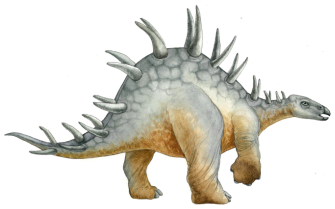
Capítulo 7: Abrazos mortales

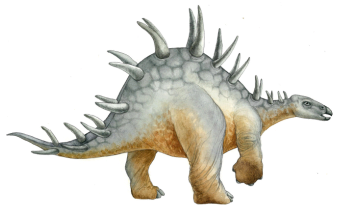
Capítulo 7: Abrazos mortales

- El problema de abrazo mortal
- Modelo de sistema
- Caracterización de abrazo mortal
- Métodos para manejar abrazos mortales
- Prevención de abrazos mortales
- Evitar caer en abrazos mortales
- Detección de abrazos mortales
- Recuperación de abrazos mortales



Objetivos del capítulo

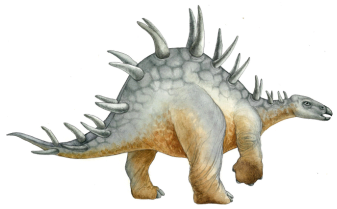
- Describir los abrazos mortales, que evitan que procesos concurrentes terminen sus tareas.
- Presentar un número de métodos distintos para prevenir o evitar abrazos mortales en un sistema de cómputo.



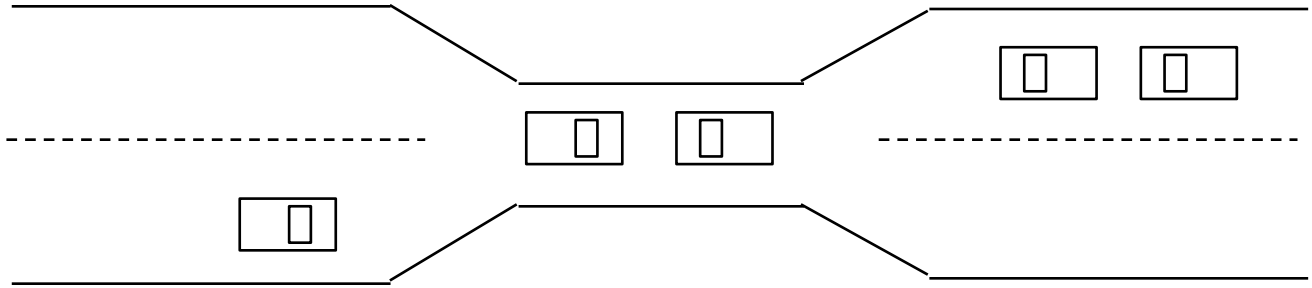
El problema del abrazo mortal

- Un conjunto de procesos bloqueados con un recurso y esperando adquirir otro recurso que tiene otro proceso en el conjunto.
- Ejemplo
  - El sistema tiene 2 discos duros.
  - P_1 y P_2 cada uno tiene un disco y necesita el otro.
- Ejemplo
  - Los semáforos *A* y *B*, iniciados en 1

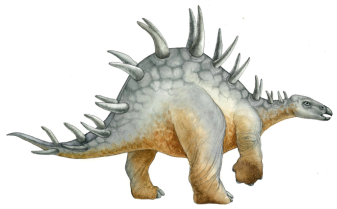
P_0	P_1
wait (A);	wait(B)
wait (B);	wait(A)



Ejemplo: cruzando el puente



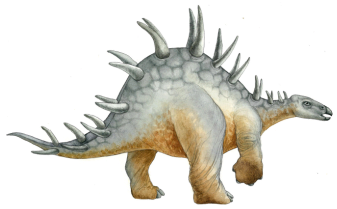
- Tráfico en una sola dirección.
- Cada sección del puente puede verse como un recurso.
- Si un abrazo mortal ocurre, puede resolverse si uno de los autos se regresa en reversa (se le quitan sus recursos -preempt- y se rebobina -rollback-).
- En un abrazo mortal puede ser necesario mandar en reversa muchos autos.
- Es posible que ocurra hambruna.



Modelo del sistema

- Tipos de recursos R_1, R_2, . . ., R_m

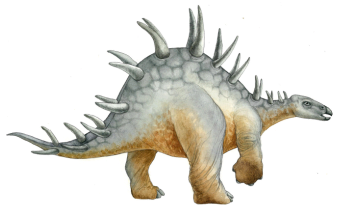
  Ciclos de CPU, memoria, dispositivos E/S
- Cada tipo de recurso R_i tiene W_i instancias.
- Cada proceso utiliza un recurso como sigue:
  - solicitud
  - uso
  - liberación



Caracterización de abrazo mortal

Abrazo mortal puede surgir si ocurren simultáneamente:

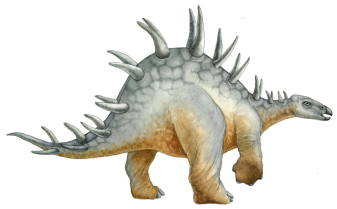
- **Exclusión mutua:** sólo un proceso puede utilizar un recurso en cada momento.
- **Mantener y esperar:** un proceso que mantiene al menos un recurso está esperando adquirir recursos que tienen otros procesos.
- **No preemption:** un recurso puede ser liberado solo de manera voluntaria por el proceso que lo mantiene, una vez que el proceso ha completado su tarea.
- **Espera circular:** existe un conjunto de procesos en espera $\{P_0, P_1, \ldots, P_0\}$ tal que P_0 está esperando por un recurso que tiene P_1, P_1 por uno que tiene $P_2, \ldots, P_{n-1}$ est;a esoerando por un recuso que tiene P_n, y P_n está esperando por uno que tiene P_0.



Gráfica de recurso-asignación

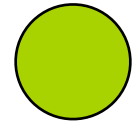
Un conjunto de vértices A y un conjunto de aristas E.

- V está particionado en dos tipos:
  - $P = \{P_1, P_2, \ldots, P_n\}$, el conjunto que contiene todos los procesos del sistema.
  - $R = \{R_1, R_2, \ldots, R_m\}$, el conjunto de todos los tipos de recursos en el sistema.
- Arista de solicitud – arista dirigida $P_1 \rightarrow R_j$
- Arista de asignación – arista dirigida $R_j \rightarrow P_i$

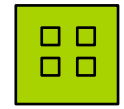


Gráfica de recurso-asignación (Cont.)

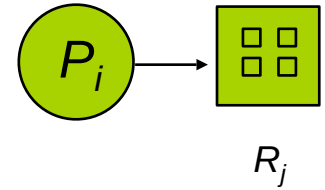
- Proceso



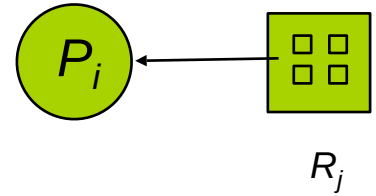
- Tipo de recurso con 4 instancias

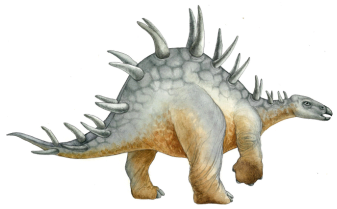


- P_i solicita instancia de recurso R_j

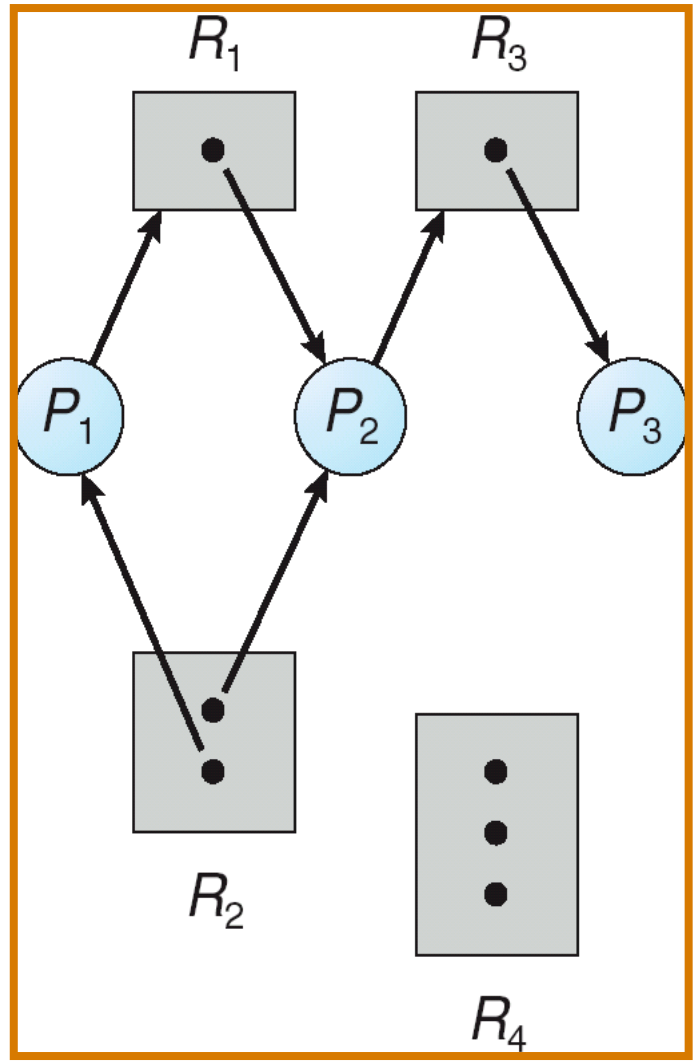


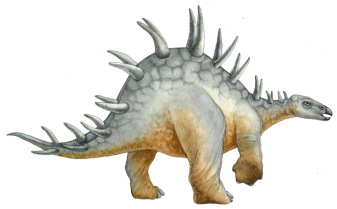
- P_i tiene una instancia de R_j



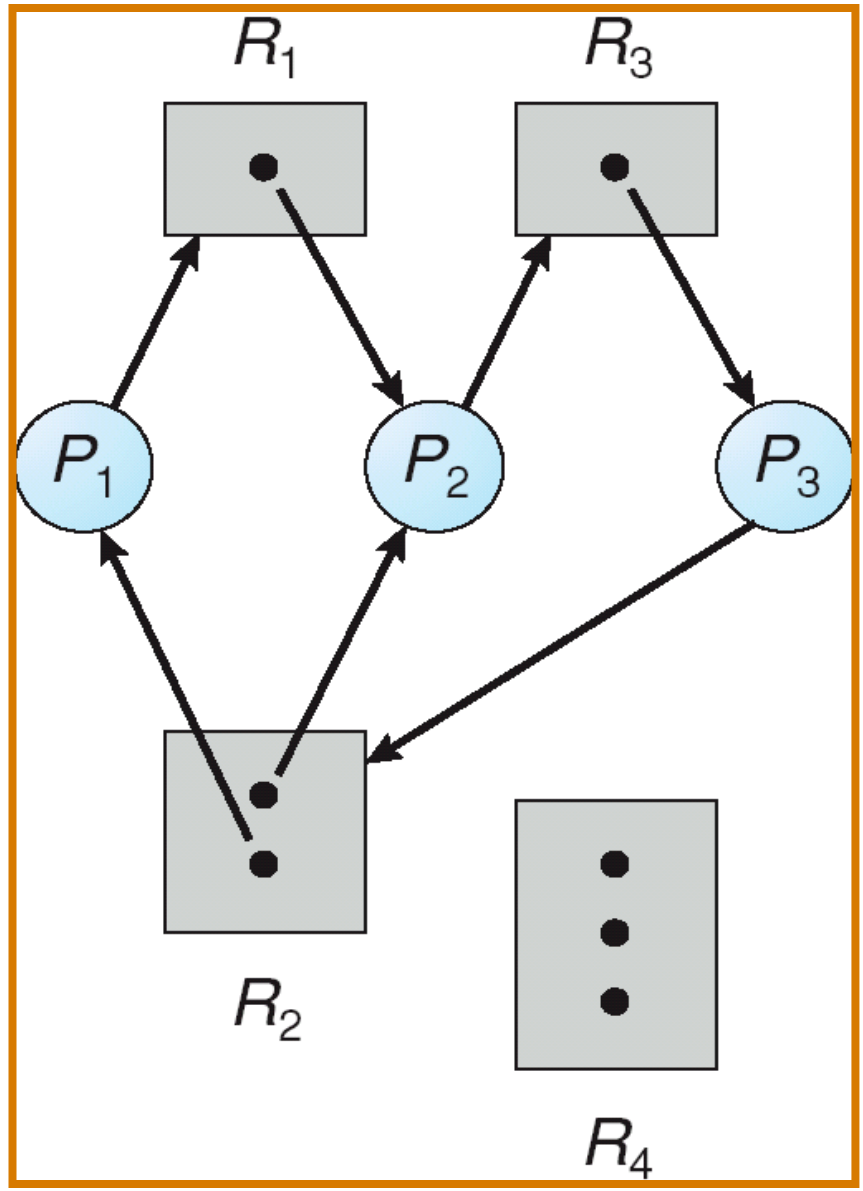


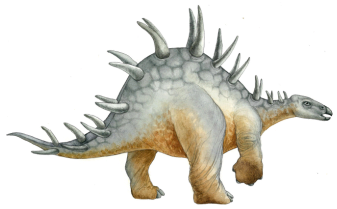
Ejemplo de gráfica de recurso-asignación



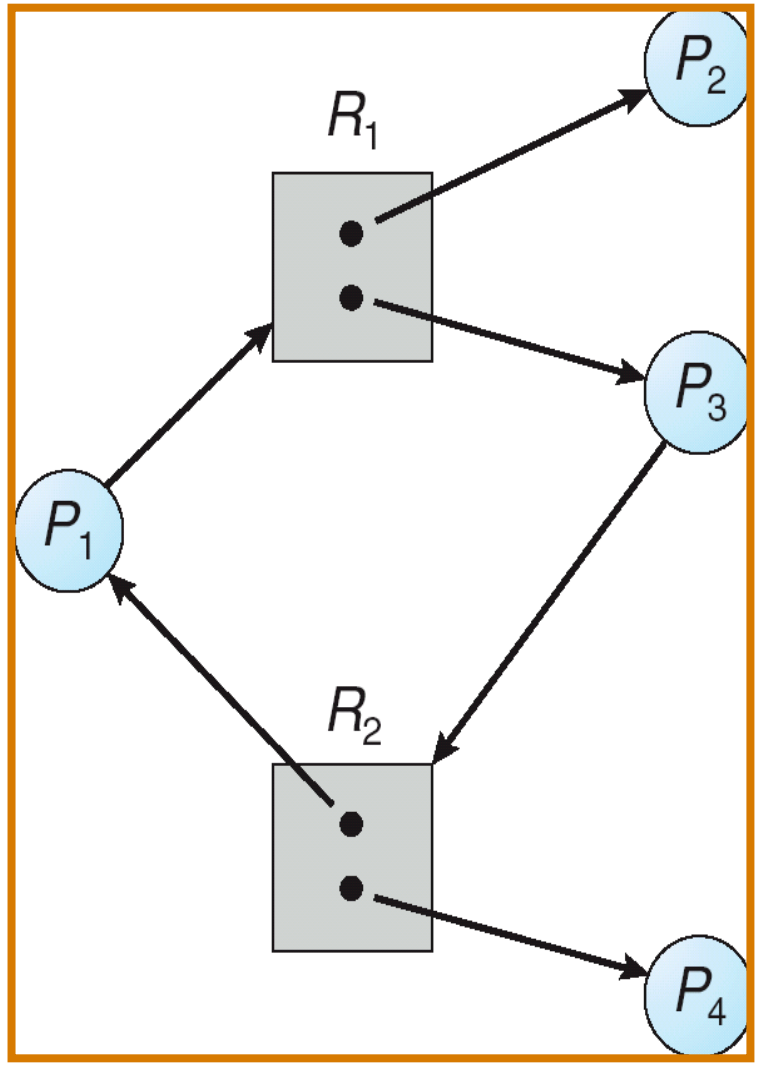


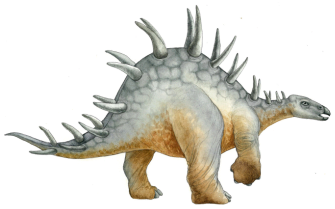
Gráfica recurso-asignación con abrazo mortal





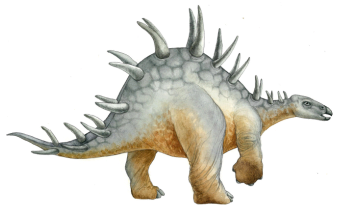
Gráfica con ciclo pero SIN abrazo mortal





Hechos básicos

- Si una gráfica no contiene ciclos ⇒ no abrazo mortal.
- Si una gráfica contiene un ciclo ⇒
  - si sólo hay una instancia por tipo de recurso, entonces abrazo mortal.
  - si hay muchas instancia por tipo de recurso, *posibilidad* de abrazo mortal.



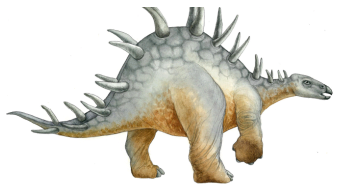
Ejemplo de abrazo mortal en Java

```
class A implements Runnable
{
   private Lock first, second;

   public A(Lock first, Lock second) {
      this.first = first;
      this.second = second;
   }

   public void run() {
      try {
         first.lock();
         // do something
            second.lock();
            // do something else
      }
      finally {
         first.unlock();
         second.unlock();
      }
   }
}
```

Thread A

```
class B implements Runnable
{
   private Lock first, second;

   public A(Lock first, Lock second) {
      this.first = first;
      this.second = second;
   }

   public void run() {
      try {
         second.lock();
         // do something
            first.lock();
            // do something else
      }
      finally {
         second.unlock();
         first.unlock();
      }
   }
}
```

Thread B

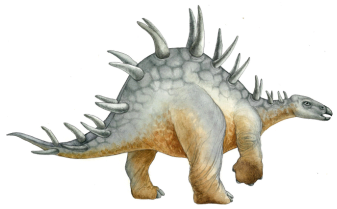


Ejemplo de abrazo mortal en Java

```
public static void main(String arg[]) {
   Lock lockX = new ReentrantLock();
   Lock lockY = new ReentrantLock();

   Thread threadA = new Thread(new A(lockX,lockY));
   Thread threadB = new Thread(new B(lockX,lockY));

   threadA.start();
   threadB.start();
}
```

Abrazo mortal posible si:

threadA -> lockY -> threadB -> lockX -> threadA

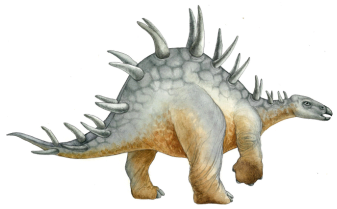


Manejo de abrazos mortales en Java

```
public class ClockApplet extends Applet implements Runnable
{
     private Thread clockThread;
     private boolean ok = false;
     private Object mutex = new Object();

     public void run() {
        while (true) {
           try {
              // sleep for 1 second
              Thread.sleep(1000);

              // repaint the date and time
              repaint();

              // see if we need to suspend ourself
              synchronized (mutex) {
                 while (ok == false)
                    mutex.wait();
              }
           }
           catch (InterruptedException e) { }
        }
     }

     public void start() {
        // Figure 7.7
     }

     public void stop() {
        // Figure 7.7
     }

     public void paint(Graphics g) {
       g.drawString(new java.util.Date().toString(),10,30);
     }
}
```

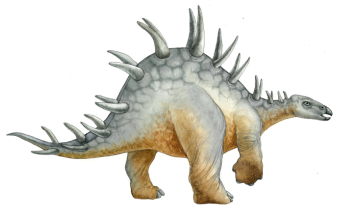
Manejo de abrazo mortal en Java

```
// this method is called when the applet is
// started or we return to the applet
public void start() {
    ok = true;

    if (clockThread == null) {
       clockThread = new Thread(this);
       clockThread.start();
    }
    else {
       synchronized(mutex) {
          mutex.notify();
       }
    }
}

// this method is called when we
// leave the page the applet is on
public void stop() {
    synchronized(mutex) {
       ok = false;
    }
}
```



Métodos para manejar abrazos mortales

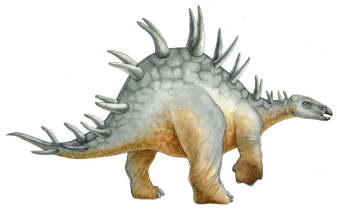
- Asegurar que el sistema nunca entrará en un abrazo mortal.
- Permitir que el sistema entre en estado de abrazo mortal y luego recuperar.
- Ignorar el problema y pretender que los abrazos mortales nunca ocurren en el sistema
  - Utilizado por la mayoría de los sistemas operativos, incluyend UNIX.



Prevención de abrazos mortales

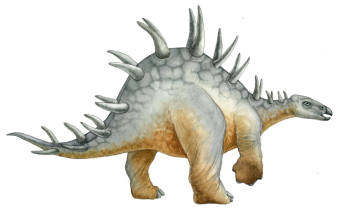
Restringir la forma en que se hacen las solicitudes.

- **Exclusión mutua** – no se requiere para recursos que pueden compartirse; debe forzarse para aquellos que no pueden compartirse.
- **Mantener y esperar** – debe garantizar que cada vez que un proceso solicita un recurso, no tiene ningún otro recurso.
  - Forzar procesos a solicitar (y se les asignen) todos sus recursos antes de iniciar ejecución, o permitir la solicitud cuando el proceso no tiene ningún recurso.
  - Baja utilización de recursos; hambruna posible.



Prevención de abrazos mortales (Cont.)

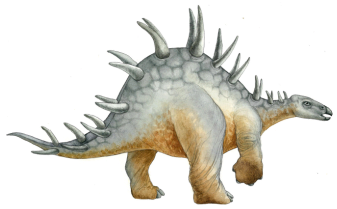
- **No Preemption** –
  - Si un proceso que mantiene varios recursos solicita otro recurso que no le puede ser asignado inmediatamente; entonces todos los recursos que ya tenía se liberan.
  - Los recursos liberados son añadidos a la lista de recursos por los cuáles está esperando el proceso.
  - El proceso será reiniciado hasta que pueda obtener sus viejos recursos y los nuevos que está solicitando.
- **Espera circular** – imponer un orden total de todos los tipos de recursos y requerir que cada proceso solicite recursos en estricto orden de numeración.



Evitar abrazos mortales

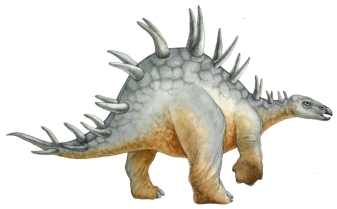
Requiere que el sistema tenga información adicional *a priori*.

- El modelo más sencillo y útil requiere que cada proceso declare el *número máximo* de recursos de cada tipo que requerirá.
- El algoritmo para evitar abrazos mortales examina dinámicamente el estado recurso-asignación para asegurar que nunca exista la condición de espera circular.
- Es *estado* recurso-asignación está definido por el número de recursos disponibles y asignados y la demanda máxima de los procesos.



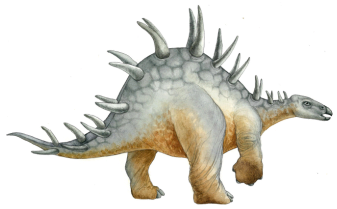
Estado seguro

- Cuando un proceso solicita un recurso disponible, el sistema debe decidir si la asignación inmediata deja el sistema en un estado seguro.
- El sistema está en estado seguro si existe una secuencia <P_1, P_2, …, P_n> de TODOS los procesos en el sistema, tal que para cada P_i, los recursos que P_i solicitará pueden satisfacerse con recursos disponibles + recursos que tienen todos los P_j, con $j < i$.
- Esto es:
  - Si las necesidades de recursos de P_i no están disponibles inmediatamente, entonces P_i puede esperar hasta que todos los P_j *hayan terminado*.
  - Cuando P_j termina, P_i puede obtener los recursos que necesita, ejecutar, regresar los recursos asignados y terminar.
  - Cuando P_i termina, P_{i+1} puede obtener los recursos que necesita y así sucesivamente.

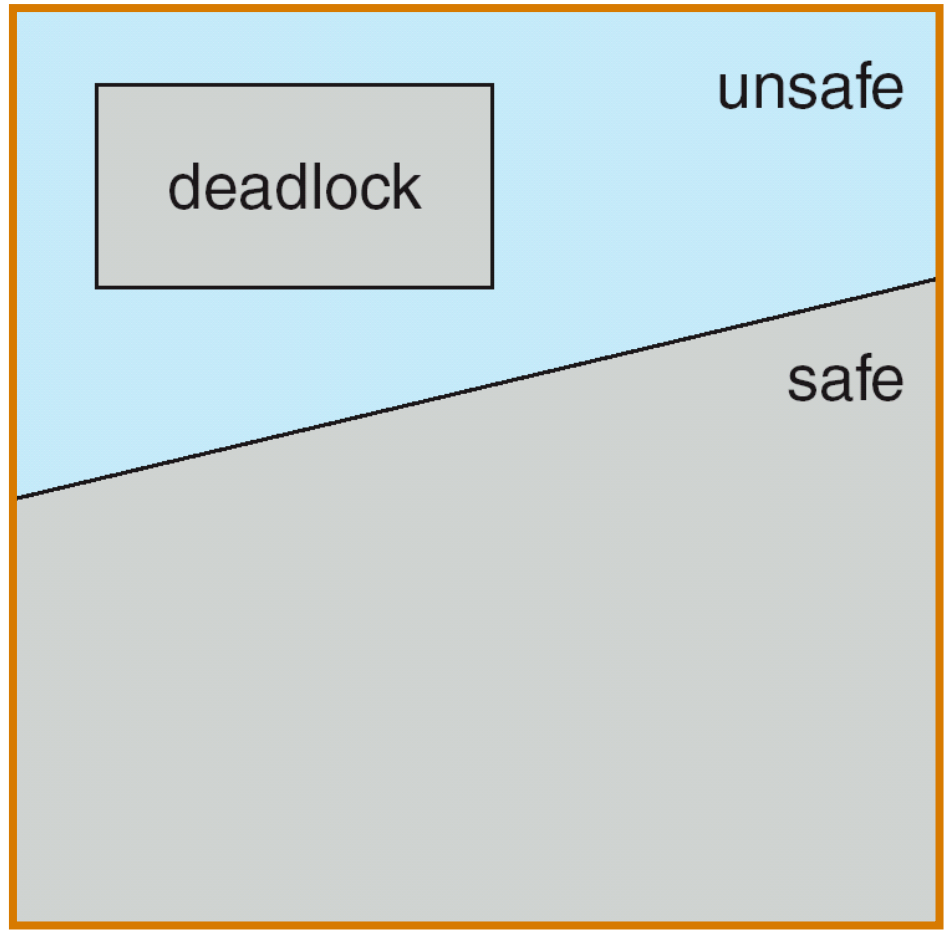


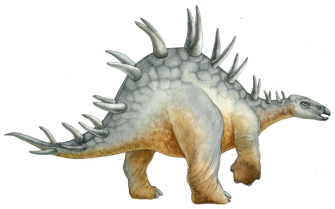
Hechos básicos

- Si el sistema está en estado seguro ⇒ no abrazos mortales.
- Si el sistema está en estado inseguro ⇒ posibilidad de abrazos mortales.
- Evitar ⇒ asegurar que el sistema nunca entra en un estado inseguro.



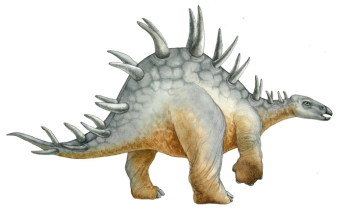
Estados seguro, inseguro y abrazo mortal





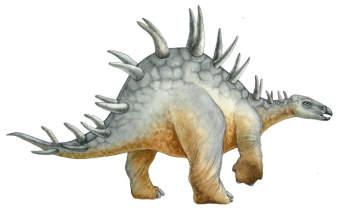
Algoritmos para evitar

- Una sola instancia de cada tipo de recurso.
  Utilizar una gráfica de asignación de recursos.
- Varias instancias de un tipo de recurso.
  Utilizar el algoritmo del banquero.

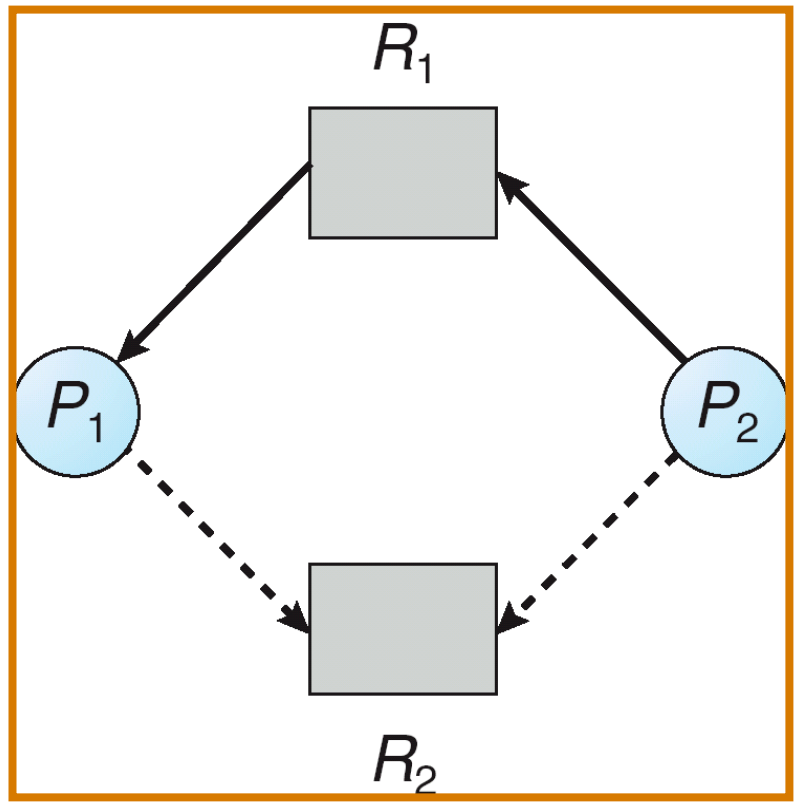


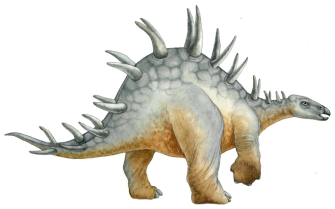
Esquema gráfica asignación de recursos

- *Arista de reserva* $P_i \rightarrow R_j$ indica que el proceso P_i puede solicitar el recurso R_j; representado por una línea punteada.
- Una arista *de reserva* se convierte en una de *solicitud* cuando el proceso solicita el recurso.
- La arista *de solicitud* se convierte en una de *asignación* cuando el recuso es asignado al proceso.
- Cuando el proceso libera el recurso, la arista *de asignación* se convierte nuevamente en una *de reserva*.
- Los recursos deben solicitarse *a priori* en el sistema.

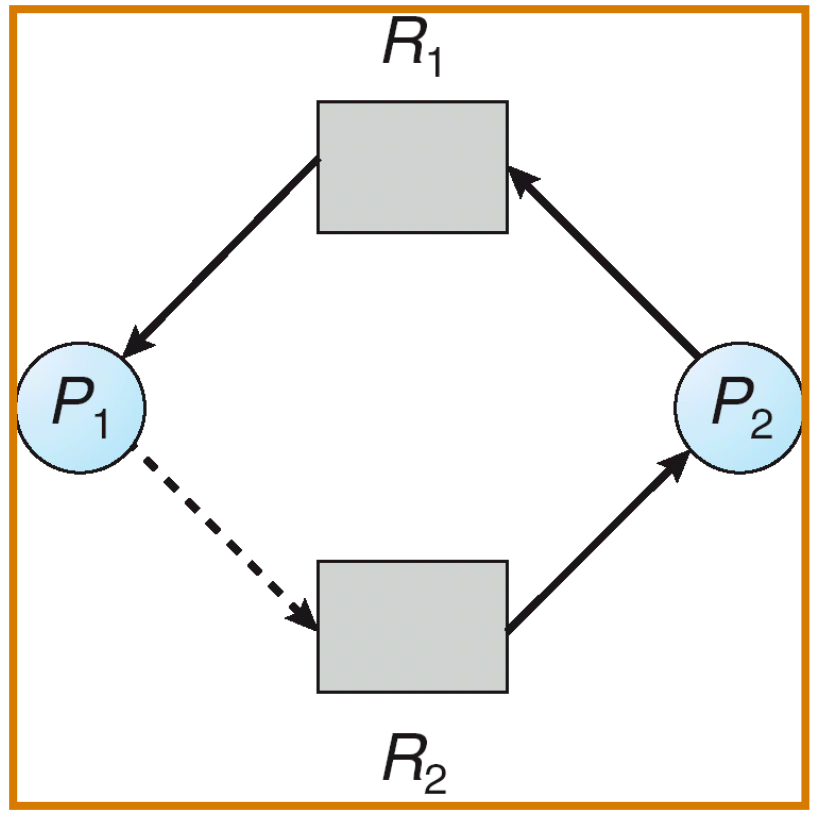


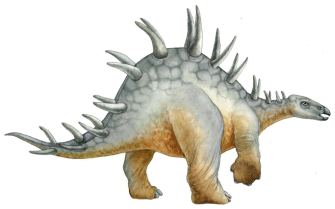
Gráfica de asignación de recursos





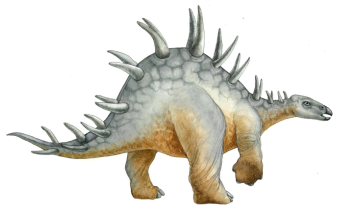
Estado inseguro en gráfica asignación recursos





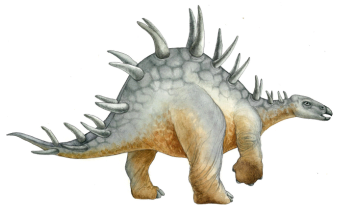
Algoritmo gráfica de asignación recursos

- Suponemos que el proceso P_i solicita un recurso R_j
- La solicitud puede concederse sólo si convirtiendo la arista de solicitud a una de asignación, no forma un ciclo en la gráfica



Algoritmo del banquero

- Instancias múltiples.
- Cada proceso debe *a priori* reservar su utilización máxima.
- Cuando un proceso solicita un recurso, puede tener que esperar.
- Cuando un proceso obtiene todos sus recursos, debe devolverlos en un tiempo finito de tiempo.

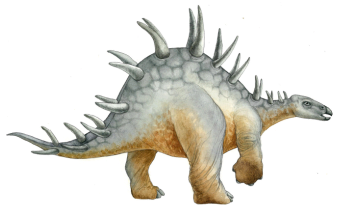


Estructuras de datos para el Alg. Banquero

Sea n = número de procesos, y m = número de tipos de recursos.

- ***Available***: Vector de longitud m. Si available [j] = k, existen k instancias disponibles del recurso tipo R_j .
- ***Max***: *Matriz de n x m*. Si *Max* [i,j] = k, el proceso P_i *puede solicitar a lo más k* instancias del recurso tipo R_j.
- ***Allocation***: *Matriz de n* x *m*. Si Allocation[i,j] = k entonces P_i tiene asignadas k instancias de R_j.
- ***Need***: *Matriz de n* x *m*. Si *Need*[i,j] = k, entonces P_i puede requerir k nuevas instancias de R_j para completar su trabajo.

$$Need\ [i,j] = Max[i,j] - Allocation\ [i,j].$$



Algoritmo de estado seguro

1. Sean ***Work*** y ***Finish*** vectores de longitudes *m* y *n*, respectivamente. Iniciamos:

   Work = *Available*

   Finish [*i*] = *false* for *i* = 0, 1, …, *n*- 1.

2. Find e *i* tales que ambas:

   (a) *Finish* [*i*] = *false*

   (b) $Need_i \leq Work$

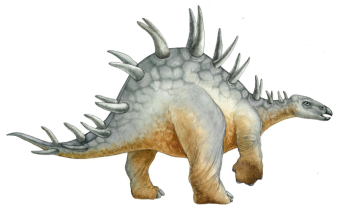
   Si no existe tal *i*, ir al paso 4.

3. *Work* = *Work* + $Allocation_i$

   Finish[*i*] = *true*

   ir al paso 2.

4. Si *Finish* [*i*] == true para toda *i*, el sistema está en un *estado seguro*.



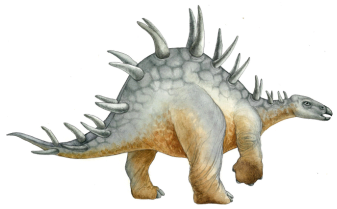
Algoritmo de solicitud de recursos para P_i

Request = vector de solicitud del proceso P_i. Si $Request_i[j] = k$ el proceso P_i quiere k del recurso tipo R_j.

1. Si $Request_i \leq Need_i$ ir al paso 2. En otro caso, enviar condición de error, porque el proceso ha excedido su reserva máxima.
2. Si $Request_i \leq Available$, ir al paso 3. En otro caso P_i debe esperar, porque no hay recursos disponibles.
3. Simulamos la asignación de recursos solicitados a P_i modificando el estado como sigue:

$$Available = Available - Request;$$
$$Allocation_i = Allocation_i + Request_i;$$
$$Need_i = Need_i - Request_i;$$

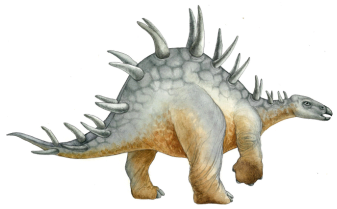
- *Si seguro ⇒ se asignan los recursos a Pi.*
- *Si inseguro ⇒ Pi debe esperar y se re-instala el viejo estado de recursos-asignación*



Ejemplo del algoritmo del banquero

- 5 procesos P_0 a P_4;
  3 tipos de recursos:
  A (10 instancias), *B* (5 instancias), y *C* (7 instancias).
- Instantánea en el tiempo T_0:

	Allocation	Max	Available
	A B C	A B C	A B C
P_0	0 1 0	7 5 3	**3 3 2**
P_1	2 0 0	3 2 2	
P_2	3 0 2	9 0 2	
P_3	2 1 1	2 2 2	
P_4	0 0 2	4 3 3	

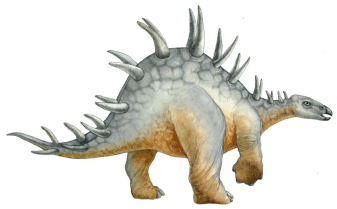


Ejemplo (Cont.)

- El contenido de la matriz *Need* está definido como *Max* – *Allocation*.

	Allocation	Max	Need
	A B C	A B C	A B C
P_0	0 1 0	7 5 3	**7 4 3**
P_1	2 0 0	3 2 2	**1 2 2**
P_2	3 0 2	9 0 2	**6 0 0**
P_3	2 1 1	2 2 2	**0 1 1**
P_4	0 0 2	4 3 3	**4 3 1**

- El sistema está en un estado seguro dado que la secuencia < P_1, P_3, P_4, P_2, P_0> satisface los criterios de seguridad.

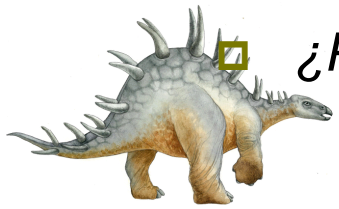


Ejemplo: P_1 Request (1,0,2)

- Checar que Request ≤ Available (esto es, (1,0,2) ≤ (3,3,2) ⇒ true).

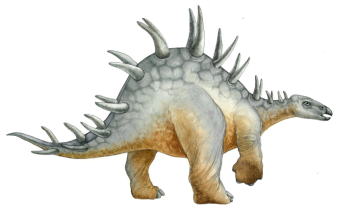
	Allocation	Max	Available
	A B C	A B C	A B C
P_0	0 1 0	7 5 3	**2 3 0**
P_1	**3 0 2**	3 2 2	
P_2	3 0 2	9 0 2	
P_3	2 1 1	2 2 2	
P_4	0 0 2	4 3 3	

- Ejecutando el algoritmo de seguridad obtenemos que la secuencia $< P_1, P_3, P_4, P_0, P_2>$ satisface los requerimientos de seguridad.
- *¿Puede autorizarse la solicitud (3,3,0) de P_4?*
- *¿Puede autorizarse la solicitud (0,2,0) de P_0?*



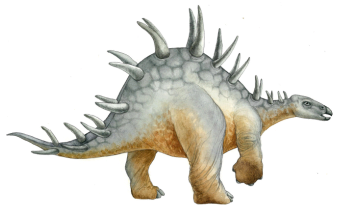
Detección de abrazos mortales

- Permitir al sistema entrar en estado de abrazo mortal
- Algoritmo de detección
- Esquema de recuperación

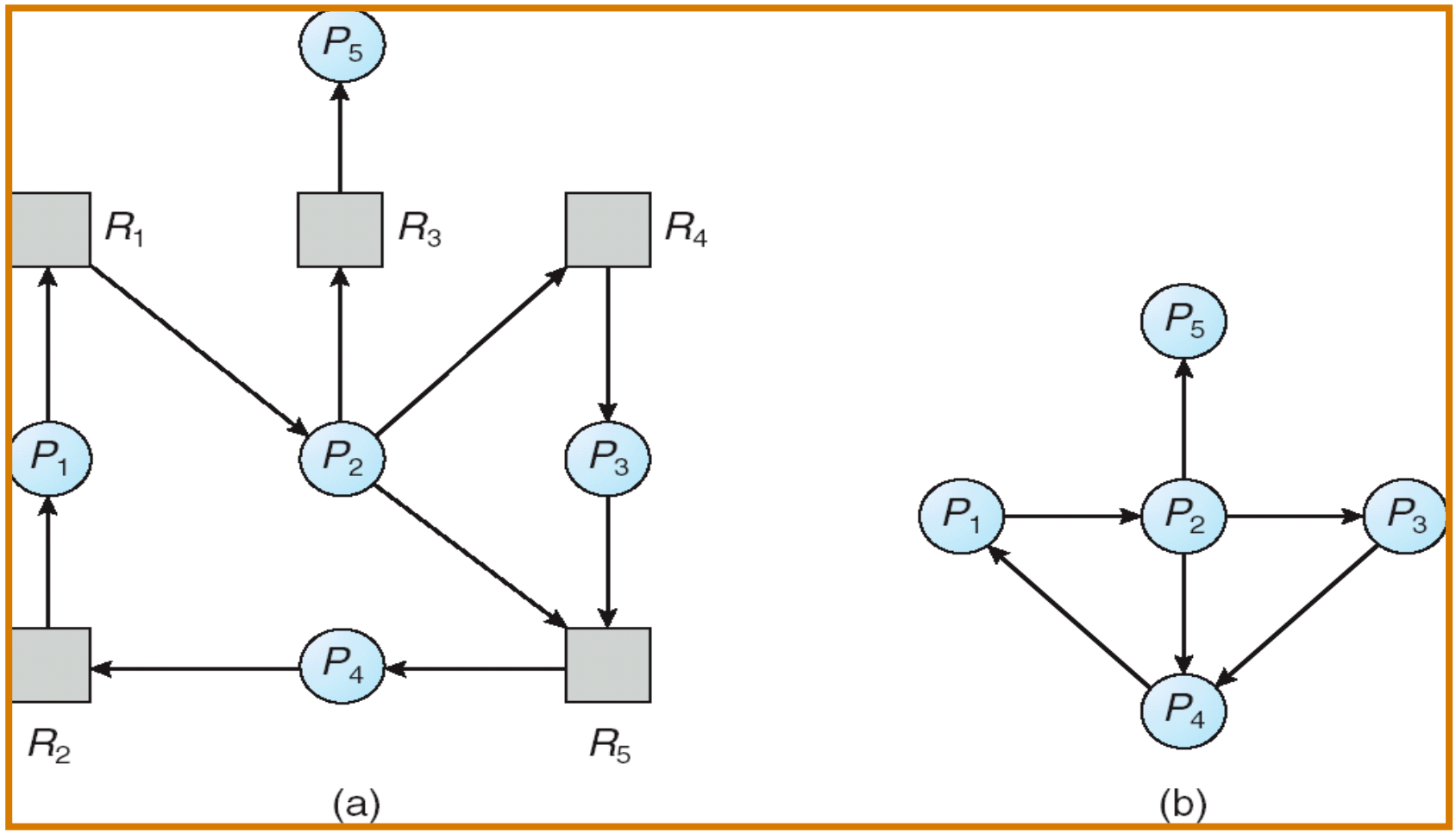


Una instancia por tipo de recurso

- Mantener una gráfica *esperando-a*
  - Los nodos son procesos.
  - $P_i \rightarrow P_j$ si P_i espera a P_j.
- Periódicamente invocar un algoritmo que busca ciclos en la gráfica. Si hay un ciclo, hay un abrazo mortal.
- Un algoritmo para determinar si existe un ciclo en una gráfica es orden de n^2, donde n es el número de vértices.

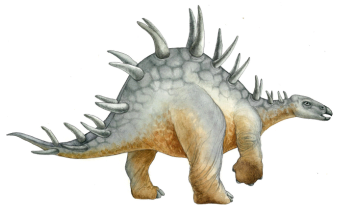


Gráficas de asignación-recurso y esperando-a



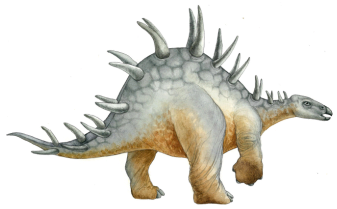
Gráfica asignación-recursos

Gráfica correspondiente esperando-a



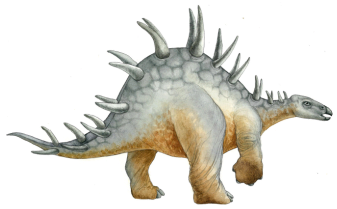
Muchas instancias de un tipo de recurso

- ***Available***: Vector de longitud *m* que indica el número de recursos disponibles de cada tipo.
- ***Allocation***: Matriz de *n* x *m* que define el número de recursos de cada tipo asignados a cada proceso.
- ***Request***: Matriz de *n* x *m* que indica la solicitud actual de cada proceso. Si *Request* $[i_j] = k$, el proceso P_i solicita *k* nuevas instancias de R_j.



Algoritmo de detección

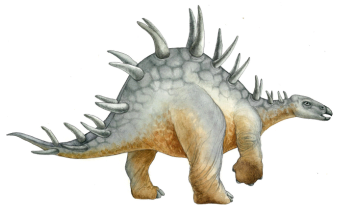
1. Sean *Work* y *Finish* vectores de longitud *m* y *n* respectivamente, iniciados así:
   (a) *Work* = *Available*
   (b) For *i* = 1,2, …, *n*, if $Allocation_i \neq 0$, then
   Finish[i] = false;otherwise, *Finish*[i] = *true*.
2. Encontrar un índice *i* tal que se cumplan ambas:
   (a) *Finish*[*i*] == *false*
   (b) $Request_i \leq Work$
   Si no existe tal *i*, ir al paso 4.



Algoritmo de detección (Cont.)

3. *Work* = *Work* + *Allocation*$_i$
   Finish[*i*] = *true*
   ir al paso 2.
4. If *Finish*[*i*] == false, para algunas *i*, $1 \leq i \leq n$, entonces el sistema está en estado de abrazo mortal. Más aún, si *Finish*[*i*] == *false*, entonces P_i está en abrazo mortal.

El algoritmo requiere un órden de O(m x $n^{2)}$ operaciones para determinar si el sistema está en abrazo mortal.



Ejemplo de algoritmo de detección

- Cinco procesos P_0 a P_4; tres tipos de recursos A (7 instancias), *B* (2 instancias), y *C* (6 instancias).
- Instantánea al tiempo T_0:

	Allocation	Request	Available
	A B C	A B C	A B C
P_0	0 1 0	0 0 0	0 0 0
P_1	2 0 0	2 0 2	
P_2	3 0 3	0 0 0	
P_3	2 1 1	1 0 0	
P_4	0 0 2	0 0 2	

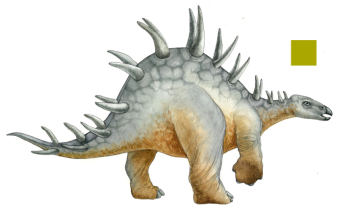
- La secuencia <P_0, P_2, P_3, P_1, P_4> termina *Finish*[*i*] = true para toda *i*.

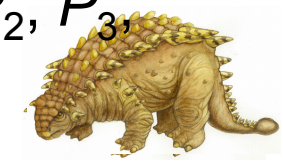
Ejemplo (Cont.)

- P_2 solicita un recurso adicional de tipo *C*.

	Request
	A B C
P_0	0 0 0
P_1	2 0 1
P_2	0 0 1
P_3	1 0 0
P_4	0 0 2

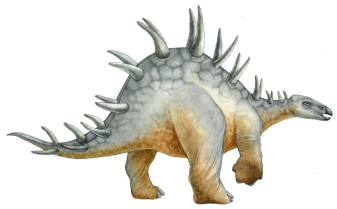
- ¿Estado del sistema?
  - Puede recuperar los recursos ocupados por el proceso P_0, pero son insuficientes para satisfacer las solicitudes de otros procesos.
  - Existe abrazo mortal, formado por los procesos P_1, P_2, P_3, y P_4.





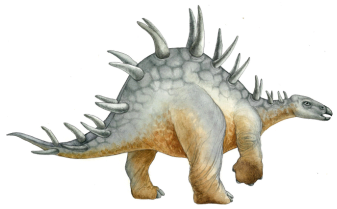
Uso del algoritmo de detección

- Cuándo y con qué frecuencia lo invocamos depende de:
  - Qué tan frecuentemente puede ocurrir un abrazo mortal
  - Cuántos procesos será necesario rebobinar
    - uno por cada ciclo disjunto
- Si el algoritmo de detección se invoca de manera arbitraria, pueden existir muchos ciclos en la gráfica de recursos y no podremos saber cuál de los muchos procesos en abrazo mortal lo "provocó".



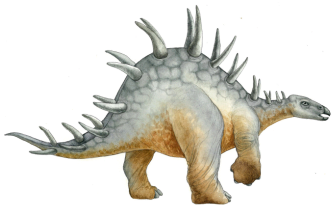
Recuperación abrazo mortal: terminar proceso

- Abortar todos los procesos en abrazo mortal.
- Abortar un proceso a la vez hasta que se elimine el ciclo de abrazo mortal.
- ¿En qué orden decidimos abortar?
  - Prioridad de los procesos.
  - Cuánto tiempo de CPU ha ocupado el proceso y cuánto le falta.
  - Recursos que el proceso ha utilizado.
  - Recursos que el proceso requiere para terminar.
  - Cuántos procesos deberán ser terminados.
  - ¿El proceso es interactivo o por lotes?



Recuperación abrazo mortal: recuperación de recursos

- Seleccionar una víctima – minimizar el costo.
- Rebobinar – regresar a un punto seguro, reiniciar el proceso para ese estado.
- Hambruna – el mismo proceso puede siempre ser seleccionado como víctimas, incluir el número de rebobinado como factor de costo.



Final del Capítulo 7