

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE MÉXICO

Facultad de Ciencias

Autores:

Fernanda Villafán Flores

Fernando Alvarado Palacios

Adrián Aguilera Moreno



Gráficas y Juegos

Tarea 4

1. Sea G una gráfica no trivial. Demuestre que G es una trayectoria si y sólo si G es un árbol con exactamente dos vértices de grado 1.

Demostración: (Reducción al absurdo) ($\text{---} \vdash$) Pd G es una trayectoria $\implies G$ es un árbol con exactamente 2 vértices de grado 1

Pd G es una trayectoria y G no es un árbol

Pd G es una trayectoria y G no es conexa o contiene un ciclo

Caso 1 G no es conexa

Si G no es conexa \implies Existen u, v que pertenecen a G tal que u, v no son adyacentes $\implies G$ no puede ser una trayectoria (Lo que es una contradicción ya que G es una trayectoria)

Caso 2 G contiene un ciclo

Si G contiene un ciclo $\implies G$ no es un orden lineal $\implies G$ no es trayectoria (Lo que es una contradicción ya que G es una trayectoria)

Por lo tanto G es una trayectoria y G es un Árbol \implies (--- tengo dudas aquí ---) Existe G con tan solo 2 vértices de grado 2, pero también existen G con más vértices que lo cumplen

($\vdash \text{---}$) Sea G un árbol con exactamente 2 vértices de grado 1 $\implies G$ es un orden lineal por lo tanto G es una trayectoria

□

2. (a) Demuestre que cada árbol con grado máximo $\Delta > 1$ tiene al menos Δ hojas.

Demostración: Sea G un árbol y sea $x \in V_G$ tal que $d(x) = \Delta$ (notar que x no necesariamente es el único que cumple tener grado igual a Δ , por lo que se tomará alguno que cumpla esto), entonces x tiene exactamente Δ vecinos, por la caracterización de árbol, sabemos que G es acíclico y por tanto los caminos que parten desde x (tienen a x como vértice inicial) hacia algunos de sus Δ vecinos, no tienen vértices en común que sean distintos de x (caso contrario, habría 2 trayectorias que tienen inicio en x a las que llamaremos w_1 y w_2 , y además tienen en común al menos un vértice v y por tanto $w_1 w_2$ es un ciclo!! que está contenido en G), luego, como x tiene Δ vecinos, entonces podemos tomar al menos Δ trayectorias distintas entre ellas tales que terminen en algún vértice u_i ($1 \leq i \leq \Delta$) y por tanto cada u_i es una hoja de G , como hemos encontrado Δ hojas podemos concluir que el árbol G con grado máximo Δ tiene al menos Δ hojas. QED

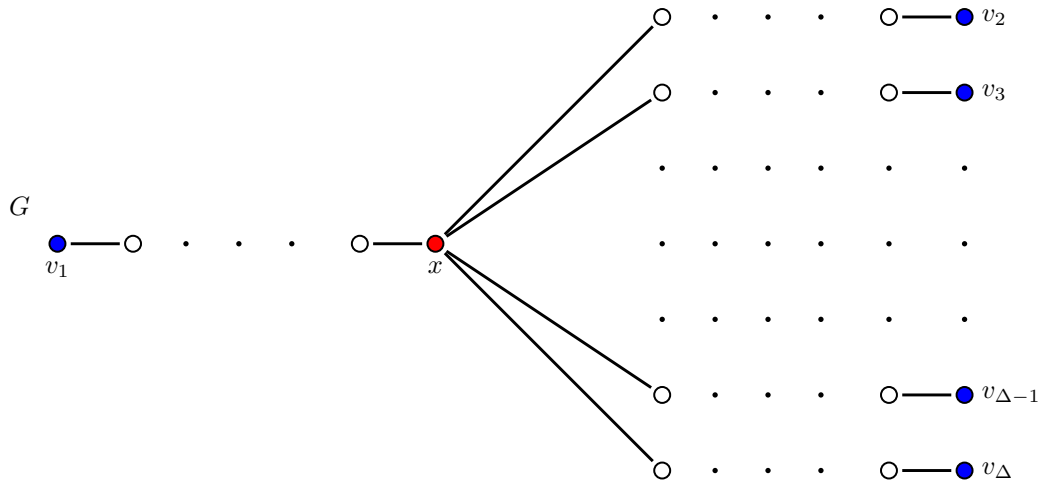
- (b) Construya, para cada elección de n y Δ , con $2 \leq \Delta < n$, un árbol de orden n con exactamente Δ hojas.

Solución: Sea G un árbol, usemos el resultado anterior, y garantizamos que, como G tiene algún $x \in V_G : d(x) = \Delta$, entonces G tiene al menos Δ hojas. Luego, particularmente en los árboles de exactamente Δ hojas, cada camino W_i que tenga como vértice inicial a x no tendrá bifurcaciones, esto es, $x W_i v_i$ es la única manera de llegar de x a v_i y además W_i es una trayectoria (y por definición de trayectoria, no tendrá bifurcaciones), como x es vértice inicial de exactamente Δ trayectorias W_i , entonces hay exactamente Δ hojas en G . En resumen, G tendrá exactamente Δ vértices de grado 1, a continuación se muestra un ejemplo que trata de ser lo más general posible:

donde los v_i 's son las hojas, para $1 \leq i \leq \Delta$.

□

3. Un *centro* en una gráfica es un vértice u tal que $\max_{v \in V} d(u, v)$ es mínima. Demuestre que un árbol tiene exactamente un centro o dos centros adyacentes.



4. Demuestre o brinde un contraejemplo: Toda gráfica con menos aristas que vértices tiene una componente que es un árbol.
5. Un *hidrocarburo saturado* es una molécula $C_m H_n$ en la que cada átomo de carbono tiene cuatro enlaces, cada átomo de hidrógeno tiene un enlace, y ninguna sucesión de enlaces forma un ciclo. Demuestre que para cualquier entero positivo m , la molécula $C_m H_n$ existe sólo si $n = 2m + 2$.

Demostración: Demostración por inducción sobre m

Paso base ($m=1$)

Por definición de hidrocarburo saturado $C_1 H_4 \implies 4 = 2(1) + 2$ por lo tanto para $m=1$ se cumple que $n=2m+2$

Hipótesis de inducción $m = k$, si $C_k H_n \implies$ supongamos $n=2k+2$

Paso Inductivo

Pd $m=k+1$

Por hipótesis de inducción tenemos que $C_k H_n \implies n=2k+2$ y por paso base $C_1 H_4 \implies 4=2(1)+2 \implies$ sean r que pertenece a los Naturales sin el 0, sea C_r y C_1 donde C_r pertenece a $C_k H_n$ y C_1 pertenece a $C_1 H_4$ tal que r pertenece a $1, 2, 3, \dots, k \implies$ eliminemos 1 hidrógeno a C_r y $C_1 \implies C_k H_{n-1}$ y $C_1 H_3$ son iguales a $n-1=2k+1 \dots (1)$ y $3=2(1)+1 \dots (2) \implies$ uniendo $C_k H_{n-1}$ y $C_1 H_3$ mediante los vertices C_r y $C_1 \implies C_{k+1} H_m$ sería igual a la suma de (1) y (2) $\implies n+2 = 2(k) + 2(1) + 2 \implies n+2 = 2(k+1)+2 \implies m=n+1 \implies n+2 = 2(k+1)+2$. Por lo tanto para $C_{k+1} H_m$ $m=2(k+1)+2$

Por lo tanto, para todo m que pertenece a Naturales sin el cero $C_m H_n$ tal que $n=2m+2$

□

6. Demuestre que una sucesión (d_1, \dots, d_n) de enteros positivos es la sucesión de grados de un árbol si y sólo si $\sum_{i=1}^n d_i = 2(n-1)$.

Demostración: Para este ejercicio analicemos 2 posibles casos:

\implies Dada la sucesión de grados (d_1, \dots, d_n) de un árbol, entonces $\sum_{i=1}^n d_i = 2(n-1)$.

Sabemos que para cualquier gráfica pasa que

$$\sum_{i=1}^n d_i = 2|E|$$

Como en un árbol se cumple que $|E| = |V| - 1^1$, entonces $|E| = n - 1$ y por tanto

$$\sum_{i=1}^n d_i = 2(n - 1)$$

\Leftarrow) Dada una gráfica G donde se cumple que $\sum_{i=1}^n d_i = 2(n - 1)$, entonces (d_1, \dots, d_n) es la sucesión de grados en un árbol.

Veamos que G no tiene vértices aislados, pues en caso de tenerlos supongamos sin pérdida de generalidad que $x \in V_G$ es un vértice aislado, entonces $G - \{x\}$ no contiene vértices aislados y $|E_{G-\{x\}}| = 2|V_{G-\{x\}}|$!!, lo que implica que G contiene como subgráfica inducida a algún ciclo (pues la cantidad de vértices sería de al menos la cantidad de vértices) y se deja de cumplir que $\sum_{i=1}^n d_i = 2(n - 1)$!!.

De la misma manera que la anterior podemos observar que todos los vértices de G no pueden tener al menos grado 2, pues suponer esto nos genera al menos un ciclo y esto implicaría que $\sum_{i=1}^n d_i = 2(n)$!!, y claramente $2n \neq 2(n - 1)$.

Luego, hay exactamente 2 vértices de grado 1 en G , para esto llamemos $x, y \in V_G$ a los vértices de grado 1, entonces en $G - \{x, y\}$ se cumple que $\sum_{i=1}^n d_i = 2(n - 2)$ y al anexarle exactamente $\{x, y\}$ tendremos que

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n d_i &= 2(n - 2) + 2 \\ &= 4n - 4 + 2 \\ &= 4n - 2 \\ &= 2(n - 1) \end{aligned}$$

en caso contrario, se deja de cumplir lo anterior y es por esto que se puede garantizar que estos son únicos.

Como G es acíclica (por el argumento dado anteriormente), podemos deducir que G es conexa, pues de no serlo habría más de 2 vértices con grado 1 y ya observamos que este no es un caso posible. Luego, G es un árbol y por el ejercicio 1 de esta tarea tenemos que G es, particularmente, una trayectoria.

De los casos analizados concluimos que una sucesión (d_1, \dots, d_n) de enteros positivos es la sucesión de grados de un árbol si y sólo si $\sum_{i=1}^n d_i = 2(n - 1)$. QED

Puntos Extra

1. Para una gráfica conexa G definimos la gráfica de árboles de G , \mathcal{T}_G , como la gráfica que tiene por vértices a todos los árboles generadores de G , y tal que, si $S, T \in V_{\mathcal{T}_G}$, entonces ST es una arista de \mathcal{T}_G si y sólo si existen aristas $e \in E_S - E_T$ y $f \in E_T - E_S$ tales que $(S - e) + f = T$. Demuestre que \mathcal{T}_G es conexa.
2. Sea T un árbol arbitrario con $k + 1$ vértices. Demuestre que si G es simple y $\delta \geq k$, entonces G tiene una subgráfica isomorfa a T .
3. Sea \mathcal{T} una familia de subárboles de un árbol T . Deduzca, por inducción sobre $|\mathcal{T}|$, que si cualesquiera dos elementos de \mathcal{T} tienen un vértice en común, entonces hay un vértice de T que está en todos los elementos de \mathcal{T} .

¹Prop. 2.2.5 en las notas de clase

4. (a) Determine todos los arboles T tales que \overline{T} también es un árbol.

Solución:

-) Si $|V_T| = 1$, entonces por vacuidad se cumple el enunciado y terminamos.
-) Si $|V_T| > 1$, entonces sabemos existen $|V_T| - 1$ aristas para T y que a lo más $\binom{|V_T|}{2}$ si T fuera completa. Notar que $E_{\overline{T}} = \binom{|V_T|}{2} - (|V_T| - 1)$, como queremos que \overline{T} se un árbol, entonces se debe cumplir la siguiente igualdad

$$\begin{aligned}
 |V_T| - 1 &= \binom{|V_T|}{2} - (|V_T| - 1) \\
 \Leftrightarrow 2 \cdot (|V_T| - 1) &= \binom{|V_T|}{2} \\
 \Leftrightarrow 2 \cdot (|V_T| - 1) &= \frac{|V_T| \cdot (|V_T| - 1)}{2} \\
 \Leftrightarrow 4 \cdot \cancel{(|V_T| - 1)} &= |V_T| \cdot \cancel{(|V_T| - 1)} \\
 \Rightarrow |V_T| &= 4
 \end{aligned}$$

y del ejercicio 1 de la tarea 1 sabemos que hay 11 gráficas de orden 4 no isomorfas entre sí y sólo 2 de esas son árboles, una es P_4 y la otra es el árbol tal que uno de sus vértices es de grado 3, pero en este último su complemento no es un árbol. Luego $T = P_4$ y este es la único salvo isomorfismo. \square

- (b) Determine todas las gráficas de orden al menos cuatro tales que la subgráfica inducida por cualesquiera tres de sus vértices es un árbol.

Solución: Veamos que si $|V| > 4$, se cumple cualquiera de las siguientes condiciones:

-) Si la gráfica es incompleta existen al menos dos vértices que no se conectan mediante una arista, si no existe trayectoria entre estos, entonces existe una "elección" de 3 vértices tales que son inducidos de la gráfica original y no son un árbol.
-) Si la gráfica es completa, entonces hay 3 vértices que al inducirlos en la gráfica original forman un 3-ciclo y por tanto no son un árbol.

De lo anterior la única gráfica que cumple con el enunciado es un 4-ciclo que no contenga como gráfica inducida un 3-ciclo. \square