

Universidad del
Valle

Matemáticas
Discretas II

Introducción

Terminología

Familias de
grafos simples

Grafos bipartitos

Topologías y
subgrafos

Grafos
complementarios

Grafos planos

Representación
de grafos

Conectividad

Isomorfismos

Algoritmos sobre
grafos

Coloreo de grafos

Algoritmo de Dijkstra

Teoría de Grafos

Raúl E Gutiérrez de Piñerez R.
raul.gutierrez@correounivalle.edu.co
Carlos Andres Delgado
carlos.andres.delgado@correounivalle.edu.co

Universidad del Valle
EISC

Febrero 2017

- 1 Introducción**
- 2 Terminología**
- 3 Familias de grafos simples**
- 4 Grafos bipartitos**
- 5 Topologías y subgrafos**
- 6 Grafos complementarios**
- 7 Grafos planos**
- 8 Representación de grafos**
- 9 Conectividad**
- 10 Isomorfismos**
- 11 Algoritmos sobre grafos**
 - Coloreo de grafos
 - Algoritmo de Dijkstra

Contenido

Universidad del
Valle

Matemáticas
Discretas II

Introducción

Terminología

Familias de
grafos simples

Grafos bipartitos

Topologías y
subgrafos

Grafos
complementarios

Grafos planos

Representación
de grafos

Conectividad

Isomorfismos

Algoritmos sobre
grafos

Coloreo de grafos

Algoritmo de Dijkstra

- 1 Introducción**
- 2 Terminología**
- 3 Familias de grafos simples**
- 4 Grafos bipartitos**
- 5 Topologías y subgrafos**
- 6 Grafos complementarios**
- 7 Grafos planos**
- 8 Representación de grafos**
- 9 Conectividad**
- 10 Isomorfismos**
- 11 Algoritmos sobre grafos**
 - Coloreo de grafos
 - Algoritmo de Dijkstra

Problema de los puentes de Königsberg (1.736)

Universidad del
Valle

Matemáticas
Discretas II

Introducción

Terminología

Familias de
grafo sencillos

Grafo bipartito

Topologías y
subgrafos

Grafo complementario

Grafo plano

Representación
de grafos

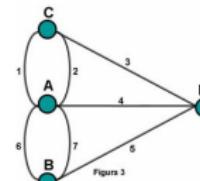
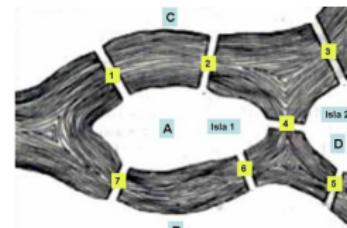
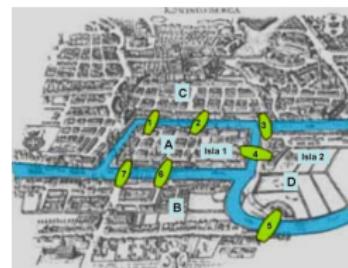
Conectividad

Isomorfismos

Algoritmos sobre
grafos

Coloreo de grafos

Algoritmo de Dijkstra



Leonard Euler

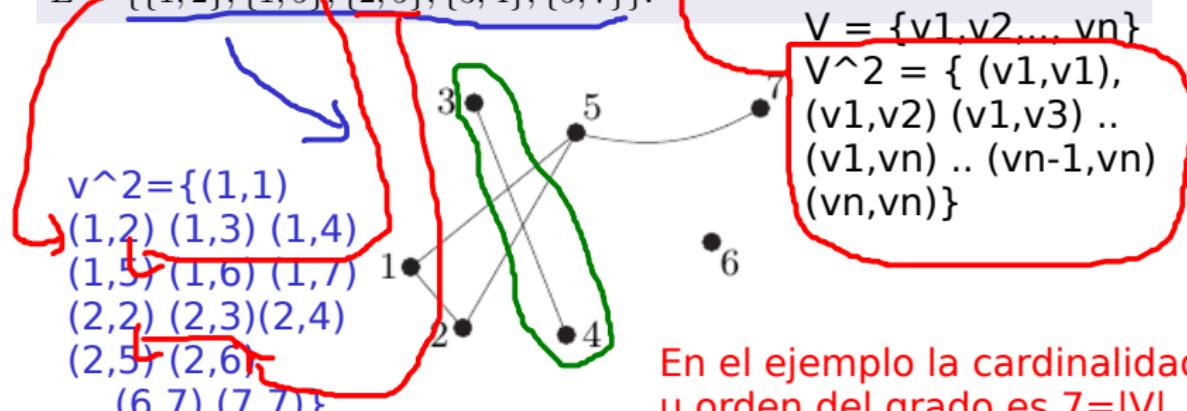
¿Es posible salir desde cualquier punto de la ciudad (A,B,C o D) y llegar al mismo punto recorriendo exactamente una vez cada puente?

Que es un Grafo

Un *grafo* es un par $G = (V, E)$ de conjuntos que satisfacen $E \subseteq [V]^2$ así, los elementos de E son subconjuntos de 2-elementos de V en la cual los elementos de E son aristas y los elementos de V son vértices.

Tácitamente $E \cap V = \emptyset$. Saen $V = \{1, \dots, 7\}$ y

$$E = \{\{1, 2\}, \{1, 5\}, \{2, 5\}, \{3, 4\}, \{5, 7\}\}.$$



En el ejemplo la cardinalidad
u orden del grado es $7 = |V|$

- Un **grafo vacío** (\emptyset, \emptyset) se escribe simplemente como \emptyset .
- El número de vértices de un grafo G es su orden, y se escribe $|G|$.
- Un grafo puede ser *finito* o *infinito* según su orden. Un grafo de orden 0 o de orden 1 es llamado el *grafo trivial*.

Universidad del
Valle

Matemáticas
Discretas II

Introducción

Terminología

Familias de
grafos simples

Grafos bipartitos

Topologías y
subgrafos

Grafos
complementarios

Grafos planos

Representación
de grafos

Conectividad

Isomorfismos

Algoritmos sobre
grafos

Coloreo de grafos

Algoritmo de Dijkstra

Grafo simple

Un **grafo simple** $G = (V, E)$ es un grafo en el cual cada arista conecta dos diferentes vértices y donde dos aristas no conectan el mismo par de vértices. No tiene ni aristas paralelas ni bucles.

Multigrafo

Un **multigrafo** $G = (V, E)$ consta de un conjunto de vértices V , un conjunto E de aristas y una función f de E en $\{\{u, v\}/u, v \in V, u \neq v\}$. Se dice que las aristas e_1 y e_2 son aristas múltiples o paralelas si $f(e_1) = f(e_2)$.

Pseudografo

Un **pseudografo** $G = (V, E)$ consta de un conjunto de vértices V , un conjunto E de aristas y una función f de E en $\{\{u, v\}/u, v \in V\}$. Una arista e es un bucle o lazo si $f(e) = \{u, u\} = \{u\}$ para algún $u \in V$.

Universidad del
Valle

Matemáticas
Discretas II

Introducción

Terminología

Familias de
grafos simples

Grafos bipartitos

Topologías y
subgrafos

Grafos
complementarios

Grafos planos

Representación
de grafos

Conectividad

Isomorfismos

Algoritmos sobre
grafos

Coloreo de grafos

Algoritmo de Dijkstra

Grafo simple
No tiene bucles
ni aristas repetidas



Aristas paralelas
o repetidas



Fig 3. Multigráfico

Bucle = {(cali, cali), ...}

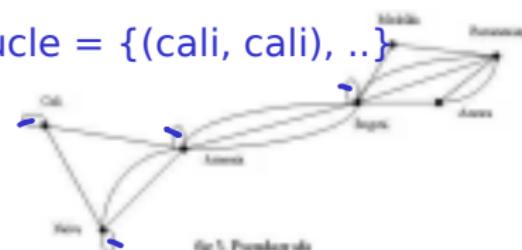
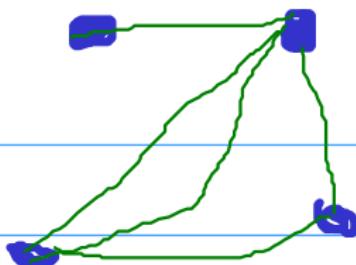


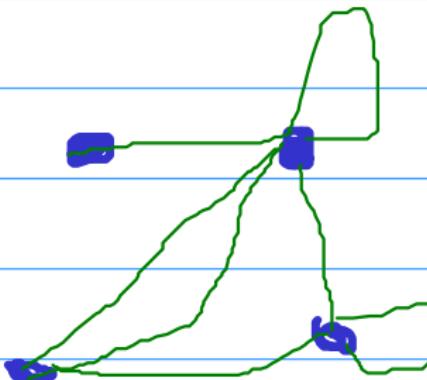
Fig 5. Pseudografo

- Los grafos simples no permiten aristas paralelas ni bucles.
- Los multigráficos no permiten bucles.



Es multigrafo
¿Porque?

Porque tiene aristas paralelas
No tiene bucles



Es un pseudografo

Universidad del
Valle

Matemáticas
Discretas II

Introducción

Terminología

Familias de
grafos simples

Grafos bipartitos

Topologías y
subgrafos

Grafos
complementarios

Grafos planos

Representación
de grafos

Conectividad

Isomorfismos

Algoritmos sobre
grafos

Coloreo de grafos

Algoritmo de Dijkstra

Grafo Dirigido

Un **Grafo dirigido** $G = (V, E)$ consta de un conjunto de vértices V , un conjunto E de aristas que son pares ordenados de V . Usamos una flecha apuntando de u a v para indicar la dirección de la arista (u, v)

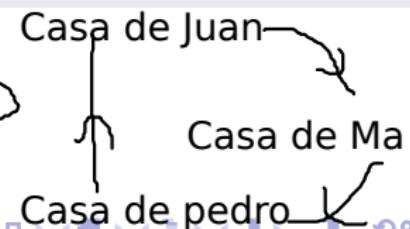
Multigrafo dirigido

Un **multigrafo dirigido** $G = (V, E)$ consta de un conjunto de vértices V , un conjunto E de aristas y una función f de E en $\{(u, v) / u, v \in V\}$. Se dice que las aristas e_1 y e_2 son aristas múltiples o paralelas si $f(e_1) = f(e_2)$.

Es una arista que va de a a b

Grafo dirigido (a,b) distinto (b,a)

Es una arista que va de b a a



Introducción

Universidad del
Valle

Matemáticas
Discretas II

Introducción

Terminología

Familias de
grafo s simples

Grafo bipartitos

Topologías y
subgrafos

Grafo s complementarios

Grafo s planos

Representación
de grafo s

Conectividad

Isomorfismos

Algoritmos sobre
grafo s

Coloreo de grafo s

Algoritmo de Dijkstra

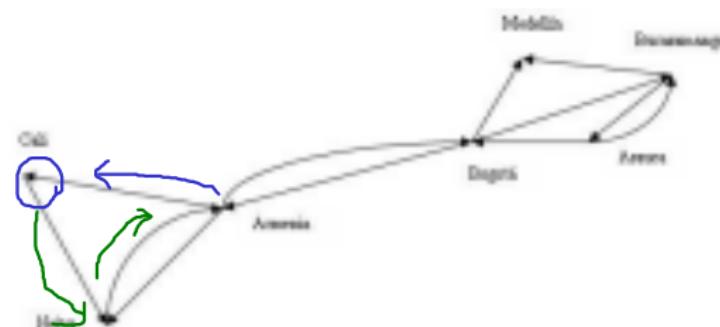
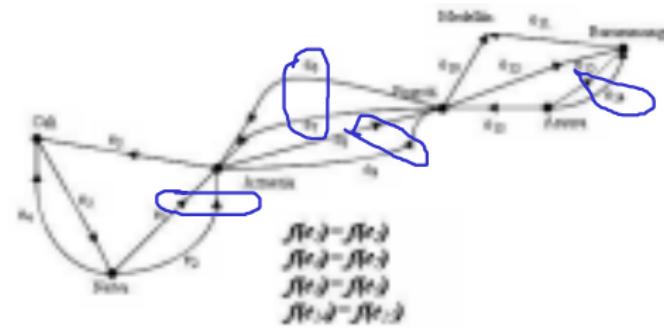


Fig 4. grafo dirigido



Introducción

Universidad del
Valle

Matemáticas
Discretas II

Introducción

Terminología

Familias de
grafos simples

Grafos bipartitos

Topologías y
subgrafos

Grafos
complementarios

Grafos planos

Representación
de grafos

Conectividad

Isomorfismos

Algoritmos sobre
grafos

Coloreo de grafos

Algoritmo de Dijkstra

Tipos	Aristas	¿Aristas múlti- ples?	¿bucles?
Grafo simple	no dirigidas	no	no
Multigrafo	no dirigidas	sí	no
Pseudografo	no dirigidas	sí	<u>sí</u>
Grafo dirigido	dirigidas	No	<u>sí</u>
Multigrafo dirigido	dirigidas	sí	<u>sí</u>

No existen pseudografos dirigidos ya que en los bucles
no importa la dirección

Universidad del
Valle

Matemáticas
Discretas II

Introducción

Terminología

Familias de
grafos simples

Grafos bipartitos

Topologías y
subgrafos

Grafos
complementarios

Grafos planos

Representación
de grafos

Conectividad

Isomorfismos

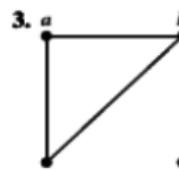
Algoritmos sobre
grafos

Coloreo de grafos

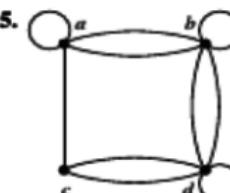
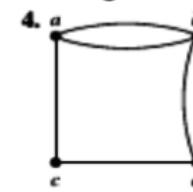
Algoritmo de Dijkstra

Determinar el tipo de grafo no dirigido ([¿Grafo simple, multigrafo o pseudografo](#))

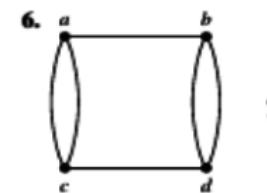
Grafo simple



Multigrafo



Pseudografo



Multigrafo

Introducción

Universidad del
Valle

Matemáticas
Discretas II

Introducción

Terminología

Familias de
grafos simples

Grafos bipartitos

Topologías y
subgrafos

Grafos
complementarios

Grafos planos

Representación
de grafos

Conectividad

Isomorfismos

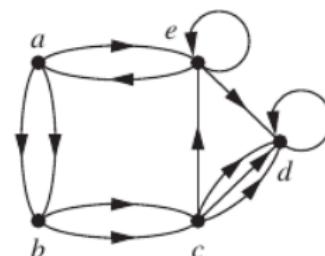
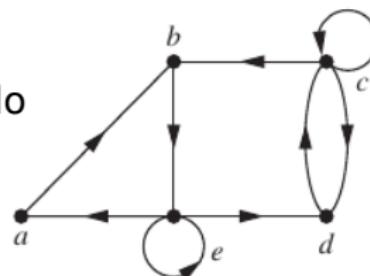
Algoritmos sobre
grafos

Coloreo de grafos

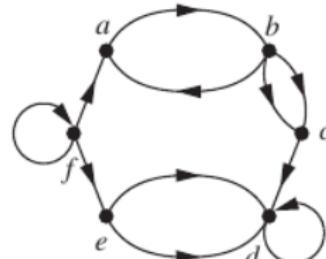
Algoritmo de Dijkstra

Determinar el tipo de grafo ([¿Grafo dirigido o multigrafo dirigido?](#))

Grafo
dirigido



Multigrafo
dirigido



Multigrafo dirigido

Contenido

Universidad del
Valle

Matemáticas
Discretas II

Introducción

Terminología

Familias de
grafos simples

Grafos bipartitos

Topologías y
subgrafos

Grafos
complementarios

Grafos planos

Representación
de grafos

Conectividad

Isomorfismos

Algoritmos sobre
grafos

Coloreo de grafos

Algoritmo de Dijkstra

1 Introducción

2 Terminología

3 Familias de grafos simples

4 Grafos bipartitos

5 Topologías y subgrafos

6 Grafos complementarios

7 Grafos planos

8 Representación de grafos

9 Conectividad

10 Isomorfismos

11 Algoritmos sobre grafos

- Coloreo de grafos

- Algoritmo de Dijkstra

Universidad del
Valle

Matemáticas
Discretas II

Introducción

Terminología

Familias de
grafos simples

Grafos bipartitos

Topologías y
subgrafos

Grafos
complementarios

Grafos planos

Representación
de grafos

Conectividad

Isomorfismos

Algoritmos sobre
grafos

Coloreo de grafos

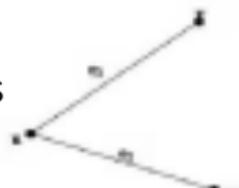
Algoritmo de Dijkstra

Adyacencia

Se dice que dos vértices u y v de un grafo no dirigido G son *adyacentes* (o vecinos) en G si $\{u, v\}$ es una arista de G . Si $e = \{u, v\}$, se dice que la arista e es *incidente* con los vértices u y v . También se dice que la arista e *conecta a* u y v . Se dice que los vértices u y v son extremos de la arista e .

En este grafo

u, v son adyacentes
 $y u, w$ son adyacentes
 v, w no son adyacentes

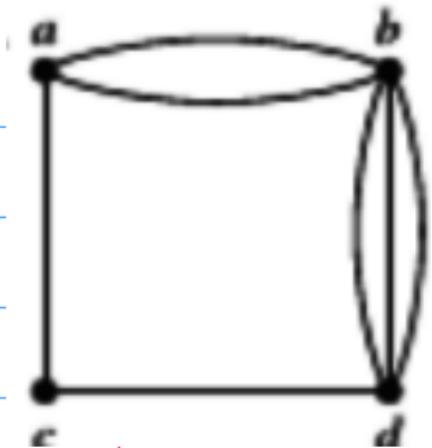


e_1 y e_2
tienen en
común a u
entonces
son adyacen-
tes

La vecindad de u $\rightarrow N(u)$
son v y w porque son adyacentes

- Dos aristas son adyacentes si tienen un vértice en común, por ejemplo en la fig 7. e_1 y e_2 son adyacentes.
- La vecindad de un vértice x , denotado como $N(x)$, está dado por todos los vértices adyacentes a x . $N(u) = \{v, w\}$

Vecindad de un vértice



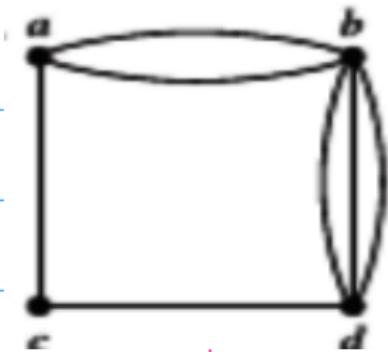
$$N(a) = \{b, c\}$$

$$N(b) = \{a, d\}$$

$$N(c) = \{a, d\}$$

$$N(d) = \{b, c\}$$

Grado de un vértice



$$d(a) = 3$$

$$d(b) = 5$$

$$d(c) = 2$$

$$d(d) = 4$$

Universidad del
Valle

Matemáticas
Discretas II

Introducción

Terminología

Familias de
grafos simples

Grafos bipartitos

Topologías y
subgrafos

Grafos
complementarios

Grafos planos

Representación
de grafos

Conectividad

Isomorfismos

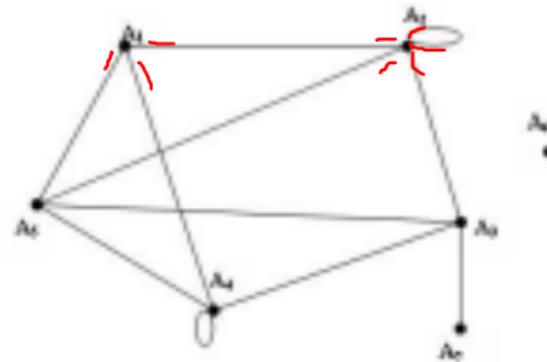
Algoritmos sobre
grafos

Coloreo de grafos

Algoritmo de Dijkstra

El grado de un vértice

El grado de un vértice de un grafo no dirigido es el número de aristas incidentes con él, exceptuando los bucles, que contribuye con dos unidades al grado del vértice. El grado del vértice se denota por $\delta(v)$.



Los grados del grafo G son: $\delta(A_1) = 3$, $\delta(A_2) = 5$, $\delta(A_3) = 4$, $\delta(A_4) = 5$, $\delta(A_5) = 4$, $\delta(A_6) = 0$, $\delta(A_7) = 1$.

Universidad del
Valle

Matemáticas
Discretas II

Introducción

Terminología

Familias de
grafos simples

Grafos bipartitos

Topologías y
subgrafos

Grafos
complementarios

Grafos planos

Representación
de grafos

Conectividad

Isomorfismos

Algoritmos sobre
grafos

Coloreo de grafos

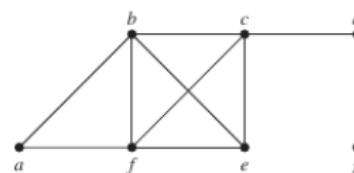
Algoritmo de Dijkstra

Teorema de Handshaking

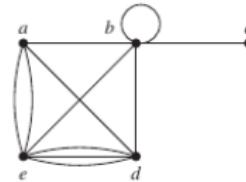
Sea $G = (V, E)$ un grafo no dirigido con e aristas. Entonces,

$$2e = \sum_{v \in V} \delta(v)$$

- Incluso si hay aristas múltiples y bucles en el grafo.
- Podemos determinar el número de aristas del grafo G , es decir $2e = 18, e = 9$
- La suma de los grados de un grafo no dirigido es par.



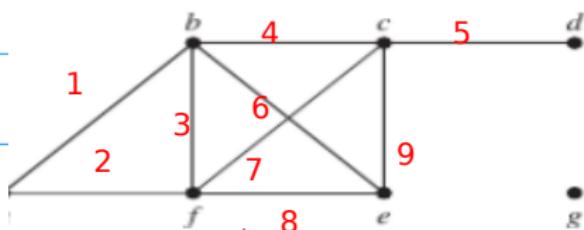
G



H

Cuál es el número de aristas de H ?

Para los ejemplos



Grados

$$d(a) = 2$$

$$d(b) = 4$$

$$d(c) = 4$$

$$d(d) = 5$$

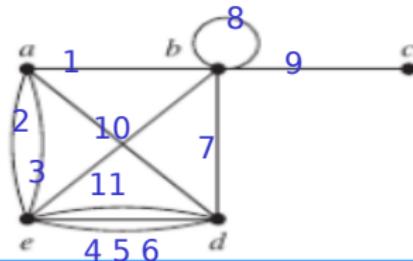
$$d(e) = 3$$

$$d(f) = 4$$

$$d(g) = 0$$

$$\text{Suma} = 18$$

Entonces el número de aristas es 9



$$d(a) = 4$$

$$d(b) = 6$$

$$d(c) = 1$$

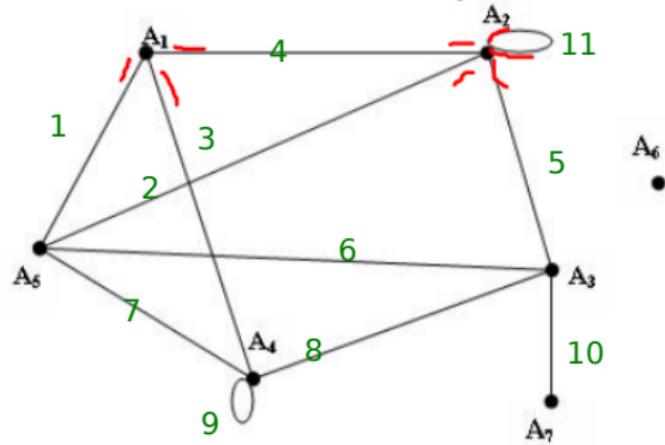
$$d(d) = 5$$

$$d(e) = 6$$

$$\text{Suma} = 22$$

Entonces en total tenemos
11 aristas

Teorema
Suma de los grados de los vertices = 2 numero aristas



$$d(A_1) = 3$$

$$d(A_2) = 5$$

$$d(A_3) = 4$$

$$d(A_4) = 5$$

$$d(A_5) = 4$$

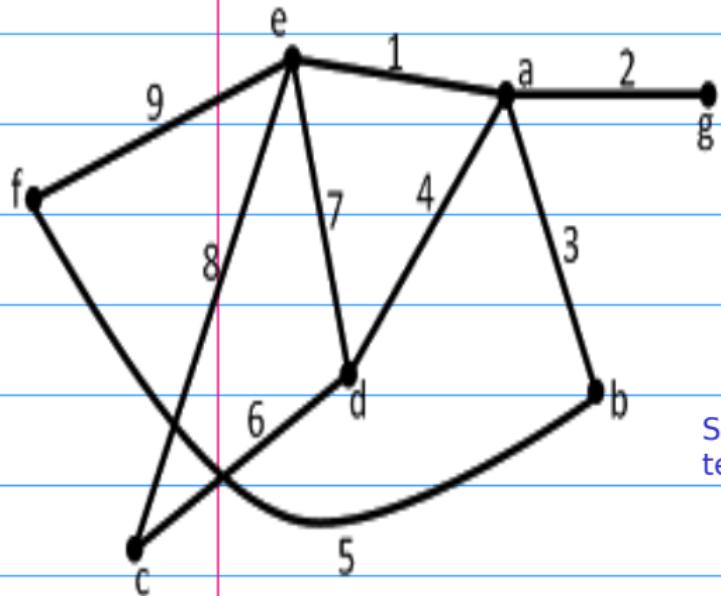
$$d(A_6) = 0$$

$$d(A_7) = 1$$

$$\text{Suma} = 22$$

$$e = 11$$

Segun el teorema de Handshaking



Grados

$$\begin{aligned}
 d(a) &= 4 \\
 d(b) &= 2 \\
 d(c) &= 2 \\
 d(d) &= 3 \\
 d(e) &= 4 \\
 d(f) &= 2 \\
 d(g) &= 1
 \end{aligned}$$

$$\text{Suma} = 18$$

Según el teorema de Handshaking
tenemos 9 aristas

Terminología

Universidad del
Valle

Matemáticas
Discretas II

Introducción

Terminología

Familias de
grafos simples

Grafos bipartitos

Topologías y
subgrafos

Grafos
complementarios

Grafos planos

Representación
de grafos

Conectividad

Isomorfismos

Algoritmos sobre
grafos

Coloreo de grafos

Algoritmo de Dijkstra

Ejemplo: Cuántas aristas hay en un grafo con diez vértices, cada uno de los cuales tiene grado seis?

Teorema

Todo grafo no dirigido tiene un número par de vértices de grado impar.

Dem. Sea V_1 : conjunto de vértices de grado par y V_2 : conjunto de vértices de grado impar de un grafo $G = (V, E)$, entonces

$$2e = \sum_{v \in V} \delta(v) = \sum_{v \in V_1} \delta(v) + \sum_{v \in V_2} \delta(v)$$

Como $\delta(v)$ si $v \in V_1$ es par y $\sum_{v \in V} \delta(v)$ es par al despejar $\sum_{v \in V_2} \delta(v)$ el resultado es par.

Aplicación del Teorema de Handshaking

¿Se puede dibujar un grafo simple de 15 vértices cada uno de grado 5?

Según el teorema esto no es posible!!!!.

Todo grafo tiene un número de vértices par con grado impar

¿Porque?

R/ Recordemos el teorema de Handshaking

$$2e = \sum_{v \in V} \delta(v)$$

Este teorema nos obliga a que la suma de los grados de los vértices sea par.

Que pasa si tenemos un número impar de vértices de grado impar

$(2n + 1)(2n + 1) = 2(2n^2 + 2n) + 1 \rightarrow 4$ por cualquier cosa siempre es par pero le sumamos 1 entonces es impar.

Entonces la sumatoria me va dar impar, entonces me va dar un número fraccionario de aristas ¿Esto tiene sentido?

Esto no tiene sentido, por lo tanto, no es posible en un grafo tener un número impar de vértices de grado impar, por el mismo teorema de handshaking.

Pregunta

Si tengo un número impar de vértices y cada vértice tiene un grado diferente ¿Es posible?

$$d(a) = 3$$

$$d(b) = 5$$

$$d(c) = 11$$



Suma = 19 (Es un número impar)

$$d(a) = 1$$

$$d(b) = 9$$

$$d(c) = 3$$

$$d(d) = 8$$

Suma = 21 (Es un número impar)

R/ No importa el número impar, debe cumplirse la regla de que no un grafo NO PUEDE tener un número impar de vértices de grado impar.

Universidad del
Valle

Matemáticas
Discretas II

Introducción

Terminología

Familias de
grafos simples

Grafos bipartitos

Topologías y
subgrafos

Grafos
complementarios

Grafos planos

Representación
de grafos

Conectividad

Isomorfismos

Algoritmos sobre
grafos

Coloreo de grafos

Algoritmo de Dijkstra

Bucle

Si (u, v) es una arista del grafo dirigido G , se dice que u es adyacente a v y que v es adyacente desde u . Al vértice u se le llama **vértice inicial** de (u, v) y a v se le llama **vértice final** o terminal de (u, v) . Los vértices inicial y final de un **bucle** coinciden.

Grado en un grafo dirigido

En un grafo dirigido, el *grado de entrada* de un vértice v , denotado por $\delta^-(v)$, es el número de aristas que tienen a v como **vértice final**. El *grado de salida* de un vértice v , de notado por $\delta^+(v)$, es el número de aristas que tienen a v como **vértice inicial**.

Teorema

Sea $G = (V, E)$ un grafo dirigido. Entonces,

$$\sum_{v \in V} \delta^-(v) = \sum_{v \in V} \delta^+(v) = |E|$$

Universidad del
Valle

Matemáticas
Discretas II

Introducción

Terminología

Familias de
grafos simples

Grafos bipartitos

Topologías y
subgrafos

Grafos
complementarios

Grafos planos

Representación
de grafos

Conectividad

Isomorfismos

Algoritmos sobre
grafos

Coloreo de grafos

Algoritmo de Dijkstra

Ejemplo

Hallar los grados de entrada y de salida de cada vértice para el siguiente grafo.

$$d^-(a) = 2 \quad d^+(a) = 4$$

$$d^-(b) = 2 \quad d^+(b) = 1$$

$$d^-(c) = 3 \quad d^+(c) = 2$$

$$d^-(d) = 2 \quad d^+(d) = 2$$

$$d^-(e) = 3 \quad d^+(e) = 3$$

$$d^-(f) = 0 \quad d^+(f) = 0$$

$$\text{Suma} = 12 \quad \text{Suma}+ = 12$$

- $\delta^-(a) = 2, \delta^+(a) = 4$

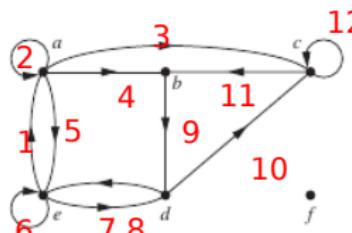
- $\delta^-(b) = 2, \delta^+(b) = 1$

- $\delta^-(c) = 3, \delta^+(c) = 2$

- $\delta^-(e) = 3, \delta^+(e) = 3$

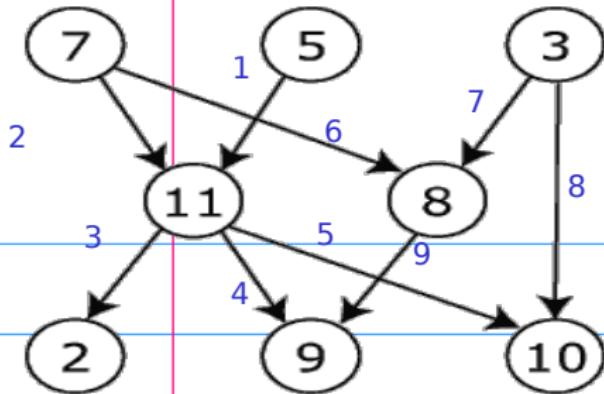
- $\delta^-(d) = 2, \delta^+(d) = 2$

- $\delta^-(f) = 0, \delta^+(f) = 0$



$$E = \{(e,a), (a,a), (a,c), (a,b), (a,e), (b,d), (d,e), (d,c), (c,b), (c,c), (e,e), (e,d)\}$$

Entonces $\sum_{v \in V} \delta^-(v) = \sum_{v \in V} \delta^+(v) = |E| = 12$



$$d(2)^- = 1$$

$$d(3)^- = 0$$

$$d(5)^- = 0$$

$$d(7)^- = 0$$

$$d(8)^- = 2$$

$$d(9)^- = 2$$

$$d(10)^- = 2$$

$$d(11)^- = 2$$

$$d(2)^+ = 0$$

$$d(3)^+ = 2$$

$$d(5)^+ = 1$$

$$d(7)^+ = 2$$

$$d(8)^+ = 1$$

$$d(9)^+ = 0$$

$$d(10)^+ = 0$$

$$d(11)^+ = 3$$

Suma $d^- = 9$ Suma $d^+ = 9$

Número aristas = 9

Probar el teorema de Handshaking en este grafo

- 1) Calculamos los grados de entrada y salida
- 2) Verificamos que la suma de los grados de entrada y salida sean igual y que estos sean iguales al número de aristas

Contenido

Universidad del
Valle

Matemáticas
Discretas II

Introducción

Terminología

Familias de
grafo s simples

Grafo s bipartitos

Topologías y
subgrafo s

Grafo s
complementario s

Grafo s planos

Representación
de grafo s

Conectividad

Isomorfismo s

Algoritmo s sobre
grafo s

Coloreo de grafo s

Algoritmo de Dijkstra

1 Introducción

2 Terminología

3 Familia s de grafo s simple s

4 Grafo s bipartito s

5 Topologías y subgrafo s

6 Grafo s complementario s

7 Grafo s planos

8 Representación de grafo s

9 Conectividad

10 Isomorfismo s

11 Algoritmo s sobre grafo s

■ Coloreo de grafo s

■ Algoritmo de Dijkstra

Grafos simples, multigrafos y Pseudografo

Universidad del
Valle

Matemáticas
Discretas II

Introducción

Terminología

Familias de
grafos simples

Grafos bipartitos

Topologías y
subgrafos

Grafos
complementarios

Grafos planos

Representación
de grafos

Conectividad

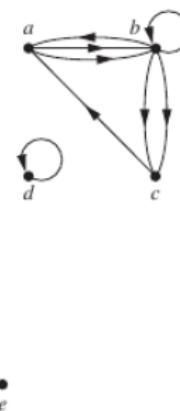
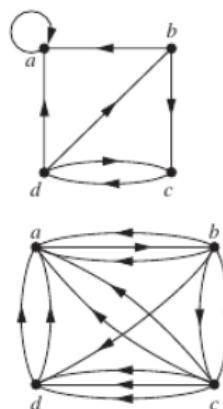
Isomorfismos

Algoritmos sobre
grafos

Coloreo de grafos

Algoritmo de Dijkstra

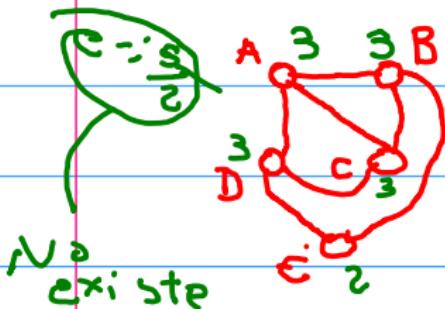
- 1 ¿Existe algún grafo simple de cinco vértices con los grados siguientes?. si es así dibujar el grafo.
 - 1 3,3,3,3,2; 1,2,3,4,4
 - 2 0,1,2,2,3; 1,2,3,4,5
 - 3 3,4,3,4,3; 1,1,1,1,1
- 2 ¿Cuántas aristas tiene un grafo si los grados de sus vértices son 5,2,2,2,2,1?
- 3 ¿Cuántos vértices tiene un grafo regular de grado 4 con 10 aristas?
- 4 Encontrar $\delta^-(v)$ y $\delta^+(v)$ para $\forall v \in V$ en los siguientes grafos:



A B C D E

- 1 3,3,3,3,2; 1,2,3,4,4
- 2 0,1,2,2,3; 1,2,3,4,5
- 3 3,4,3,4,3; 1,1,1,1,1

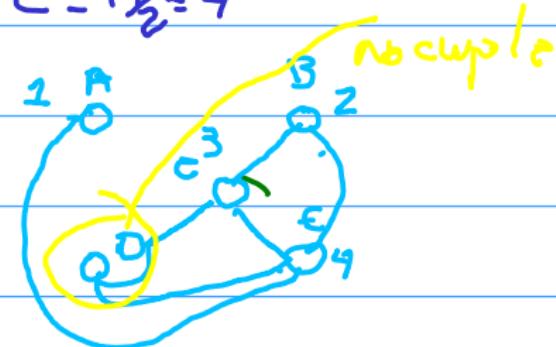
$$2e = 5$$



$$2e = \sum d(v)$$

$$2e = 3+4+2$$

$$e = \frac{14}{2} = 7$$



Si fuera un pseudografo se podría construir

- 2) ¿Cuántas aristas tiene un grafo si los grados de sus vértices son 5,2,2,2,2,1?

$$2e = \sum \delta(v)$$

$$2e = 5+2+2+2+1+2$$

$$2e = 14$$

$$\boxed{e = 7}$$

cualquier,

- 3) ¿Cuántos vértices tiene un grafo regular de grado 4 con 10 aristas?

$$R/4$$

$$\sum \delta(v) = 2e = 20$$

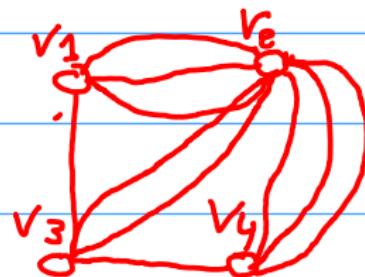
Grados

$$v_1 = 4$$

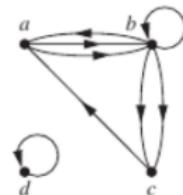
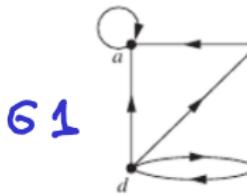
$$v_2 = 8$$

$$v_3 = 4$$

$$v_4 = 4$$



- 4 Encontrar $\delta^-(v)$ y $\delta^+(v)$ para $\forall v \in V$ en los siguientes grafos:



$$\delta^-(a) = 3 \quad \delta^+(a) = 1$$

$$\delta^-(b) = 1 \quad \delta^+(b) = 2$$

$$\delta^-(c) = 2 \quad \delta^+(c) = 1$$

$$\delta^-(d) = 1 \quad \delta^+(d) = 3$$

$$\sum \delta^-(G1) = \sum \delta^+(G1) = 8 = 8$$

$$\delta^-(a) = 2 \quad \delta^+(a) = 2$$

$$\delta^-(b) = 3 \quad \delta^+(b) = 4$$

$$\delta^-(c) = 2 \quad \delta^+(c) = 1$$

$$\delta^-(d) = 1 \quad \delta^+(d) = 1$$

$$8 = 8$$

Universidad del
Valle

Matemáticas
Discretas II

Introducción

Terminología

Familias de
grafos simples

Grafos bipartitos

Topologías y
subgrafos

Grafos
complementarios

Grafos planos

Representación
de grafos

Conectividad

Isomorfismos

Algoritmos sobre
grafos

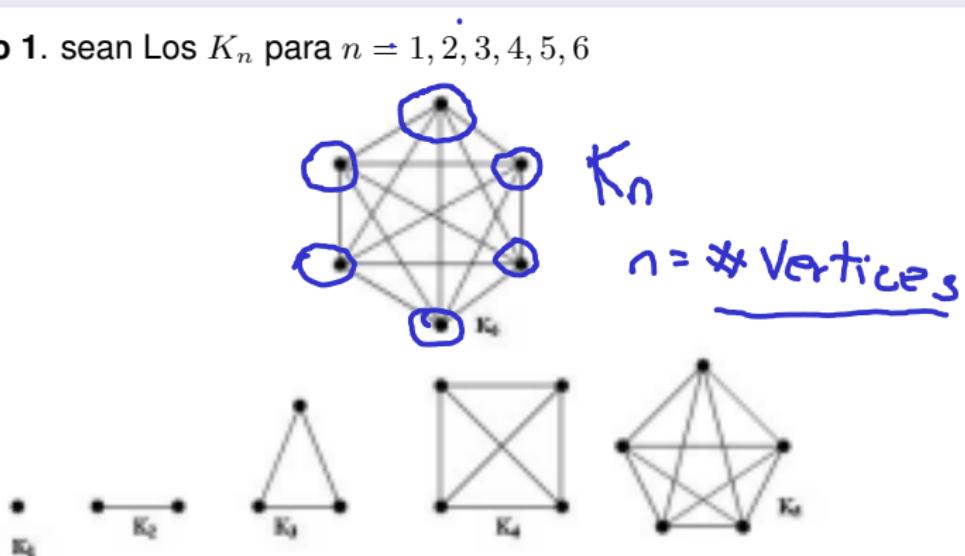
Coloreo de grafos

Algoritmo de Dijkstra

Grafo Completo

El grafo completo de n vértices, que se denota por K_n , es el grafo simple que contiene exactamente una arista entre cada par de vértices distintos.

Ejemplo 1. sean Los K_n para $n = 1, 2, 3, 4, 5, 6$



Universidad del
Valle

Matemáticas
Discretas II

Introducción

Terminología

Familias de
grafos simples

Grafos bipartitos

Topologías y
subgrafos

Grafos
complementarios

Grafos planos

Representación
de grafos

Conectividad

Isomorfismos

Algoritmos sobre
grafos

Coloreo de grafos

Algoritmo de Dijkstra

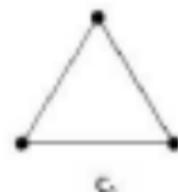
Ciclo

El Ciclo C_n , $n \geq 3$, consta de n vértices v_1, v_2, \dots, v_n y aristas

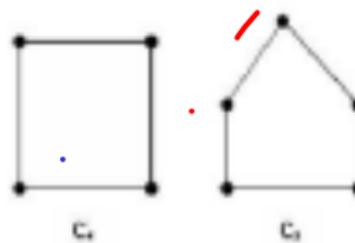
$\{v_1, v_2\}, \{v_2, v_3\}, \dots, \{v_{n-1}, v_n\}$ y $\{v_n, v_1\}$

En la siguiente figura se muestran los ciclos C_3, C_4, C_5 .

Cada vértice está conectado únicamente con otros dos



Vecindad



$\boxed{\text{Definición}}$

$$\deg(v) = 2$$

C_n

n vértices

Cada vértice sólo tiene dos adyacentes

Familias de grafos simples

Universidad del
Valle

Matemáticas
Discretas II

Introducción

Terminología

Familias de
grafos simples

Grafos bipartitos

Topologías y
subgrafos

Grafos
complementarios

Grafos planos

Representación
de grafos

Conectividad

Isomorfismos

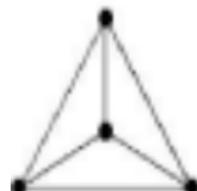
Algoritmos sobre
grafos

Coloreo de grafos

Algoritmo de Dijkstra

Rueda

Obtenemos una **rueda** W_n cuando añadimos un **vértice** adicional al ciclo C_n , para $n \geq 3$, y conectamos a este nuevo **vértice** con cada uno de los n vértices de C_n mediante una nueva arista. ver W_3, W_4, W_5



W_3



W_4



W_5

Contenido

Universidad del
Valle

Matemáticas
Discretas II

Introducción

Terminología

Familias de
grafos simples

Grafos bipartitos

Topologías y
subgrafos

Grafos
complementarios

Grafos planos

Representación
de grafos

Conectividad

Isomorfismos

Algoritmos sobre
grafos

Coloreo de grafos
Algoritmo de Dijkstra

- 1 Introducción**
- 2 Terminología**
- 3 Familias de grafos simples**
- 4 Grafos bipartitos**
- 5 Topologías y subgrafos**
- 6 Grafos complementarios**
- 7 Grafos planos**
- 8 Representación de grafos**
- 9 Conectividad**
- 10 Isomorfismos**
- 11 Algoritmos sobre grafos**
 - Coloreo de grafos
 - Algoritmo de Dijkstra

Grafos bipartitos

Universidad del
Valle

Matemáticas
Discretas II

Introducción

Terminología

Familias de
grafos simples

Grafos bipartitos

Topologías y
subgrafos

Grafos
complementarios

Grafos planos

Representación
de grafos

Conectividad

Isomorfismos

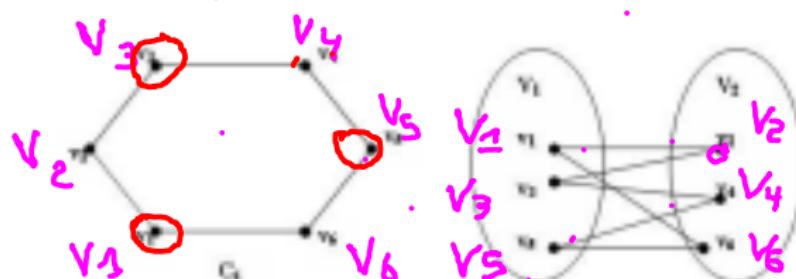
Algoritmos sobre
grafos

Coloreo de grafos

Algoritmo de Dijkstra

Grafo Bipartito o bigrafo

Se dice que un grafo simple G es **bipartito** si su conjunto de vértices V se puede dividir en dos conjuntos disjuntos V_1 y V_2 tales que cada arista del grafo conecta un vértice V_1 con un vértice de V_2 (de manera que no haya ninguna arista que conecte entre sí dos vértices de V_1 ni tampoco dos vértices de V_2).



El ciclo C_6 es bipartito

El grafo C_6 es bipartito donde $V_1 = \{v_1, v_3, v_5\}$ y $V_2 = \{v_2, v_4, v_6\}$ entre v_1, v_3, v_5 no existen aristas que los comuniquen.

Grafos bipartitos

Universidad del
Valle

Matemáticas
Discretas II

Introducción

Terminología

Familias de
grafos simples

Grafos bipartitos

Topologías y
subgrafos

Grafos
complementarios

Grafos planos

Representación
de grafos

Conectividad

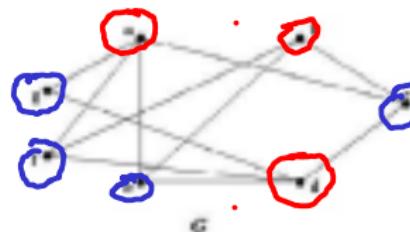
Isomorfismos

Algoritmos sobre
grafos

Coloreo de grafos

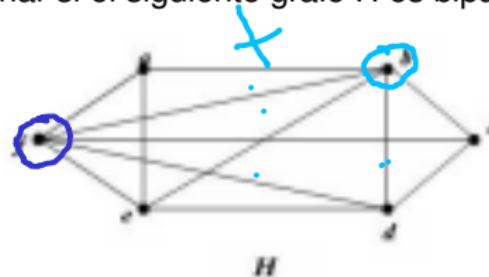
Algoritmo de Dijkstra

Ejemplo. Determinar si el siguiente grafo G es bipartito?



Es bipartito por que podemos encontrar dos subconjuntos disjuntos V_1 y V_2 tale que $V_1 = \{c, e, g, f\}$ y $V_2 = \{a, b, d\}$

Ejemplo. Determinar si el siguiente grafo H es bipartito?



El grafo H no es bipartito.

Grafos bipartitos

Universidad del
Valle

Matemáticas
Discretas II

Introducción

Terminología

Familias de
grafos simples

Grafos bipartitos

Topologías y
subgrafos

Grafos
complementarios

Grafos planos

Representación
de grafos

Conectividad

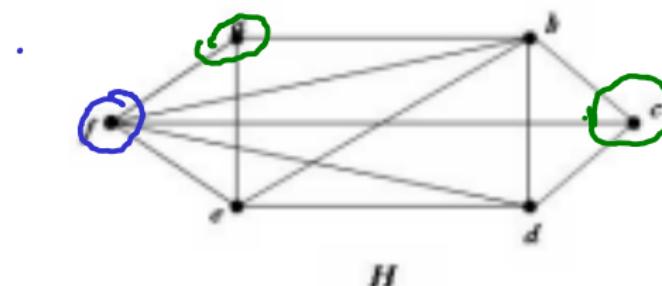
Isomorfismos

Algoritmos sobre
grafos

Coloreo de grafos

Algoritmo de Dijkstra

Se puede justificar un grafo que no sea bipartito definiendo un máximo de vértices para V_1 y V_2 y encontrando un contraejemplo. Sea el grafo:



- Sean los conjuntos $V_1 = \{f\}$ y $V_2 = \{a, c\}$, entonces existen dos aristas adyacentes $\{f, a\}$ y $\{f, c\}$, en f no se pueden adicionar vértices por que todos los vértices son adyacentes con f
- Con un contraejemplo demostramos que el grafo no es bipartito, sean $V_1 = \{f\}$ y $V_2 = \{a, c\}$ y el vértice b , entonces cualquier arista incidente con b ; $\{f, b\}$ y $\{a, b\}$ debe tener vértices en V_1 y V_2 . Por tanto b no puede estar ni en V_1 ni en V_2 .

Grafos bipartitos

Universidad del
Valle

Matemáticas
Discretas II

Introducción

Terminología

Familias de
grafos simples

Grafos bipartitos

Topologías y
subgrafos

Grafos
complementarios

Grafos planos

Representación
de grafos

Conectividad

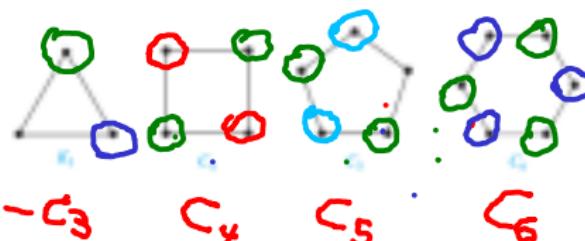
Isomorfismos

Algoritmos sobre
grafos

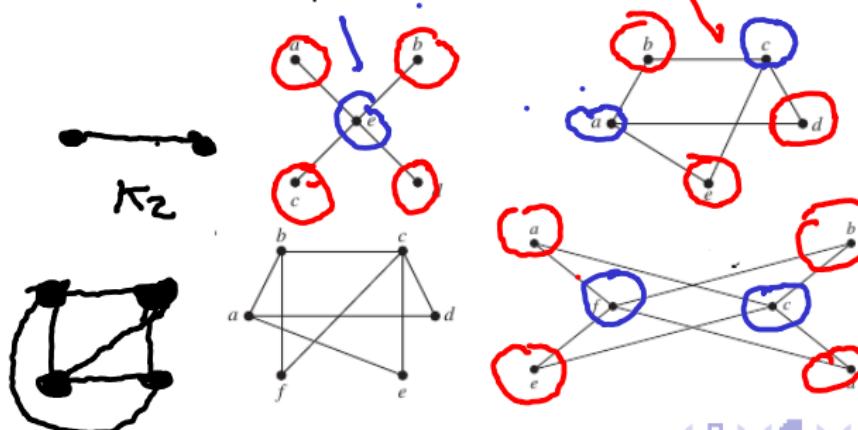
Coloreo de grafos

Algoritmo de Dijkstra

Por ejemplo; K_3 no es bipartito y C_6 si lo es, para que otros valores de n , C_n es bipartito.



K_n solamente es bipartito cuando $n = 2$.



Grafos bipartitos

Universidad del
Valle

Matemáticas
Discretas II

Introducción

Terminología

Familias de
grafos simples

Grafos bipartitos

Topologías y
subgrafos

Grafos
complementarios

Grafos planos

Representación
de grafos

Conectividad

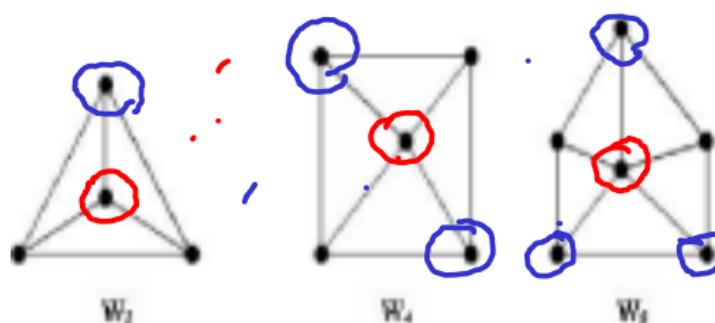
Isomorfismos

Algoritmos sobre
grafos

Coloreo de grafos

Algoritmo de Dijkstra

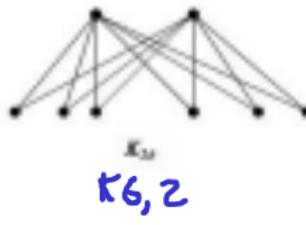
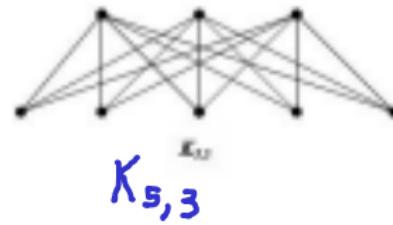
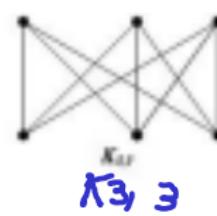
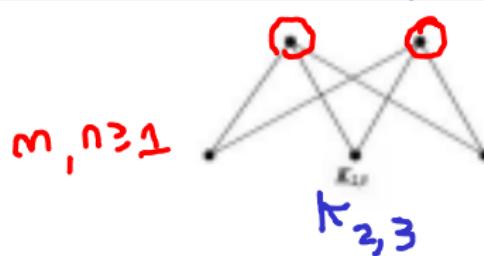
Porque los grafos rueda no son bipartitos:



Sea k_3 un grafo completo no bipartito y sea k_3 un subgrafo contenido en los grafos rueda W_n .

Grafo Bipartito Completo

El grafo bipartito completo $K_{m,n}$ es el grafo cuyo conjunto de vértices está formado por dos subconjuntos con m y n vértices, respectivamente, y hay una arista entre dos vértices si, y sólo si, un vértice está en el **primer subconjunto** y el otro vértice está en el **segundo subconjunto**.



Grafos bipartitos

Universidad del
Valle

Matemáticas
Discretas II

Introducción

Terminología

Familias de
grafos simples

Grafos bipartitos

Topologías y
subgrafos

Grafos
complementarios

Grafos planos

Representación
de grafos

Conectividad

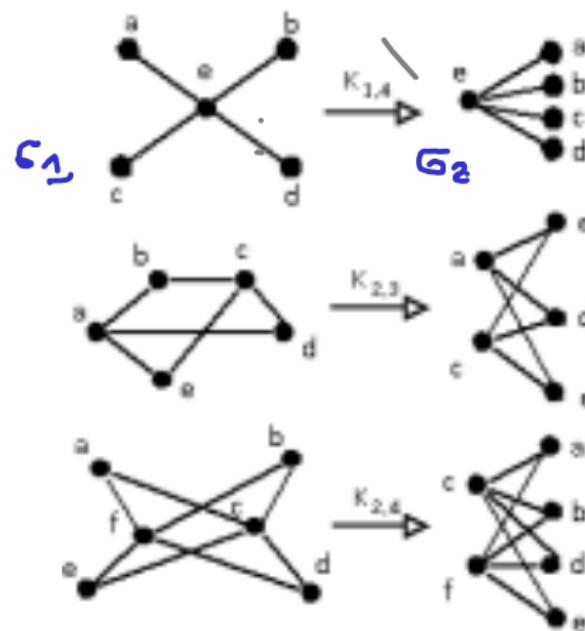
Isomorfismos

Algoritmos sobre
grafos

Coloreo de grafos

Algoritmo de Dijkstra

Algunos grafos bipartitos son bipartitos completos



Grafos bipartitos

Universidad del
Valle

Matemáticas
Discretas II

Introducción

Terminología

Familias de
grafos simples

Grafos bipartitos

Topologías y
subgrafos

Grafos
complementarios

Grafos planos

Representación
de grafos

Conectividad

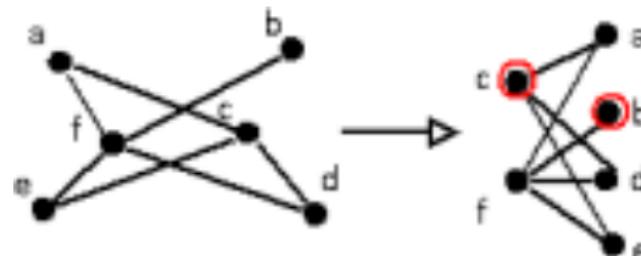
Isomorfismos

Algoritmos sobre
grafos

Coloreo de grafos

Algoritmo de Dijkstra

Grafo bipartito que no es bipartito completo



Contenido

Universidad del
Valle

Matemáticas
Discretas II

Introducción

Terminología

Familias de
grafos simples

Grafos bipartitos

Topologías y
subgrafos

Grafos
complementarios

Grafos planos

Representación
de grafos

Conectividad

Isomorfismos

Algoritmos sobre
grafos

Coloreo de grafos
Algoritmo de Dijkstra

- 1 Introducción**
- 2 Terminología**
- 3 Familias de grafos simples**
- 4 Grafos bipartitos**
- 5 Topologías y subgrafos**
- 6 Grafos complementarios**
- 7 Grafos planos**
- 8 Representación de grafos**
- 9 Conectividad**
- 10 Isomorfismos**
- 11 Algoritmos sobre grafos**
 - Coloreo de grafos
 - Algoritmo de Dijkstra

Topologías y subgrafos

Universidad del
Valle

Matemáticas
Discretas II

Introducción

Terminología

Familias de
grafos simples

Grafos bipartitos

Topologías y
subgrafos

Grafos
complementarios

Grafos planos

Representación
de grafos

Conectividad

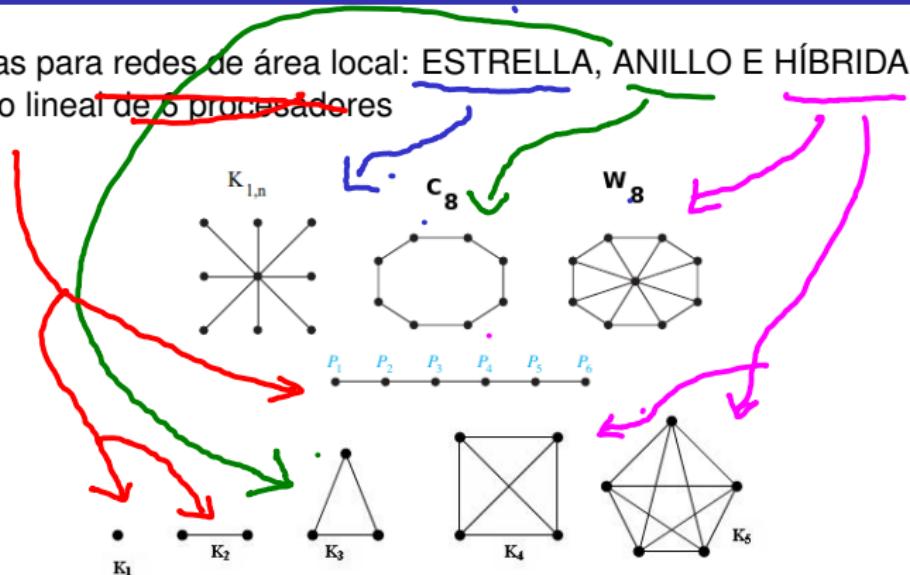
Isomorfismos

Algoritmos sobre
grafos

Coloreo de grafos

Algoritmo de Dijkstra

Topologías para redes de área local: ESTRELLA, ANILLO E HÍBRIDA y un arreglo lineal de ~~o procesadores~~



¿Cuántos vértices y cuántas aristas tiene cada uno de los grafos?

K_n , C_n , W_n y $K_{n,m}$.

Por ejemplo para K_n el número de vértices es n . El número de aristas según el teorema del apretón de manos (handshaking) es

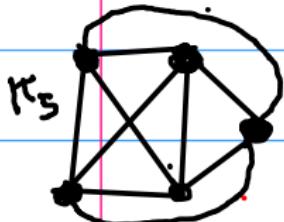
$2e = \sum_{v \in V} \delta(v)$, entonces $e = (n(n - 1))/2$ donde $n - 1$ es el número de aristas incidentes para cada n vértices.

Demostración R.R (Kn)

* Vértices



$K_n ; n \geq 2$



$$\{1, 3, 6, 10, \dots\}$$

1 2 3 4 ...

$$T(n) = \frac{n^2 - n}{2}$$

$$T(n) = T(n-1) + n - 1$$

$$T(1) = 1 \quad T(2) = 3 \quad T(3) = 6 \quad T(4) = 10$$

$$Th(n) = A$$

$$Tp(n) = BN^2 + CN$$

$$Bn^2 + Cn = B(n-1)^2 + C(n-1) + n - 1$$

$$Bn^2 + Cn = Bn^2 - 2Bn + B + C - C + n - 1$$

$$0 = -2Bn + B + n - 1$$

$$-2Bn + n = 0 \quad \therefore B - 1 = 0$$

$$B = \frac{1}{2}$$

$$C = -\frac{1}{2}$$

$$T(z) = 1 = A + \frac{4}{2} - \frac{1}{2}z = A + 1 \rightarrow \boxed{A = 0}$$

Demostración por teorema de HandShaking Grafo Completo Kn

$$2e = \sum_{v \in V} \delta(v)$$

Grado

$$2e = \sum_{v \in V} (n-1)$$

$$2e = n(n-1)$$

$$e = \frac{n(n-1)}{2} = \frac{n^2-n}{2}$$

Secuencia de grado

Se puede encontrar la secuencia del grado de un grafo $G = (V, E)$ que es la secuencia de los grados de los vértices del grafo en orden decreciente.

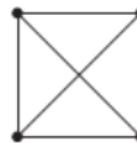
- #### ■ Las secuencias de grado de

$$K_4 = \{3, 3, 3,$$

$$\{ C_4 = \{2, 2,$$

$$2, 2 \} W_4 = \{ 4,$$

$$3,3,3,3 \text{ by } K_{2,3} = 3,3,2,2,2$$



K



6



W



K7

$$K_n = \{n-1, n-1, n-1, \dots, n-1\}$$

- Cuál es la secuencia de grado de K_n , donde n es un entero positivo. **Cada uno de los n vértices es adyacente a cada uno de los otros $n - 1$ vértices, así la secuencia del grado es $n - 1, n - 1, \dots, n - 1$ (n términos)**

Topologías y subgrafos

Universidad del
Valle

Matemáticas
Discretas II

Introducción

Terminología

Familias de
grafos simples

Grafos bipartitos

Topologías y
subgrafos

Grafos
complementarios

Grafos planos

Representación
de grafos

Conectividad

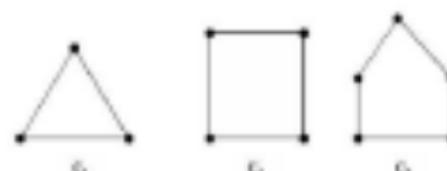
Isomorfismos

Algoritmos sobre
grafos

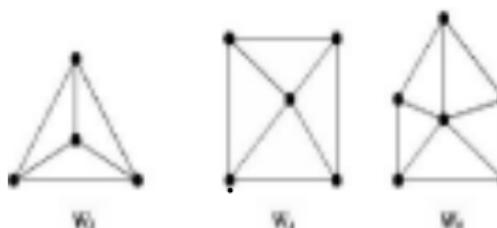
Coloreo de grafos

Algoritmo de Dijkstra

La secuencia de grados de cualquier C_n es $\underbrace{2, 2, 2, \dots, 2}_{n \text{ términos}}$



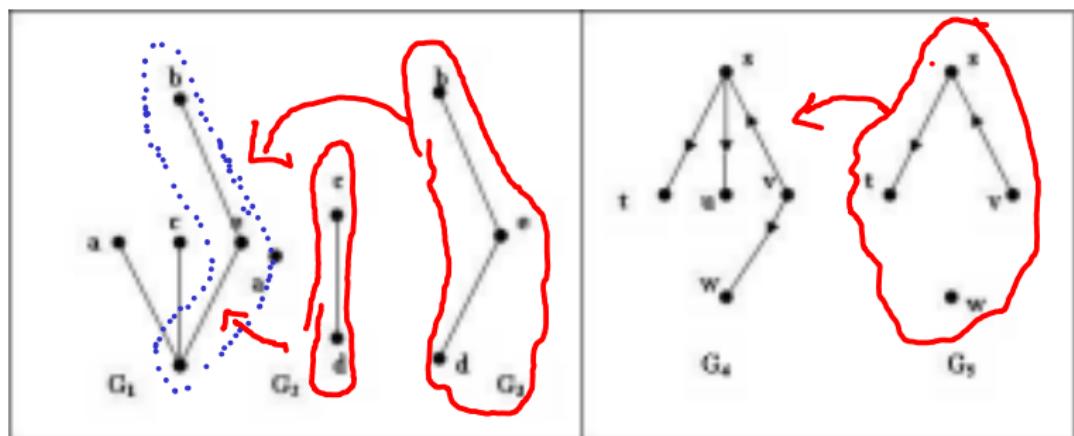
La secuencia de grado de cualquier W_n es $\overbrace{n, 3, 3, 3, \dots, 3}^{(n-\text{términos})}$



La secuencia de grado para cualquier $K_{m,n}$

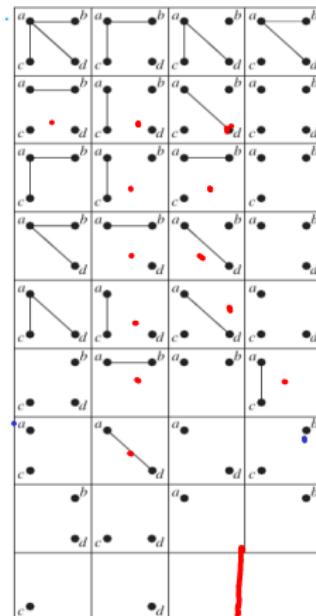
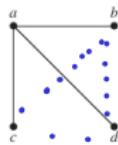
Subgrafo

Si $G = (V, E)$ es un grafo (dirigido o no), $G_1 = (V_1, E_1)$ entonces **es** un subgrafo de G , si $V_1 \subseteq V$ y $E_1 \subseteq E$



En esta figura G_2 y G_3 son subgrafos de G_1 y en el grafo derecho G_5 es subgrafo de G_4 .

Dibujar todos los grafos del siguiente grafo:



$\{\emptyset, a, b, c, d,$
 $ab, ac, ad,$
 $bc, bd, dc,$
 $abc, abd,$
 $acd, bcd,$
 $abcd\}$

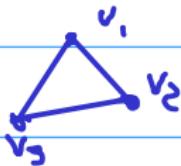
$G(V, E)$

$|V| |e|$

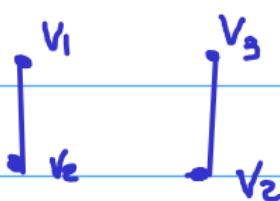
$2^{|V|} + \text{Dependencia}$
 de los subgrafos

Dibujar los 17 subgrafos de K_3 con al menos un vértice.

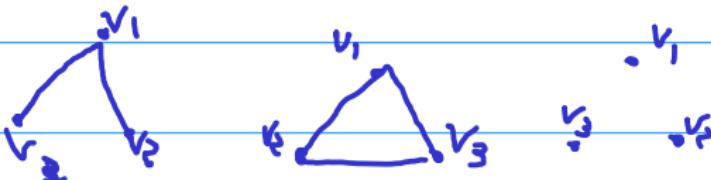
K_3



v_1 v_2 v_3



v_1 v_2 v_3
 v_{∞} v_1 v_2 v_3



Universidad del
Valle

Matemáticas
Discretas II

Introducción

Terminología

Familias de
grafos simples

Grafos bipartitos

Topologías y
subgrafos

Grafos
complementarios

Grafos planos

Representación
de grafos

Conectividad

Isomorfismos

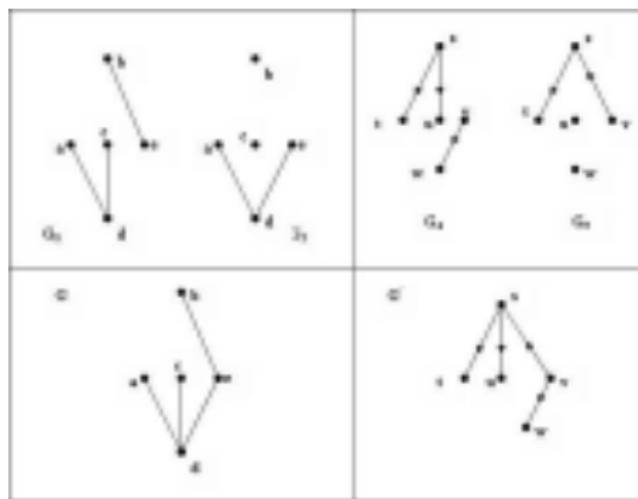
Algoritmos sobre
grafos

Coloreo de grafos

Algoritmo de Dijkstra

Subgrafo recubridor.

Dado un grafo (dirigido o no) $G = (V, E)$, sea $G_1 = (V_1, E_1)$ un subgrafo de G . Si $V_1 = V$, entonces G_1 es un subgrafo recubridor de G .



En esta figura G_1 y G_2 son subgrafos recubridores de G y en el grafo derecho G_4 y G_5 son subgrafos recubridores de G'

Universidad del
Valle

Matemáticas
Discretas II

Introducción

Terminología

Familias de
grafos simples

Grafos bipartitos

Topologías y
subgrafos

Grafos
complementarios

Grafos planos

Representación
de grafos

Conectividad

Isomorfismos

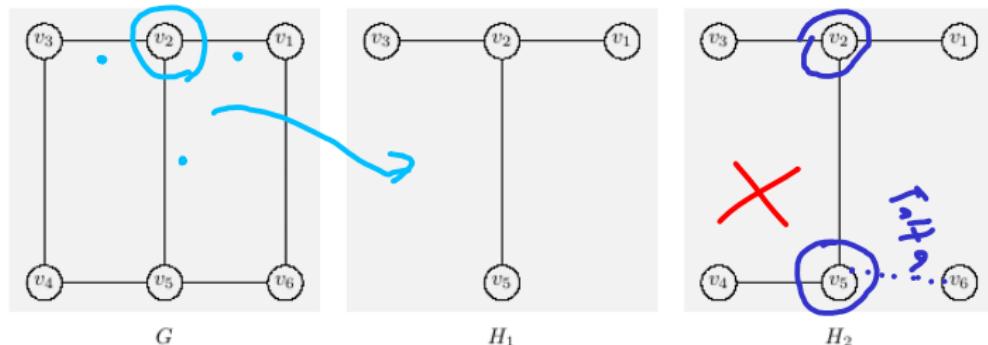
Algoritmos sobre
grafos

Coloreo de grafos

Algoritmo de Dijkstra

Subgrafo inducido

Para cualquier subconjunto W de vértices de un grafo $G = (V, E)$, llamaremos subgrafo inducido por W , y lo notaremos $\langle W \rangle$, al subgrafo de G que se obtiene tomando los vértices de W y las aristas de G que son incidentes con ellos.

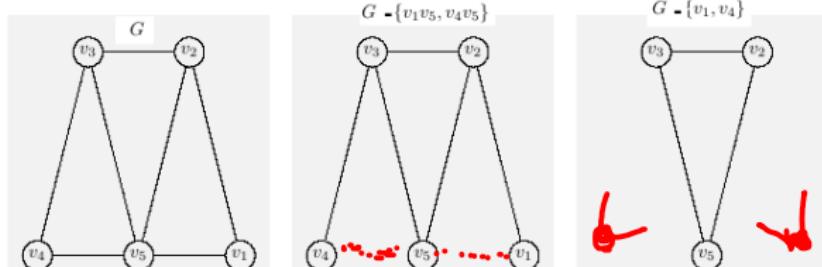


H_1 es un subgrafo inducido ya que $W = \{v_1, v_2, v_3, v_5\}$, el subgrafo H_1 contiene todas las aristas de G incidentes con los vértices de W , pero H_2 no lo es ya que faltan las aristas $\{v_1, v_6\}$, $\{v_3, v_4\}$ y $\{v_5, v_6\}$.

Eliminación de aristas y vértices

- Sea un arista e del grafo $G = (V, E)$, entonces el subgrafo $G - \{e\}$ es el grafo que se obtiene de G eliminando la arista e . En general, escribimos $G - \{e_1, e_2, \dots, e_k\}$ para determinar el subgrafo que se obtiene de G eliminando las aristas $\{e_1, e_2, \dots, e_k\}$ ($V = V_1$).
- Si v es un vértice del grafo G , entonces $G - \{v\}$ es el subgrafo obtenido del G eliminando el vértice v junto con todas las aristas incidentes. En general, se escribe $G - \{v_1, v_2, \dots, v_k\}$ para notar el grafo obtenido eliminando los vértices $\{v_1, v_2, \dots, v_k\}$ en G y todas las aristas incidentes con cualquiera de ellos.

¿Cuál es el grafo inducido sobre G ?



Contenido

Universidad del
Valle

Matemáticas
Discretas II

Introducción

Terminología

Familias de
grafos simples

Grafos bipartitos

Topologías y
subgrafos

Grafos
complementarios

Grafos planos

Representación
de grafos

Conectividad

Isomorfismos

Algoritmos sobre
grafos

Coloreo de grafos

Algoritmo de Dijkstra

- 1 Introducción**
- 2 Terminología**
- 3 Familias de grafos simples**
- 4 Grafos bipartitos**
- 5 Topologías y subgrafos**
- 6 Grafos complementarios**
- 7 Grafos planos**
- 8 Representación de grafos**
- 9 Conectividad**
- 10 Isomorfismos**
- 11 Algoritmos sobre grafos**
 - Coloreo de grafos
 - Algoritmo de Dijkstra

Universidad del
Valle

Matemáticas
Discretas II

Introducción

Terminología

Familias de
grafos simples

Grafos bipartitos

Topologías y
subgrafos

Grafos
complementarios

Grafos planos

Representación
de grafos

Conectividad

Isomorfismos

Algoritmos sobre
grafos

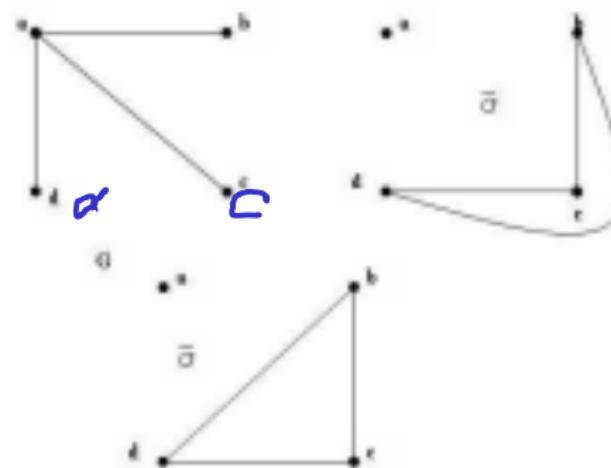
Coloreo de grafos

Algoritmo de Dijkstra

Grafo complementario

Sea G un grafo simple no dirigido sin bucles con n vértices. El complementario de G , se denota como \bar{G} . \bar{G} de un grafo simple G tiene los mismos vértices que G . Dos vértices son adyacentes en \bar{G} si estos dos vértices no son adyacentes en G .

Si $G = K_n$, \bar{G} es un grafo con n vértices y ninguna arista. A este grafo se le llama **grafo nulo**.



Universidad
Valle

Matemáticas
Discretas II

Introducción

Terminología

Familias de
grafos simples

Grafos bipartitos

Topologías y
subgrafos

Grafos
complementarios

Grafos planos

Representación
de grafos

Conectividad

Isomorfismos

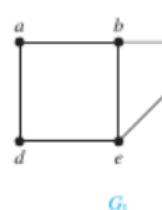
Algoritmos sobre
grafos

Coloreo de grafos

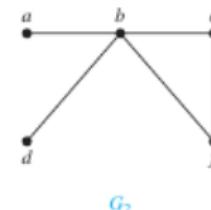
Algoritmo de Dijkstra

Unión de grafos

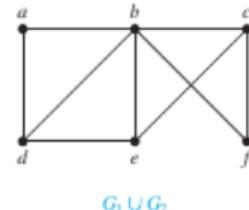
La unión de dos grafos simples $G_1 = (V_1, E_1)$ y $G_2 = (V_2, E_2)$ es el grafo simple con el conjunto de vértices $V_1 \cup V_2$ y el conjunto de aristas $E_1 \cup E_2$. La unión de G_1 y G_2 es denotada por $G_1 \cup G_2$.



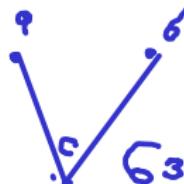
G_1



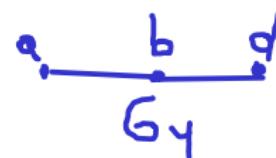
G_2



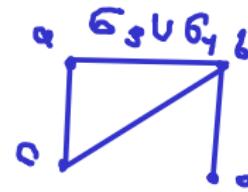
$G_1 \cup G_2$



G_3



G_4



$G_3 \cup G_4$

Grafos complementarios

Universidad del
Valle

Matemáticas
Discretas II

Introducción

Terminología

Familias de
grafos simples

Grafos bipartitos

Topologías y
subgrafos

Grafos
complementarios

Grafos planos

Representación
de grafos

Conectividad

Isomorfismos

Algoritmos sobre
grafos

Coloreo de grafos

Algoritmo de Dijkstra

$$K_n = \{n-1, n-1, \dots, n-1\}$$

Grafos complementarios y K_n

Teorema

Si G es un grafo simple con n vértices, entonces la unión de G y \overline{G} es K_n

Dem// La unión de G y \overline{G} contienen una arista entre cada par de $n-1$ vértices. Por lo tanto, esta unión es K_n .

Ejercicio

Si la secuencia de grado de un grafo simple G es d_1, d_2, \dots, d_n , ¿Cuál es la secuencia de grado de \overline{G} ?

3

$n - 1 - d_n, n - 1 - d_{n-1}, \dots, n - 1 - d_2, n - 1 - d_1$

Problema

6

Si el grafo simple G tiene v vértices y e aristas, ¿Cuántas aristas tiene \overline{G} ?

$$\cancel{\text{#} \text{ } e_{K_n} = e}$$

$$2e = \sum_{v \in V} \delta(v)$$

$$2e = \sum_{i=1}^n (n-1) \rightarrow e = \frac{n(n-1)}{2}$$

$$\overline{G} \leftarrow e'' = \underbrace{\frac{n(n-1)}{2}}_{K_n} - e \rightarrow G$$

Contenido

Universidad del
Valle

Matemáticas
Discretas II

Introducción

Terminología

Familias de
grafos simples

Grafos bipartitos

Topologías y
subgrafos

Grafos
complementarios

Grafos planos

Representación
de grafos

Conectividad

Isomorfismos

Algoritmos sobre
grafos

Coloreo de grafos

Algoritmo de Dijkstra

- 1 Introducción**
- 2 Terminología**
- 3 Familias de grafos simples**
- 4 Grafos bipartitos**
- 5 Topologías y subgrafos**
- 6 Grafos complementarios**
- 7 Grafos planos**
- 8 Representación de grafos**
- 9 Conectividad**
- 10 Isomorfismos**
- 11 Algoritmos sobre grafos**
 - Coloreo de grafos
 - Algoritmo de Dijkstra

Universidad del
Valle

Matemáticas
Discretas II

Introducción

Terminología

Familias de
grafos simples

Grafos bipartitos

Topologías y
subgrafos

Grafos
complementarios

Grafos planos

Representación
de grafos

Conectividad

Isomorfismos

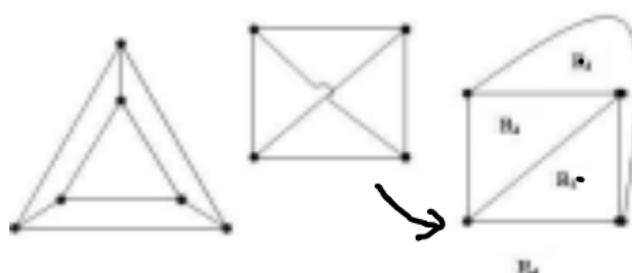
Algoritmos sobre
grafos

Coloreo de grafos

Algoritmo de Dijkstra

Grafo plano.

Un grafo (o multigrafo) G es plano si podemos dibujar G en el plano de modo que sus aristas se intersectan sólo en los vértices de G . Este dibujo se conoce como una inmersión (*embedding*) de G .



Al igual que K_4 también K_1, K_2, K_3 son planos a diferencia de K_5 que no lo es.

$$\delta(v) > 0$$

Teorema

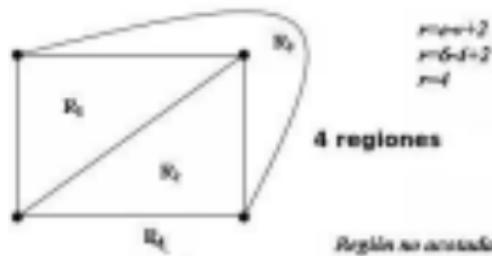
Sea G un grafo simple conexo con e aristas y v vértices. Sea r el número de regiones de una representación plana de G . Entonces, $r = e - v + 2$

Observación

Sea $G = (V, E)$ un grafo plano sin bucles con $|V| = v$, $|E| = e \geq 2$, y r regiones, entonces $3r \leq 2e$ y $e \leq 3v - 6$

Ejemplo. El grafo K_4 , tiene $|V| = 4$, $|E| = 6 > 2$, además cumple con las dos condiciones: (ver grafo)

- $3r \leq 12 \rightarrow r \leq 4$
 - $e \leq 3(4) - 6$, $e \leq 6$, $6 \leq 6$
- $r = 6 - 4 + 2$, $r = 4$ (Regiones)
 $3r \leq 2e \quad \dots \quad 12 \leq 12$
 $6 \leq 12 - 6 \quad \dots \quad 6 \leq 6$



Universidad del
Valle

Matemáticas
Discretas II

Introducción

Terminología

Familias de
grafos simples

Grafos bipartitos

Topologías y
subgrafos

Grafos
complementarios

Grafos planos

Representación
de grafos

Conectividad

Isomorfismos

Algoritmos sobre
grafos

Coloreo de grafos

Algoritmo de Dijkstra

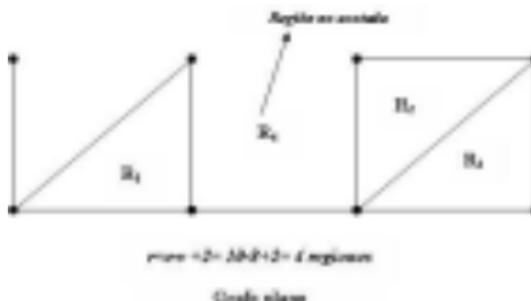
Ejemplo. Sea el grafo K_5 , tiene $|V| = 5$, y $2e = 4 \cdot 5$, $e = 10$ no cumple con la condición:

■ $e \leq 3(5) - 6$, $e \leq 9$, $10 \leq 9$

$$r = e - v + 2 = 7$$

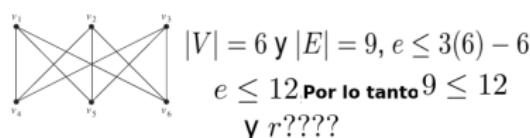
Ejemplo. Cálculo de las regiones en un grafo planar. $3r \leq 2e$

$$21 \leq 20$$



$$3e \leq 6r - 6$$

$$30 \leq 42 - 6$$



$$30 \leq 36$$

¿Es $K_{3,3}$ plano?

Universidad del
Valle

Matemáticas
Discretas II

Introducción

Terminología

Familias de
grafos simples

Grafos bipartitos

Topologías y
subgrafos

Grafos
complementarios

Grafos planos

Representación
de grafos

Conectividad

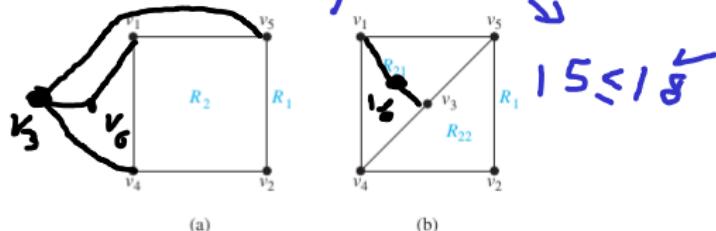
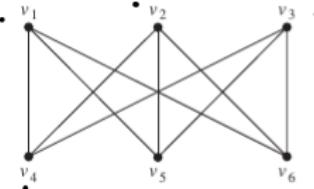
Isomorfismos

Algoritmos sobre
grafos

Coloreo de grafos

Algoritmo de Dijkstra

$$Y = E - V + Z = 9 - 6 + 2 = 5, \quad 3V \leq 2E \quad \checkmark$$



$$3C \leq 6r - 6 \rightarrow 27 \leq 24 \quad \text{X}$$

- Sea v_1, v_4, v_5, v_2 un subgrafo con dos regiones R_1 y R_2 que forman una curva cerrada, entonces, el vértice v_3 estaría en R_1 o en R_2 . Cuando v_3 está en R_2 al interior de la curva cerrada, las aristas $\{v_3, v_4\}$ y $\{v_3, v_5\}$ separan a R_2 en dos regiones, R_{21} y R_{22} , sigue siendo plano.
- Entonces no hay manera de colocar el vértice v_6 sin cruzar, si v_6 está en R_1 , entonces el lado $\{v_3, v_6\}$ no se puede dibujar sin cruzar. Si v_6 está en R_{21} , entonces $\{v_2, v_6\}$ no se puede ser dibujado sin cruzar. Si v_6 está en R_{22} , entonces $\{v_1, v_6\}$ no puede dibujar sin cruzar.
- De manera similar cuando $v_3 \in R_1$.

Contenido

Universidad del
Valle

Matemáticas
Discretas II

Introducción

Terminología

Familias de
grafos simples

Grafos bipartitos

Topologías y
subgrafos

Grafos
complementarios

Grafos planos

Representación
de grafos

Conectividad

Isomorfismos

Algoritmos sobre
grafos

Coloreo de grafos

Algoritmo de Dijkstra

- 1 Introducción**
- 2 Terminología**
- 3 Familias de grafos simples**
- 4 Grafos bipartitos**
- 5 Topologías y subgrafos**
- 6 Grafos complementarios**
- 7 Grafos planos**
- 8 Representación de grafos**
- 9 Conectividad**
- 10 Isomorfismos**
- 11 Algoritmos sobre grafos**
 - Coloreo de grafos
 - Algoritmo de Dijkstra

Universidad
Valle

Matemáticas
Discretas II

Introducción

Terminología

Familias de
grafos simples

Grafos bipartitos

Topologías y
subgrafos

Grafos
complementarios

Grafos planos

Representación
de grafos

Conectividad

Isomorfismos

Algoritmos sobre
grafos

Coloreo de grafos

Algoritmo de Dijkstra

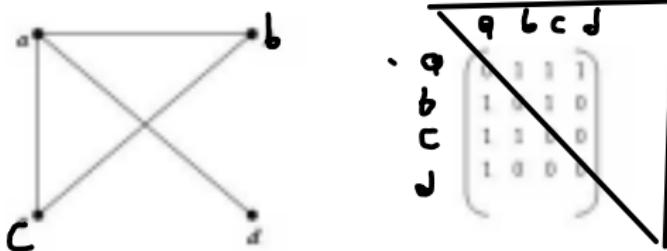
Matriz de Adyacencia

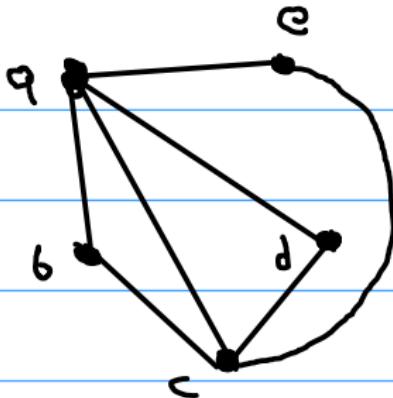
Sea $G = (V, E)$ un grafo simple con $|V| = n$, la matriz de adyacencia es la **matriz booleana** de $n \times n$ tal que:

$$a_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{si } \{v_i, v_j\} \text{ es una arista de } G, \\ 0 & \text{en caso contrario} \end{cases}$$

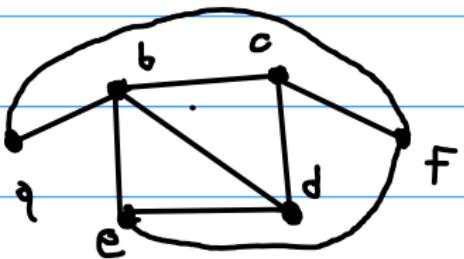
- hay $n!$ matrices de adyacencia distintas para un grafo de n vértices.
- todos los grafos no dirigidos, incluyendo multigrafos, pseudografos, tienen matrices simétricas

Ejemplo. La matriz de adyacencia de un grafo simple





	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>
<i>a</i>	0	1	1	1	1	0
<i>b</i>	1	0	1	0	0	0
<i>c</i>	1	1	0	1	1	0
<i>d</i>	1	0	1	0	0	0
<i>e</i>	1	0	1	0	0	0
<i>f</i>	0	0	0	0	0	1



	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>
<i>a</i>	0	1	0	0	0	1
<i>b</i>	1	0	1	1	1	0
<i>c</i>	0	1	0	1	0	1
<i>d</i>	0	1	1	0	1	0
<i>e</i>	0	1	0	1	0	1
<i>f</i>	1	0	1	0	1	0

Universidad del
Valle

Matemáticas
Discretas II

Introducción

Terminología

Familias de
grafos simples

Grafos bipartitos

Topologías y
subgrafos

Grafos
complementarios

Grafos planos

Representación
de grafos

Conectividad

Isomorfismos

Algoritmos sobre
grafos

Coloreo de grafos

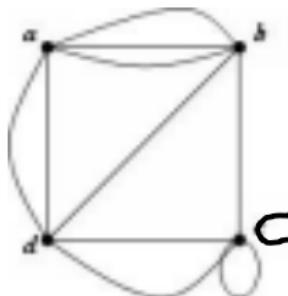
Algoritmo de Dijkstra

La matriz de adyacencia de un grafo no dirigido

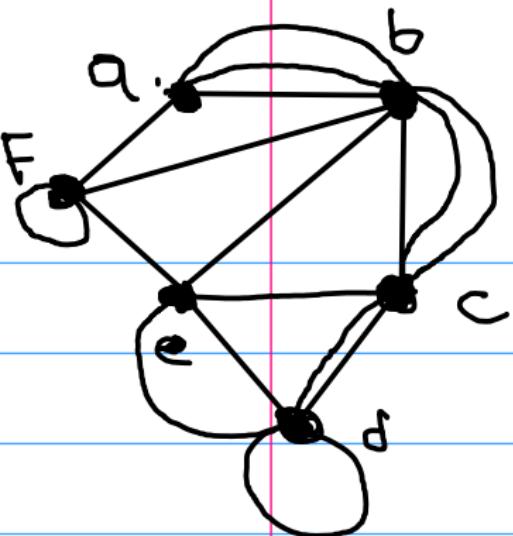
La matriz de adyacencia de un grafo no dirigido con bucles y con aristas paralelas tiene las siguientes características:

- Un bucle en el vértice a_i se representa por medio de un 1 en la posición (i, i) de la matriz.
- Cuando hay aristas múltiples, la matriz de adyacencia deja de ser booleana, ya que el elemento de la posición (i, j) es igual al número de aristas asociadas a $\{v_i, v_j\}$

Ejemplo. Matriz de adyacencia de un **pseudografo**.



$$\begin{array}{c|cccc} & a & b & c & d \\ \hline a & 0 & 3 & 0 & 2 \\ b & 3 & 0 & 1 & 1 \\ c & 0 & 1 & 1 & 2 \\ d & 2 & 1 & 2 & 0 \end{array}$$



	a	b	c	d	e	f
a	0	3	0	0	0	1
b	3	0	3	0	1	1
c	0	3	0	2	1	0
d	0	0	2	1	2	0
e	0	1	1	1	0	1
f	1	1	0	0	1	1

Universidad del
Valle

Matemáticas
Discretas II

Introducción

Terminología

Familias de
grafos simples

Grafos bipartitos

Topologías y
subgrafos

Grafos
complementarios

Grafos planos

Representación
de grafos

Conectividad

Isomorfismos

Algoritmos sobre
grafos

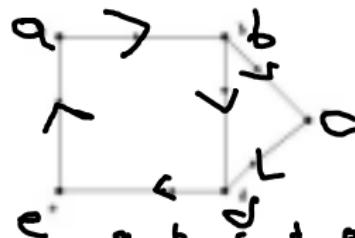
Coloreo de grafos

Algoritmo de Dijkstra

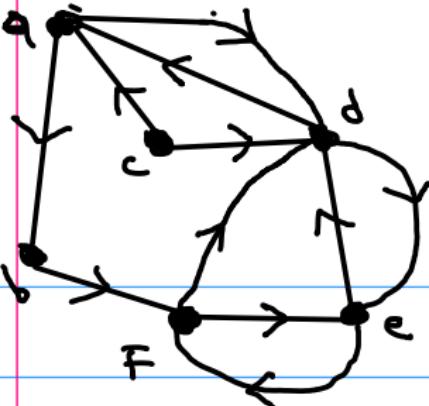
Matriz de adyacencia de un grafo dirigido

La Matriz de adyacencia de un grafo dirigido $G = (V, E)$ tiene 1 en la posición (i, j) si hay arista de v_i a v_j , siendo v_1, v_2, \dots, v_n un listado arbitrario de los vértices del grafo dirigido. entonces:

$$a_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{si } \{v_i, v_j\} \text{ es una arista de } G, \\ 0 & \text{en caso contrario} \end{cases}$$



$$M_R = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$



	a	b	c	d	e	f
a	0	1	0	1	0	0
b	0	0	0	0	0	1
c	1	0	0	1	0	0
d	1	0	0	0	1	0
e	0	0	0	2	0	1
f	0	0	0	1	1	0

En caso de tener multigrafo dirigido se cuenta el ciclo por 1 y se cuenta las aristas que son paralelas del mismo modo que en grafos no dirigidos

Universidad del
Valle

Matemáticas
Discretas II

Introducción

Terminología

Familias de
grafos simples

Grafos bipartitos

Topologías y
subgrafos

Grafos
complementarios

Grafos planos

Representación
de grafos

Conectividad

Isomorfismos

Algoritmos sobre
grafos

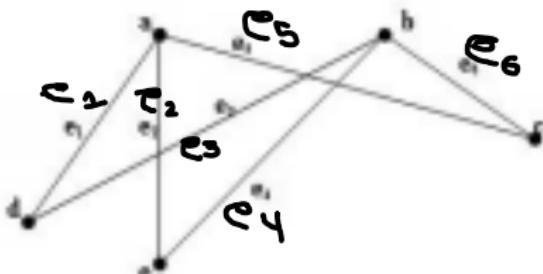
Coloreo de grafos

Algoritmo de Dijkstra

Matriz de incidencia

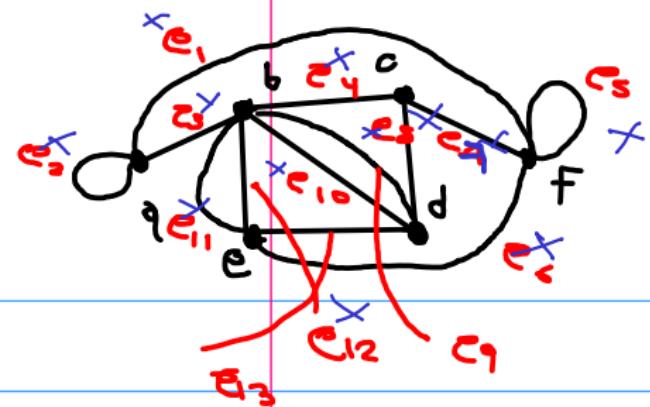
Sea $G = (V, E)$ un grafo no dirigido, supongamos que v_1, v_2, \dots, v_n son los vértices y e_1, e_2, \dots, e_m las aristas de G . Entonces, la matriz de incidencia con respecto a este ordenamiento de V y E es la matriz $M = [m_{ij}]$ de $n \times m$ dada por:

$$m_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{si la arista } \{e_j\} \text{ es incidente con } \{v_i\} \\ 0 & \text{en caso contrario} \end{cases}$$



	v_1	v_2	v_3	v_4	v_5	v_6
a	1	1	0	0	1	0
b	0	0	1	1	0	1
c	0	0	0	0	1	1
d	1	0	1	0	0	0
e	0	1	0	1	0	0

2 2 2 2 2 2



	G_1	G_2	G_3	G_4	G_5	G_6	G_7	G_8	G_9	G_{10}	G_{11}	G_{12}	G_{13}
a	1	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
b	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	0
c	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0
d	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1
e	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1
f	1	0	0	0	2	1	4	0	0	0	0	0	0

Contenido

Universidad del
Valle

Matemáticas
Discretas II

Introducción

Terminología

Familias de
grafos simples

Grafos bipartitos

Topologías y
subgrafos

Grafos
complementarios

Grafos planos

Representación
de grafos

Conectividad

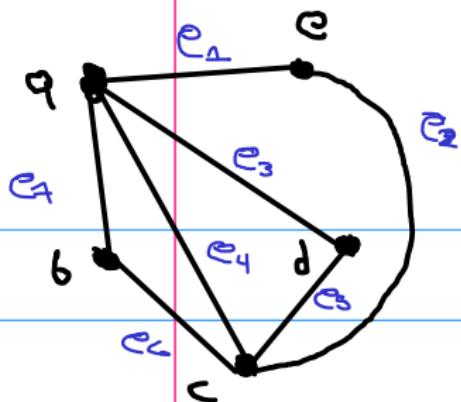
Isomorfismos

Algoritmos sobre
grafos

Coloreo de grafos
Algoritmo de Dijkstra

- 1 Introducción**
- 2 Terminología**
- 3 Familias de grafos simples**
- 4 Grafos bipartitos**
- 5 Topologías y subgrafos**
- 6 Grafos complementarios**
- 7 Grafos planos**
- 8 Representación de grafos**
- 9 Conectividad**
- 10 Isomorfismos**
- 11 Algoritmos sobre grafos**
 - Coloreo de grafos
 - Algoritmo de Dijkstra

Listas de adyacencia



$\{ (q, e), (e, c), (q, d), (q, c), (d, c), (b, c), (q, b) \}$

Universidad del
Valle

Matemáticas
Discretas II

Introducción

Terminología

Familias de
grafos simples

Grafos bipartitos

Topologías y
subgrafos

Grafos
complementarios

Grafos planos

Representación
de grafos

Conectividad

Isomorfismos

Algoritmos sobre
grafos

Coloreo de grafos

Algoritmo de Dijkstra

Teorema

Sea $M_R = (m_{ij})$ la matriz de adyacencia de un grafo.

$$M_R \otimes M_R = M_R^2$$

$$M_R \otimes M_R \otimes M_R = M_R^3$$

:

$$\underbrace{M_R \otimes M_R \otimes M_R \dots \otimes M_R}_n = M_R^n$$

- \otimes es el producto booleano.
- 1 en M_R^n en un grafo dirigido significa que se puede ir del nodo i al j recorriendo exactamente n aristas en el grado.

Universidad
Valle

Matemáticas
Discretas II

Introducción

Terminología

Familias de
grafo s simples

Grafo bipartitos

Topologías y
subgrafos

Grafo s
complementarios

Grafo s planos

Representación
de grafo s

Conectividad

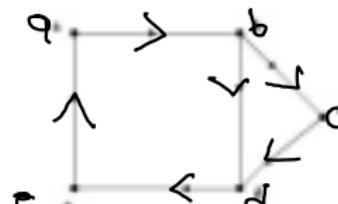
Isomorfismos

Algoritmos sobre
grafo s

Coloreo de grafo s

Algoritmo de Dijkstra

Ejemplo Sea el siguiente grafo y su matriz de adyacencia.

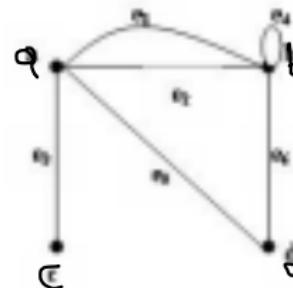


$$M_R = \begin{pmatrix} a & b & c & d & e \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ b & 0 & 1 & 1 & 0 \\ c & 0 & 0 & 1 & 0 \\ d & 0 & 0 & 0 & 1 \\ e & 1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$M_R^2 = \begin{pmatrix} a & b & c & d & e \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ b & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ c & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ d & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ e & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

El 1 en $M_R^2(1, 3)$ significa que hay un camino de longitud 2 de a -c: a,b,c.

Ejemplo. Sea el siguiente pseudografo obtener la cuantía de los caminos de longitud 2.



$$M_R = \begin{pmatrix} 0 & 2 & 1 & 1 \\ 2 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$M_R^2 = \begin{pmatrix} 6 & 3 & 0 & 2 \\ 3 & 6 & 2 & 3 \\ 0 & 2 & 1 & 1 \\ 2 & 3 & 1 & 2 \end{pmatrix}$$

El 6 significa que hay 6 caminos de longitud 2 de a-a:

Universidad del
Valle

Matemáticas
Discretas II

Introducción

Terminología

Familias de
grafos simples

Grafos bipartitos

Topologías y
subgrafos

Grafos
complementarios

Grafos planos

Representación
de grafos

Conectividad

Isomorfismos

Algoritmos sobre
grafos

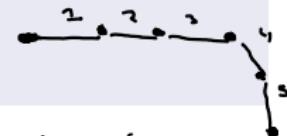
Coloreo de grafos

Algoritmo de Dijkstra

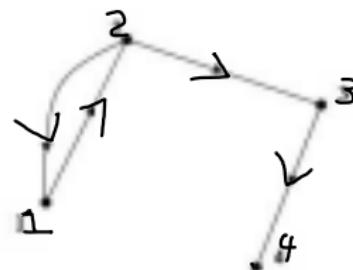
Matriz de Conectividad

La matriz de conectividad se define como:

$$M_R^\infty = M_R \vee M_R^2 \vee M_R^3 \dots \vee M_R^n$$



Ejemplo Obtener la matriz de conectividad para el siguiente grafo.



$$M_R = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$M_R^\infty = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Universidad del
Valle

Matemáticas
Discretas II

Introducción

Terminología

Familias de
grafos simples

Grafos bipartitos

Topologías y
subgrafos

Grafos
complementarios

Grafos planos

Representación
de grafos

Conectividad

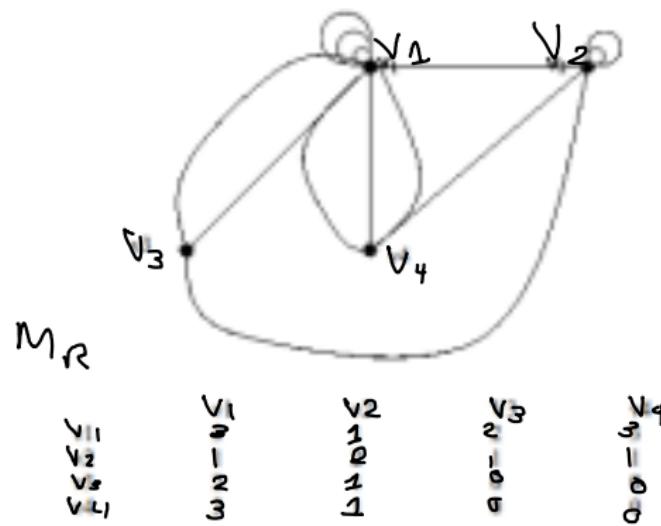
Isomorfismos

Algoritmos sobre
grafos

Coloreo de grafos

Algoritmo de Dijkstra

Matrices de Pseudografo



Universidad del
Valle

Matemáticas
Discretas II

Introducción

Terminología

Familias de
grafos simples

Grafos bipartitos

Topologías y
subgrafos

Grafos
complementarios

Grafos planos

Representación
de grafos

Conectividad

Isomorfismos

Algoritmos sobre
grafos

Coloreo de grafos

Algoritmo de Dijkstra

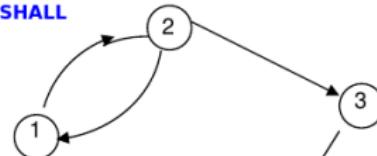
$$W^0 = M_R$$

CONECTIVIDAD POR MARSHALL

$$W_{ij}^k = W_{ij}^0 \vee (W_{ij}^0 \wedge W_{1j}^0) \quad i, j \geq 1, k \leq n$$

$$W^k = W^{k-1} \vee (W^{k-1}_{ik} \wedge W^{k-1}_{kj})$$

$$W^n = M_R^\infty$$



$$M_R = W^0$$

$$\begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$W^1$$

$$\begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$W^2$$

$$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$W^3$$

$$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$W^4$$

$$\boxed{\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}}$$

```
SUBROUTINE WARSHALL (M)
FOR K := 1 to N
  FOR I := 1 to N
    FOR J := 1 to N
      M[I,J] := M[I,J] OR M[I,K] AND M[K,J]
END SUBROUTINE;
```

$$W^k = W^{k-1} \vee (W_{ik}^{k-1} \wedge W_{kj}^{k-1})$$

$$W^0 \quad \stackrel{k=1}{\overbrace{W_{11}^0 = W_{11}^0 \vee (W_{11}^0 \wedge W_{11}^0)}}$$

$$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$W'_{12} = W_{12}^0 \vee (W_{11}^0 \wedge W_{12}^0)$$

$$W_{13} \quad W'_{13} = W_{13}^0 \vee (W_{11}^0 \wedge W_{13}^0)$$

$$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad W'_{14} = W_{14}^0 \vee (W_{11}^0 \wedge W_{14}^0)$$

$$W'_{21} = W_{21}^0 \vee (W_{21}^0 \wedge W_{12}^0)$$

$$W'_{22} = W_{22}^0 \vee (W_{21}^0 \wedge W_{12}^0)$$

0 \vee (1 \wedge 1)

$$W_{23} = W_{23}^0 \vee (W_{21}^0 \wedge W_{13}^0)$$

$$W_{24} = W_{24}^0 \vee (W_{21}^0 \wedge W_{14}^0)$$

0 \vee (1 \wedge 0)

:

Universidad del
Valle

Matemáticas
Discretas II

Introducción

Terminología

Familias de
grafos simples

Grafos bipartitos

Topologías y
subgrafos

Grafos
complementarios

Grafos planos

Representación
de grafos

Conectividad

Isomorfismos

Algoritmos sobre
grafos

Coloreo de grafos

Algoritmo de Dijkstra

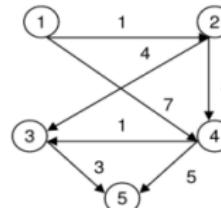
$$W_{i2}^1 \wedge W_{2j}^1 \quad \text{WARSHALL PARA PESOS MÍNIMOS}$$

$$\begin{aligned} W^1 &= W^0 \vee (W^0_{i1} \wedge W^0_{1j}) \quad i,j \geq 1, k \leq n \\ W^k &= W^{k-1} \vee (W^{k-1}_{ik} \wedge W^{k-1}_{kj}) \end{aligned}$$

$$W^n = M_R^\infty$$

$$W^0 = W^1 = \begin{pmatrix} 0 & 1 & \infty & 7 & \infty \\ \infty & 0 & 4 & 2 & \infty \\ \infty & \infty & 0 & \infty & 3 \\ \infty & \infty & 1 & \infty & 5 \\ \infty & \infty & \infty & \infty & 0 \end{pmatrix}$$

$$\begin{aligned} \infty \wedge n &= \infty \\ \infty \vee n &= n \\ n_1 \wedge n_2 &= n_1 + n_2 \\ n_1 \vee n_2 &= \text{Mín}(n_1, n_2) \end{aligned}$$



$$W_{i2}^1 \wedge W_{2j}^1$$

$$\begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ \infty \\ \infty \\ \infty \end{pmatrix} \begin{bmatrix} \infty & 0 & 4 & 2 & \infty \end{bmatrix} = \begin{pmatrix} \infty & 0 & 5 & 3 & \infty \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \infty & \infty & 0 & 0 & 0 \\ \infty & \infty & 0 & 0 & 0 \\ \infty & \infty & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$W^3 = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 5 & 3 & 8 \\ \infty & 0 & 4 & 2 & 7 \\ \infty & \infty & 0 & \infty & 3 \\ \infty & \infty & 1 & \infty & 4 \\ \infty & \infty & \infty & \infty & 0 \end{pmatrix}$$

$$W^2 = \begin{pmatrix} 0 & 1 & \infty & 7 & \infty \\ \infty & 0 & 4 & 2 & \infty \\ \infty & \infty & 0 & \infty & 3 \\ \infty & \infty & 1 & \infty & 5 \\ \infty & \infty & \infty & \infty & 0 \end{pmatrix} \vee \begin{pmatrix} \infty & 0 & 5 & 3 & \infty \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \infty & \infty & 0 & 0 & 0 \\ \infty & \infty & 0 & 0 & 0 \\ \infty & \infty & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$W^2 = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 5 & 3 & \infty \\ \infty & 0 & 4 & 2 & \infty \\ \infty & \infty & 0 & \infty & 3 \\ \infty & \infty & 1 & \infty & 5 \\ \infty & \infty & \infty & \infty & 0 \end{pmatrix}$$

$$W^4 = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 4 & 3 & 7 \\ \infty & 0 & 3 & 2 & 6 \\ \infty & \infty & 0 & \infty & 3 \\ \infty & \infty & 1 & \infty & 4 \\ \infty & \infty & \infty & \infty & 0 \end{pmatrix}$$

$$W^5 = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 4 & 3 & 7 \\ \infty & 0 & 3 & 2 & 6 \\ \infty & \infty & 0 & \infty & 3 \\ \infty & \infty & 1 & 0 & 4 \\ \infty & \infty & \infty & \infty & 0 \end{pmatrix}$$

Conectividad

Universidad del
Valle

Matemáticas
Discretas II

Introducción

Terminología

Familias de
grafos simples

Grafos bipartitos

Topologías y
subgrafos

Grafos
complementarios

Grafos planos

Representación
de grafos

Conectividad

Isomorfismos

Algoritmos sobre
grafos

Coloreo de grafos

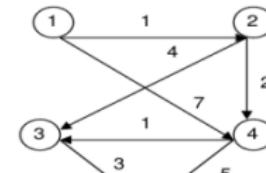
Algoritmo de Dijkstra

$$W^0 = W^1$$

WARSHALL CON PESOS MÍNIMOS Y TRAYECTORIAS

$$M_R = \begin{pmatrix} 0 & 1 & \infty & 7 & \infty \\ \infty & 0 & 4 & 2 & \infty \\ \infty & \infty & 0 & \infty & 3 \\ \infty & \infty & 1 & \infty & 5 \\ \infty & \infty & \infty & \infty & 0 \end{pmatrix}$$

$$P^0 = P^1 = \begin{pmatrix} 0 & 2 & 0 & 4 & 0 \\ 0 & 0 & 3 & 4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 5 \\ 0 & 0 & 3 & 0 & 5 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$



$$W^2 = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 5^* & 3^* & \infty \\ \infty & 0 & 4 & 2 & \infty \\ \infty & \infty & 0 & \infty & 3 \\ \infty & \infty & 1 & \infty & 5 \\ \infty & \infty & \infty & \infty & 0 \end{pmatrix}$$

$$P^2 = \begin{pmatrix} 0 & 2 & 2 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 3 & 4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 5 \\ 0 & 0 & 3 & 0 & 5 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$W^3 = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 5 & 3 & 8^* \\ \infty & 0 & 4 & 2 & 7^* \\ \infty & \infty & 0 & \infty & 3 \\ \infty & \infty & 1 & \infty & 4^* \\ \infty & \infty & \infty & \infty & 0 \end{pmatrix}$$

$$P^3 = \begin{pmatrix} 0 & 2 & 2 & 2 & 2 \\ 0 & 0 & 3 & 4 & 4 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 5 \\ 0 & 0 & 3 & 0 & 3 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$W^4 = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 4^* & 3 & 7^* \\ \infty & 0 & 3^* & 2 & 6^* \\ \infty & \infty & 0 & \infty & 3 \\ \infty & \infty & 1 & \infty & 4 \\ \infty & \infty & \infty & \infty & 0 \end{pmatrix}$$

$$P^4 = \begin{pmatrix} 0 & 2 & 2 & 2 & 2 \\ 0 & 0 & 4 & 4 & 4 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 5 \\ 0 & 0 & 3 & 0 & 3 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

como $W^4 = W^5$ entonces $P^4 = P^5$.

$$W^5 = \begin{pmatrix} 7 \\ 6 \\ 3 \\ 4 \\ 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \infty & \infty & 0 & \infty & 0 \end{pmatrix} =$$

$$= \begin{pmatrix} 0 & 1 & 4 & 3 & 7 \\ \infty & 0 & 3 & 2 & 6 \\ \infty & \infty & 0 & \infty & 3 \\ \infty & \infty & 1 & 0 & 4 \\ \infty & \infty & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$



Conectividad

Universidad del
Valle

Matemáticas
Discretas II

Introducción

Terminología

Familias de
grafos simples

Grafos bipartitos

Topologías y
subgrafos

Grafos
complementarios

Grafos planos

Representación
de grafos

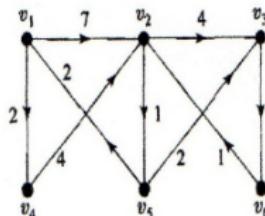
Conectividad

Isomorfismos

Algoritmos sobre
grafos

Coloreo de grafos

Algoritmo de Dijkstra



$$W = W_0 = \begin{bmatrix} \infty & 7 & \infty & 2 & \infty & \infty \\ \infty & \infty & 4 & \infty & 1 & \infty \\ \infty & \infty & \infty & \infty & \infty & 3 \\ \infty & 4 & \infty & \infty & \infty & \infty \\ 2 & \infty & 2 & \infty & \infty & \infty \\ \infty & 1 & \infty & \infty & \infty & \infty \end{bmatrix}, \quad P_0 = \begin{bmatrix} 0 & 2 & 0 & 4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 3 & 0 & 5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 6 \\ 0 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad W_0 \neq W_1$$

$$W_1 = \begin{bmatrix} \infty & 7 & \infty & 2 & \infty & \infty \\ \infty & \infty & 4 & \infty & 1 & \infty \\ \infty & \infty & \infty & \infty & \infty & 3 \\ \infty & 4 & \infty & \infty & \infty & \infty \\ 2 & 9^* & 2 & 4^* & \infty & \infty \\ \infty & 1 & \infty & \infty & \infty & \infty \end{bmatrix}, \quad P_1 = \begin{bmatrix} 0 & 2 & 0 & 4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 3 & 0 & 5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 6 \\ 0 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 3 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad W_2 = \begin{bmatrix} \infty & 7 & 11^* & 2 & 8^* & \infty \\ \infty & \infty & 4 & \infty & 1 & \infty \\ \infty & \infty & \infty & \infty & \infty & 3 \\ \infty & 4 & 8 & \infty & 5 & \infty \\ 2 & 9 & 2 & 4 & 10 & \infty \\ \infty & 1 & 5 & \infty & 2 & 8^* \end{bmatrix}, \quad P_2 = \begin{bmatrix} 0 & 2 & 2 & 4 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 3 & 0 & 5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 6 \\ 0 & 2 & 2 & 0 & 2 & 0 \\ 1 & 1 & 3 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 2 & 2 & 0 & 2 & 0 \end{bmatrix}$$

$$W_3 = \begin{bmatrix} \infty & 7 & 11 & 2 & 8 & 14^* \\ \infty & \infty & 4 & \infty & 1 & 7 \\ \infty & \infty & \infty & \infty & \infty & 3 \\ \infty & 4 & 8 & \infty & 5 & 11^* \\ 2 & 9 & 2 & 4 & 10 & 5 \\ \infty & 1 & 5 & \infty & 2 & 8^* \end{bmatrix}, \quad P_3 = \begin{bmatrix} 0 & 2 & 2 & 4 & 2 & 2 \\ 0 & 0 & 3 & 0 & 5 & 3 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 6 \\ 0 & 2 & 2 & 0 & 2 & 2 \\ 1 & 1 & 3 & 1 & 1 & 3 \\ 0 & 2 & 2 & 0 & 2 & 2 \end{bmatrix}, \quad W_4 = \begin{bmatrix} \infty & 6^* & 10^* & 2 & 7^* & 13^* \\ \infty & \infty & 4 & \infty & 1 & 7 \\ \infty & \infty & \infty & \infty & \infty & 3 \\ \infty & 4 & 8 & \infty & 5 & 11 \\ 2 & 8^* & 2 & 4 & 9^* & 5 \\ \infty & 1 & 5 & \infty & 2 & 8 \end{bmatrix}, \quad P_4 = \begin{bmatrix} 0 & 4 & 4 & 4 & 4 & 4 \\ 0 & 0 & 3 & 0 & 5 & 3 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 6 \\ 0 & 2 & 2 & 0 & 2 & 2 \\ 1 & 1 & 3 & 1 & 1 & 3 \\ 0 & 2 & 2 & 0 & 2 & 2 \end{bmatrix}$$

$$W_5 = \begin{bmatrix} 9^* & 6 & 9^* & 2 & 7 & 12^* \\ 3^* & 9^* & 3^* & 5 & 1 & 6^* \\ \infty & \infty & \infty & \infty & \infty & 3 \\ 7^* & 4 & 7^* & 9 & 5 & 10^* \\ 2 & 8 & 2 & 4 & 9 & 5 \\ 4^* & 1 & 4^* & 6^* & 2 & 7^* \end{bmatrix}, \quad P_5 = \begin{bmatrix} 4 & 4 & 4 & 4 & 4 & 4 \\ 5 & 5 & 5 & 5 & 5 & 5 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 6 \\ 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 \\ 1 & 1 & 3 & 1 & 1 & 3 \\ 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 \end{bmatrix}, \quad W^* = W_6 = \begin{bmatrix} 9 & 6 & 9 & 2 & 7 & 12 \\ 3 & 7^* & 3 & 5 & 1 & 6 \\ 7^* & 4 & 7^* & 9^* & 5^* & 3 \\ 7 & 4 & 7 & 9 & 5 & 10 \\ 2 & 6^* & 2 & 4 & 7^* & 5 \\ 4 & 1 & 4 & 6 & 2 & 7 \end{bmatrix}, \quad P^* = P_6 = \begin{bmatrix} 4 & 4 & 4 & 4 & 4 & 4 \\ 5 & 5 & 5 & 5 & 5 & 5 \\ 6 & 6 & 6 & 6 & 6 & 6 \\ 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 \\ 1 & 3 & 3 & 1 & 3 & 3 \\ 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 \end{bmatrix}$$

Conectividad

Universidad del
Valle

Matemáticas
Discretas II

Introducción

Terminología

Familias de
grafos simples

Grafos bipartitos

Topologías y
subgrafos

Grafos
complementarios

Grafos planos

Representación
de grafos

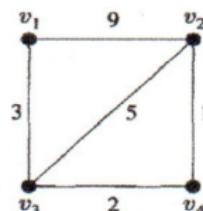
Conectividad

Isomorfismos

Algoritmos sobre
grafos

Coloreo de grafos

Algoritmo de Dijkstra



$$W_0 = W_1 = \begin{bmatrix} 0 & 9 & 3 & \infty \\ 9 & 0 & 5 & 1 \\ 3 & 5 & 0 & 2 \\ \infty & 1 & 2 & 0 \end{bmatrix}$$

$$W_2 = \begin{bmatrix} 0 & 9 & 3 & 10^* \\ 9 & 0 & 5 & 1 \\ 3 & 5 & 0 & 2 \\ 10^* & 1 & 2 & 0 \end{bmatrix}$$

$$W_3 = \begin{bmatrix} 0 & 8^* & 3 & 5^* \\ 8^* & 0 & 5 & 1 \\ 3 & 5 & 0 & 2 \\ 5^* & 1 & 2 & 0 \end{bmatrix}$$

$$W^* = W_4 = \begin{bmatrix} 0 & 6^* & 3 & 5 \\ 6^* & 0 & 3^* & 1 \\ 3 & 3^* & 0 & 2 \\ 5 & 1 & 2 & 0 \end{bmatrix}$$

$$P_0 = P_1 = \begin{bmatrix} 0 & 2 & 3 & 0 \\ 1 & 0 & 3 & 4 \\ 1 & 2 & 0 & 4 \\ 0 & 2 & 3 & 0 \end{bmatrix}$$

$$P_2 = \begin{bmatrix} 0 & 2 & 3 & 2 \\ 1 & 0 & 3 & 4 \\ 1 & 2 & 0 & 4 \\ 2 & 2 & 3 & 0 \end{bmatrix}$$

$$P_3 = \begin{bmatrix} 0 & 3 & 3 & 3 \\ 3 & 0 & 3 & 4 \\ 1 & 2 & 0 & 4 \\ 3 & 2 & 3 & 0 \end{bmatrix}$$

$$P^* = P_4 = \begin{bmatrix} 0 & 3 & 3 & 3 \\ 4 & 0 & 4 & 4 \\ 1 & 4 & 0 & 4 \\ 3 & 2 & 3 & 0 \end{bmatrix}$$

Universidad del
Valle

Matemáticas
Discretas II

Introducción

Terminología

Familias de
grafos simples

Grafos bipartitos

Topologías y
subgrafos

Grafos
complementarios

Grafos planos

Representación
de grafos

Conectividad

Isomorfismos

Algoritmos sobre
grafos

Coloreo de grafos

Algoritmo de Dijkstra

Camino

Es una trayectoria que comienza en un vértice v_0 y termina en un vértice v_n donde se pueden repetir aristas y vértices. Un camino se puede representar como una sucesión de vértices $v_0, v_1 \dots v_{n-1}, v_n$ o como una sucesión de aristas

$$(v_0, v_1), (v_1, v_2) \dots (v_{n-1}, v_n)$$

Camino simple

Es un camino que NO repite aristas.

Camino cerrado o circuito

Es un camino que comienza y termina en el mismo vértice y puede repetir aristas y vértices.

Círculo simple

Es un camino cerrado en el que no se pueden repetir aristas.

Universidad del
Valle

Matemáticas
Discretas II

Introducción

Terminología

Familias de
grafos simples

Grafo bipartitos

Topologías y
subgrafos

Grafos
complementarios

Grafos planos

Representación
de grafos

Conectividad

Isomorfismos

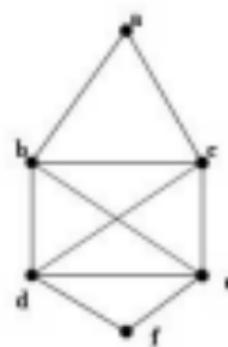
Algoritmos sobre
grafos

Coloreo de grafos

Algoritmo de Dijkstra

Longitud de un camino

Es el número de aristas que recorre el camino. Un camino de longitud n debe tener $n + 1$ vértices. Para el siguiente grafo:



- Un camino simple de longitud 4 que empiece en b: **b,a,c,e,f**
- Un camino cerrado de longitud 5 que inicie en f: **f,d,c,d,e,f**
- Un camino de longitud 5 de d-c: **d,b,c,b,c,d**
- Un circuito simple de longitud 4 que empiece en c: **c,b,d,e,c**

Universidad del
Valle

Matemáticas
Discretas II

Introducción

Terminología

Familias de
grafos simples

Grafos bipartitos

Topologías y
subgrafos

Grafos
complementarios

Grafos planos

Representación
de grafos

Conectividad

Isomorfismos

Algoritmos sobre
grafos

Coloreo de grafos

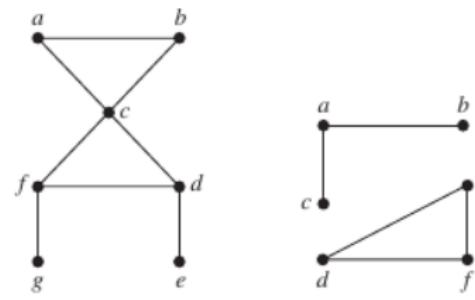
Algoritmo de Dijkstra

Grafo conexo

Un grafo $G = (V, E)$ no dirigido es conexo si para cualquiera $a, b \in V$, existe un camino o trayectoria de cualquier longitud.



G_1 es conexo y G_2 no es conexo



G_1

G_2



Universidad del
Valle

Matemáticas
Discretas II

Introducción

Terminología

Familias de
grafo s simples

Grafo bipartitos

Topologías y
subgrafo s

Grafo s
complementarios

Grafo s planos

Representación
de grafo s

Conectividad

Isomorfismos

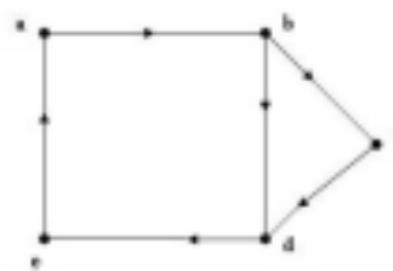
Algoritmo s sobre
grafo s

Coloreo de grafo s

Algoritmo de Dijkstra

Débilmente conexo

Se dice que un grafo dirigido es *débilmente conexo* si hay un camino entre cada dos vértices del grafo no dirigido subyacente.



a-b: a,b

b-a: b,d,e,a

a-e: a,b,d,e

e-a: e,a

a-c: a,b,c

c-a: c,d,e,a

a-d: a,b,c,d

d-a: d,e,a

c-b: c,d,b

b-c: b,c

Por lo tanto, también es débilmente conexo. si obtenemos el grafo no dirigido subyacente encontramos que existe un camino para cualquiera dos vértices.

Universidad del
Valle

Matemáticas
Discretas II

Introducción

Terminología

Familias de
grafos simples

Grafos bipartitos

Topologías y
subgrafos

Grafos
complementarios

Grafos planos

Representación
de grafos

Conectividad

Isomorfismos

Algoritmos sobre
grafos

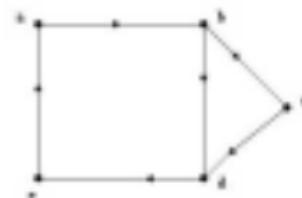
Coloreo de grafos

Algoritmo de Dijkstra

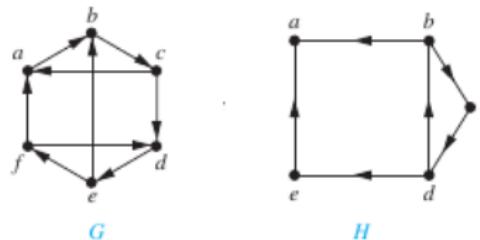
Grafo fuertemente conexo

Conexidad en grafos dirigidos

Se dice que un grafo dirigido es *fuertemente conexo* si hay un camino de a a b y un camino de b a a para cualquiera dos vértices a y b en el grafo.



H es débilmente conexo y G es fuertemente conexo



Universidad del
Valle

Matemáticas
Discretas II

Introducción

Terminología

Familias de
grafos simples

Grafos bipartitos

Topologías y
subgrafos

Grafos
complementarios

Grafos planos

Representación
de grafos

Conectividad

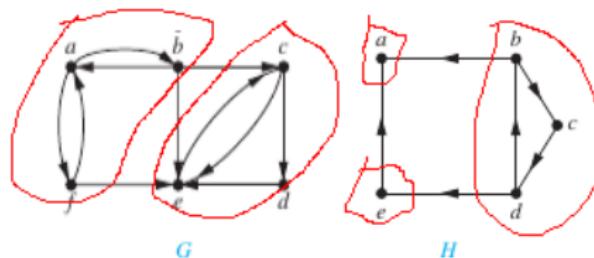
Isomorfismos

Algoritmos sobre
grafos

Coloreo de grafos

Algoritmo de Dijkstra

Componentes fuertemente conexos



- El grafo H tiene 3 componentes fuertemente conexas; el vértice a y el vértice e por ser subgrafos y el componente que es un subgrafo consistente de los vértices $\{b, c, d\}$
- El grafo G tiene dos componentes fuertemente conexas que son los subgrafos formados por los vértices $\{a, b, f\}$ y $\{c, d, e\}$

Universidad del
Valle

Matemáticas
Discretas II

Introducción

Terminología

Familias de
grafo simples

Grafo bipartito

Topologías y
subgrafos

Grafo complementario

Grafo plano

Representación
de grafos

Conectividad

Isomorfismos

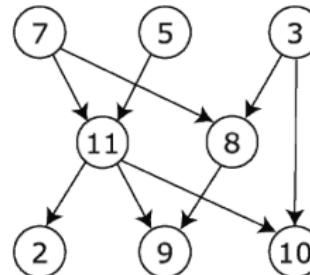
Algoritmos sobre
grafos

Coloreo de grafos

Algoritmo de Dijkstra

Grafo acíclico dirigido

Es un grafo que no tiene ciclos.



Universidad del
Valle

Matemáticas
Discretas II

Introducción

Terminología

Familias de
grafos simples

Grafos bipartitos

Topologías y
subgrafos

Grafos
complementarios

Grafos planos

Representación
de grafos

Conectividad

Isomorfismos

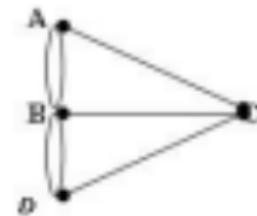
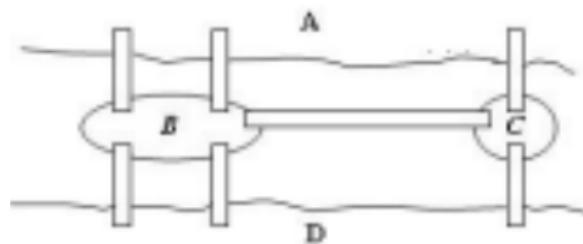
Algoritmos sobre
grafos

Coloreo de grafos

Algoritmo de Dijkstra

Problema de los puentes de Königsberg

Partir de cualquier lugar (A,B,C y D) caminar sobre cada puente exactamente una vez y regresar a la posición inicial de partida.



Círculo de Euler

Un **círculo de Euler** en un grafo G es un *círculo simple* que pasa exactamente una vez por cada arista de G . Un **camino de Euler** en G es un camino simple que pasa exactamente una vez por cada arista.

Universidad del
Valle

Matemáticas
Discretas II

Introducción

Terminología

Familias de
grafos simples

Grafos bipartitos

Topologías y
subgrafos

Grafos
complementarios

Grafos planos

Representación
de grafos

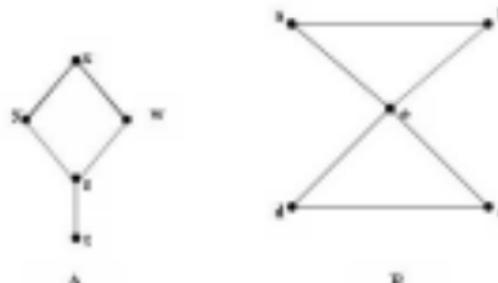
Conectividad

Isomorfismos

Algoritmos sobre
grafos

Coloreo de grafos

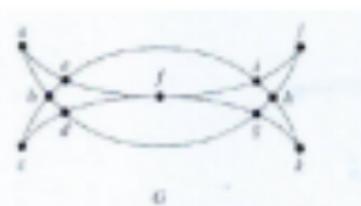
Algoritmo de Dijkstra



En el grafo *A* hay una *camino de Euler* *t,z,w,x,y,z* se pueden repetir vértices pero no aristas. En el grafo *B* hay un circuito euleriano:
a,e,c,d,e,b,a

Teorema

Un **pseudografo** conexo contiene un circuito euleriano si y sólo si, cada uno de sus vértices tiene grado par.



Universidad del
Valle

Matemáticas
Discretas II

Introducción

Terminología

Familias de
grafos simples

Grafos bipartitos

Topologías y
subgrafos

Grafos
complementarios

Grafos planos

Representación
de grafos

Conectividad

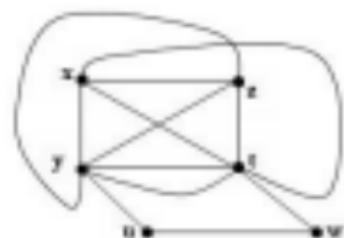
Isomorfismos

Algoritmos sobre
grafos

Coloreo de grafos

Algoritmo de Dijkstra

Ejemplo. Sea el siguiente grafo tiene un circuito euleriano
 $z, y, t, y, x, z, t, x, t, w, u, y, z$



$$\delta(y) = 2$$

$$\delta(w) = 2$$

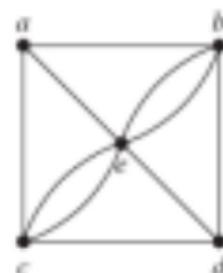
$$\delta(y') = 6$$

$$\delta(t) = 6$$

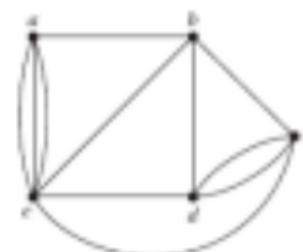
$$\delta(z) = 4$$

$$\delta(x) = 4$$

Hay camino de Euler y circuito de Euler



$a, e, c, e, b, e, d, b, a, c, d$



$a, b, c, d, c, e, d, b, e, a, e, a$

Universidad del
Valle

Matemáticas
Discretas II

Introducción

Terminología

Familias de
grafo s simples

Grafo bipartitos

Topologías y
subgrafo s

Grafo s
complementarios

Grafo s planos

Representación
de grafo s

Conectividad

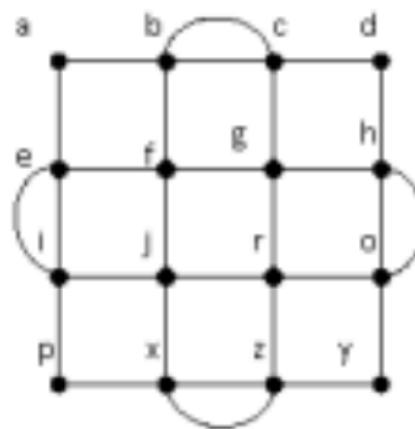
Isomorfismos

Algoritmo s sobre
grafo s

Coloreo de grafo s

Algoritmo de Dijkstra

Un circuito de Euler.



Circuito de Euler: a,b,c,b,f,g,c,d,h,g,r,o,h,o,y,z,r,j,x,z,x,p,i,j,f,e,i,e,a

Universidad del
Valle

Matemáticas
Discretas II

Introducción

Terminología

Familias de
grafos simples

Grafos bipartitos

Topologías y
subgrafos

Grafos
complementarios

Grafos planos

Representación
de grafos

Conectividad

Isomorfismos

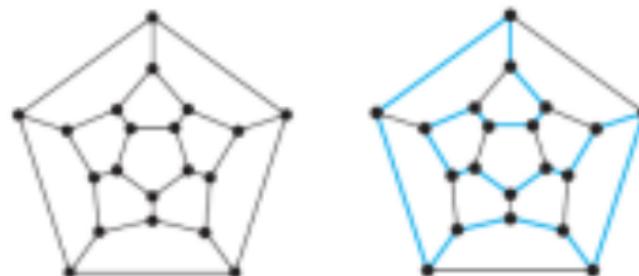
Algoritmos sobre
grafos

Coloreo de grafos

Algoritmo de Dijkstra

Círculo de Hamilton

Un **camino de Hamilton** en un grafo G es un *camino simple* que pasa exactamente una vez por cada vértice, y un **círculo de Hamilton** en un grafo G es un *círculo simple* que pasa exactamente una vez por cada vértice. Es decir, el camino simple $x_0, x_1, \dots, x_{n-1}, x_n$ en el grafo $G = (V, E)$ es un camino de Hamilton si $V = \{x_0, x_1, \dots, x_{n-1}, x_n\}$ y $x_i \neq x_j$ para $0 \leq i < j \leq n$, y un círculo simple $x_0, x_1, \dots, x_{n-1}, x_n, x_0$ ($n > 0$) es un círculo de Hamilton si $x_0, x_1, \dots, x_{n-1}, x_n$ es un camino de Hamilton.



20 ciudades son visitadas pasando exactamente una vez.

Universidad del
Valle

Matemáticas
Discretas II

Introducción

Terminología

Familias de
grafos simples

Grafos bipartitos

Topologías y
subgrafos

Grafos
complementarios

Grafos planos

Representación
de grafos

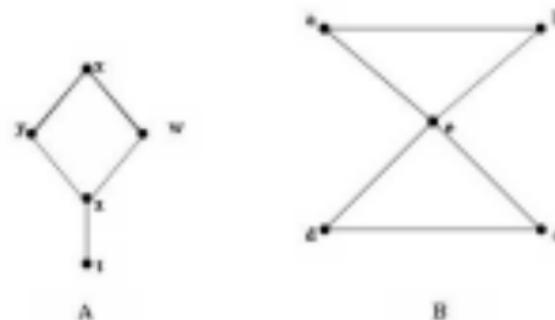
Conectividad

Isomorfismos

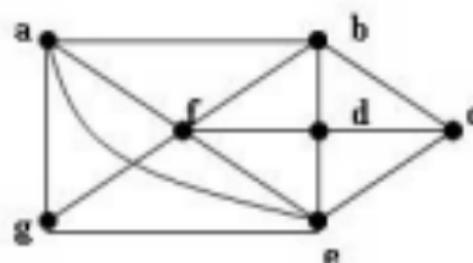
Algoritmos sobre
grafos

Coloreo de grafos

Algoritmo de Dijkstra



El grafo *A* tiene un camino hamiltoniano *t,z,y,x,w* y el grafo *B* tiene un camino hamiltoniano *a,b,e,d,c*. Ninguno de los dos grafos tiene circuito hamiltoniano. El siguiente grafo tiene el circuito hamiltoniano
a,b,c,d,e,f,g,a



Universidad del
Valle

Matemáticas
Discretas II

Introducción

Terminología

Familias de
grafo s simples

Grafo bipartitos

Topologías y
subgrafo s

Grafo s complementarios

Grafo s planos

Representación
de grafo s

Conectividad

Isomorfismos

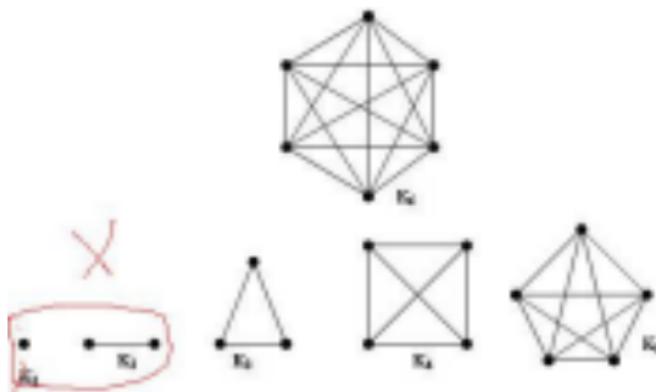
Algoritmo s sobre
grafo s

Coloreo de grafo s

Algoritmo de Dijkstra

Hamilton y K_n

Muestre que K_n tiene un circuito de Hamilton siempre que $n \geq 3$



De los circuitos especiales se puede decir:

- Que son *circuitos simples*. En el caso del circuito de Euler se pueden repetir vértices pero en el caso del circuito de Hamilton NO.
- Los caminos especiales son *caminos simples*. En el camino de Euler se pueden repetir vértices. Pero en el camino de Hamilton no se pueden repetir vértices.

Contenido

Universidad del
Valle

Matemáticas
Discretas II

Introducción

Terminología

Familias de
grafos simples

Grafos bipartitos

Topologías y
subgrafos

Grafos
complementarios

Grafos planos

Representación
de grafos

Conectividad

Isomorfismos

Algoritmos sobre
grafos

Coloreo de grafos
Algoritmo de Dijkstra

- 1 Introducción**
- 2 Terminología**
- 3 Familias de grafos simples**
- 4 Grafos bipartitos**
- 5 Topologías y subgrafos**
- 6 Grafos complementarios**
- 7 Grafos planos**
- 8 Representación de grafos**
- 9 Conectividad**
- 10 Isomorfismos**
- 11 Algoritmos sobre grafos**
 - Coloreo de grafos
 - Algoritmo de Dijkstra

Universidad del
Valle

Matemáticas
Discretas II

Introducción

Terminología

Familias de
grafos simples

Grafos bipartitos

Topologías y
subgrafos

Grafos
complementarios

Grafos planos

Representación
de grafos

Conectividad

Isomorfismos

Algoritmos sobre
grafos

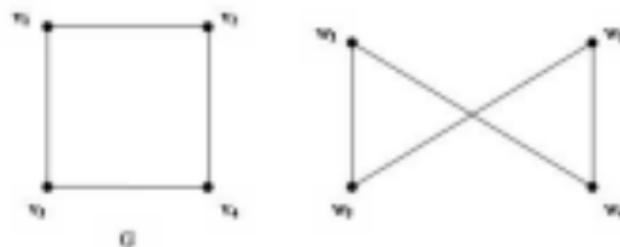
Coloreo de grafos

Algoritmo de Dijkstra

Isomorfismos de Grafos

Los grafos simples $G_1 = (V_1, E_1)$ y $G_2 = (V_2, E_2)$ son isomorfos si hay una función biyectiva f de V_1 en V_2 con la propiedad de que, para cada par de vértices $u, v \in V_1$, u y v son adyacentes en G_1 si, y sólo si, $f(u)$ y $f(v)$ son adyacentes en G_2 . Se dice que esta función f es un isomorfismo.

Ejemplo. Los grafos $G = (V, E)$ y $H = (W, F)$ en la siguiente figura son isomorfos.



La función f con $f(v_1) = w_1, f(v_2) = w_4, f(v_3) = w_3, f(v_4) = w_2$

Universidad del
Valle

Matemáticas
Discretas II

Introducción

Terminología

Familias de
grafos simples

Grafos bipartitos

Topologías y
subgrafos

Grafos
complementarios

Grafos planos

Representación
de grafos

Conectividad

Isomorfismos

Algoritmos sobre
grafos

Coloreo de grafos

Algoritmo de Dijkstra

Definición 2.

Sean $G_1 = (V_1, E_1)$ y $G_2 = (V_2, E_2)$ dos grafos. Una función $f : V_1 \longrightarrow V_2$ es un isomorfismo de grafos si:

- 1 f es inyectiva y sobreyectiva.
- 2 $\forall a, b \in V_1, \{a, b\} \in E_1$ si y sólo si $\{f(a), f(b)\} \in E_2$.

Cuando existe tal función f se dice que G_1 y G_2 son isomorfos.

Universidad del
Valle

Matemáticas
Discretas II

Introducción

Terminología

Familias de
grafos simples

Grafos bipartitos

Topologías y
subgrafos

Grafos
complementarios

Grafos planos

Representación
de grafos

Conectividad

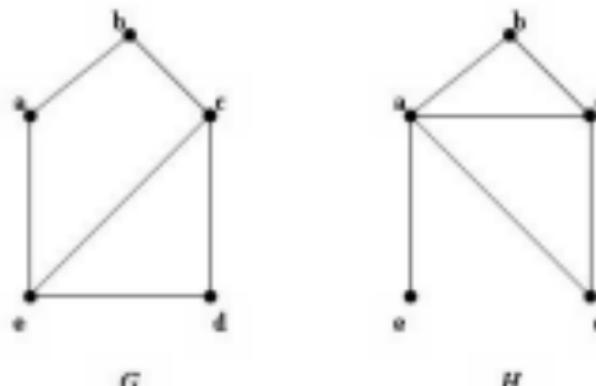
Isomorfismos

Algoritmos sobre
grafos

Coloreo de grafos

Algoritmo de Dijkstra

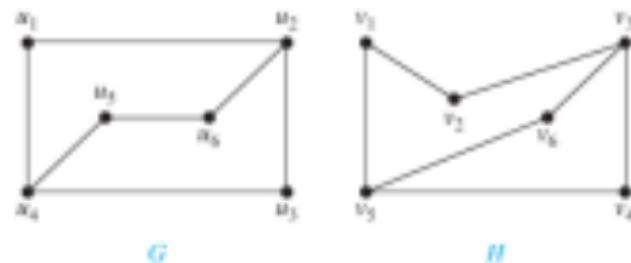
Ejemplo. Sean los grafos G y H son isomorfos?



No son isomorfos por varias razones:

- H tiene el vértice e de grado 1, mientras que G no tiene.
- Si cualquiera de estas cantidades toma valores diferentes en dos grafos simples, dichos grafos simples no pueden ser isomorfos.
- Ahora el que estas cantidades sean iguales no garantiza que los grafos G y H sean isomorfos.

Ejemplo. Determinar si H y G son isomorfos.


 G
 H

$$A_G = \begin{bmatrix} u_1 & u_2 & u_3 & u_4 & u_5 & u_6 \\ u_2 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ u_3 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ u_4 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ u_5 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ u_6 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}, \quad A_H = \begin{bmatrix} v_6 & v_5 & v_4 & v_3 & v_2 & v_1 \\ v_5 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ v_4 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ v_3 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ v_2 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ v_1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}.$$

Isomorfismos

Universidad del
Valle

Matemáticas
Discretas II

Introducción

Terminología

Familias de
grafo s simples

Grafo bipartitos

Topologías y
subgrafo s

Grafo s
complementarios

Grafo s planos

Representación
de grafo s

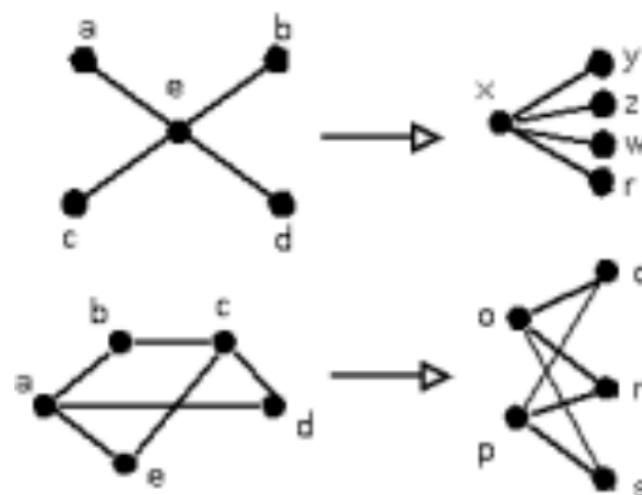
Conectividad

Isomorfismos

Algoritmos sobre
grafo s

Coloreo de grafo s

Algoritmo de Dijkstra



Universidad del
Valle

Matemáticas
Discretas II

Introducción

Terminología

Familias de
grafos simples

Grafos bipartitos

Topologías y
subgrafos

Grafos
complementarios

Grafos planos

Representación
de grafos

Conectividad

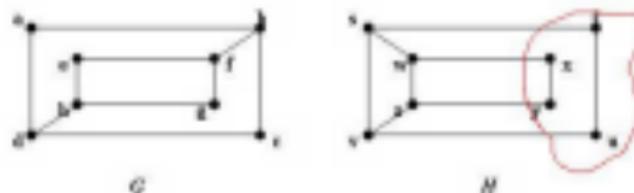
Isomorfismos

Algoritmos sobre
grafos

Coloreo de grafos

Algoritmo de Dijkstra

Ejemplo. Sean los grafos G y H son isomorfos?



- No son isomorfos por que por ejemplo $\delta(a) = 2$ en G y si observamos a debería corresponder con los vértices t, u, x , o y de H , ya que estos son los vértices de grado dos de H . Sin embargo, cada uno de estos cuatro vértices de H son adyacentes a otros de grado dos, lo que no es cierto en a . Pasa lo mismo con c, g, e en G
- Los mejores algoritmos para determinar si dos grafos son isomorfos tienen complejidad exponencial en el peor caso.
- El mejor algoritmo capaz de determinar si dos grafos son isomorfos con 100 vértices es el NAUTY y se consigue en internet.

Isomorfismos

Universidad del
Valle

Matemáticas
Discretas II

Introducción

Terminología

Familias de
grafos simples

Grafos bipartitos

Topologías y
subgrafos

Grafos
complementarios

Grafos planos

Representación
de grafos

Conectividad

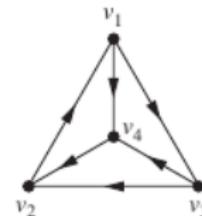
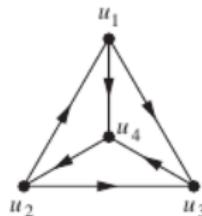
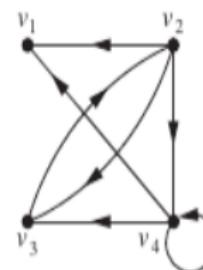
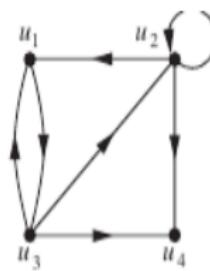
Isomorfismos

Algoritmos sobre
grafos

Coloreo de grafos

Algoritmo de Dijkstra

Determine si los siguientes pares de grafos son isomorfismos, si lo son encuentre una función de correspondencia entre los vértices de cada uno de los grafos.



Contenido

Universidad del
Valle

Matemáticas
Discretas II

Introducción

Terminología

Familias de
grafos simples

Grafos bipartitos

Topologías y
subgrafos

Grafos
complementarios

Grafos planos

Representación
de grafos

Conectividad

Isomorfismos

Algoritmos sobre
grafos

Coloreo de grafos
Algoritmo de Dijkstra

- 1 Introducción**
- 2 Terminología**
- 3 Familias de grafos simples**
- 4 Grafos bipartitos**
- 5 Topologías y subgrafos**
- 6 Grafos complementarios**
- 7 Grafos planos**
- 8 Representación de grafos**
- 9 Conectividad**
- 10 Isomorfismos**
- 11 Algoritmos sobre grafos**
 - Coloreo de grafos
 - Algoritmo de Dijkstra

Algoritmos sobre grafos

Universidad del
Valle

Matemáticas
Discretas II

Introducción

Terminología

Familias de
grafos simples

Grafos bipartitos

Topologías y
subgrafos

Grafos
complementarios

Grafos planos

Representación
de grafos

Conectividad

Isomorfismos

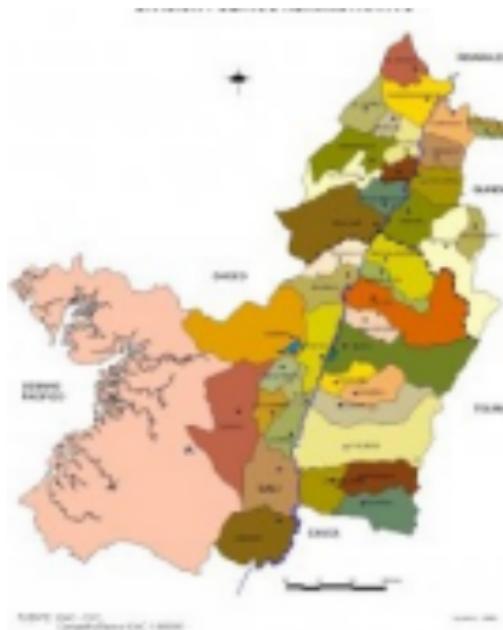
Algoritmos sobre
grafos

Coloreo de grafos

Algoritmo de Dijkstra

Coloreado de grafos

Dado un mapa, ¿cuál es el **menor número** de colores que deben utilizarse para colorearlo, de modo que dos regiones adyacentes no tengan nunca el mismo color ?.



Algoritmos sobre grafos

Universidad del
Valle

Matemáticas
Discretas II

Introducción

Terminología

Familias de
grafos simples

Grafos bipartitos

Topologías y
subgrafos

Grafos
complementarios

Grafos planos

Representación
de grafos

Conectividad

Isomorfismos

Algoritmos sobre
grafos

Coloreo de grafos

Algoritmo de Dijkstra

Coloreado de grafos

El **grafo dual** de un mapa corresponde a su representación como un grafo, en la cual:

- Cada región del mapa es un vértice
- Si existe una frontera entre cada par de regiones (vértices), existirá una arista entre ellos.

Dos regiones que se tocan en un solo punto no se consideran adyacentes

Algoritmos sobre grafos

Universidad del
Valle

Matemáticas
Discretas II

Introducción

Terminología

Familias de
grafos simples

Grafos bipartitos

Topologías y
subgrafos

Grafos
complementarios

Grafos planos

Representación
de grafos

Conectividad

Isomorfismos

Algoritmos sobre
grafos

Coloreo de grafos

Algoritmo de Dijkstra

Coloreado de grafos

Ejemplo de mapa y grafo dual

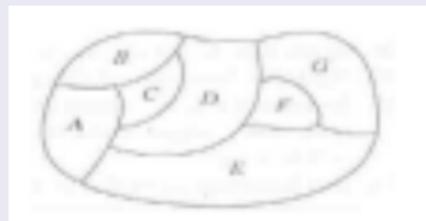


Figure: Mapa

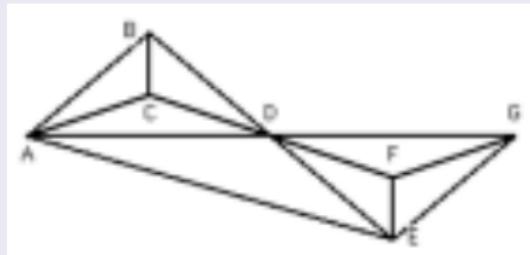


Figure: Grafo dual

Algoritmos sobre grafos

Universidad del
Valle

Matemáticas
Discretas II

Introducción

Terminología

Familias de
grafos simples

Grafos bipartitos

Topologías y
subgrafos

Grafos
complementarios

Grafos planos

Representación
de grafos

Conectividad

Isomorfismos

Algoritmos sobre
grafos

Coloreo de grafos

Algoritmo de Dijkstra

Coloración de un grafo

Una coloración de un grafo simple consiste en asignarle un color a cada vértice del grafo de manera que a cada dos vértices adyacentes se les asignan colores distintos.

Número cromático

El número cromático de un grafo es el número mínimo de colores que se requieren para su coloración.

Algoritmos sobre grafos

Universidad del
Valle

Matemáticas
Discretas II

Introducción

Terminología

Familias de
grafos simples

Grafos bipartitos

Topologías y
subgrafos

Grafos
complementarios

Grafos planos

Representación
de grafos

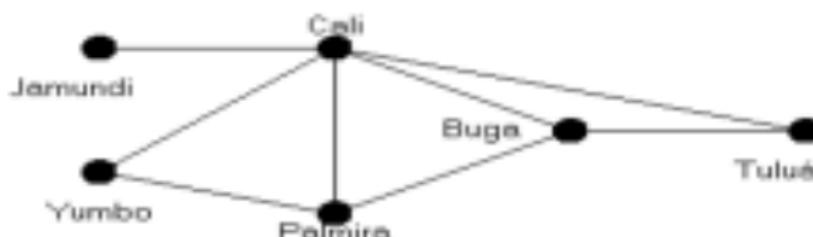
Conectividad

Isomorfismos

Algoritmos sobre
grafos

Coloreo de grafos

Algoritmo de Dijkstra



¿Cuál es el número cromático de este grafo?

Algoritmos sobre grafos

Universidad del
Valle

Matemáticas
Discretas II

Introducción

Terminología

Familias de
grafos simples

Grafos bipartitos

Topologías y
subgrafos

Grafos
complementarios

Grafos planos

Representación
de grafos

Conectividad

Isomorfismos

Algoritmos sobre
grafos

Coloreo de grafos

Algoritmo de Dijkstra

Teorema de los cuatro colores

El número cromático de un grafo plano es menor o igual que 4.

Número cromático

El número cromático de un grafo es el número mínimo de colores que se requieren para su coloración.

Propuesto inicialmente en 1850 y finalmente demostrado por los matemáticos estadounidenses Kenneth Appel y Wolfgang Haken en 1976.

Demostración

Si el teorema era falso, debería existir un contraejemplo, en una lista de aproximadamente 2000 candidatos. Empleando mas de 1000 horas de tiempo de calculo de un ordenador, no encontraron dicho contraejemplo. Haken en 1976.

Algoritmos sobre grafos

Universidad del
Valle

Matemáticas
Discretas II

Introducción

Terminología

Familias de
grafos simples

Grafos bipartitos

Topologías y
subgrafos

Grafos
complementarios

Grafos planos

Representación
de grafos

Conectividad

Isomorfismos

Algoritmos sobre
grafos

Coloreo de grafos

Algoritmo de Dijkstra

Indicar los números cromáticos de:

- 1 K_n : Grafo completo. R/ n
- 2 $K_{m,n}$ Grafo bipartito completo. R/ 2
- 3 C_n Ciclo: R/ 2

Problema computacionalmente difícil

Los mejores algoritmos conocidos para calcular el número cromático de un grafo tienen **complejidad exponencial** (en base al número de vértices)

Universidad del
Valle

Matemáticas
Discretas II

Introducción

Terminología

Familias de
grafos simples

Grafos bipartitos

Topologías y
subgrafos

Grafos complementarios

Grafos planos

Representación
de grafos

Conectividad

Isomorfismos

Algoritmos sobre
grafos

Coloreo de grafos

Algoritmo de Dijkstra

Aplicaciones

1 Programación de asignaturas: Programar las asignaturas sin que ningún estudiante tenga dos asignaturas al mismo tiempo.

Idea: Los vértices son asignaturas y existe una arista entre un par de vértices, si hay un estudiante matriculado en ambas.

2 Asignación de frecuencias: Evitar interferencias en sistemas de comunicaciones móviles.

Idea: Los vértices son operadores de comunicaciones y hay un par de vértices entre ellos si prestan el mismo servicio

Universidad del
Valle

Matemáticas
Discretas II

Introducción

Terminología

Familias de
grafos simples

Grafos bipartitos

Topologías y
subgrafos

Grafos
complementarios

Grafos planos

Representación
de grafos

Conectividad

Isomorfismos

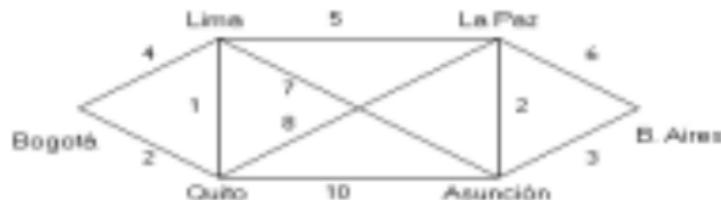
Algoritmos sobre
grafos

Coloreo de grafos

Algoritmo de Dijkstra

Grafo ponderado

- 1 A los grafos se les puede asignar un peso a sus aristas
- 2 A estos grafos se les conoce como **grafos ponderados**
- 3 La longitud de un camino de un grafo ponderado corresponde a la suma de los pesos en ese camino



Algoritmos sobre grafos

Universidad del
Valle

Matemáticas
Discretas II

Introducción

Terminología

Familias de
grafos simples

Grafos bipartitos

Topologías y
subgrafos

Grafos
complementarios

Grafos planos

Representación
de grafos

Conectividad

Isomorfismos

Algoritmos sobre
grafos

Coloreo de grafos

Algoritmo de Dijkstra

Algoritmo de Dijkstra

- 1 Algoritmo descubierto por el matemático holandés Edsger Dijkstra en 1959.
- 2 Describe como solucionar el problema de camino de longitud mínima desde a hasta z en grafos ponderados no dirigidos, donde todos los pesos son positivos.
- 3 Es fácil adaptarlo para solucionar el problema de camino de longitud mínima en grafos dirigidos.

Universidad del
Valle

Matemáticas
Discretas II

Introducción

Terminología

Familias de
grafos simples

Grafos bipartitos

Topologías y
subgrafos

Grafos
complementarios

Grafos planos

Representación
de grafos

Conectividad

Isomorfismos

Algoritmos sobre
grafos

Coloreo de grafos

Algoritmo de Dijkstra

**Procedimiento Dijkstra (G : grafo ponderado conexo
y todos los pesos positivos)**

Para $i = 1$ **Hasta** n

$L(v_i) = \infty$

$L(a) = 0$

$S = \emptyset$

Mientras $z \notin S$

Inicio

$u =$ vértice con $L(u)$ mínima entre los vértices
que no están en S

$S = S \cup \{u\}$

Para todos los vértices v que no están en S

Inicio

Si $L(u) + w(u, v) < L(v)$

$L(v) = L(u) + w(u, v)$

Fin

Fin ($L(z)$ = longitud del camino más corto entre a y z)

Algoritmos sobre grafos

Universidad del
Valle

Matemáticas
Discretas II

Introducción

Terminología

Familias de
grafos simples

Grafos bipartitos

Topologías y
subgrafos

Grafos
complementarios

Grafos planos

Representación
de grafos

Conectividad

Isomorfismos

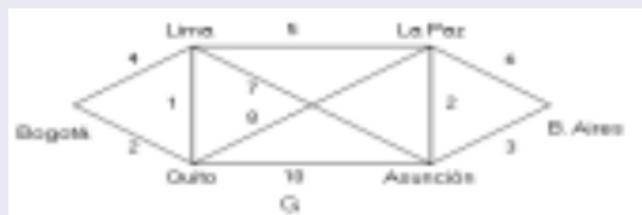
Algoritmos sobre
grafos

Coloreo de grafos

Algoritmo de Dijkstra

Algoritmo de Dijkstra

Aplica el algoritmo de Dijkstra para encontrar el camino más corto entre Bogotá y Buenos Aires:



Algoritmos sobre grafos

Universidad del
Valle

Matemáticas
Discretas II

Introducción

Terminología

Familias de
grafos simples

Grafos bipartitos

Topologías y
subgrafos

Grafos
complementarios

Grafos planos

Representación
de grafos

Conectividad

Isomorfismos

Algoritmos sobre
grafos

Coloreo de grafos

Algoritmo de Dijkstra

Algoritmo de Dijkstra

Bogotá	Lima	Quito	Paz	Asunción	B. Aires
0	∞	∞	∞	∞	∞
0	4^{Bog}	2^{Bog}	∞	∞	∞
0	3^{Quito}	2^{Bog}	10^{Quito}	12^{Quito}	∞
0	3^{Quito}	2^{Bog}	8^{Lima}	10^{Lima}	14^{Paz}
0	3^{Quito}	2^{Bog}	8^{Lima}	10^{Lima}	13^{Asunc}

El camino más corto está dado por:

Bogota → Quito → Lima → Asunc → B.Aires y tiene longitud 13

Universidad del
Valle

Matemáticas
Discretas II

Introducción

Terminología

Familias de
grafos simples

Grafos bipartitos

Topologías y
subgrafos

Grafos
complementarios

Grafos planos

Representación
de grafos

Conectividad

Isomorfismos

Algoritmos sobre
grafos

Coloreo de grafos

Algoritmo De Dijkstra

Teoremas

- 1 El algoritmo de Dijkstra determina la longitud del **camino más corto** entre dos vértices, en un **grafo ponderado simple, conexo y no dirigido**
- 2 El algoritmo tiene complejidad $O(v^2 + e)$ donde v es el número de vértices y e de aristas