



**UNIVERSIDAD DE ALCALÁ**  
Escuela Politécnica Superior

**GRADO EN INGENIERÍA INFORMÁTICA**

Trabajo de Fin de Grado  
**Estado del arte de visualización circular de datos con R**

**Autor:** Pablo García Lacalle  
**Tutor:** Juan José Cuadrado Gallego

**TRIBUNAL**

**Presidente:**

**Vocal 1:**

**Vocal 2:**

**Calificación:**

# Índice

|  |          |
|--|----------|
| <b>1. Introducción</b>                                     | <b>3</b> |
| 1.1. Visualización de Datos . . . . .                      | 4        |
| 1.2. Círculos . . . . .                                    | 5        |
| <b>2. Análisis de los Diagramas</b>                        | <b>6</b> |
| 2.1. Diagrama de Anillos . . . . .                         | 7        |
| 2.2. Diagrama de Barras Radiales . . . . .                 | 8        |
| 2.3. Diagrama en Espiral . . . . .                         | 9        |
| 2.4. Diagrama de Columnas Radiales . . . . .               | 10       |
| 2.5. Diagrama de Sectores . . . . .                        | 11       |
| 2.6. Diagrama de Área Polar . . . . .                      | 12       |
| 2.7. Diagrama de Cuadrícula Circular Ordenada . . . . .    | 13       |
| 2.8. Diagrama de Cuadrícula Circular Desordenada . . . . . | 13       |
| 2.9. Diagrama Rayos de Sol . . . . .                       | 14       |
| 2.10. Diagrama Radar . . . . .                             | 15       |
| 2.11. Diagrama de Columnas con Formato Iris . . . . .      | 15       |
| 2.12. Diagrama de Líneas Circulares Multiseries . . . . .  | 16       |
| 2.13. Diagrama Nube de Burbujas . . . . .                  | 17       |
| 2.14. Diagrama de Mapa de Árbol Circular . . . . .         | 18       |
| 2.15. Diagrama de Mapa de Árbol Voronoi . . . . .          | 19       |
| 2.16. Diagrama de Planos Circulares . . . . .              | 20       |
| 2.17. Diagrama Mapa Circular . . . . .                     | 20       |
| 2.18. Diagrama Mapa de Esfera . . . . .                    | 21       |
| 2.19. Dendograma Circular . . . . .                        | 21       |
| 2.20. Diagrama de Cuerdas . . . . .                        | 22       |
| 2.21. Diagrama de Redes Circulares . . . . .               | 23       |

## Resumen

Este trabajo realiza un estudio de que tipos de diagramas con formato circular existen, y como realizarlos con el lenguaje de programación destinado a estadística R[1] . Para ello se necesita explorar los tipos de diagramas circulares gracias a libros, como "The Book of Circles, Visualizing Spheres of Knowledge" de Manuel Lima[2] , "Information Graphics, A Comprehensive Illustrated Reference" de Robert L. Harris[3] . Y saber qué paquetes de R se pueden utilizar para representar dichos gráficos. Para una correcta representación de los diagramas en código, es muy recomendable la lectura de "Data Visualization, A Practical Introduction" de Kieran Healy[4] .

# 1. Introducción

El mundo está repleto de datos obtenidos de la observación, experimentos, etc. Pero, estos por si solos, no aportan el conocimiento necesario para que sus receptores saquen información válida.

Dicha información ayuda a la capacidad de entender el entorno que nos rodea (física, biología, geología, etc) y para ser capaces de realizar una mejor toma de decisiones (pandemias, economía, etc). Pero, para transformar estos datos en información válida, hay que condensarlos en una representación gráfica que ayude a, la interpretación y construcción de significado de los datos, y a la comunicación de la información obtenida.

Por ejemplo, si se tienen muchos datos con los sueldos de los habitantes de un país y se transforman siguiendo la estadística, se puede obtener el sueldo medio de éste junto con la moda del sueldo, etc; para que el país tome la decisiones pertinentes con dicha información.

Para cada situación existe un tipo de visualización de datos: para números las tablas; para comparar información de diferentes entidades en un instante de tiempo las barras; para visualizar cambios a lo largo del tiempo u otra variable, las líneas; etc.

Todas estas variedades de visualizaciones se pueden, como es objetivo de este trabajo, realizar con un formato de círculos. Estos son una de las figuras geométricas que más fascinan a la humanidad, debido a que se vislumbraban con mucha facilidad en la naturaleza, como astros celestiales, lagos, ondas generadas en el agua, frutas, etc.

Los círculos empezaron a usarse en arquitectura, por ejemplo, en bóvedas; en ciudades, como las aldeas de nativos americanos; en fortificaciones, como la muralla de Ávila (España); metáforas universales, como de la perfección (God the Architect, William de Bailes), la unidad (Fra Mauro map, Fra Mauro), el movimiento (Yama holding the wheel of life), la infinidad (Miracles of Each Moment); en mucha de la simbología como , la representación del tiempo, el ciclo de la vida, en los logos de empresas como, Vodafone, Bayer, Motorola, Mercedes; y en simbología antigua como los petroglifos prehistoricos de Argyll [2, pág 15-54] .

Los humanos están constantemente buscando patrones, orden, pautas, instrucciones, debido a ello consiguen comprender mejor lo que les rodea, como los seres vivos (biología), seres inertes, lo terrenal, lo espacial y en general, los patrones que gobiernan el universo. Y gracias al formato circular de los diagramas, que se representarán a lo largo de este trabajo, se pueden identificar dichas pautas, normalmente cíclicas, en los diferentes datos que recreen los distintos diagramas.

Para este trabajo se ha optado por R[1] , lenguaje de programación con enfoque estadístico basado en software libre, donde cada persona pueda contribuir a su crecimiento mediante un conjunto de funciones agrupadas en paquetes. Este lenguaje es uno de los más usados para Big Data, minería de datos, matemáticas financieras, aprendizaje automático, etc. En este caso, se trabaja en el área de Big Data con la visualización de datos, por lo que estos diferentes diagramas ayudan a la observacion y comprensión de grandes cantidades de datos.

## 1.1. Visualización de Datos

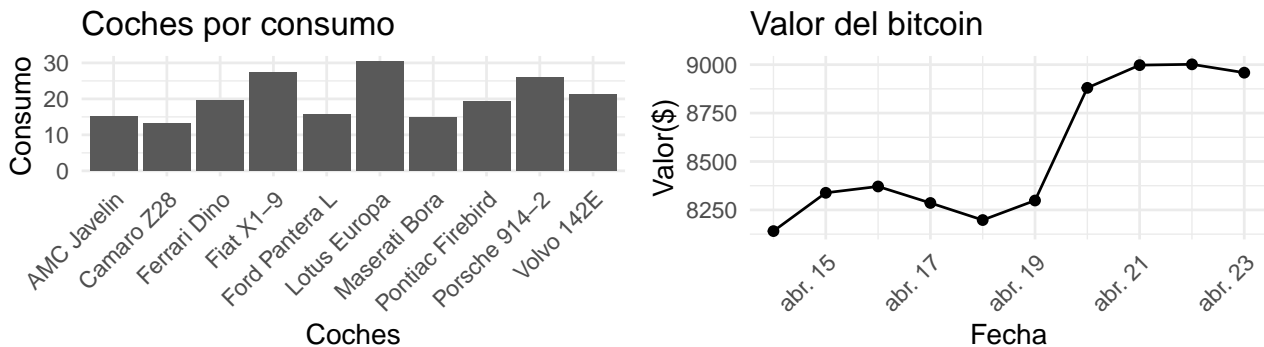
Visualizar: Representar mediante imágenes ópticas fenómenos de otro carácter[5] , por consiguiente, la visualización de datos es la representación gráfica de datos. Lo que implica producir imágenes que comunican relaciones entre los datos representados a los observadores. Refiriéndose a las técnicas usadas para comunicar datos o información mediante su codificación como objetos visuales (puntos, barras, líneas, etc.) contenidos en un gráfico.

”La meta principal de la visualización de datos es comunicar información clara y efectivamente gracias a medios gráficos. Esto no significa que la visualización de datos necesite parecer aburrida para ser práctica o extremadamente sofisticada para parecer bonita. Para transmitir ideas de forma eficiente, tanto la estética como la funcionalidad necesitan ir de la mano, proporcionando información sobre un conjunto de datos escasos y complejos mediante la comunicación de sus aspectos clave de una manera más intuitiva. Todavía los diseñadores suelen fallar a alcanzar un balance entre la forma y la función, creando bellas visualizaciones de datos que erran el propósito general de comunicar información” [6, Vitaly Friedman] . ”Hechas bien, las visualizaciones explicar complejas ideas de manera simple” [7, Thomas Powell, CEO de ZingChart] .

Una visualización ideal no solo debe comunicar de forma clara, sino que se necesita estimular compromiso y atención al espectador[8] . Por ello se considera a la visualización de datos arte aparte de ciencia[9][10] .

Durante su historia, este campo y sus profesionales han abordado distintos tipos de retos tanto éticos como analíticos[11] , debido a esto se ha vuelto un área activa en la investigación, el desarrollo y la enseñanza[12] .

Los gráficos (de barras, líneas, puntos, etc.) usados en la visualización más tradicional (horizontal) suelen estar contruidos con un sistema de coordenadas cartesianas[13] .



Pero para este trabajo se interesa en los gráficos que se pueden construir con un formato circular mediante el cambio del sistema de coordenadas a las polares[14] . Este formato ayuda a la comprensión en algunos conjuntos de datos, su estructura, comparaciones y relaciones. Este sistema en ocasiones ayuda a la atención del espectador, pero en algunas, como se dijo antes, lleva a cometer el fallo de crear gráficos más estéticos que funcionales, olvidando la meta de comunicar información de forma clara y eficaz.

Sin embargo, este formato de visualización de datos con formato circular, si se usa bien, es uno de los formatos más eficientes para expresar estructuras jerárquicas, sus relaciones, realizar comparaciones sencillas de agrupaciones de datos para exponer un patrón. Esto se hace notar más con los diagramas de árbol y redes por el hecho de no necesitar tanto espacio, comparado con su formato de sistema de coordenadas cartesianas. Otro buen grupo de datos para exponer en un círculo son los datos porcentuales, con no gran cantidad de porcentajes parecidos, para ellos siempre es necesario el uso de una leyenda o cualquier información añadida que ayude a la comprensión del diagrama.

En algunos casos la eficiencia ofrecida por el formato circular solo recae en el tamaño que ocupa el diagrama al exponerlo de esta forma, como por ejemplo los diagramas de barras o columnas, pero a la hora de comparar resultados de forma más rápida esta manera de representar decae con respecto a su formato cartesiano.

Pero la mayor ventaja del formato circular es su capacidad de atraer la atención del espectador, debido a que a los seres humanos, según un estudio[cita psicólogo], nos atraen las formas curvas por el hecho de no asociarlas a objetos afilados que puedan ser un riesgo para la supervivencia.

Por lo que el círculo como formato para visualizar datos cumple la meta de la visualización, si se usan los datos y tipos de diagramas adecuados, de ser capaz de transmitir información al observador de forma clara, efectiva de manera que la información atraiga y se quede con ellos un mayor periodo de tiempo.

Para ello es necesario presentar el círculo y sus partes para entender cómo se construyen.

## 1.2. Círculos

El círculo es un área o superficie plana contenida dentro de una circunferencia[5] , o también se puede definir como un conjunto de puntos en un plano equidistantes de un punto dado, llamado centro[15]. Los elementos esenciales para comprender los diagramas y explicaciones del trabajo son:

- **Centro:**  
Punto fijo interior, equidistante de su perímetro a una distancia igual al radio.
- **Radio:**  
Segmento que une el centro del círculo con cualquier punto del perímetro de este.
- **Cuerda:**  
Segmento que une dos puntos del perímetro del círculo sin pasar por el centro.
- **Arco:**  
Es la parte del perímetro del círculo que resulta entre dos extremos de una cuerda.
- **Sector circular:**  
Parte del círculo comprendida entre dos radios y el arco que delimitan.
- **Círculos concéntricos:**  
Dos o más círculos con mismo centro y distinto radio.
- **Corona circular:**  
Superficie del círculo comprendida entre dos círculos concéntricos.

## 2. Análisis de los Diagramas

Para poder usar cada uno de los diagramas, es necesario comprender sus virtudes, sus defectos y como se estructuran los datos para después elegir el más adecuado.

En esta sección se estudia la definición de los diagramas, cómo y de qué se componen , para poder identificar después qué paquetes de R pueden implementar dichos diagramas sus ventajas e inconvenientes a la hora de visualizar los datos requeridos respecto a otros formatos.

Esta selección de diagramas circulares se han escogido siguiendo el libro de Manuel de Lima[2] , donde se presenta una clasificación diferenciada en familias según la similaridad de construcción.

Estos se agrupan en siete familias:

- Familia de anillos y espirales. Estos diagramas presentan patrones de círculos concéntricos.
  - Diagrama de Anillos.
  - Diagrama de Barras Radiales.
  - Diagrama en Espiral.
- Familia de ruedas y tartas. Los diagramas que forman esta familia presentan patrones de líneas radiales.
  - Diagrama de Columnas Radiales.
  - Diagrama de Sectores.
  - Diagrama Rose of Nightingale.
- Familia de cuadrículas y retículas. La forman diagramas de cuadrículas circulares.
  - Diagrama de Cuadrícula Circular Ordenada.
  - Diagrama de Cuadrícula Circular Desordenada.
  - Diagrama Rayos de Sol.
- Familia de flujos. Los diagramas que la conforman tienen patrones de flujo radiales con barras y líneas.
  - Diagrama Radar.
  - Diagrama de Columnas con Formato Iris.
  - Diagrama de Líneas Circulares Multiseries.
- Familia de formas y límites. En estos diagramas se delimita, con alguna variable, la forma de los objetos y sus límites.
  - Diagrama de Burbujas.
  - Diagrama de Mapa de Árbol Circular.
  - Diagrama de Mapa de Árbol Voronoi.
- Familia de mapas y planos. El propio nombre de la familia indica que tipo de diagramas se concentran en esta.
  - Diagrama de Planos Circulares.
  - Diagrama Mapa Circular.
  - Diagrama Mapa de Esfera.
- Familia de nodos y enlaces. Estos diagramas usan patrones de tipo árbol y redes.
  - Dendograma Circular.
  - Diagrama de Cuerdas.
  - Diagrama de Redes Circulares.

## 2.1. Diagrama de Anillos

El diagrama de Anillos consiste en una división de círculos concéntricos, resultando en varias coronas circulares en las que en cada una se pueden visualizar diferentes conjuntos de datos.

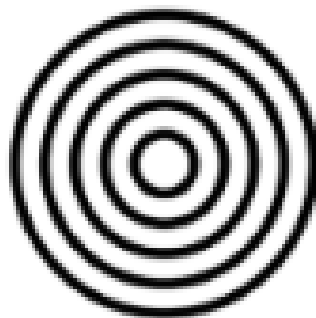
La estructura de este diagrama, al consistir en varias coronas circulares, puede representar diferentes variables, diferentes tipos de gráfico o diferentes conjuntos de datos como, por ejemplo, el uso del ancho de las coronas puede ser preestablecido por una variable mientras el color de cada anillo por otra. Pero también se pueden crear diferentes tipos de gráficos en cada corona, por ejemplo, representando un espacio de tiempo en los datos de cada círculo.

La primera forma comentada se construye dividiendo el círculo principal, el que encapsula el gráfico, en tantas coronas como entidades se quieran representar y ajustando su tamaño (área) mediante una variable representada de forma proporcional, estableciendo el radio total del círculo como el 100 %. Otra característica a tener en cuenta es la agrupación de las entidades representadas, señalizándolas mediante el color de las coronas circulares. Aunque como en esta variante ya es una agrupación[16] no se suele ver agrupación por colores.

La segunda forma al consistir en diferentes gráficos en cada corona se puede construir o usando diferentes tipos de gráficos en cada corona como líneas, puntos, barras. . . , o con el mismo tipo de gráfico, pero con distintos grupos de datos. Esta forma es útil para presentar comparaciones entre los diferentes conjuntos de datos[17, Figura 1-F] o comparar diferentes formas de representar los mismos datos[18].

Existe otra variación de este tipo de diagramas, llamado diagrama de cebolla[19] donde se representan conjuntos de datos y sus relaciones, como estructuras jerárquicas. Este diagrama se construye (con jerarquía) exponiendo la raíz de los datos en la corona interior, y según los niveles de descendencia de los datos con la raíz se colocan en las coronas más o menos exteriores o exponiendo una entidad en la corona interior y posicionar las demás en las distintas coronas dependiendo de su relación con la interior[20][21].

El problema con este diagrama es que la perspectiva de las coronas según su posición (interior o exterior), dificulta la comprensión. Si, por ejemplo, los mismos datos se implementan en una corona exterior, resultarán con más magnitud que la que se sitúa en una interior.



## 2.2. Diagrama de Barras Radiales

El diagrama de Barras Radiales, o también llamado diagrama de Barras Circulares, es un gráfico de barras en el que, en lugar de usar un sistema de coordenadas cartesianas como el horizontal, se usa el sistema de coordenadas polares, situando las categorías a representar en el eje Y.

El diagrama de barras es un gráfico que representa valores numéricos de categorías discretas mediante barras rectangulares para su comparación. Ajustando la longitud de la barra al valor según la escala de valores que se esté usando[cita historia-barras].

Si se quiere representar un valor por cada categoría discreta las barras pueden ser organizados de diferentes maneras, como siguiendo un orden del eje donde estén las categorías discretas, por ejemplo, meses del año; el orden de las barras se puede ordenar dependiendo de la longitud de ellas (ascendente o descendente); o agruparlas según una variable y a su vez estos grupos se pueden ordenar como las otras dos formas.

Sin embargo, para múltiples valores por categoría discreta, existe la variante de barras apiladas, que consiste en, como su nombre indica, apilar las barras de la misma categoría creando una barra final dividida en tantos valores como se quieran exponer.

La estructura de este gráfico se crea con las barras formando círculos concéntricos sobre el círculo que actúa como plantilla, donde los divisores radiales sirven para marcar la longitud de las barras.

Esta estructura tiene el mismo problema de malinterpretación de los valores. éste radica en que, al ser el radio de cada barra diferente dependiendo de qué posición ocupa en la plantilla, si se observan dos barras con valores iguales, la que esté posicionada en la parte exterior se interpreta como mayor magnitud que la que está en la parte interior. Es por eso por lo que este diagrama, se suelen ordenar las barras (si el eje de categorías permite reordenación) descendientemente de fuera a dentro, pero se usa más con propósitos estéticos que prácticos, para cautivar más al observador.





### 2.3. Diagrama en Espiral

El diagrama en Espiral consiste en un gráfico que expone los datos requeridos con la forma de una espiral gracias a una variable. La espiral se puede definir como, una curva que da vueltas indefinidamente alrededor de un punto, alejándose de él más, en cada una de ellas[5].

Esta espiral se puede construir de muchas formas adecuándose a la función de su realización: La espiral de Arquímedes ( $r = a\theta$ )[22], logarítmica ( $r = ae^{b\theta}$ )[23], la espiral de Theodorus[24], hiperbólica ( $r = a/\theta$ )[25], la espiral prime[26], etc. (  $r$  es la distancia de un punto al origen,  $\theta$  es el ángulo con respecto al eje X y  $a, b$  son constantes arbitrarias).

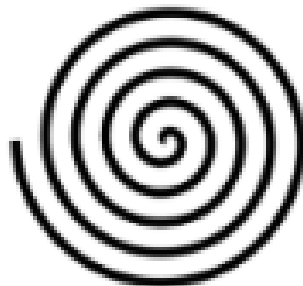
Cualquier espiral se construye estableciendo el eje X a la forma de la espiral teniendo sus valores, continuos o discretos, ordenados siguiendo algún tipo de criterio, como el peso atómico de los elementos de la tabla periódica[27].

Aunque donde destaca este diagrama es con la representación de conjuntos de datos de series de tiempo, es decir, escogiendo el valor a exponer en la espiral el tiempo en que se recogen los datos. Las espirales en este aspecto, de visualizar datos con variable temporal ofrece una serie de ventajas que otros tipos de diagramas no, como: proporcionar una técnica de visualización apropiada para datos nominales, ordinales y cuantitativos; soporta la visualización de grandes cantidades de datos; soporta la lectura comparativa del conjunto de datos; soportar el análisis de los datos en nivel resumido, facilidad de detectar patrones; permitir la comparación de múltiples conjuntos de datos[28].

Este gráfico se usa primordialmente para representar el paso del tiempo en un conjunto de datos, haciendo coincidir el origen de la espiral con el comienzo temporal de los datos; una vez establecida la variable para el eje X se necesita que algún dato se refleje en el tiempo, eje Y, para ello, se suelen usar barras, líneas o puntos para dibujar los datos que se exponen, dividiéndolos en rangos de tiempo para que resulten más fáciles de leer e implementar. Se puede dar otra dimensión al diagrama usando el color para expresar otra variable y así ayudar a la visualización.

Otra forma de crear estas espirales es gracias a la interactividad, que ofrecen algunos paquetes del lenguaje R, ayudando a la ampliación de la información que puede representar el diagrama[29].

Este gráfico es uno de los más útiles para mostrar cómo se actualizan los datos en cada rango de tiempo, siendo ideal para detectar tendencias, patrones periódicos gracias a los ciclos que realiza la espiral, normalmente haciendo coincidir cada vuelta al círculo plantilla con un periodo de tiempo concreto, o medida periódica de la variable representada en el eje X.



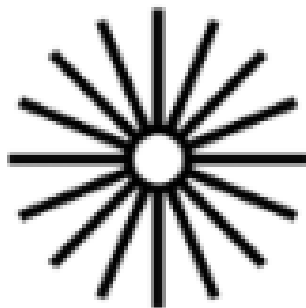
## 2.4. Diagrama de Columnas Radiales

Este diagrama, llamado de Columnas Radiales, de Columnas Circulares o de Estrella, es otra de las formas de crear un gráfico de barras con coordenadas polares, pero esta vez con el eje X es el que actúa como el eje de las categorías.

Aunque este diagrama es llamado de columnas, esto es solo porque al diagrama de barras se le conoce como de columnas cuando las barras están situadas verticalmente. Y como se ha explicado en 2.2, se utiliza como plantilla el diagrama de barras, exponiendo valores numéricos de categorías discretas para su comparación[cita historia-barras].

En este caso, los divisores radiales se convierten en las barras y la magnitud se calcula con la distancia del centro a su punto más exterior. Debido a su formato circular es muy recomendable que el diagrama tenga una buena cuadrícula para la correcta medición de los valores de las columnas. Estas columnas también se pueden representar, al igual que las barras, como columnas apiladas para visualizar más cantidad de valores por categoría discreta.

Este gráfico tiene un problema con la dificultad con la que se visualiza la información, ya que nunca va a ser tan claro destacar una barra en un gráfico con coordenadas polares como uno con cartesianas. Por su modificación de los ejes de coordenadas cada barra, a no ser que destaque, solo se puede comparar con las pocas barras alrededor a simple vista y para la comparación con todas ellas es necesario estar utilizando la cuadrícula donde se expone la escala de valores.



## 2.5. Diagrama de Sectores

El diagrama de Sectores o de Tarta es uno de los más conocidos y empleados (empresas, oficinas, etc.), pero algunos expertos opinan que este tipo de diagramas son malos a la hora de representar información de forma eficiente, ya que solo son efectivos en situaciones donde se muestran magnitudes porcentuales de 25, 50, 75, 100. Pero cuando se trata de crear gráficos con valores porcentuales que sean más cercanos entre ellos, es mejor usar un diagrama de barras[30].

Sin embargo, este diagrama tiene la ventaja de ser entendido por cualquier observador sin necesidad de conocimiento del diagrama, por el uso de estos diagramas para aprender las fracciones en la niñez[31]. Y se aumenta la comprensión del diagrama con muchos datos con la ayuda de la interactividad o las etiquetas para representar los valores de forma clara. Esto se puede relacionar con la tipografía Comic Sans (diseñada para que se pareciera a una tipografía de comic en un entorno poco definido, pero que se entendiera claramente), porque esta al igual que el diagrama se creo para situaciones específicas, aunque se ha usado y se usará de forma inadecuada para las situaciones a exponer.

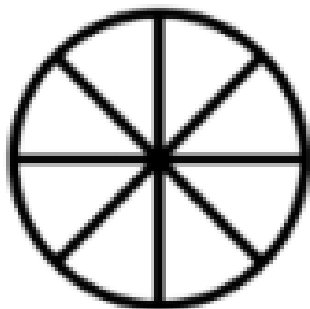
Este gráfico se lleva usando para la visualización de datos desde hace 200 años (Playfair, 1801). Y se popularizó más tarde por la sencillez de entender este diagrama circular por gran cantidad de personas con diferente educación. Pero sin dejar de lado sus críticas por ser ineficaz para representar muchos datos y se recomienda dejar de usar para los negocios[32].

El diagrama se construye dividiendo el círculo plantilla de forma proporcional, al igual que el diagrama de Anillos, pero en vez de dividirlo con las coronas circulares se opta por sectores circulares, estableciendo la longitud del arco del sector de manera proporcional siendo el 100 % con los 360 grados del círculo, resultando como su nombre dice en pedazos de una tarta.

Su principal ventaja es que es muy útil para visualizar la distribución proporcional de un conjunto de datos. Pero el problema de este tipo de diagrama es que no se pueden representar grandes cantidades de datos, porque se perdería la ventaja de fácil visualización de la información. También es difícil hacer comparaciones entre varios gráficos de sectores.

Hay variantes de este diagrama que ayudan a concentrar la atención del público en los datos deseados como el diagrama de sectores donde estos se separan del centro como en una explosión[33], con otra dimensión realizando un diagrama de sectores en 3-D (resultando en ninguna información añadida, por lo que solo es por estética), y de este diagrama se han derivado otro tipo de ellos que se explicarán más tarde como el diagrama de Rayos de Sol o el diagrama Rose of Nightingale.

Existe una variante de este diagrama que se construye y funciona de la misma forma que el de sectores, pero quitando un círculo concéntrico con un radio más pequeño que el de plantilla, dejando un espacio en el centro, usado normalmente para añadir información como el título o leyenda si encaja en el espacio. Esta variante se llama el diagrama donut.



## 2.6. Diagrama de Área Polar

Este diagrama mezcla dos tipos diferentes de gráficos para visualizar los datos, el gráfico de barras apiladas donde cada barra es la suma de 2 o más barras agrupadas por alguna variable exponiéndolas una encima de otra, y el gráfico de sectores representando los datos en sectores radiales.

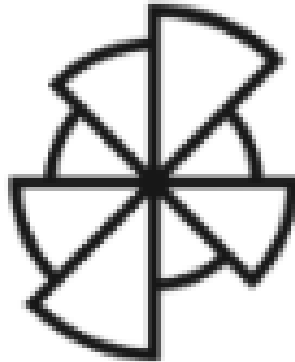
El diagrama de área Polar también se llama Nightingale's Rose por Florence Nightingale, enfermera británica durante la guerra de Crimea, donde utilizó este diagrama para dar a conocer la situación de la sanidad de Reino Unido en dicha guerra y visualizar las causas de la gran cantidad de muertes en la guerra y como poder evitarlas. Y gracias a este gráfico se descubrió que la mayor causa de muerte es por infección, por la carencia de higiene a la hora de tratar con los heridos de la guerra[34].

El motivo de Florence Nightingale para representar estos datos de forma circular, en lugar de como sería habitual en el entorno de los gráficos estadísticos con barras apiladas con formato horizontal, es el hecho de que, si se intenta representar todos estos datos en un diagrama horizontal, con el tiempo de izquierda a derecha, el gráfico resultante sería demasiado grande para tener una visión clara de los problemas de la guerra, por lo que optó por un formato cíclico[35].

Para construir este diagrama se crean segmentos creados mediante el área obtenida por sectores radiales del círculo, teniendo tantos sectores como entidades en la variable empleada en el eje X, diferenciados por su tamaño, pero partiendo siempre desde el centro. Pero para la parte de los datos apilados se emplea una división de cada sector en segmentos relacionando el valor asignado al área porcentual del segmento[35].

Los datos adecuados para este gráfico suelen ser recogidos y representados con variable temporal, para poder comparar los datos analizando tendencias y patrones temporales. Representando varias variables del conjunto de datos en intervalos de tiempo[36].

El problema principal de este gráfico consiste en que resulta difícil calcular el valor del área en los sectores más externos, pero facilita la concentración en las áreas que sobresalen.



## 2.7. Diagrama de Cuadrícula Circular Ordenada

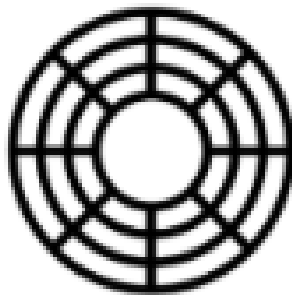
Una cuadrícula normalmente se refiere a 2 o más conjuntos de líneas paralelas igualmente espaciadas en ángulos particulares entre sí en un plano, o las intersecciones de tales líneas. O también se puede generalizar en un espacio de  $n$ -dimensiones utilizando los centros de  $n$ -esferas o  $n$ -cubos como puntos[37].

Pero para esta familia de diagramas cuadrículas, es necesario transformarla en una cuadrícula curvilínea, o llamadas cuadrículas no-ortogonales, transformando los cuadrados/rectángulos en trapecios curvos con los lados paralelos formando arcos de círculos concéntricos y con los otros dos lados cortados por el mismo sector circular[38]. Siempre los diagramas de esta familia de gráficos utilizan cuadrículas estructuradas.

El diagrama de cuadrícula ordenada divide el círculo que utiliza como plantilla en diversas celdas, situadas según unos sectores radiales que, a su vez, se subdividen en círculos concéntricos, dejando una cuadrícula donde las celdas están unas encima de otras.

Este tipo de diagramas, al tener una estructura ordenada de celdas, ayuda a crear una correlación entre los datos situados en su vertical. Por ejemplo, si en cada celda de un anillo se sitúa una palabra de una lengua y en el interior su traducción a otro lenguaje, creando así una correlación entre las celdas.

El problema con estos diagramas es el que tienen en todos los diagramas que usan círculos concéntricos: las celdas posicionadas en los anillos exteriores tienen una dimensión diferente a los interiores ocasionando el problema de malinterpretación. La ventaja del diagrama es que aumenta la capacidad para visualizar el paralelismo entre diferentes grupos de datos.



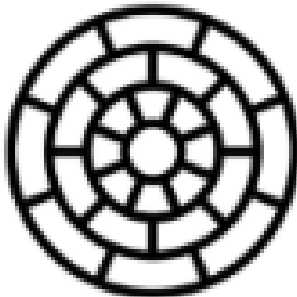
...

## 2.8. Diagrama de Cuadrícula Circular Desordenada

Este diagrama, al igual que el anterior, se utiliza una cuadrícula curvilínea, o no-ortogonal[38], utiliza la división en círculos concéntricos y en sectores radiales, pero dichos sectores no son los mismos en cada anillo, obteniendo una cuadrícula con las celdas desordenadas.

El diagrama permite crear gráficos donde las celdas, no deben tener relación directa con las que conforman su vertical, ni una relación de padres a hijos como el de Rayos de Sol, sino que pueden ser relaciones 2:5, 3:2, etc.

Es difícil obtener datos que se puedan representar en este diagrama mejor que en diagramas de redes, por lo que se utiliza más con un propósito estético.



## 2.9. Diagrama Rayos de Sol

El diagrama Rayos de Sol, también llamado de Tarta Multinivel, de Anillo, de Cinturón o Mapa de árbol Radial, es uno de los gráficos que representan un diagrama de mapa árbol con formato circular. éste junta dos tipos distintos de diagramas: el de cuadrícula y el de mapa árbol radial. Este tipo de gráfico requiere de unos datos jerárquicos, que consisten en una estructura de datos organizados con relaciones entre padres e hijos nodo.

Un diagrama de árbol es un gráfico que simula la estructura jerárquica de un árbol binario o no binario, consistiendo en una raíz con sus diferentes subárboles de hijos con un nodo padre, representados como conjuntos de nodos enlazados. Otra posible definición[39, pág. 36], matemática, es que un árbol ordenado enlazado  $T$  es un triplete  $(V, \leq, \preceq)$  tal que el par  $(V, \leq)$  es un árbol enlazado, y el par  $(V, \preceq)$  es un conjunto parcialmente ordenado finito no vacío que satisface:

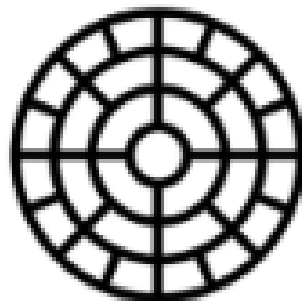
1. Para cada  $x, y \in V$ , dos nodos  $x$  e  $y$  son comparables con respecto al orden de hermanos, si y solo si  $x$  e  $y$  son equivalentes, o incomparables con respecto al orden jerárquico.
2. Para cualquier nodo distinto  $x, y, x', y' \in V$ , si  $x \leq x', y \leq y'$  y  $x' \preceq y'$ , entonces  $x \preceq y$ .

Para llegar de un diagrama de árbol a su variante mapa de árbol, es necesario que los nodos tengan algún valor cuantificador (si no se le asigna la unidad), y asignar a cada nodo la figura geométrica del rectángulo. Cada nodo encierra a sus nodos descendientes en su rectángulo, relacionando los rectángulos dentro de otros como nodos hijos de que los encapsula[cita tree-map][40].

Para este formato de diagrama es necesario transformar esta estructura mapa de árbol a un formato radial estableciendo el nodo raíz en el centro del círculo y colocando sus hijos en la capa formada por el círculo concéntrico de menor radio, los descendientes siguen el formato de establecerlos en el siguiente círculo concéntrico más cercano al nodo padre[41][42].

Al juntar este diagrama de árbol radial con el de cuadrícula, se pasa a representar los nodos del árbol con las celdas de la cuadrícula. Cada nivel jerárquico es uno de los anillos del diagrama, siendo la raíz el centro y los nodos hoja las celdas exteriores. Para delimitar el ancho de cada celda, se puede usar una división equitativa del espacio o dejar la división al valor porcentual de una variable, pero siempre partiendo del nodo padre, este conceto se utiliza al igual que si se añadiera más capas a un, poco usado, diagrama de sectores resultando, como uno de sus nombres indica, un diagrama de sectores/tarta multinivel[43]. Al igual que muchos gráficos de este trabajo, el color puede ayudar a la correcta visualización del diagrama.

Aunque este gráfico no está diseñado para representar grandes cantidades de datos, porque con distintos experimentos se ha probado su ineficacia con respecto a los diagramas de mapas de árbol[44][45], si se le añade el componente interactivo se puede llegar a solucionar este problema, al poder crear diferentes arboles simples dependiendo del nodo deseado[46][47].



## 2.10. Diagrama Radar

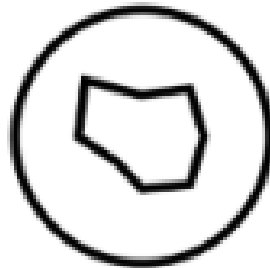
El diagrama Radar, Radial, de Araña o de Estrella (mismo nombre que el Diagrama de Columnas Radiales), resulta de utilidad para comparar múltiples variables cuantitativas[48].

Este diagrama es un método para mostrar datos con múltiples variables. Cada uno de los gráficos de radar representa una sola observación de los datos. Típicamente, los gráficos de radar se generan en un formato de múltiples gráficos con varios radares en cada página con cada uno representado una observación, facilitando la localización de similitudes o diferencias[49].

Este gráfico consiste en dividir el círculo plantilla en tantas partes como variables se quieran comparar (partes equidistantes). Cada valor se representa en su eje (divisor radial) empezando su escala en el centro y terminando en el exterior. Luego, se suele rellenar el polígono resultante de la unión de los valores del gráfico[50].

Los problemas de este diagrama son: el hecho de no poder representar adecuadamente grandes cantidades de datos, pero existe otro diagrama parecido para poder solucionar este problema, el diagrama de coordenadas paralelas[51]. Otro problema es que no puede representar si existe algún tipo de importancia de una variable sobre otra, porque trata todas las variables representadas como iguales[50]. También, cuando se pretende usar 2 o más polígonos en el mismo círculo plantilla, resulta un diagrama confuso por lo superposición de ellos.

Por lo que este diagrama solo sirve para comparar pocas variables cuantitativas, para visualizaciones donde se quiere representar progreso, cuando las variables representadas son todas igual de importantes[50].



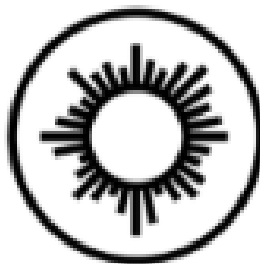
...

## 2.11. Diagrama de Columnas con Formato Iris

El diagrama de Columnas Iris tiene la misma estructura que en 2.4, pero está vez estableciendo un espacio en el centro para simular la pupila de un ojo.

Este diagrama se suele utilizar, en los ejemplos de gráficos contemporáneos[cita bar-example], poniendo énfasis en la cuantificación de las variables y su comparación. Se suele utilizar para representar conjuntos de datos a lo largo del tiempo o, como en el Diagrama de Columnas Radiales, para comparar una variable en diferentes situaciones.

La diferencia entre estos dos diagramas es el espacio en el centro que permite ser rellenado con otra información para complementarlo. La realización de este diagrama permite una correcta representación de valores negativos de las categorías discretas, por tener el valor 0 más alejado del centro del diagrama.



## 2.12. Diagrama de Líneas Circulares Multiseries

El diagrama de líneas circulares multiseries procede, al igual que el anterior, del proceso de crear un espacio en el centro permitiendo añadir información para completar el diagrama. En este caso, se crea un diagrama de líneas o áreas transformado a formato circular. Al contrario que el Diagrama de Columnas con Formato Iris, este diagrama no se puede realizar sin establecer un espacio en el centro, por no disponer de suficiente espacio para representar el eje X, el de las categorías continuas, y resultar confuso al observador.

El diagrama se puede realizar de dos formas distintas, líneas o áreas, pero estas dos visualizan la misma estructura de datos de valores cuantitativos a lo largo de intervalos continuos o periodos de tiempo[cita historia-barras].

El diagrama de líneas se construye uniendo mediante una línea los valores situados en el sistema de coordenadas, siendo el eje Y el valor y el X el periodo de tiempo o intervalo correspondiente. El diagrama de área se construye al formar una figura entre el eje X y la línea que une los valores de las categorías continuas, situando este diagrama como descendiente del de líneas. Estos diagramas tienen el problema de resultar confusos si se le añaden gran cantidad de datos por categoría continua, es decir, no se pueden representar gran cantidad de líneas o áreas antes de resultar gráficos incomprensibles.

Este diagrama se suele utilizar para representar datos a lo largo del tiempo, para observar cómo fluctúan, debido a su forma continua de representar los datos al implementar los diagramas de líneas y área, con respecto a la forma discreta del diagrama de barras.

El caso de disponer del valor 0 en un sitio alejado del centro permite como el anterior diagrama a una correcta representación de valores negativos, o la posibilidad de integrar más información en el espacio central.

Como el anterior diagrama, éste se utiliza en gran cantidad de gráficos contemporáneos[cita line-example] para enfatizar la cuantificación de sus variables, pero esta vez, siempre a lo largo del tiempo representando de manera excelente, al igual que los diagramas que lo construyen (líneas y áreas), tendencias o patrones cíclicos.





## 2.13. Diagrama Nube de Burbujas

El diagrama Nube de Burbujas se utiliza para realizar comparaciones y relaciones entre las burbujas según sus dimensiones.

Para entender cómo funciona esta variante del diagrama de burbujas, primero hay que comprender este. Es una extensión del gráfico de dispersión con el aumento de representación de dos variables de un dato a tres, constituyendo la posición en el eje X, la del eje Y, y la dimensión de la burbuja. Otra variable que puede entrar en juego sería: la agrupación de los datos con el uso del color.

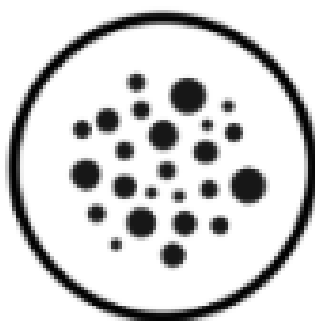
Una vez aclarado esta extensión del gráfico de dispersión, el diagrama nube de burbujas consiste en realizar las burbujas, pero olvidando las variables que dan la posición de su centro, y empaquetarlas con la figura de un círculo. Por lo que solo sirven las variables que otorgan la dimensión y la agrupación[cita disp-bubble].

Para empaquetar las burbujas existen dos métodos diferentes:

- Ir posicionando las burbujas en el espacio disponible y que se ajuste a su tamaño alrededor de las ya existentes, partiendo de una en el centro del diagrama.
- La optimización del anterior, con la técnica de empaquetamiento circular (Circle Packing). Consiste en partir de un círculo plantilla y mediante la optimización matemática ir posicionando todas las burbujas en la mejor posición para que todas puedan estar en el círculo plantilla[cita pack-book].

Las mejores prácticas a la hora de crear el diagrama de burbujas y el de nube de burbujas son: escalar su valor dimensión por el área de la burbuja no el radio, por la facilidad de crecimiento exponencial de la dimensión; la limitación de la cantidad de burbujas a dibujar, y el hecho de que no se solapen; incluir un leyenda para comprender el valor de las dimensiones o los colores de las agrupaciones; a la hora de presentar valores negativos cambiar el tipo de burbujas; y presentar una tendencia clara ya que es donde destacan estas dos variantes de gráfico de dispersión[cita chart-bubble].

Debido a la dificultad de estimación de los valores exactos que representan las burbujas, para este tipo de diagrama de nube es mejor emplear un diagrama de piruletas o de barras. Aunque su ventaja es como se ha dicho antes la capacidad de exponer tendencias fáciles de entender para el observador y ser un diagrama más compacto que los demás si se llega a crear gran cantidad de burbujas.



## 2.14. Diagrama de Mapa de Árbol Circular

Tal y como se vio en el Diagrama Rayos de Sol, aquí se presenta otra de las modalidades de reproducir un mapa de árbol con formato circular. Junto con la técnica descrita en el anterior diagrama de circle packing[cita pack-book].

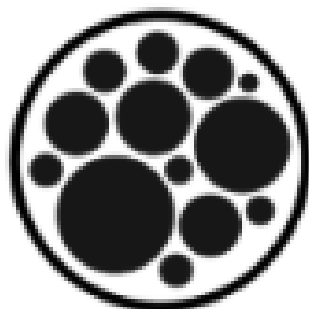
Se ha explicado en el Diagrama Rayos de Sol, este diagrama es una variación de la técnica de visualización de datos mapa de árbol, que consiste en visualizaciones para datos con jerarquía. Están realizados mediante una serie de rectángulos anidados con tamaños proporcionales al valor de los datos correspondientes. Un rectángulo que encapsula a otros representa una rama del diagrama de árbol y se subdivide en rectángulos más pequeños representando el tamaño de cada nodo dentro de esa rama[cita tree-map].

Para una mejor visualización de estos diagramas de mapa de árbol y sus variantes circulares es necesario tener en consideración dos factores: la visualización solo funciona con valores positivos de los nodos, y el color con el que se rellenas los nodos, pudiendo representar distintos valores, como la profundidad dentro del árbol (diferenciando ramas de hojas), como valores de los nodos para enfatizar la escala de valor del nodo (necesitando una leyenda para correlacionar el valor al color)[cita tree-map].

Este gráfico es una variante del mapa de árbol en el que se usan círculos en lugar de rectángulos para representar los nodos. La división del espacio del nodo-padre para crear a los hijos, puede depender de una variable, o de forma igualitaria no destacando a ningún hijo sobre otro. Y, para crear otra dimensión, se puede usar el color al igual que en los gráficos anteriores.

Esta división del espacio se consigue realizar de forma más eficiente con la técnica de Circle Packing[cita pack-book] explicada en el Diagrama Nube de Burbujas, la cual permite conocer la forma más eficaz de colocar los círculos dentro de una plantilla, sabiendo que esta colocación no será tan perfecta como su variante rectangular sigue obteniendo una gran eficiencia del espacio.

La desventaja de este diagrama es la comparación con su variante rectangular en su eficiencia de espacio, pero gracias a su formato circular este diagrama es capaz de transmitir mejor la estructura jerárquica mejor que su variante, convirtiéndolo en un mejor diagrama para la comprensión inmediata de los datos, aunque sigue necesitando una leyenda para entender los datos representados.



## 2.15. Diagrama de Mapa de Árbol Voronoi

El diagrama de Voronoi es otra variante del mapa de árbol, pero usando los polígonos de Thiessen, llamados así por el meteorólogo Alfred H. Thiessen. Obtiene el nombre de Voronoi por el matemático ruso que los estudió, Gueorgui Voronoi.

En resumen, un mapa de árbol es una visualización de una estructura de datos jerárquicos mediante un diagrama de árbol, representando los nodos como rectángulos, los que encapsulan a otros corresponden a las ramas del árbol y se dividen en sus subramas o nodos hoja[cita tree-map].

Estos polígonos son estructuras geométricas que permiten crear una partición de un plano con  $n$  puntos en polígonos convexos de modo que cada polígono contenga exactamente un punto generador, y cada punto en un polígono dado esté más cerca de su punto generador que de cualquier otro[cita mat-voronoi]. Por lo que cada diagrama de Voronoi está calculado según sus datos, convirtiéndolos en diagramas estáticos.

El uso de estos diagramas en su estilo de mapa de árbol realiza una división principal del espacio (en esta variante, circular) según las agrupaciones de los nodos, normalmente en las principales ramas, siguiendo el algoritmo de división de Voronoi, y subdivide estas ramas en sus respectivas subramas o nodos hojas (dependiendo de los datos a exponer). Este método de división del espacio es la forma más eficiente (dentro de los diagramas mapas de árbol circular). Esto permite a este tipo de mapas de árbol a poder tener diferentes maneras de representarlos, como pentágonos, círculos, triángulos, etc.[cita tree-voronoi].

El problema principal de estos diagramas es que son estáticos, es decir que, si se quiere añadir otra categoría al gráfico, habría que rehacerlo. Al igual que las anteriores variantes del mapa de árbol se usa el color para representar nodos conectados, pero en este caso esta variable resulta de gran importancia ya que representa a los nodos que forman parte de la misma familia por no tener como en anteriores mapas de árbol una figura geométrica claramente visible por el observador para encapsular los nodos de cada rama principal.



## 2.16. Diagrama de Planos Circulares

El diagrama de planos circulares consiste en los planos de construcciones con formato circular. Estos se han usado a lo largo de la historia por la atracción de la humanidad hacia los círculos, la facilidad de defensa (murallas) y concentración de espacios sin esquinas.

Estas formas de crear estructuras circulares vienen de la fascinación de los seres humanos por dichas figuras geométricas (cúpulas), su eficiencia en diferentes entornos, como la aislación de la temperatura (iglú) o la facilidad de defensa (murallas); y en un ambiente más moderno la eficiencia energética. Pero la principal causa del uso de círculos en estructuras es la intención de imitar la estética de la naturaleza, porque pocas veces se encuentran formas rectangulares o polígonos con ángulos pronunciados (minerales)[cita ex-plcir].

En este diagrama solo se representan los planos sin modificarlos para que encajen con el formato circular.



...

## 2.17. Diagrama Mapa Circular

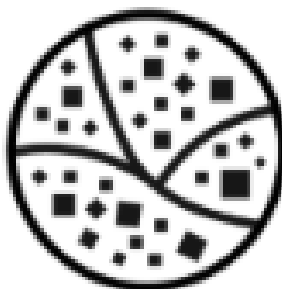
El diagrama de mapa, o buffer map, consiste en un círculo plantilla donde se expone un mapa, ya sea de relieve, carreteras, etc.

Un buffer es una región o zona alrededor de un punto, líneas o área que es seleccionada por alguna atención especial o sus características particulares. Como mostrar los alrededores de un barrio donde se quiera residir. Estos diagramas se pueden representar con un mapa más grande al lado, pero para el propósito de este trabajo se elige su variante solitaria por tener forma circular[cita info].

Para la realización de este tipo de diagramas una opción interesante es la utilización del motor geométrico GEOS y su función st-buffer, la cual devuelve una figura geométrica con todos los puntos que estén comprendidos entre una figura (punto, línea, conjunto de líneas) y un valor distancia[cita st-buffer].

Debido a que este diagrama junta la tecnología de st-buffer con un mapa de carreteras, relieve, etc., la figura central del diagrama se escoge entre las calles o puntos del propio mapa.

Este diagrama sirve para crear un mapa con la información de los alrededores de un punto, que se establece en el centro de él. Se utiliza en diferentes aplicaciones como: venta/alquiler de viviendas, localización de lugares para saber cómo llegar, etc.



## 2.18. Diagrama Mapa de Esfera

El diagrama de mapa de esfera consiste en representar un mapa (relieve, carreteras, etc.) incluido en la forma de una esfera.

Una esfera es definida, matemáticamente, como el conjunto de todos los puntos en un espacio Euclidiano de tres dimensiones que están situados a una distancia  $r$  (radio) de un punto dado (centro)[cita math-sphere].

Muchos diagramas vistos anteriormente tienen variantes con este formato geométrico, como el de cebolla[cita cebolla cultura] (Anillos), de espiral[cita tipos-espiral], nubes de burbujas [cita pack-book], diagramas de árbol [cita esfera-tree], etc. sin embargo, el que ocupa este apartado es un diagrama de mapa con este formato esférico, que ofrece muchas posibilidades en los mapas de los planetas debido a su forma esférica.

Este hecho es porque la fuerza de la gravedad que actúa en los cuerpos celestes es equivalente en todos sus puntos formando un círculo de tres dimensiones, una esfera[cita nasa].



...

## 2.19. Dendograma Circular

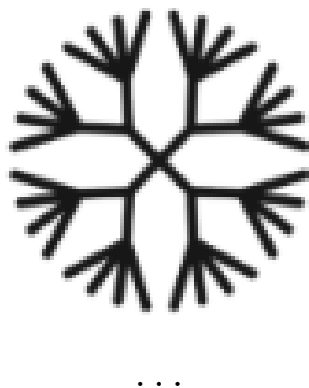
Este diagrama sirve para visualizar estructuras de datos jerárquicas con la forma de un árbol radial (explicado en 2.9); es una variante del dendograma sólo que con un sistema de coordenadas polares.

Para entender esta variante hay que ver qué es un dendograma; es una representación gráfica de una estructura jerárquica o árbol, organizando los datos en niveles jerárquicos, empezando de la raíz hasta los nodos hoja deseados, posicionando todos los nodos hoja al mismo nivel, sin importar la cantidad de ramas antecesoras.

Otra definición es, un término que normalmente se encuentra en la aplicación de los métodos de agrupamiento jerárquico aglomerativo (agglomerative hierarchical clustering), donde se refiere diagrama 'tipo árbol' al que ilustra la serie de pasos tomados por el método al pasar de un grupo (clúster) de un solo miembro a un solo grupo que contienen todos los  $n$  individuos[cita dice-stat].

Para esta variante de dendograma circular, se sigue el mismo método que el cambio de coordenadas de gráfico de árbol y diagrama de árbol radial[cita radial-tree-example], con la raíz se sitúa en el centro del círculo y, a sus hijos, en el círculo concéntrico más cercano, y así hasta llegar al círculo concéntrico exterior, donde se sitúan todos los nodos hoja. Para representar los grupos(clúster), se suele usar el color y, para las ramas, se usan líneas siguiendo el estilo más parecido de representar un árbol tradicional[cita den].

Esta variante, tiene el problema de no traducir de la misma manera la información de los datos al lector del diagrama, por lo que se utiliza más por estética que por funcionalidad, aunque, para que el observador comprenda a que grupo (clúster) pertenece cada entidad del gráfico es una gran opción, y si se tiene que representar gran cantidad de datos, el formato circular ofrece una mayor eficiencia de espacio que su alternativa horizontal.



## 2.20. Diagrama de Cuerdas

El diagrama de cuerdas sirve para representar conexiones y relaciones observando qué y cómo comparten las entidades del gráfico.

Esta variante tan peculiar de un diagrama de red sitúa los nodos o entidades en el círculo exterior, y para representar las conexiones entre ellos se utilizan arcos, dejando a una variable porcentual determinar el ancho de cada conexión y la posibilidad de representar otra variable o, enfatizar una ya representada, con colores. Esto sitúa este diagrama como uno de los diagramas de red que pueden visualizar el peso de las relaciones entre los nodos[cita cycling-chord][cita refugee-chord][cita chord-charts].

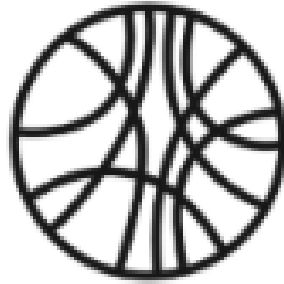
Gracias al formato circular el observador queda más impactado y cautivado que su contraparte con formato cartesiano, diagrama de Flow[cita flow-example]. Debido a su realización de estética circular.

Tiene el mismo problema que tienen casi todos los gráficos circulares; que, al tener espacio limitado, si se intenta representar gran cantidad de entidades y/o conexiones, se vuelve un gráfico difícil de leer y comprender. Si se utiliza la interactividad para centrarse en una entidad o conexión, se da una solución a este problema.

Existe una variante de este diagrama llamado de Cuerdas sin Cintas que simplifica los nodos a puntos y los arcos a simples líneas, llamadas curvas de Bézier; estas se construyen uniendo el punto inicial y final curvando la línea hacia puntos relacionados, según el peso de esta relación la curva se acerca más o menos al punto[cita estructuras-jerarquicas].

Si el diagrama de cuerdas sin cintas se construye con demasiadas relaciones se vuelve confuso, por no ser capaz de seguir todas las relaciones con claridad, pero si se opta por agrupar las curvas que se dirijan a una misma rama para después deshilarlas se obtiene una gran información sobre las tendencias relacionales de la red representada[cita hierarchical-edge].

Esta variante, al ser simplificada, admite una mayor cantidad de nodos y conexiones antes de convertirse en un diagrama confuso para el lector.



...

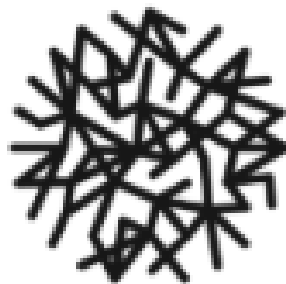
## 2.21. Diagrama de Redes Circulares

El diagrama de redes circulares es una variante de los de redes o, también llamados gráfico de red, mapa de red y de nodo-enlace, cuyo formato cambia a circular.

Los diagramas de redes son un tipo de visualización que muestra como las diferentes entidades, o nodos, se relacionan entre sí. Su estructura consta de las entidades, representadas como puntos, y las conexiones entre sí, como líneas que pueden ser dirigidas, para representar dependencia, o no, para simples conexiones.

Todos estos diagramas se han estudiado en el trabajo de Cristopher Calva Cárdenas[52], que estudia, al igual que este proyecto, la implementación de los diferentes diagramas de redes con el lenguaje R. Por lo que se escogerán las variantes circulares de dichas redes.

Estas redes pueden visualizar diferentes estructuras de datos y sus relaciones, como estructuras de organización caótica y desordenada (Explosión centralizada), nodos desordenados, pero con estructura establecida para dar importancia a ciertos nodos (Implosión elíptica), diagramas para representar las conexiones de varios nodos con uno especificado (Anillo centralizado), etc. Algunos de los que se han estudiado por Cristopher Calva Cárdenas se van a estudiar por separado en algún apartado de este trabajo, por el hecho de ser lo suficientemente específicos o interesantes para merecer ese tratamiento.



## Referencias

- [1] “Lenguaje de programación r.” [Online]. Available: <https://www.r-project.org/>
- [2] M. Lima, *The Book of Circles Visualizing Spheres of Knowledge*. Princeton Architectural Press, New York, U.S.A., 2017.
- [3] R. L. Harris, *Information Graphics, A Comprehensive Illustrated Reference*. Management Graphics, Atlanta Georgia, U.S.A., 1996.
- [4] K. Healy, *Data Visualization, A Practical Introduction*. Princeton University Press, New Jersey, U.S.A., 2019.
- [5] REAL ACADEMIA ESPAÑOLA, *Diccionario de la lengua española*, 23rd ed., 14/06/2020. [Online]. Available: <https://dle.rae.es>
- [6] V. Friedman, “Data visualization and infographics,” *Smashing Magazine*, Enero 2008. [Online]. Available: <https://www.smashingmagazine.com/2008/01/monday-inspiration-data-visualization-and-infographics/>
- [7] P. Simon, “The increasing importance of data visualization: An interview with zingchart’s thomas powell,” *Huffpost*, Diciembre 2017. [Online]. Available: [https://www.huffpost.com/entry/the-increasing-importance\\_b\\_9837722](https://www.huffpost.com/entry/the-increasing-importance_b_9837722)
- [8] F. V. y Martin Wattenberg, “How to make data look sexy,” *CNN*, Abril 2011. [Online]. Available: [http://edition.cnn.com/2011/OPINION/04/19/sexy.data/index.html?\\_s=PM:OPINION](http://edition.cnn.com/2011/OPINION/04/19/sexy.data/index.html?_s=PM:OPINION)
- [9] S. Min, “Data visualization design and the art of depicting reality,” *MoMA*, Diciembre 2015. [Online]. Available: [https://www.moma.org/explore/inside\\_out/2015/12/10/data-visualization-design-and-the-art-of-depicting-reality/](https://www.moma.org/explore/inside_out/2015/12/10/data-visualization-design-and-the-art-of-depicting-reality/)
- [10] J. Urist, “From paint to pixels,” *The Atlantic*, Mayo 2015. [Online]. Available: <https://www.theatlantic.com/entertainment/archive/2015/05/the-rise-of-the-data-artist/392399/>
- [11] G. Press, “A very short history of data science,” *Forbes*, Mayo 2013. [Online]. Available: <https://www.forbes.com/sites/gilpress/2013/05/28/a-very-short-history-of-data-science/#76f33e6f55cf>
- [12] G. M. N. y. G.-P. B. Frists H. Post, *Data Visualization, The State of the Art*, 2003.
- [13] E. W. Stover, Christopher y Weisstein, “Cartesian coordinates,” *MathWorld*. [Online]. Available: <https://mathworld.wolfram.com/CartesianCoordinates.html>
- [14] —, “Polar coordinates,” *MathWorld*. [Online]. Available: <https://mathworld.wolfram.com/PolarCoordinates.html>
- [15] E. W. Weisstein, “Circle,” *MathWorld*. [Online]. Available: <https://mathworld.wolfram.com/Circle.html>
- [16] J. de León, “Illinois: Visualizing music,” 2020. [Online]. Available: <https://www.jaxdeleon.com/illinois/wordusagecircles>
- [17] J.-L. Li, J. Mazar, C. Zhong, G. J. Faulkner, S. S. Govindarajan, Z. Zhang, M. E. Dinger, G. Meredith, C. Adams, S. Zhang, J. S. Mattick, A. Ray, and R. J. Perera, “Genome-wide methylated cpg island profiles of melanoma cells reveal a melanoma coregulation network,” *Scientific Reports*, vol. 3, no. 1, p. 2962, Oct 2013. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1038/srep02962>
- [18] J. H. W. Saw, M. Schatz, M. V. Brown, D. D. Kunkel, J. S. Foster, H. Shick, S. Christensen, S. Hou, X. Wan, and S. P. Donachie, “Cultivation and complete genome sequencing of *gloeobacter kilaueensis* sp. nov., from a lava cave in kilauea caldera, hawai’i,” *PLOS ONE*, vol. 8, no. 10, pp. 1–12, 10 2013. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0076376>
- [19] “Rainbow and onion diagrams,” *UN Women*, 03/01/2012. [Online]. Available: <https://www.endvawnow.org/en/articles/1186-rainbow-and-onion-diagrams.html>



- [20] L. Čuček, K. Hjaila, J. Klemeš, and Z. Kravanja, “Onion diagram implementation to the synthesis of a biogas production network,” *Chemical Engineering Transactions*, vol. 61, pp. 1687–1692, 01 2017.
- [21] E. W. Bunkowske, “The cultural onion,” 2002.
- [22] E. W. Weisstein, “Archimedes’ spiral,” *MathWorld*. [Online]. Available: <https://mathworld.wolfram.com/ArchimedesSpiral.html>
- [23] —, “Logarithmic spiral,” *MathWorld*. [Online]. Available: <https://mathworld.wolfram.com/LogarithmicSpiral.html>
- [24] —, “Theodorus spiral,” *MathWorld*. [Online]. Available: <https://mathworld.wolfram.com/TheodorusSpiral.html>
- [25] —, “Hyperbolic spiral,” *MathWorld*. [Online]. Available: <https://mathworld.wolfram.com/HyperbolicSpiral.html>
- [26] —, “Prime spiral,” *MathWorld*. [Online]. Available: <https://mathworld.wolfram.com/PrimeSpiral.html>
- [27] G. N. QUAM and M. B. QUAM, “Types of graphic classifications of the elements. iii. spiral, helical, and miscellaneous charts,” *Journal of Chemical Education*, May, 1934.
- [28] M. Weber, M. Alexa, and W. Muller, “Visualizing time-series on spirals,” in *IEEE Symposium on Information Visualization, 2001. INFOVIS 2001.*, 2001, pp. 7–13.
- [29] J. V. Carlis and J. A. Konstan, “Interactive visualization of serial periodic data,” Nov, 1998. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1145/288392.288399>
- [30] S. Fenton, “Pie charts are bad,” *Steve Fenton*, 17, Abr, 2009. [Online]. Available: <https://www.stevfenton.co.uk/2009/04/pie-charts-are-bad/>
- [31] S. Few, “Save the pies for dessert,” *Perceptual Edge*, Ago, 2007. [Online]. Available: <http://www.perceptualedge.com/articles/08-21-07.pdf>
- [32] I. Spen, “No humble pie: The origins and usage of a statistical,” *Journal of Educational and Behavioral Statistics*, Dic, 2005. [Online]. Available: <https://doi.org/10.3102/10769986030004353>
- [33] D. Feitelson, “Comparing partitions with spie charts,” 01 2004. [Online]. Available: <https://www.cse.huji.ac.il/~feit/papers/Spie03TR.pdf>
- [34] P. J. Lewi, *Speaking of Graphics, Chapter 5, Florence Nightingale and Polar Area Diagrams*, 11, Feb, 2006. [Online]. Available: <http://www.datascope.be/sog/SOG-Chapter5.pdf>
- [35] H. Small, “Florence nightingale’s hockey stick the real message of her rose diagraml,” 3, Oct, 2012. [Online]. Available: [http://www.florence-nightingale-avenging-angel.co.uk/Nightingale\\_Hockey\\_Stick.pdf](http://www.florence-nightingale-avenging-angel.co.uk/Nightingale_Hockey_Stick.pdf)
- [36] I. B. U. Ltd, “The polar area diagrams of florence nightingale,” 2012. [Online]. Available: [http://xmltwo.ibo.org/publications/DP/Group5/d\\_5\\_matsl\\_tsm\\_1205\\_1/html/xmltwo.ibo.org/publications/DP/Group5/d\\_5\\_matsl\\_tsm\\_1205\\_1/pdf/example06.e.pdf](http://xmltwo.ibo.org/publications/DP/Group5/d_5_matsl_tsm_1205_1/html/xmltwo.ibo.org/publications/DP/Group5/d_5_matsl_tsm_1205_1/pdf/example06.e.pdf)
- [37] D. Uznanski, “Grid,” *MathWorld*. [Online]. Available: <https://mathworld.wolfram.com/Grid.html>
- [38] J. F. Thompson, B. K. Soni, and N. P. Weatherill, *Handbook of Grid Generation*, 1998.
- [39] T. Kuboyama, *Matching and Learning in Trees*. Department of Advanced Interdisciplinary Studies, Graduate School of Engineering, The University of Tokyo, 2007.
- [40] R. Vliegen, J. Wijk, and E.-J. van der Linden, “Visualizing business data with generalized treemaps,” *IEEE transactions on visualization and computer graphics*, vol. 12, pp. 789–96, 09 2006.
- [41] N. Sheth, “Radial tree viewer,” 2003. [Online]. Available: <http://www.visualcomplexity.com/vc/project.cfm?id=26>

- [42] G. Book and N. Keshary, *Radial Tree Graph Drawing Algorithm for Representing Large Hierarchies*. University of Connecticut, Dic, 2001. [Online]. Available: <https://www.yumpu.com/en/document/read/13734839/radial-tree-graph-drawing-algorithm-for-representing-gbook>
- [43] J. Clark, “Multi-level pie charts,” *Neoformix*, 27, Jul, 2006. [Online]. Available: <http://www.neoformix.com/2006/MultiLevelPieChart.html>
- [44] R. Herbert, R. Webber, and W. Jiang, “Space-filling techniques in visualizing output from computer based economic models,” *Society for Computational Economics, Computing in Economics and Finance 2006*, 01 2006.
- [45] J. Stasko, R. CATRAMBONE, M. Guzdial, and K. MCDONALD, “Evaluation of space-filling information visualizations for depicting hierarchical structures,” *International Journal of Human-Computer Studies*, vol. 53, pp. 663–694, 11 2000.
- [46] J. Stasko and E. Zhang, “Focus+context display and navigation techniques for enhancing radial, space-filling hierarchy visualizations,” *Proceedings of the IEEE Symposium on Information Vizualization*, vol. 2000, pp. 57–65, 02 2000.
- [47] L. Woodburn, Y. Yang, and K. Marriott, “Interactive visualisation of hierarchical quantitative data: An evaluation,” 08 2019.
- [48] M. M. Porter and P. Niksiar, “Multidimensional mechanics: Performance mapping of natural biological systems using permutated radar charts,” *PLOS ONE*, vol. 13, no. 9, pp. 1–18, 09 2018. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0204309>
- [49] J. Chambers, W. Cleveland, B. Kleiner, and P. Tukey, *Graphical methods for data analysis*, 01 2018.
- [50] N. R. Tague, *Quality Toolbox*. American Society for Quality (ASQ), 2005.
- [51] D. W. Scott, *Multivariate Density Estimation: Theory, Practice, and Visualization*. Wiley, 2015.
- [52] C. C. Cárdenas, “Estado del arte en visualización de redes con r,” *Universidad de Alcalá, Escuela Politécnica Superior*, 2019.