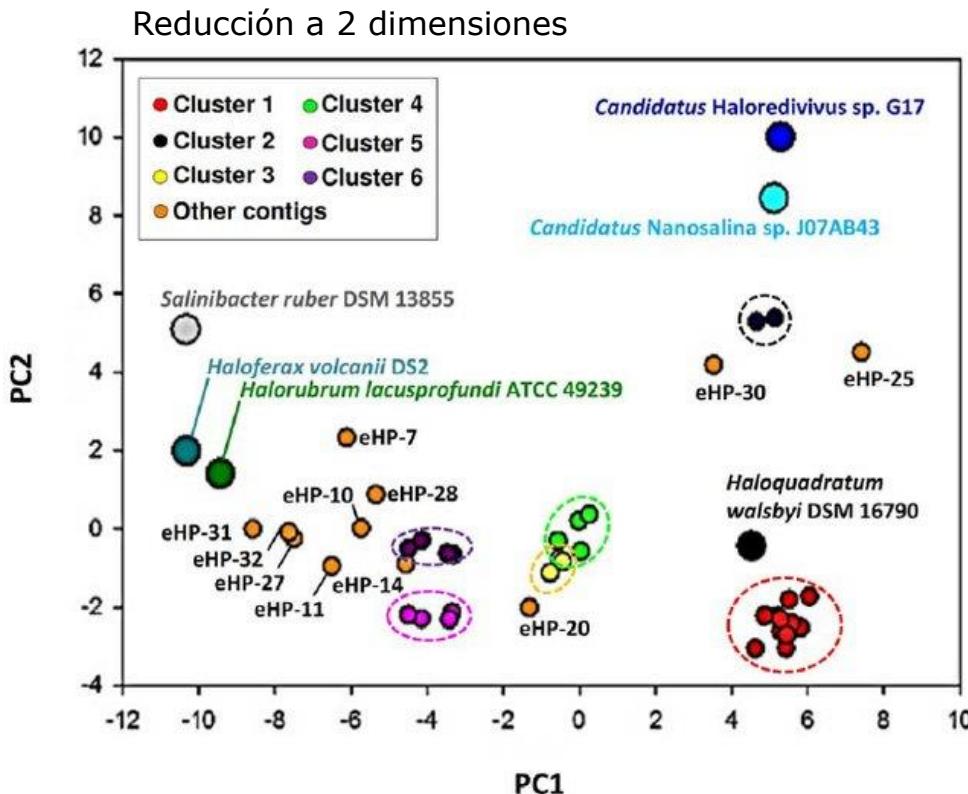
PCA sobre 3 conjuntos de datos:
componentes principales en rojo.

Técnicas de Reducción de Dimensionalidad

En bioinformática, ejemplo de uso

Uso de codones en genes codificantes de proteínas:

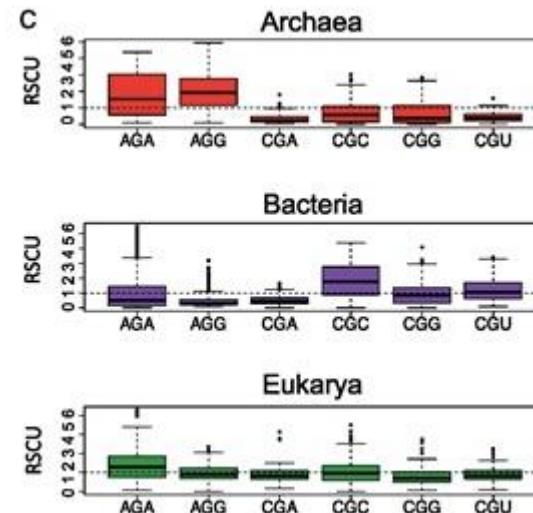
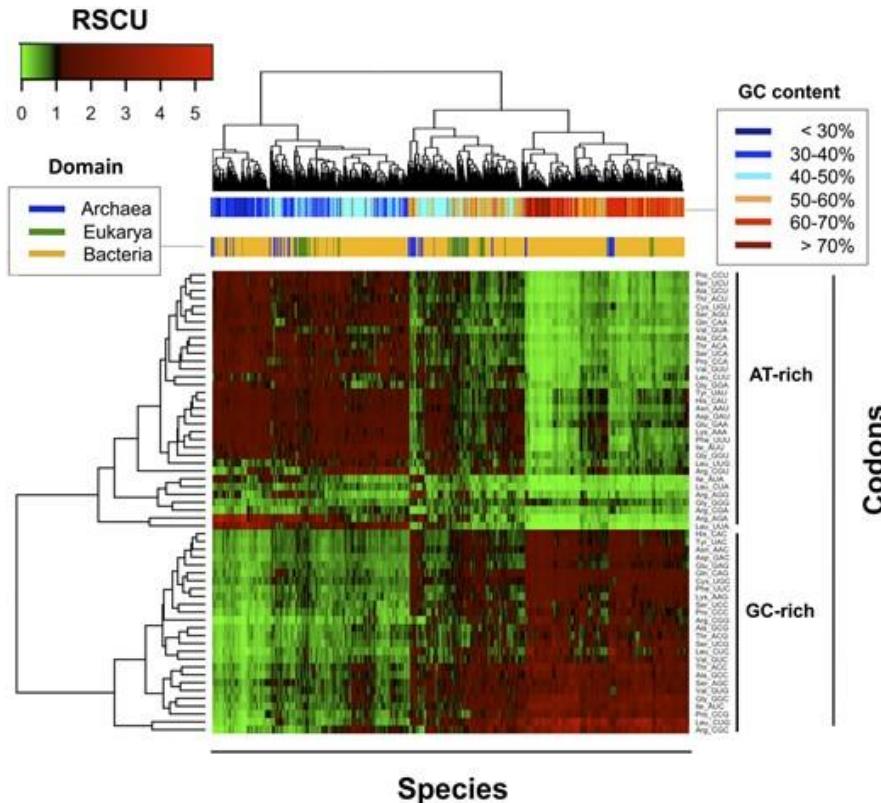
- Hay 64 codones (variables / dimensiones)
 - No todos son igualmente informativos



Garcia-Heredia I, Martin-Cuadrado A-B, Mojica FJM, Santos F, Mira A, Antón J, et al. (2012) Reconstructing Viral Genomes from the Environment Using Fosmid Clones: The Case of Haloviruses. PLoS ONE 7(3): e33802. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0033802>

Técnicas de Reducción de Dimensionalidad

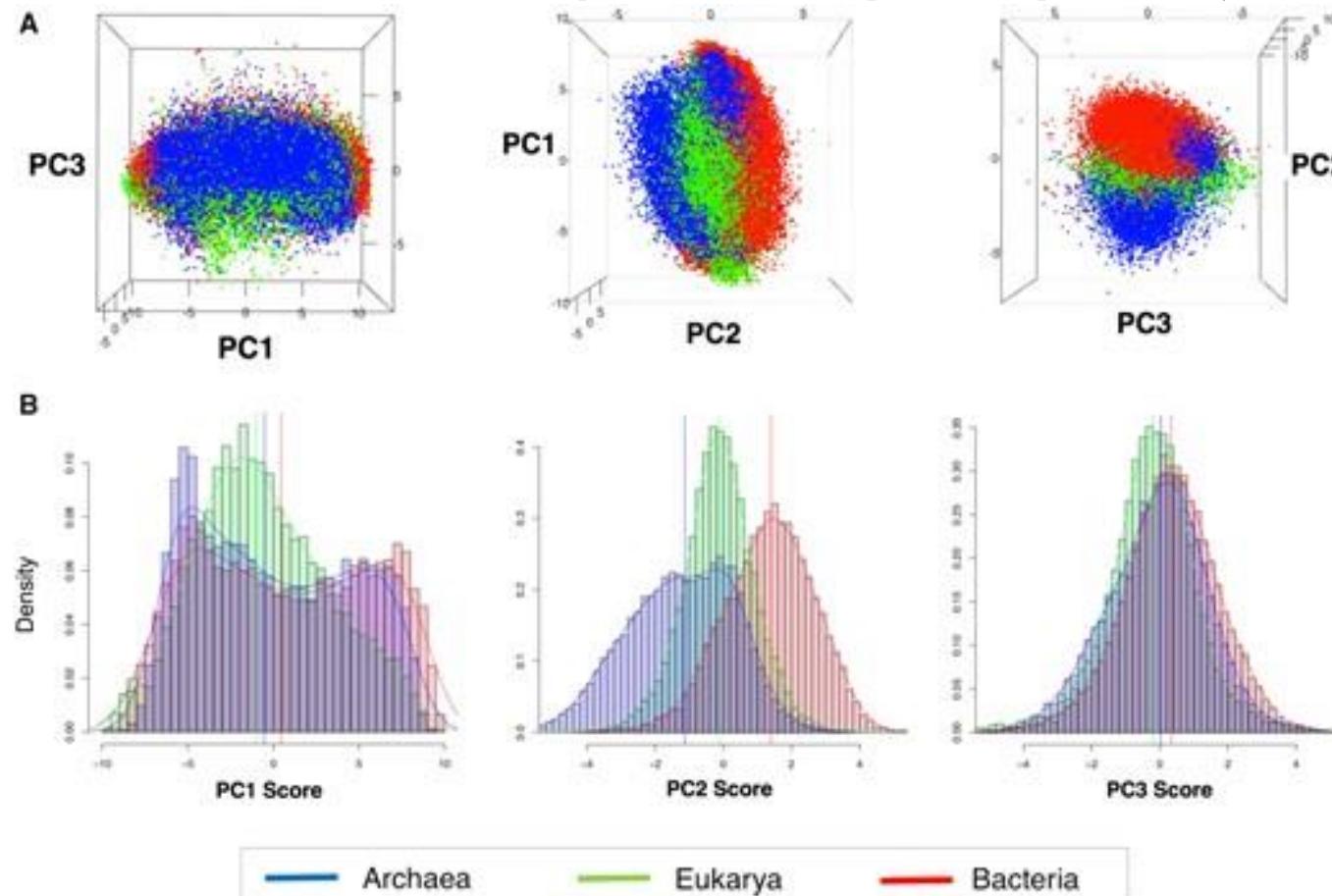
Uso de codones: archaea vs eukarya vs bacteria



Eva Maria Novoa, Irwin Jungreis, Olivier Jaillon, Manolis Kellis, Elucidation of Codon Usage Signatures across the Domains of Life, *Molecular Biology and Evolution*, Volume 36, Issue 10, October 2019, Pages 2328–2339, <https://doi.org/10.1093/molbev/msz124>

Técnicas de Reducción de Dimensionalidad

Análisis de las 3 componentes principales (en 2D)



Eva María Novoa, Irwin Jungreis, Olivier Jaillon, Manolis Kellis, Elucidation of Codon Usage Signatures across the Domains of Life, *Molecular Biology and Evolution*, Volume 36, Issue 10, October 2019, Pages 2328–2339, <https://doi.org/10.1093/molbev/msz124>

- **Agradecimientos:** Dra. Rocío Romero Zaliz
(Departamento de Ciencias de la Computación e Inteligencia Artificial, Universidad de Granada)
- **Bibliografía adicional:**
 - Jain AK, Murty MN, Flynn PJ (1999) Data clustering: a review. (PDF disponible en la página de la materia)
 - Witten IH, Frank E, Hall MA (2011) Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques, 3rd Edition.