Algoritmos y Estructuras de Datos II

Departamento de Computación
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales
Universidad de Buenos Aires

De los creadores de sacarCompu...

Trabajo práctico 2

Diseño - DCNet

Grupo 11

Integrante	LU	Correo electrónico
Frizzo, Franco	013/14	francofrizzo@gmail.com
Martínez, Manuela	160/14	martinez.manuela.22@gmail.com
Rabinowicz, Lucía	105/14	lu.rabinowicz@gmail.com
Weber, Andrés	923/13	herr.andyweber@gmail.com

Reservado para la cátedra

Instancia	Docente	Nota
Primera entrega		
Segunda entrega		

1. Módulo Red

Notas preliminares

En todos los casos, al indicar las complejidades de los algoritmos, las variables que se utilizan corresponden a:

- n: Número de computadoras en la red.
- L: Longitud de nombre de computadora más largo de la red.
- I: Mayor cantidad de interfaces que tiene alguna computadora en la red en el momento.

Interfaz

se explica con: RED, ITERADOR UNIDIRECCIONAL(COMPU)

géneros: `red`, `itRed`

Operaciones básicas de Red

INICIARRED() $\rightarrow$ res : `Red`
Pre $\equiv$ {true}
Post $\equiv$ {res $=_{\text{obs}}$ iniciarRed()}
Complejidad: $\Theta(1)$
Descripción: Genera una nueva red sin ninguna computadora.

AGREGARCOMPU(**in/out** r : `Red`, **in** c : `compu`)
Pre $\equiv$ {$r =_{\text{obs}} r_0 \wedge (\forall c'$: compu)($c' \in$ computadoras(r) $\rightarrow$ ip(c) $\neq$ ip(c'))}
Post $\equiv$ {$r =_{\text{obs}}$ agregarCompu(r_0, c)}
Complejidad: $\Theta(I)$
Descripción: Agrega una nueva pc a una red.

CONECTAR(**in/out** r : `Red`, **in** c_0 : `compu`, **in** i_0 : `interfaz`, **in** c_1 : `compu`, **in** i_1 : `interfaz`) $\rightarrow$ res : `Red`
Pre $\equiv$ {$r =_{\text{obs}} r_0 \wedge c_1 \in$ computadoras(r) $\wedge$ $c_2 \in$ computadoras(r) $\wedge$ ip(c_0) $\neq$ ip(c_1) $\wedge$ $\neg$conectadas?(r, c_0 , c_1) $\wedge$ $\neg$usaInterfaz?(r, c_0, i_0) $\wedge$ $\neg$usaInterfaz?(r, c_1, i_1)}
Post $\equiv$ {$r =_{\text{obs}}$ conectar(r_0, c_0, i_0, c_1, i_1)}
Complejidad: $\Theta(n + I)$
Descripción: Conecta la pc c_0 con la pc c_1 a través de las interfaces i_0 y i_1 respectivamente.

COMPUTADORAS(**in** r : `Red`) $\rightarrow$ res : `conj(compu)`
Pre $\equiv$ {true}
Post $\equiv$ {$res =_{\text{obs}}$ computadoras(r)}
Complejidad: $\Theta(n \times (n + I^2))$
Descripción: Devuelve todas las computadoras de la red.

CONECTADAS?(**in** r : `Red`, **in** c_0 : `compu`, **in** c_1 : `compu`) $\rightarrow$ res : `bool`
Pre $\equiv$ {$c_0 \in$ computadoras(r) $\wedge$ $c_1 \in$ computadoras(r)}
Post $\equiv$ {$res =_{\text{obs}}$ conectadas?(r, c_0, c_1)}
Complejidad: $\Theta(n + I)$
Descripción: Devuelve true si y solo si la pc c_0 esta conectada a la pc c_1

INTERFAZUSADA(**in** r : `Red`, **in** c_0 : `compu`, **in** c_1 : `compu`) $\rightarrow$ res : `interfaz`
Pre $\equiv$ {$c_0 \in$ computadoras(r) $\wedge$ $c_1 \in$ computadoras(r) $\wedge_{\text{L}}$ conectadas?(r, c_0, c_1)}
Post $\equiv$ {$res =_{\text{obs}}$ interfazUsada(r, c_0, c_1)}
Complejidad: $\Theta(n + I)$
Descripción: Devuelve la interfaz usada por c_0 para conectarse a c_1

VECINOS(**in** r : `Red`, **in** c : `compu`) $\rightarrow$ res : `conj(compu)`
Pre $\equiv$ {$c \in$ computadoras(r)}
Post $\equiv$ {$res =_{\text{obs}}$ vecinos(r, c)}
Complejidad: $\Theta(n + I^3)$
Descripción: Devuelve el conjunto de vecinos de la pc c

usaInterfaz?(**in** r : `Red`, **in** c : `compu`, **in** i : `interfaz`) $\rightarrow$ res : `bool`
Pre $\equiv$ {$c \in$ computadoras(r)}
Post $\equiv$ {$res =_{\text{obs}}$ usaInterfaz?(r, c, i)}
Complejidad: $\Theta(n + I)$
Descripción: Devuelve true si y solo si la pc c esta usando la interfaz i.

caminosMinimos(**in** r : `Red`, **in** c_0 : `compu`, **in** c_1 : `compu`) $\rightarrow$ res : `conj(secu(compu))`
Pre $\equiv$ {$c_0 \in$ computadoras(r) $\wedge$ $c_1 \in$ computadoras(r)}
Post $\equiv$ {$res =_{\text{obs}}$ caminosMinimos(r, c_0, c_1)}
Complejidad: $\Theta(1234)$
Descripción: Devuelve todos los caminos mńimos posibles entre c_0 y c_1. De no haber ninguno, devuelve $\emptyset$.

hayCamino?(**in** r : `Red`, **in** c_0 : `compu`, **in** c_1 : `compu`) $\rightarrow$ res : `bool`
Pre $\equiv$ {$c_0 \in$ computadoras(r) $\wedge$ $c_1 \in$ computadoras(r)}
Post $\equiv$ {$res =_{\text{obs}}$ hayCamino?(r, c_0, c_1)}
Complejidad: $\Theta(1234)$
Descripción: Devuelve true si y solo si hay algún camino posible entre c_0 y c_1.

cantCompus(**in** r : `Red`) $\rightarrow$ res : `nat`
Pre $\equiv$ {true}
Post $\equiv$ {$res =_{\text{obs}}$ #(computadoras(r))}
Complejidad: $\Theta(1)$
Descripción: Devuelve cuantas computadoras hay en la red

copiar(**in** r : `Red`) $\rightarrow$ res : `Red`
Pre $\equiv$ {true}
Post $\equiv$ {$res =_{\text{obs}}$ r}
Complejidad: $\Theta(n \times I)$
Descripción: Devuelve una copia de la red

Operaciones básicas del iterador de Red

crearIt(**in** r : `Red`) $\rightarrow$ res : `itRed`
Pre $\equiv$ {true}
Post $\equiv$ {$res =_{\text{obs}}$ crearItUni(r.compus)}
Complejidad: $\Theta(1)$
Descripción: Crea un iterador de red. ????????

haySiguiente?(**in** it : `itRed`) $\rightarrow$ res : `bool`
Pre $\equiv$ {true}
Post $\equiv$ {$res =_{\text{obs}}$ hayMas?(it)}
Complejidad: $\Theta(1)$
Descripción: Devuelve true si y solo si it tiene siguiente.

siguiente(**in** it : `itRed`) $\rightarrow$ res : `compu`
Pre $\equiv$ {true}
Post $\equiv$ {$res =_{\text{obs}}$ actual(it)}
Complejidad: $\Theta(I^2)$????????.
Aliasing: res se devuelve por referencia

avanzar(**in/out** it : `itRed`)
Pre $\equiv$ {$it =_{\text{obs}}$ it_0 $\wedge$ haySiguiente?(it)}
Post $\equiv$ {$it =_{\text{obs}}$ avanzar(it_0)}
Complejidad: $\Theta(1)$

Descripción: Avanza el iterador a la siguiente posicion.

Representación

Estructura Red

`Red` se representa con `estrRed`

donde `estrRed` es `tupla`(*compus*: `lista(estrCompu)` , *cantidadCompus*: `nat`)

donde `estrCompu` es `tupla`(*IP*: `string` , *conexiones*: `lista(tupla(inter: interfaz, com: itLista(estrCompu)))`)

Rep : Red $\longrightarrow$ bool

Rep(e) $\equiv$ ($\forall c$: compu)(c $\in$ ArmarComputadoras(e.compus) $\Rightarrow_{\text{L}}$ $\neg$ Pertenece?(e.compus, c, c))$\wedge$
#ArmarComputadoras(e.compus) = e.cantidadCompus $\wedge$
($\forall c_1$: compu)(($\forall c_2$: compu) ($c_1 \in$ ArmarComputadoras(e.compus) $\wedge$ $c_2 \in$ ArmarComputadoras(e.compus)
$\Rightarrow_{\text{L}}$ Pertenece?(e.compus, c_1, c_2) $\Leftrightarrow$ Pertenece?(e.compus, c_2, c_1))) $\wedge$
($\forall c_1$: compu)($c_1 \in$ ArmarComputadoras(e.compus) $\Rightarrow_{\text{L}}$ ($\forall c_2$: compu) (Pertenece?(e.compus, c_1, c_2) $\Rightarrow$ c_2
$\in$ ArmarComputadoras(e.compus))) $\wedge$
sinRepetidos(ArmarSecuencia(e.compus))

Abs : estrRed e $\longrightarrow$ Red {Rep(e)}

Abs(e) $\equiv$ (r: Red | computadoras(r) = ArmarComputadoras(e.compus) $\wedge$
($\forall c_1$: compu)(($\forall c_2$: compu) conectados?(r, c_1, c_2) = Pertenece?(e.compus, c_1, c_2) $\wedge$
InterfazUsada(r, c_1, c_2) = DevolverInterfaz(e.compus, c_1, c_2)))

Estructura iterador de Red

`itRed` se representa con `itLista(estrCompu)`

Rep : itRed $\longrightarrow$ bool

Rep(it) $\equiv$ true

Abs : itRed itl $\longrightarrow$ itUni(estrCompu) {Rep(itl)}

Abs(itl) $\equiv$ itr: itUni(estrCompu)| siguientes(itr) $=_{\text{obs}}$ armarCompus(siguiente(itl))

ArmarComputadoras : secu(tupla(string,secu(tupla(Interfaz,ItRed)))) $\longrightarrow$ conj(compu)

ArmarComputadoras(l) $\equiv$ **if** vacia?(l) **then**
$\emptyset$
else
Ag($\langle \pi_1$(prim(l)), GenerarInterfaces(π_2(prim(l)))$\rangle$, ArmarComputadoras(fin(l)))
fi

ArmarSecuencia : secu(tupla(string,secu(tupla(interfaz,itLista(compu))))) $\longrightarrow$ secu(string)

ArmarSecuencia(s) $\equiv$ **if** vacia?(s) **then** <> **else** (π_1(prim(s))) $\bullet$ ArmarSecuencia(fin(s)) **fi**

sinRepetidos : secu(string) $\longrightarrow$ bool

sinRepetidos(s) $\equiv$ #(pasarSecuAConj(s) = long(s)

pasarSecuAConj : secu(string) $\longrightarrow$ conj(string)

pasarSecuAConj(s) $\equiv$ **if** vacia?(s) **then** $\emptyset$ **else** Ag(prim(s), pasarSecuAConj(fin(s))) **fi**

GenerarInterfaces : secu(tupla(Interfaz,ItLista(estrCompu))) $\longrightarrow$ conj(Interfaz)

GenerarInterfaces(l) $\equiv$ **if** vacia?(l) **then** $\emptyset$ **else** Ag(π_1(prim(l)), GenerarInterfaces(fin(l))) **fi**

Pertenece? : secu(tupla(string,secu(tupla(Interfaz,ItRed)))) l $\times$ compu c_1 $\times$ compu c_2 $\longrightarrow$ bool

Pertenece?(l, c_1, c_2) $\equiv$ **if** (π_1(prim(l) = π_1(c_1))) **then**
$\pi_1(c_2) \in$ GenerarCompus(π_2(prim(l)))
else
Pertenece?(fin(l), c_1, c_2)
fi

GenerarCompus : secu(tupla<Interfaz $\times$ ItLista(estrCompu)>) $\longrightarrow$ conj(string)

GenerarCompus(l) $\equiv$ **if** vacia?(l) **then** $\emptyset$ **else** Ag(π_1(siguiente(π_2(prim(l)))), GenerarCompus(fin(l))) **fi**

DevolverInterfaz : secu(tupla<string $\times$ secu(tupla<Interfaz $\times$ ItRed>)>) l $\times$ compu c_1 $\times$ compu c_2 $\longrightarrow$ Interfaz
{Pertenece?(l, c_1, c_2}

DevolverInterfaz(l, c_1, c_2) $\equiv$ **if** (π_1(prim(l)) = π_1(c_1)) **then**
DevolverInterfazAux(π_2(prim(l), c_2))
else
DevolverInterfaz(fin(l, c_1, c_2))
fi

DevolverInterfazAux : secu(tupla<Interfaz $\times$ ItRed>) l $\times$ compu c $\longrightarrow$ Interfaz

DevolverInterfaz(l, c) $\equiv$ **if** ($\pi_1(c_2) = \pi_1$(siguiente(π_2(prim(l))))) **then**
π_1(prim(l))
else
DevolverInterfazAux(fin(l, c))
fi

armarCompus : secu(estrCompu) l $\longrightarrow$ secu(compu)

armarCompus(es) $\equiv$ **if** vacía(es) **then** <> **else** armarCompu(prim(es)) $\bullet$ armarCompus(fin(es)) **fi**

armarCompu : estrCompu e $\longrightarrow$ compu

armarCompu(e) $\equiv$ $\langle e$.IP, dameΠ_1(e.conexiones)$\rangle$

dameΠ_1 : secu(tupla$\langle$*inter*:interfaz $\times$ *itCompu*:itLista(estrCompu)$\rangle$) l $\longrightarrow$ conj(interfaz)

dameΠ_1(l) $\equiv$ **if** vacía(l) **then** $\emptyset$ **else** ag(Pi_1(prim(l)), dameΠ_1(fin(l))) **fi**

Algoritmos

Algoritmos de Red

iIniciarRed() $\rightarrow$ *res* : `estrRed`	
1 *res* $\leftarrow \langle <>, 0 \rangle$	▷ $\Theta(1)$

Complejidad: $\Theta(1)$

iAgregarCompu(**in/out** r : `estrRed`, **in** c : `compu`)

```
1 agregarAtras(r.compus, ⟨c.IP, iArmarLista(c.interfaces)⟩)        ▷ Θ(I)
2 r.cantidadCompus ← r.cantidadCompus + 1                          ▷ Θ(1)
```

Complejidad: $\Theta(I)$

iArmarLista(**in** c : `conj(interfaz)`) → res : `lista(⟨Interfaz, itLista(estrCompu)⟩)`

```
1 res ← vacia()                                                    ▷ Θ(1)
2 itConj(interfaz) it ← crearIt(c)                                 ▷ Θ(1)
3 while haySiguiente(it) do                                        ▷ Θ(I) iteraciones
4 |  agregarAtras(res, ⟨siguiente(it), NULL⟩)                      ▷ Θ(1)
5 |  avanzar(it)                                                   ▷ Θ(1)
6 end
```

Complejidad: $\Theta(I)$

Justificación: Dado un conjunto de interfaces, arma una lista, que representa las computadoras sin conexiones n tuplas de Interfaz e Iterador a NULL (ya que cuando una computadora se agrega a la red no está conectada a ninguna otra)

iConectar(**in/out** r : `estrRed`), **in** c_1 : `compu`, **in** i_1 : `interfaz`, **in** c_2 : `compu`, **in** i_2 : `interfaz`)

```
1  itLista(estrComp) it_1 ← crearIt(r.compus)                                          ▷ Θ(1)
2  itLista(estrComp) it_2 ← crearIt(r.compus)                                          ▷ Θ(1)
3  while siguiente(it_1).IP ≠ c_1.IP do                                                ▷ Θ(n) iteraciones
4  |  avanzar(it_1)                                                                   ▷ Θ(1)
5  end
6  while siguiente(it_2).IP ≠ c_2.IP do                                                ▷ Θ(n) iteraciones
7  |  avanzar(it_2)                                                                   ▷ Θ(1)
8  end
9  itLista(tupla⟨interfaz, itLista(estrCompu)⟩) it_3 ← crearIt(siguiente(it_1).conexiones))   ▷ Θ(1)
10 itLista(tupla⟨interfaz, itLista(estrCompu)⟩) it_4 ← crearIt(siguiente(it_2).conexiones)    ▷ Θ(1)
11 while siguiente(it_3).inter ≠ i_1 do                                                ▷ Θ(I) iteraciones
12 |  avanzar(it_3)                                                                   ▷ Θ(1)
13 end
14 while siguiente(it_4).inter ≠ i_2 do                                                ▷ Θ(I) iteraciones
15 |  avanzar(it_4)                                                                   ▷ Θ(1)
16 end
17 siguiente(it_3).com ← it_2                                                          ▷ Θ(1)
18 siguiente(it_4).com ← it_1                                                          ▷ Θ(1)
```

Complejidad: $\Theta(n + I)$

iConectadas?(**in** r : `estrRed`, **in** c_1 : `compu`, **in** c_2 : `compu`) → res : `bool`

```
1 itLista(estrCompu) it_1 ← crearIt(r.compus)                                          ▷ Θ(1)
2 while siguiente(it_1).IP ≠ c_1.IP do                                                 ▷ Θ(n) iteraciones
3 |  avanzar(it_1)                                                                    ▷ Θ(1)
4 end
5 itLista(tupla⟨interfaz, itLista(estrCompu)⟩) it_2 ← crearIt(siguiente(it_1).conexiones)   ▷ Θ(1)
6 while haySiguiente(it_2) ∧_L siguiente(siguiente(it_2).com)).IP ≠ c_2.IP do          ▷ Θ(I) iteraciones
7 |  avanzar(it_2)                                                                    ▷ Θ(1)
8 end
9 res ← (siguiente(siguiente(it_2).com)).IP = c_2.IP)                                  ▷ Θ(1)
```

Complejidad: $\Theta(n + I)$

iInterfazUsada(**in** r : `estrRed`, **in** c_1 : `compu`, **in** c_2 : `compu`) → res : `interfaz`

```
1 itLista(estrCompu) it_1 ← crearIt(r.compus)                                   ▷ Θ(1)
2 while siguiente(it_1).IP ≠ c_1.IP do                                          ▷ Θ(n) iteraciones
3 |  avanzar(it_1)                                                              ▷ Θ(1)
4 end
5 itLista(tupla⟨interfaz, itLista(estrCompu)⟩) it_2 ← crearIt(siguiente(it_1).conexiones)   ▷ Θ(1)
6 while (siguiente(siguiente(it_2).com)).IP ≠ c_2.IP do                         ▷ Θ(I) iteraciones
7 |  avanzar(it_1)                                                              ▷ Θ(1)
8 end
9 res ← siguiente(it_2).inter                                                   ▷ Θ(1)
```

Complejidad: $\Theta(n + I)$

iVecinos(**in** r : `estrRed`, **in** c : `compu`) → res : `conj(compu)`

```
1  res ← vacio()                                                                ▷ Θ(1)
2  itLista(estrComp) it_1 ← crearIt(r.compus)                                   ▷ Θ(1)
3  while siguiente(it_1).IP ≠ c.IP do                                           ▷ Θ(n) iteraciones
4  |  avanzar(it_1)                                                            ▷ Θ(1)
5  end
6  itLista(tupla⟨interfaz, itLista(estrCompu)⟩) it_2 ← crearIt(siguiente(it_1).conexiones)   ▷ Θ(1)
7  while haySiguiente?(it_2) do                                                 ▷ Θ(n) iteraciones
8  |  if haySiguiente?(siguiente(it_2).com) then                               ▷ Θ(1)
9  |  |  agregar(res, ⟨siguiente(siguiente(it_2).com).IP,
   |  |  crearConjunto(siguiente(siguiente(it_2).com).conexiones)⟩)             ▷ Θ(I^2)
10 |  end
11 |  avanzar(it_2)                                                            ▷ Θ(1)
12 end
```

Complejidad: $\Theta(n + I^3)$

iCrearConjunto(**in** l: `lista(tupla(inter: interfaz, com: itLista(estrCompu)))`) → res : `conj(interfaz)`

```
1 nat n ← 0                                                                     ▷ Θ(1)
2 res ← vacio()                                                                 ▷ Θ(1)
3 while n <longitud(l) do                                                       ▷ Θ(I) iteraciones
4 |  agregar(res, (l[n]).inter)                                                 ▷ Θ(I)
5 |  n ← n + 1                                                                 ▷ Θ(1)
6 end
```

Complejidad: $\Theta(I^2)$

Justificación: Dada una lista de tupla de ⟨Interfaz,Iterador⟩ (que representa las conexiones de la computadora), devuelve el conjunto de todas las interfaces que se encuentran en ella.

iUsaInterfaz?(**in** r : `estrRed`, **in** c: `compu`, **in** i : `interfaz`) → res : `bool`

```
1  itLista(estrComp) it_1 ← crearIt(r.compus)                                   ▷ Θ(1)
2  while siguiente(it_1).IP ≠ c.IP do                                           ▷ Θ(n) iteraciones
3
4  |  avanzar(it_1)                                                            ▷ Θ(1)
5  end
6  itLista(tupla⟨interfaz, itLista(estrCompu)⟩) it_2 ← crearIt(siguiente(it_1).conexiones)   ▷ Θ(1)
7  while siguiente(it_2).inter ≠ i do                                           ▷ Θ(I) iteraciones
8  |  avanzar(it_2)                                                            ▷ Θ(1)
9  end
10 res ← haySiguiente(siguiente(it_2).com)                                      ▷ Θ(1)
```

Complejidad: $\Theta(n + I)$

---

iCaminosMinimos(**in** r : `estrRed`, **in** c_1 : `compu`, **in** c_2 : `compu`) $\rightarrow$ res : `conj(lista(compu))`

```
1 res ← vacio()                                                                    ▷ Θ(1)
2 if pertenece?(c2, vecinos(r, c1)) then                                           ▷ Θ(I)
3 |  agregar(res, agregarAtras(agregarAtras(<>,c1), c2))                           ▷ Θ(n + I)
4 else
5 |  res ← dameMinimos(Caminos(r, c1, c2, agregarAtras(<>,c1), pasarConjASecu(vecinos(r, c1))))
6 end
```

Complejidad:

---

dameMinimos(**in** c: `conj(lista(compu))`) $\rightarrow$ res : `conj(lista(compu))`

```
1 if esVacio?(c) then                                                              ▷ Θ(1)
2 |  res ← vacio()                                                                 ▷ Θ(1)
3 else
4 |  ItConj(lista(compu)) it ← crearIt(c)                                          ▷ Θ(1)
5 |  res ← dameMinimosAux(c, minimaLong(c, long(siguiente(it))))
6 end
```

Complejidad:

Justificación: Devuelve, del total de caminos posibles, solo los de longitud mínima

---

dameMinimosAux(**in** c: `conj(lista(compu))`, **in** n: `nat`) $\rightarrow$ res : `conj(lista(compu))`

```
1  ItConj(lista(compu)) it ← crearIt(c)                                            ▷ Θ(1)
2  res ← vacio()
                                                                                   ▷ Θ(1)
3  while haySiguiente(it) do                                                       ▷ Θ(n!) iteraciones
4  |  if long(siguiente(it))= n then                                              ▷ Θ(1)
5  |  |  agregar(res, siguiente(it))                                              ▷ Θ(n)
6  |  |  avanzar(it)                                                             ▷ Θ(1)
7  |  else
8  |  |  avanzar(it)                                                             ▷ Θ(1)
9  |  end
10 end
```

Complejidad: ▷ $\Theta(n \times n!)$

---

minimaLong(**in** c: `conj(lista(compu))`, **in** n: `nat`) $\rightarrow$ res : `nat`

```
2  nat i ← n                                                                       ▷ Θ(1)
3  ItConj(lista(compu)) it ← crearIt(c)                                            ▷ Θ(1)
4  while haySiguiente(it) do
5  |  if long(siguiente(it)) then
6  |  |  i ← longitud(siguiente(it))
1  |  |  avanzar(it)
8  |  else
9  |  |  avanzar(it)
10 |  end
11 end
12 res ← i
```

---

13 **Complejidad:**

14 **Justificación:** Devuelve la longitud de la secuencia más chica

pasarConjASecu(**in** c: `conj(compu)`) → res : `secu(compu)`

```
1  2  res ← vacia()                                                          ▷ Θ(1)
   3  ItConj it ← crearIt(c)                                                  ▷ Θ(1)
   4  While(                ▷ Θ(n) iteracioneshaySiguiente(it) agregarAtras(res, siguiente(it))   ▷ Θ(I)
```

5 **Complejidad:** $\Theta(n \times I)$

6 **Justificación:** Devuelve una secuencia que contiene a todos los elementos del conjunto pasado por parámetro

iHayCamino?(**in** r : `estrRed`, **in** c_1 : `compu`, **in** c_2 : `compu`) → res : `bool`

```
1  2  res ← (¬esVacio?(iCaminosMinimos(r, c1, c2)))
```

3 **Complejidad:**

iCaminos(**in** r : `estrRed`, **in** c_1 : `compu`, **in** c_2 : `compu`, **in** l : `lista(estrCompu)`, **in** vec: `lista(estrCompu)`) → res : `conj(lista(estrCompu))`

```
   2  if vacia?(vec) then
   3  |  res ← vacia()
   4  else
   5  |  if /último(l) = c1 then
   6  |  |  res ← agregar(l, vacia())
   7  |  else
1  8  |  |  if ∅está?(primero(vec, l)) then
   9  |  |  |  res ← unión(caminos(r, c0, c1, agregarAtras(l, primero(vec)), iVecinos(r, primeros(vec))),
      |  |  |  caminos(r, c0, c1, l, fin(vec)))
  10  |  |  else
  11  |  |  |  res ← caminos(r, c0, c1, l, fin(vec))
  12  |  |  end
  13  |  end
  14  end
```

15 **Complejidad:**

16 **Justificación:** Dada una red, dos compus, los vecinos de la primer compu, y una lista que usamos para guardar las computadoras por las que ya preguntamos, iteramos sobre todas las computadoras y devolvemos el conjunto de todos los caminos posibles desde la primer computadora hasta la segunda.

iUnión(**in** c_1 : `conj(lista(compu))`, **in** c_2 : `conj(lista(compu))`) → res : `conj(lista(compu))`

```
   2  res ← vacio()                                                          ▷ Θ(1)
   3  if vacio?(c1) then                                                     ▷ Θ(1)
   4  |  res ← c2
   5  else
   6  |  itConj(lista(compu)) it ← crearIt(c1)                               ▷ Θ(1)
1  7  |  while haySiguiente(it) do  ▷ [
   8  |  f]*Θ(n)
   9  |  |  Ag(siguiente(it), c2)                                            ▷ Θ(n)
  10  |  |  avanzar(it)                                                      ▷ Θ(1)
  11  |  end
  12  end
```

13 **Complejidad:**

14 **Justificación:** Devuelve la unión de dos conjuntos.

```
iEsta?(in c: compu, in l: lista(compu)) → res : bool
2  if vacia?(l) then                                                    ▷ Θ(1)
3
4  |  res ← false                                                       ▷ Θ(1)
5  else
6  |  ItLista(compu) it ← crearIt(l)                                    ▷ Θ(1)
1  |  while haySiguiente(it) ∧L siguiente(it) ≠ c do                    ▷ Θ(n)
8  |
9  |  |  avanzar(it)                                                    ▷ Θ(1)
10 |  end
11 end
12 res ← (haySiguiente(it))                                             ▷ Θ(1)
```

13 **Complejidad:** $\Theta(n)$

14 **Justificación:** Devuelve True si y solo si la compu c se encuentra en la lista l.

```
iComputadoras(in r: estrRed) → res : conj(compu)
2  res ← vacio()                                                        ▷ Θ(1)
3  itRed it ← crearItRed()                                              ▷ Θ(1)
1  while haySiguiente?(it) do                                           ▷ Θ(n) iteraciones
5  |  agregar(res, siguiente(it))                                       ▷ Θ(n + I²)
6  |  avanzar(it)                                                       ▷ Θ(1)
7  end
```

8 **Complejidad:** $\Theta(n \times (n + I^2))$

```
iCopiar(in r: : estrRed) → res : Red
1
2  res ← ⟨copiar(r.compus, r.cantidadCompus⟩                            ▷ Θ(n × I)
```

3 **Complejidad:** $\Theta(n \times I)$

4 **Justificación:** Devuelve una copia de la Red

```
iCantCompus(in r: Red) → res : nat
1
2  res ← r.cantCompus                                                   ▷ Θ(1)
```

3 **Complejidad:** $\Theta(1)$

4 Algoritmos del iterador de Red

```
iHaySiguiente?(in it: itLista(estrCompu)) → res : bool
1
2  res ← haySiguiente?(it)                                              ▷ Θ(1)
```

3 **Complejidad:** $\Theta(1)$

iSiguiente(**in** it : `itLista(estrCompu)`) $\rightarrow$ res : `compu`

```
2  estrCompu e ← siguiente(it)                                   ▷ Θ(1)
3  res.IP ← e.IP                                                 ▷ Θ(1)
4  conj(interfaz) interfaces ← vacío()                           ▷ Θ(1)
5  itLista(tupla⟨ inter: interfaz, com: itLista(estrCompu)⟩) itInterfaces ← crearIt(e.conexiones)
1     ▷ Θ(1)
6  while haySiguiente?(itInterfaces) do                          ▷ Θ(I) iteraciones
7  |  agregar(interfaces, siguiente(itInterfaces).inter)         ▷ Θ(I)
8  |  avanzar(itInterfaces)                                      ▷ Θ(1)
9  end
10 res.Interfaces ← e.Interfaces                                 ▷ Θ(I)
```

11 **Complejidad:** $\Theta(I^2)$

iCrearIt(**in** e : `estrRed`)

```
1
2  res ← crearIt(e.compus)                                       ▷ Θ(1)
```

3 **Complejidad:** $\Theta(1)$

iAvanzar(**in/out** it : `itLista(estrCompu)`)

```
1
2  it ← avanzar(it)                                              ▷ Θ(1)
```

3 **Complejidad:** $\Theta(1)$

2. Módulo DCNet

Notas preliminares

En todos los casos, al indicar las complejidades de los algoritmos, las variables que se utilizan corresponden a:

- n: Número de computadoras en la red.
- k: Longitud de la cola de paquetes más larga al momento.
- L: Longitud de nombre de computadora más largo de la red.
- i: Mayor cantidad de interfaces que tiene alguna computadora en la red en el momento.

Interfaz

se explica con: DCNet

géneros: `dcnet`

Operaciones básicas de lista

INICIARDCNET(**in** r : `Red`) $\rightarrow$ res : `DCNet`
Pre $\equiv$ {true}
Post $\equiv$ {res $=_{\text{obs}}$ iniciarDCNet(r)}
Complejidad: $\Theta(1234)$
Descripción: Genera un nuevo DCNet sin paquetes.

CREARPAQUETE(**in/out** D : `DCNet`, **in** p : `paquete`)
Pre $\equiv$ {D $=_{\text{obs}}$ D_0 $\wedge$ ($\nexists p'$: paquete)(paqueteEnTransito?(D,p') $\wedge$ id(p') = id(p)) $\wedge$ origen(p) $\in$ computadoras(red(D)) $\wedge_{\text{L}}$ destino(p) $\in$ computadoras(red(D)) $\wedge_{\text{L}}$ hayCamino?(red(D), origen(p), destino(p)))}
Post $\equiv$ {D $=_{\text{obs}}$ crearPaquete(D_0, p)}
Complejidad: $\Theta(l + log(k))$
Descripción: Crea un nuevo paquete que no exite en el DCNet anterior.

AVANZARSEGUNDO(**in/out** D : `DCNet`)
Pre $\equiv$ {D $=_{\text{obs}}$ D_0}
Post $\equiv$ {D $=_{\text{obs}}$ avanzarSegundo(D_0)}
Complejidad: $\Theta(n.(L + log(n) + log(k)))$
Descripción: Avanza un segundo en el DCNet, moviendo todos los paquetes correspondientes.

RED(**in** D : `DCNet`) $\rightarrow$ res : `red`
Pre $\equiv$ {true}
Post $\equiv$ {res $=_{\text{obs}}$ red(D)}
Complejidad: $\Theta(1234)$
Descripción: Devuelve la red donde esta funcionando el DCNet.

CAMINORECORIDO(**in** D : `DCNet`, **in** p : `paquete`) $\rightarrow$ res : `secu(compu)`
Pre $\equiv$ {paqueteEnTrancito?(D, p)}
Post $\equiv$ {res $=_{\text{obs}}$ caminoRecorrido(D, p)}
Complejidad: $\Theta(n.log(max(n, k)))$
Descripción: Devuelve la secuencia que contiene de forma ordenada todas las computadoras por las que fue pasando.

CANTIDADENVIADOS(**in** D : `DCNet`, **in** c : `compu`) $\rightarrow$ res : `nat`
Pre $\equiv$ {c $\in$ computadoras(red(D))}
Post $\equiv$ {res $=_{\text{obs}}$ cantidadEnviados(D, c)}
Complejidad: $\Theta(1234)$
Descripción: Devuelve la cantidad de paquetes que envió la computadora “c”.

ENESPERA(**in** D : `DCNet`, **in** c : `compu`) $\rightarrow$ res : `conj(paquete)`
Pre $\equiv$ {c $\in$ computadoras(red(D))}
Post $\equiv$ {res $=_{\text{obs}}$ enEspera(D, c)}

Complejidad: $\Theta(L)$
Descripción: Devuelve los paquetes que tiene en espera la compu "c".

PAQUETESENTRÁNSITO?(**in** D : `DCNet`, **in** p : `paquete`) $\rightarrow$ *res* : `bool`
Pre $\equiv$ {true}
Post $\equiv$ {res $=_{\text{obs}}$ paquetesEnTrancito?(D, p)}
Complejidad: $\Theta(1234)$
Descripción: Devuelve "True" si y solo si el paquete esta en los paquetes en espera de alguna computadora.

LAQUEMÁSENVIÓ(**in** D : `DCNet`) $\rightarrow$ *res* : `compu`
Pre $\equiv$ {true}
Post $\equiv$ {res $=_{\text{obs}}$ laQueMásEnvió(D)}
Complejidad: $\Theta(1)$
Descripción: Devuelve una de las computadoras con mas paquetes enviados

Representación

`dcnet` se representa con `estrDCNet`

donde `estrDCNet` es `tupla`(*red*: `red` , *IDsCompusPorIP*: `dicc_trie(string, nat)` , *siguientesCompus*: `ad(ad(nat))` , *paquetesEnEspera*: `ad(tupla(enConjunto: conj(paquete), porID: dicc_AVL(ID, tupla(iPaquete: itConj(paquete),codOrigen: nat, codDestino: nat), porPrioridad: heap(tupla(prioridad, itConjunto(paquete))))))` , *#PaqEnviados*: `ad(nat)` , *laQueMásEnvió*: `itRed` , *IPsCompuPorID*: `ad(itRed)`)

Rep : e $\longrightarrow$ bool

Rep(l) $\equiv$ true $\iff$ ($\forall e$: estr)(
(tam(e.paquetesEnEspera) = tam(e.IPcompusXID) = tam(e.siguienteCompu) = tam (e.cantPaquetesEnviados) = #(computaodras(e.estrRed))) $\wedge$ ($\forall n$: nat)(definido?(e.siguienteCompu,n) $\Rightarrow_{\text{L}}$ tam(e.siguienteCompu[n]) = #(computadoras(e.estrRed))) $\wedge$
Maximo(e.cantPaqEnviados) = e.cantidadEnviados[obtener(π_1(siguiente(e.laQueMásEnvió)),e.IDcompusPorIP)] $\wedge$ ($\forall c$: compu)(c $\in$ computadoras(e.estRed) $\Rightarrow_{\text{L}}$ obtener(π_1(c),e.IDcompusPorIP) <#(computadoras(e.estrRed))) $\wedge$ (($\forall c_1$, c_2: compu)((c_1 $\in$ computadoras(e.estRed) $\wedge$ (c_2 $\in$ computadoras(e.estrRed)) $\wedge$ ($c_1 \neq c_2$)) $\Rightarrow_{\text{L}}$ ((obtener($\pi_1(c_1)$, e.IDcompusPorIP) $\neq$ obtener($\pi_1(c_2)$, e.IDcompusPorIP))))) $\wedge$
(dameNombres(computadoras(e.estrRed)) = claus(IDcompusPorIP)) $\wedge$
($\forall L$: nat)(0 $\leq$ L <tam(e.paqEnEspera) $\Rightarrow_{\text{L}}$ (
($\forall$ it_1: ItConj(paquete)) it $\in$ dameπ_1(juntarSignificado(π_2(e.paquetesEnEspera[L]))) $\Rightarrow_{\text{L}}$ haySiguiente?(it_1) $\wedge$

($\forall$ it_2: ITconj(pauqete)) it_2 $\in$ damepi_2(juntarColaEnConjunto(π_3(e.paquetesEnEspera[L]))) $\Rightarrow_{\text{L}}$ haySiguiente?(it_2) $\wedge_{\text{L}}$

($\forall i$: ItConj(paquete))(siguiente(i) $\in$ (dameSiguientes(dameπ_1($juntarSignificados_1$(π_2(e.paquetesEnEspera[L])))= siguiente(i) $\in$ π_1(e.paquetesEnEspera[L])))) $\wedge$

($\forall c$: ID)(c$\in$ claves(π_2(e.paquetesEnEspera[L])) $\Rightarrow_{\text{L}}$ π_1(siguiente(π_1(obtener(π_2(c), e.paquetesEnEspera[L])))) = c) $\wedge$

($\forall$ it:ItConj(paquete)) siguiente(it) $\in$ dameSiguientes(dameπ_2(juntarColaPrioriEnConj(π_3(e.paquetesEnEspera[L] $\Rightarrow_{\text{L}}$ siguiente(it) $\in$ π_1(e.paquetesEnEspera[L])

($\forall$ t: tupla <prioridad,ItConj(paquete)>) t $\in$ juntarColaPrioriEnConj(π_3(e.paquetesEnEspera[L])) $\rightarrow$ siguiente($\pi_2(t)$).prioridad = $\pi_1(t)$

($\forall x$, z: nat)((0 $\leq$ x <tam(e.paquetesEnEspera) $\wedge$ 0 $\leq$ z <tam(e.paquetesEnEspera) $\wedge$ x $\neq$ z) $\Rightarrow_{\text{L}}$ (π_1(e.paquetesEnEspera[x]) $\cap$ π_2(e.paquetesEnEspera[z])) = $\emptyset$) $\wedge$

($\forall i$: nat)(0 $\leq$ i <#(computadoras(e.estrRed)) $\wedge$ obtener(π_1(siguiente(e.IPcompusPorID[i])), e.IDcompusPorID) = i) $\wedge$

($\forall n$, m: nat)(0 $\leq$ n <#(computadoras(e.estrRed)) $\wedge$ 0 $\leq$ n <#(computadoras(e.estrRed)) $\Rightarrow_{\text{L}}$ ($\exists$ x: (secu(compu))) x $\in$ caminosminimos(e.estrRed, siguiente(e.IPcompusPorID[n]), siguiente(e.IPcompusPorID[m])) $\wedge$ prim(x) = e.siguienteCompu[n][m]

($\forall i$: nat)(0 $\leq$ i $\leq$ #computadoras(e.estrRed) $\Rightarrow_{\text{L}}$ siguiente(e.IPcompusPorID[i]) $\in$ compitadoras(e.estrRed)) $\wedge$

($\forall x$, y: nat)((0 $\leq$ x <#computadoras(e.estrRed) $\wedge$ 0 $\leq$ y <#computadoras(e.estrRed) $\wedge$ x $\neq$ y) $\Rightarrow_{\text{L}}$ (siguiente(e.IPcompusPorID[x]) $\neq$ siguiente(e.IPcompusPorID[y])))))) $\wedge$

#(π_1(e.paquetesEnEspera)) = #claves(π_2(e.paquetesEnEspera)) $\wedge$ = #(juntarSecuenciasEnConj(juntarSignificad $\wedge$

($\forall$ it_1: ItConj(paquete)) ($\forall$ it_2: ItConj(paquete)) it_1 $\in$ dameπ_2(juntarColaPriorEnConj(π_3(e.paquetesEnEspera[L]) $\wedge$ it_2 $\in$ dameπ_2(juntarColaPriorEnConj(π_3(e.paquetesEnEspera[L]))) it_1 $\neq$ it_2 $\Rightarrow_{\text{L}}$ siguiente(it_1) $\neq$ siguiente(it_2)

Abs : estrDCNet e $\longrightarrow$ DCNet {Rep(e)}

Abs(e) $\equiv$ red(d) = e.estrRed $\wedge$

($\forall p$: paquete) paqueteEnTránsito?(d, p) $\Rightarrow_{\text{L}}$ caminoRecorrido(d, p) = caminoDelPaquete(e.siguienteCompu, e.IPsCompusPorID, e.PaquetesEnEspera, p) $\wedge$

($\forall c$: compu) $c \in$ computadoras(red(d)) $\Rightarrow_{\text{L}}$ cantidadEnviados(d, c) = e.#PaqEnviados[obtener(c, e.IDsCompusPorIP)] $\wedge$

($\forall c$: compu) $c \in$ computadoras(red(d)) $\Rightarrow_{\text{L}}$ enEspera(d, c) = enConjunto(e.paquetesEnEspera[obtener(c, e.IDsCompusPorIP)])

caminoDelPaquete : ad(ad(nat)) $\times$ ad(ItRed) $\times$ ad(tupla(enConjunto:conj(paquete) $\times$ porID:dicc$_{\text{AVL}}$(ID tupla(iPaquete:i

caminoDelPaquete($t, CsxID, ps, p, Psr$) $\equiv$ **if** def?(ID(p), porID(ps[0])) **then**
caminoDelPaquete$_{\text{aux}}$(t, $CsxID$, ps, p, codOrigen(obtener(ID(p), porId(ps[0]))), codDestino(obtener(ID(p), porId(ps[0]))))
else
caminoDelPaquete(t, $CsxID$, ps, p, finAd(psr))
fi

caminoDelPaquete$_{\text{aux}}$: ad(ad(nat)) $\times$ ad(ItRed) $\times$ ad(tupla(enConjunto:conj(paquete) porID:dicc$_{\text{AVL}}$ $\times$ tupla(iPaquete:i

caminoDelPaquete$_{\text{aux}}$($t, CsxID, ps, p, Psr, compuActual, d$) $\equiv$ **if** def?(ID(p), porID(ps[$compuActual$])) **then**
siguiente($CsxID$[$compuActual$]) $\bullet$ <>
else
siguiente($CsxID$[$compuActual$]) $\bullet$
caminoDelPaquete$_{\text{aux}}$(t, $CsxID$, ps, p, Psr, t[$compuActual$][d], d)
fi

finAd : ad(tupla(enConjunto:conj(paquete) $\times$ porID:dicc$_{\text{AVL}}$(ID tupla(iPaquete:itConj(paquete) codOrigen:nat codDestino

finAd(a) $\equiv$ **if** (tam(a) $\leq$ 1) **then** crearArreglo(0) **else** finAd$_{\text{aux}}$(a, crearArreglo(tam(a)-1), tam(a)-2) **fi**

finAd$_{\text{aux}}$: ad(tupla(enConjunto:conj(paquete) $\times$ porID:dicc$_{\text{AVL}}$(ID tupla(iPaquete:itConj(paquete) codOrigen:nat codDest
{tam(a)>1 $\wedge$ tam(b)>0}

finAd$_{\text{aux}}$(a, b, n) $\equiv$ **if** (n=0) **then** b[0] $\leftarrow$ a[1] **else** finAd$_{\text{aux}}$(a, b[n]$\leftarrow$ a[n+1], n -1) **fi**

juntarColaPriorEnConj : colaPrior(tupla<prioridad,ItConj(paquete)>) $\longrightarrow$ conj(tupla<prioridad, ItConj(paquete)>)

juntarColaPriorEnConj(c) $\equiv$ **if** vacia?(c) **then** $\emptyset$ **else** ag(proximo(c), juntarColaPriorEnConj(desencolar(c))) **fi**

dameπ_2 : conj(tupla<prioridad $\times$ ItConj(paquete)>) $\longrightarrow$ conj(ItConj(paquete))

dameπ_2(c) $\equiv$ **if** $\emptyset$?(c) **then** $\emptyset$ **else** ag(π_2(dameuno(c)), dameπ_2(sinuno(c))) **fi**

dameSiguientes : conj(ItConj(paquete)) $\longrightarrow$ conj(paquete) {restricciones}

dameSiguientes(c) ≡ **if** ∅?(c) **then** ∅ **else** ag(siguiente(dameuno(c)), dameSiguientes(sinuno(c))) **fi**

Algoritmos

iIniciarDCNet(**in** r : `Red`) → res : `DCNet`

```
1  res ← iCopiar(r)                                                          ▷ Θ(n × I)
2  res.#PaqEnviados ← crearArreglo(cantCompus(res.red))                      ▷ Θ(n)
3  res.IPsCompuPorID ← crearArreglo(cantCompus(res.red))                     ▷ Θ(n)
4  res.siguientesCompus ← crearArreglo(cantCompus(res.red))                  ▷ Θ(n)
5  res.paquetesEnEspera ← crearArreglo(cantCompus(res.red))                  ▷ Θ(n)
6  itRed it_0 ← crearItRed(res.red)                                          ▷ Θ(1)
7  nat j ← 0                                                                 ▷ Θ(1)
8  while j <Cardinal(Computadoras(res.red)) do                               ▷ Θ(n)
9  |  res.siguientesCompus[j] ← crearArreglo(cantCompus(res.red))            ▷ Θ(n)
10 |  res.#PaqEnviados[j] ← 0                                                ▷ Θ(1)
11 |  res.paquetesEnEspera[j] ← ⟨vacío(),vacío(),vacío()⟩                    ▷ Θ(1)
12 |  definir(siguiente(it_0).IP, j, res.IDsCompusPorIP)                     ▷ Θ(L + I^2)
13 |  res.IPsCompusPorID[j] ← it_1                                           ▷ Θ(1)
14 |  j ← j + 1                                                              ▷ Θ(1)
15 |  avanzar(it_1)                                                          ▷ Θ(1)
16 end
17 nat k ← 0                                                                 ▷ Θ(1)
18 j ← 0                                                                     ▷ Θ(1)
19 while j <Cardinal(Computadoras(res.red)) do                               ▷ Θ(n)
20 |  while k <Cardinal(Computadoras(res.red)) do                            ▷ Θ(n)
21 |  |  if conectadas?(res.red, siguiente(res.IPsCompusPorID[j]), siguiente(res.IPsCompusPorID[k])) then
   |  |  ▷ Θ(n)
22 |  |  |  itConj it_0 ← crearIt(caminosMinimos(res.red, siguiente(res.IPsCompusPorID[j]),
   |  |  |  siguiente(res.IPsCompusPorID[k])))
23 |  |  |  res.siguientesCompus[j][k] ← prim(fin(siguiente(it_1)))
24 |  |  end
25 |  |  k ← k + 1
26 |  end
27 |  j ← j + 1
28 end
```

Complejidad: ▷ Θ()

iCrearPaquete(**in/out** d : `DCNet`,**in** p : `paquete`)

```
2  nat o ← iObtener(p.origen, d.IDsCompusPorIP)
3  nat dest ← iObtener(p.destino, d.IDsCompusPorIP)
1  4  it ← CrearIt((d.paquetesEnEspera[o]).enConjunto)
   5  it ← iAgregar((d.paquetesEnEspeta[o]).enConjunto, p)
   6  iDefinir(d.paquetesEnEspera[o].porID, p.ID, ⟨ it, o, dest, ⟩)
   7  iAgregarHeap(d.paquetesEnEspera[o].porPrioridad, p.prioridad, it)
```

iAvanzarSegundo(**in/out** d: DCNet)

```
2  nat j ← 0
3  nat o
4  nat dest
5  paquete paq
6  while j <iCardinal(iComputadoras(d.red)) do
7  |  if !(iEsVacio?(d.paquetesEnEspera[j]).enConjunto) then
8  |  |  paq ← iSiguiente(iDameElDeMayorPrioridad((d.paquetesEnEspera[j]).porPrioridad))
9  |  |  iBorrarElDeMaxPrioridad(d.paquetesEnEspera[j].porPrioridad)
10 |  |  o ← (iObtener((d.paquetesEnEspera[j]).porID, paq.ID)).codOrigen
11 |  |  dest ← (iObtener((d.paquetesEnEspera[j]).porID, paq.ID)).codDestino
12 |  |  iBorrar((d.paquetesEnEspera[j]).porID, paq.ID)
13 |  |  d.#paqEnviados[j]++
14 |  |  if !(d.siquienteCompu[j][dest] = dest) then
15 |  |  |  it ← crearIt(d.paquetesEnEspera[d.siguienteCompu[j][dest]])
16 |  |  |  it ← iAgregar((d.paquetesEnEspera[d.siguienteCompu[j][dest]]).enConjunto, p)
17 |  |  |  iDefinir(d.paquetesEnEspera[d.siguienteCompu[j][dest]].porID, p.ID, ⟨ it,
   |  |  |  d.siguienteCompu[j][dest], dest, ⟩)
18 |  |  |  iAgregarHeap(d.paquetesEnEspera[d.siguienteCompu[j][dest]].porPrioridad, paq.prioridad, it)
19 |  |  end
20 |  end
21 end
22 nat k ← 0
23 nat h ← 0
24 if iCardinal(iComputadoras(d.red))>0 then
25 |  while k<iCardinal(iComputadoras(d.red))>0 do
26 |  |  if d.#paqEnviados[k]>d.#paqEnviados[h] then
27 |  |  |  h ← k
28 |  |  |  k++
29 |  |  end
30 |  end
31 end
32 d.laQueMásEnvió ← d.IPsCompusPorID[h]
```

iCaminoRecorrido(**in** d: DCNet, **in** p: paquete) → res : lista(compu)

```
2  nat j ← 0
3  res ← iVacia()
4  while !(iDefinido?((d.paquetesEnEspera[j]).porID), p.ID) do
5  |  j++
6  end
7  nat o
8  o ← (iObtener((d.paquetesEnEspera[j]).porID, p.ID)).codOrigen
9  nat dest
10 dest ← (iObtener((d.paquetesEnEspera[o]).porID, p.ID)).codDestino
11 while !(iDefinido?((d.paquetesEnEspera[o]).porID), p.ID) do
12 |  iAgregarAtras(res, siguiente(d.IPsCompusPorID[0]))
13 |  o ← d.siguientesCompus[o][dest]
14 end
15 iAgregarAtras(res, siguiente(d.IPsCompusPorID[o]))
```

iCantidadEnviados(**in** d: DCNet, **in** c: compu) → res : nat

```
2  nat i ← iObtener(d.IDsCompusPorIP, c.IP)
3  res ← d.#paqEnviados[i]
```

iEnEspera(**in** d: `DCNet`, **in** c: `compu`) → res : `conj(Paquete)`

1
```
2 nat i ← iObtener(d.IDsCompusPorIP, c.IP)
3 res ← (d.paquetesEnEspera[i]).enConjunto
```

3. Módulo Diccionario AVL

Notas preliminares

En todos los casos, al indicar las complejidades de los algoritmos, las variables que se utilizan corresponden a:

- n: Cantidad de claves definidas en el diccionario.

Interfaz

parámetros formales

géneros κ, σ

función $\bullet = \bullet(\textbf{in } k_1 : \kappa, \textbf{in } k_2 : \kappa) \to res$: `bool`
Pre $\equiv \{\text{true}\}$
Post $\equiv \{res =_{\text{obs}} (k_1 = k_2)\}$
Complejidad: $\Theta(equal(k_1, k_2))$
Descripción: función de igualdad de κ

función $\bullet \leq \bullet(\textbf{in } k_1 : \kappa, \textbf{in } k_2 : \kappa) \to res$: `bool`
Pre $\equiv \{\text{true}\}$
Post $\equiv \{res =_{\text{obs}} (k_1 \leq k_2)\}$
Complejidad: $\Theta(order(k_1, k_2))$
Descripción: función de comparación por orden total estricto de κ

función COPIAR(**in** $k : \kappa$) $\to res$: κ
Pre $\equiv \{\text{true}\}$
Post $\equiv \{res =_{\text{obs}} k\}$
Complejidad: $\Theta(copy(k))$
Descripción: función de copia de κ

función COPIAR(**in** $s : \sigma$) $\to res$: σ
Pre $\equiv \{\text{true}\}$
Post $\equiv \{res =_{\text{obs}} s\}$
Complejidad: $\Theta(copy(s))$
Descripción: función de copia de σ

se explica con: DICCIONARIO(κ, σ)

géneros: `diccAVL(`κ`, `σ`)`

Operaciones de diccionario

VACIO() $\to res$: `diccAVL(`κ`, `σ`)`
Pre $\equiv \{\text{true}\}$
Post $\equiv \{res =_{\text{obs}} \text{vacío}\}$
Complejidad: $\Theta(1)$
Descripción: Crea y devuelve un diccionario AVL vacío.

DEFINIR(**in/out** d: `diccAVL(`κ`, `σ`)`, **in** $k : \kappa$, **in** $s : \sigma$)
Pre $\equiv \{d =_{\text{obs}} d_0\}$
Post $\equiv \{d =_{\text{obs}} \text{definir}(k, s, d_0)\}$
Complejidad: $\Theta(\log(n) \times order(k) + copy(k) + copy(s))$
Descripción: Define en el diccionario la clave pasada por parámetro con el significado pasado por parámetro. En caso de que la clave ya esté definida, sobreescribe su significado con el nuevo.
Aliasing: Las claves y significados se almacenan por copia.

BORRAR(**in/out** d: `diccAVL(`κ`, `σ`)`, **in** $k : \kappa$)
Pre $\equiv \{d =_{\text{obs}} d_0 \wedge \text{def?}(k, d)\}$
Post $\equiv \{d =_{\text{obs}} \text{borrar}(k, d_0)\}$
Complejidad: $\Theta(\log(n) \times order(k))$
Descripción: Elimina del diccionario la clave pasada por parámetro.

#Claves(**in** d: `diccAVL(`κ`, `σ`)`) $\rightarrow$ res : `nat`
Pre $\equiv$ {true}
Post $\equiv$ {$res =_{\text{obs}} \#(\text{claves}(d))$}
Complejidad: $\Theta(1)$
Descripción: Devuelve la cantidad de claves del diccionario.

Definido?(**in** d: `diccAVL(`κ`, `σ`)`, **in** k: κ) $\rightarrow$ res : `bool`
Pre $\equiv$ {true}
Post $\equiv$ {$res =_{\text{obs}}$ def?(k, d)}
Complejidad: $\Theta(\log(n) \times order(k))$
Descripción: Devuelve true si y solo si la clave pasada por parámetro está definida en el diccionario.

Obtener(**in** d: `diccAVL(`κ`, `σ`)`, **in** k: κ) $\rightarrow$ res : σ
Pre $\equiv$ {def?(k, d)}
Post $\equiv$ {alias($res =_{\text{obs}}$ obtener(k, d))}
Complejidad: $\Theta(\log(n) \times order(k))$
Descripción: Devuelve el significado con el que la clave pasada por parámetro está definida en el diccionario.
Aliasing: El significado se pasa por referencia. Modificarlo implica cambiarlo en la estructura interna del diccionario.

Representación

`diccAVL(`κ`, `σ`)` **se representa con** `estrAVL`

donde `estrAVL` es `tupla`(*raiz*: `puntero(nodo)`,
cantNodos: `nat`)

donde `nodo` es `tupla`(*clave*: κ,
significado: σ,
padre: `puntero(nodo)`,
izq: `puntero(nodo)`,
der: `puntero(nodo)`,
altSubarbol: `nat`)

Rep : estrAVL $\longrightarrow$ bool

Rep(e) $\equiv$ true $\iff$ $e.cantNodos = \#(\text{nodos}(e)) \wedge$
$\#(\text{claves}(e)) = \#(\text{nodos}(e)) \wedge$
$(\forall\ n : \text{nodo})\ (n \in \text{nodos}(e) \Rightarrow_{\text{L}} ($
$n.altSubarbol = \text{altura}(\text{subárbol}(\&n)) \wedge$
$\text{máx}(\text{altura}(\text{subárbol}(n.izq)), \text{altura}(\text{subárbol}(n.der))) -$
$\text{mín}(\text{altura}(\text{subárbol}(n.izq)), \text{altura}(\text{subárbol}(n.der))) \leq 1 \wedge$
$(\forall\ n' : \text{nodo})\ ((n' \in \text{nodos}(\text{subárbol}(n))) \Rightarrow (n' \in \text{nodos}(\text{subárbol}(n.der)) \Leftrightarrow \neg(n'.clave \leq n.clave))) \wedge$
$*(n.izq) \neq *(n.der) \wedge (n.padre = \text{NULL} \Leftrightarrow \&n = e.raiz) \wedge_{\text{L}}$
$((\&n \neq e.raiz) \Rightarrow_{\text{L}} (\forall\ n' : \text{nodo})(n.padre = \&n' \Leftrightarrow n'.izq = \&n \vee n'.der = \&n))))$

Abs : estrAVL e $\longrightarrow$ dicc(κ, σ)) {Rep(e)}

Abs(e) $=_{\text{obs}}$ d: dicc(κ, σ)) | $(\forall\ \kappa : \text{k})\ ((\text{def?}(k, d)) =_{\text{obs}} (k \in \text{claves}(e)) \wedge_{\text{L}} (\text{def?}(k, d) \Rightarrow_{\text{L}} \text{obtener}(k, d) =_{\text{obs}} \text{significado}(k, e)))$

hijos : nodo $\longrightarrow$ conj(nodo)

hijos(n) $\equiv$ **if** $n.izq = \text{NULL}$ **then** $\emptyset$ **else** Ag($*(n.izq)$, hijos($*(n.izq)$)) **fi**
$\cup$ **if** $n.der = \text{NULL}$ **then** $\emptyset$ **else** Ag($*(n.der)$, hijos($*(n.der)$)) **fi**

nodos : estrAVL $\longrightarrow$ conj(nodo)

nodos(e) $\equiv$ **if** $e.raiz = \text{NULL}$ **then** $\emptyset$ **else** Ag($*(e.raiz)$, hijos($*(e.raiz)$)) **fi**

subárbol : puntero(nodo) $\longrightarrow$ estrAVL

subárbol(p) $\equiv$ $\langle p, 1 + \#(\text{hijos}(*(p)))\rangle$

claves : estrAVL $\longrightarrow$ conj(κ)

claves(e) $\equiv$ **if** $e.raiz = \text{NULL}$ **then**
$\emptyset$
else
Ag($e.raiz \rightarrow clave$, claves(subárbol($e.raiz \rightarrow izq$)) $\cup$ claves(subárbol($e.raiz \rightarrow der$)))
fi

altura : estrAVL $\longrightarrow$ nat

altura(e) $\equiv$ **if** $e.raiz = \text{NULL}$ **then**
0
else
1 + máx(altura(subárbol($e.raiz \rightarrow izq$)), altura(subárbol($e.raiz \rightarrow der$)))
fi

significado : estrAVL $e \times \kappa\ k$ $\longrightarrow$ σ $\{k \in \text{claves}(e)\}$

significado(e, k) $\equiv$ **if** $e.raiz \rightarrow clave = k$ **then**
$e.raiz \rightarrow significado$
else
if $k \in$ claves(subárbol($e.raiz \rightarrow izq$)) **then**
significado(k, subárbol($e.raiz \rightarrow izq$))
else
significado(k, subárbol($e.raiz \rightarrow der$))
fi
fi

Algoritmos

iVacio() $\rightarrow$ *res* : `estrAVL`

```
1 res ← ⟨NULL, 0⟩                                                    ▷ Θ(1)
```

Complejidad: $\Theta(1)$

iDefinir(**in/out** e : `estrAVL`, **in** $k : \kappa$, **in** $s : \sigma$)

```
1  puntero(nodo) padre ← NULL                                        ▷ Θ(1)
2  puntero(nodo) lugar ← Buscar(e, k, padre)                         ▷ Θ(log(n) × order(k))
3  if lugar ≠ NULL then                                              ▷ Θ(1)
4  |  (lugar → significado) ← Copiar(s)                             ▷ Θ(copy(s))
5  else
6  |  puntero(nodo) nuevo ← &⟨Copiar(k), Copiar(s), NULL, NULL, NULL, 1⟩ // Reservamos memoria para
   |  el nuevo nodo                                                 ▷ Θ(copy(k) + copy(s))
7  |  if k ≤ (padre → clave) then                                   ▷ Θ(order(k))
8  |  |  (padre → izq) ← nuevo                                      ▷ Θ(1)
9  |  else
10 |  |  (padre → der) ← nuevo                                      ▷ Θ(1)
11 |  end
12 |  (nuevo → padre) ← padre                                       ▷ Θ(1)
13 |  RebalancearArbol (padre)                                      ▷ Θ(log(n))
14 |  e.cantNodos + +                                               ▷ Θ(1)
15 end
```

Complejidad: $\Theta(\log(n) \times order(k) + copy(k) + copy(s))$

Justificación: La función tiene llamadas a funciones con complejidad $\Theta(\log(n) \times order(k)$ y $\Theta(copy(k) + copy(s))$.

---

iObtener(**in** e : `estrAVL`, **in** k : κ) $\rightarrow$ res : σ

```
1 puntero(nodo) padre ← NULL                                   ▷ Θ(1)
2 puntero(nodo) lugar ← Buscar(e, k, padre)                    ▷ Θ(log(n) × order(k))
3 res ← (lugar → significado)                                  ▷ Θ(1)
```

Complejidad: $\Theta(\log(n) \times order(k))$

Justificación: La función tiene llamadas a funciones con complejidad $\Theta(\log(n) \times order(k)$ y $\Theta(copy(k) + copy(s))$.

---

i#Claves(**in** e : `estrAVL`) $\rightarrow$ res : `nat`

```
1 res ← e.cantNodos                                            ▷ Θ(1)
```

Complejidad: $\Theta(1)$

---

iDefinido?(**in** e : `estrAVL`, **in** k : κ) $\rightarrow$ res : `bool`

```
1 puntero(nodo) padre ← NULL                                   ▷ Θ(1)
2 puntero(nodo) lugar ← Buscar(e, k, padre)                    ▷ Θ(log(n) × order(k))
3 res ← (lugar ≠ NULL)                                         ▷ Θ(1)
```

Complejidad: $\Theta(\log(n) \times order(k))$

Justificación: $\Theta(1) + \Theta(\log(n) \times order(k)) + \Theta(1) = \Theta(\log(n) \times order(k)) + \Theta(1)$

iBorrar(**in/out** e : `estrAVL`, **in** $k : \kappa$)

```
1  puntero(nodo) padre ← NULL                                              ▷ Θ(1)
2  puntero(nodo) lugar ← Buscar(e, k, padre)                               ▷ Θ(log(n) × order(k))
3  if lugar → izq = NULL ∧ lugar → der = NULL then                         ▷ Θ(1)
4  |  if padre ≠ NULL then                                                 ▷ Θ(1)
5  |  |  if padre → izq = lugar then                                       ▷ Θ(1)
6  |  |  |  (padre → izq) ← NULL                                          ▷ Θ(1)
7  |  |  else
8  |  |  |  (padre → der) ← NULL                                          ▷ Θ(1)
9  |  |  end
10 |  |  RebalancearArbol(padre)                                          ▷ Θ(log(n))
11 |  else
12 |  |  e.raiz = NULL                                                    ▷ Θ(1)
13 |  end
14 else if lugar → der = NULL then                                         ▷ Θ(1)
15 |  (lugar → izq → padre) ← padre                                        ▷ Θ(1)
16 |  if padre ≠ NULL then                                                 ▷ Θ(1)
17 |  |  if padre → izq = lugar then                                       ▷ Θ(1)
18 |  |  |  (padre → izq) ← (lugar → izq)                                 ▷ Θ(1)
19 |  |  else
20 |  |  |  (padre → der) ← (lugar → izq)                                 ▷ Θ(1)
21 |  |  end
22 |  |  RebalancearArbol(padre)                                          ▷ Θ(log(n))
23 |  else
24 |  |  e.raiz ← lugar → izq                                             ▷ Θ(1)
25 |  end
26 else if lugar → izq = NULL then                                         ▷ Θ(1)
27 |  (lugar → der → padre) ← padre                                        ▷ Θ(1)
28 |  if padre ≠ NULL then                                                 ▷ Θ(1)
29 |  |  if padre → izq = lugar then                                       ▷ Θ(1)
30 |  |  |  (padre → izq) ← (lugar → der)                                 ▷ Θ(1)
31 |  |  else
32 |  |  |  (padre → der) ← (lugar → der)                                 ▷ Θ(1)
33 |  |  end
34 |  |  RebalancearArbol(padre)                                          ▷ Θ(log(n))
35 |  else
36 |  |  e.raiz ← lugar → izq                                             ▷ Θ(1)
37 |  end
```

iBorrar *(cont.)*

```
38 else
39 |  puntero(nodo) reemplazo ← (lugar → der)                                  ▷ Θ(1)
40 |  if (reemplazo → izq = NULL) then                                         ▷ Θ(1)
41 |  |  if padre ≠ NULL then                                                  ▷ Θ(1)
42 |  |  |  if (padre → izq) = lugar then                                     ▷ Θ(1)
43 |  |  |  |  (padre → izq) ← reemplazo                                      ▷ Θ(1)
44 |  |  |  else
45 |  |  |  |  (padre → der) ← reemplazo                                      ▷ Θ(1)
46 |  |  |  end
47 |  |  else
48 |  |  |  e.raiz ← reemplazo                                               ▷ Θ(1)
49 |  |  end
50 |  |  (reemplazo → padre) ← padre                                          ▷ Θ(1)
51 |  |  (reemplazo → izq) ← lugar → izq                                      ▷ Θ(1)
52 |  |  (lugar → izq → padre) ← reemplazo                                    ▷ Θ(1)
53 |  |  RebalancearArbol(reemplazo)                                          ▷ Θ(log(n))
54 |  else
55 |  |  while (reemplazo → izq) ≠ NULL do                                    ▷ Θ(log(n)) iteraciones
56 |  |  |  reemplazo ← (reemplazo → izq)                                     ▷ Θ(1)
57 |  |  end
58 |  |  puntero(nodo) padreReemplazo ← (reemplazo → padre)                   ▷ Θ(1)
59 |  |  if padre ≠ NULL then                                                 ▷ Θ(1)
60 |  |  |  if padre → izq = lugar then                                      ▷ Θ(1)
61 |  |  |  |  (padre → izq) ← reemplazo                                      ▷ Θ(1)
62 |  |  |  else
63 |  |  |  |  (padre → der) ← reemplazo                                      ▷ Θ(1)
64 |  |  |  end
65 |  |  else
66 |  |  |  e.raiz ← reemplazo                                               ▷ Θ(1)
67 |  |  end
68 |  |  (reemplazo → padre) ← padre                                          ▷ Θ(1)
69 |  |  (reemplazo → izq) ← lugar → izq                                      ▷ Θ(1)
70 |  |  (lugar → izq → padre) ← reemplazo                                    ▷ Θ(1)
71 |  |  (padreReemplazo → izq) ← (reemplazo → der)                           ▷ Θ(1)
72 |  |  if (reemplazo → der) ≠ NULL then                                     ▷ Θ(1)
73 |  |  |  (reemplazo → der → padre) ← padreReemplazo                        ▷ Θ(1)
74 |  |  end
75 |  |  (reemplazo → der) ← (lugar → der)                                    ▷ Θ(1)
76 |  |  (lugar → der → padre) ← reemplazo                                    ▷ Θ(1)
77 |  |  RebalancearArbol(reemplazo)                                          ▷ Θ(log(n))
78 |  end
79 end
80 delete(lugar) // Liberamos la memoria ocupada por el nodo eliminado.        ▷ Θ(1)
```

Complejidad: $\Theta(\log(n) \times order(k))$

Justificación: El algoritmo tiene una llamada a función con complejidad $\Theta(\log(n) \times order(k))$, y luego presenta varios casos, pero en todos ellos las funciones llamadas son $O(\log(n))$.

iBuscar(**in** e : `estrAVL`, **in** $k : \kappa$, **out** $padre$: `puntero(nodo)`) $\rightarrow$ res : `puntero(nodo)`

```
1  padre ← NULL                                                          ▷ Θ(1)
2  actual ← e.raiz                                                       ▷ Θ(1)
3  while actual ≠ NULL ∧_L (actual → clave ≠ k) do                       ▷ Θ(log(n)) iteraciones
4  |  padre ← actual                                                     ▷ Θ(1)
5  |  if k ≤ (padre → clave) then                                        ▷ Θ(order(k))
6  |  |  actual ← (actual → izq)                                        ▷ Θ(1)
7  |  else
8  |  |  actual ← (actual → der)                                        ▷ Θ(1)
9  |  end
10 end
11 res ← actual                                                          ▷ Θ(1)
```

Descripción: Esta operación privada recibe la estructura de representación interna del diccionario y una clave por parámetro. Si la clave está definida, devuelve un puntero al nodo que la contiene y coloca en el parámetro de out *padre* un puntero al padre de dicho nodo. En caso contrario, devuelve NULL y coloca en el parámetro de out *padre* un puntero a la hoja del árbol que debería ser padre del nodo buscado, si la clave estuviera definida.

Complejidad: $\Theta(\log(n) \times order(k))$

Justificación: El algoritmo presenta un ciclo que se repite $\Theta(\log(n))$ veces, y en cada una de ellas se realiza una llamada a función con complejidad $\Theta(order(k))$.

iRecalcularAltura(**in** n : `puntero(nodo)`)

```
1  if n → izq ≠ NULL ∧ n → der ≠ NULL then                               ▷ Θ(1)
2  |  (n → altSubarbol) ← 1 + max(n → izq → altSubarbol, n → der → altSubarbol)   ▷ Θ(1)
3  else if n → izq ≠ NULL then                                           ▷ Θ(1)
4  |  (n → altSubarbol) ← 1 + (n → izq → altSubarbol)                    ▷ Θ(1)
5  else if n → der ≠ NULL then                                           ▷ Θ(1)
6  |  (n → altSubarbol) ← 1 + (n → der → altSubarbol)                    ▷ Θ(1)
7  else
8  |  (n → altSubarbol) ← 1                                             ▷ Θ(1)
9  end
```

Descripción: Esta operación privada recibe un puntero a un nodo del árbol y recalcula el valor de su campo *altSubarbol* en función a los datos que sus nodos hijos poseen en este campo.

Complejidad: $\Theta(1)$

Justificación: El algoritmo presenta varios casos, y todos ellos realizan realizan operaciones con complejidad $\Theta(1)$.

iFBD(**in** n : `puntero(nodo)`) $\rightarrow$ res : `int`

```
1  int altIzq ← n → izq = NULL ? 0 : n → izq → altSubarbol               ▷ Θ(1)
2  int altDer ← n → der = NULL ? 0 : n → izq → altSubarbol               ▷ Θ(1)
3  res ← altDer − altIzq                                                 ▷ Θ(1)
```

Descripción: Esta operación privada recibe un puntero a un nodo del árbol y calcula su factor de balanceo.

Complejidad: $\Theta(1)$

Justificación: $\Theta(1) + \Theta(1) + \Theta(1) = \Theta(1)$

```
iRotarAIzquierda(in n : puntero(nodo))
1  if n.padre ≠ NULL then                                              ▷ Θ(1)
2  |  if n.padre → izq = n then                                        ▷ Θ(1)
3  |  |  (n → padre → izq) ← n → der                                   ▷ Θ(1)
4  |  else
5  |  |  (n → padre → der) ← n → der                                   ▷ Θ(1)
6  |  end
7  end
8  (n → der → padre) ← n → padre                                       ▷ Θ(1)
9  n → padre ← n → der                                                 ▷ Θ(1)
10 n → der ← (n → der → izq)                                           ▷ Θ(1)
11 if n → der ≠ NULL then                                              ▷ Θ(1)
12 |  (n → der → padre) ← n                                           ▷ Θ(1)
13 end
14 (n → padre → izq) ← n                                               ▷ Θ(1)
15 RecalcularAltura(n)                                                 ▷ Θ(1)
16 RecalcularAltura(n → padre)                                         ▷ Θ(1)
```

Descripción: Esta operación privada recibe un puntero a un nodo del árbol y realiza una rotación a izquierda de dicho nodo. ¡Ojo, rompe el invariante de representación! (Los campos *altSubarbol* de los nodos superiores quedan inconsistentes).

Complejidad: $\Theta(1)$

Justificación: Todas las operaciones que realiza el algoritmo tienen complejidad $\Theta(1)$.

```
iRotarADerecha(in n : puntero(nodo))
1  if n → padre ≠ NULL then                                            ▷ Θ(1)
2  |  if n → padre → izq = n then                                      ▷ Θ(1)
3  |  |  (n → padre → izq) ← n → izq                                   ▷ Θ(1)
4  |  else
5  |  |  (n → padre → der) ← n → izq                                   ▷ Θ(1)
6  |  end
7  end
8  (n → izq → padre) ← n → padre                                       ▷ Θ(1)
9  n → padre ← n → izq                                                 ▷ Θ(1)
10 n → izq ← (n → izq → der)                                           ▷ Θ(1)
11 if n → izq ≠ NULL then                                              ▷ Θ(1)
12 |  (n → izq → padre) ← n                                           ▷ Θ(1)
13 end
14 (n → padre → der) ← n                                               ▷ Θ(1)
15 RecalcularAltura(n)                                                 ▷ Θ(1)
16 RecalcularAltura(n → padre)                                         ▷ Θ(1)
```

Descripción: Esta operación privada recibe un puntero a un nodo del árbol y realiza una rotación a derecha de dicho nodo. ¡Ojo, rompe el invariante de representación! (Los campos *altSubarbol* de los nodos superiores quedan inconsistentes).

Complejidad: $\Theta(1)$

Justificación: Todas las operaciones que realiza el algoritmo tienen complejidad $\Theta(1)$.

```
iRebalancearArbol(in n : puntero(nodo))
1  puntero(nodo) p ← n                                              ▷ Θ(1)
2  while p ≠ NULL do                                                ▷ Θ(log(n)) iteraciones
3      RecalcularAltura(p)                                          ▷ Θ(1)
4      int fdb1 ← FDB(p)                                            ▷ Θ(1)
5      if fdb1 = 2 then                                             ▷ Θ(1)
6          puntero(nodo) q ← (p → der)                              ▷ Θ(1)
7          int fdb2 ← FDB(q)                                        ▷ Θ(1)
8          if fdb2 = 1 ∨ fdb2 = 0 then                              ▷ Θ(1)
9              RotarAIzquierda(p)                                   ▷ Θ(1)
10             p ← q                                                ▷ Θ(1)
11         else if fbd2 = −1 then                                   ▷ Θ(1)
12             RotarADerecha(q)                                     ▷ Θ(1)
13             RotarAIzquierda(p)                                   ▷ Θ(1)
14             p ← (q → padre)                                      ▷ Θ(1)
15         end
16     else if fdb1 = −2 then
17         puntero(nodo) q ← (p → izq)                              ▷ Θ(1)
18         int fdb2 ← FDB(q)                                        ▷ Θ(1)
19         if fdb2 = −1 ∨ fdb2 = 0 then                             ▷ Θ(1)
20             RotarADerecha(p)                                     ▷ Θ(1)
21             p ← q                                                ▷ Θ(1)
22         else if fbd2 = 1 then                                    ▷ Θ(1)
23             RotarAIzquierda(q)                                   ▷ Θ(1)
24             RotarADerecha(p)                                     ▷ Θ(1)
25             p ← (q → padre)                                      ▷ Θ(1)
26         end
27     end
28     p ← (p → padre)                                              ▷ Θ(1)
29 end
```

Descripción: Esta operación privada recibe un puntero a un nodo del árbol y restaura el invariante de representación en la rama ascendente a partir de dicho nodo, realizando las rotaciones necesarias para rebalancear el árbol.

Complejidad: $\Theta(\log(n))$

Justificación: El algoritmo presenta un ciclo que se ejecuta $\Theta(\log(n))$ veces, y en cada una de ellas se realizan operaciones con complejidad $\Theta(1)$.

4. Módulo Heap(α)

Interfaz

parámetros formales

géneros α

función $\bullet < \bullet$(**in** $a_1 : \alpha$, **in** $a_a : \alpha$) $\rightarrow res$: `bool`
Pre $\equiv$ {true}
Post $\equiv$ {$res =_{\text{obs}} (a_1 \leq a_2)$}
Complejidad: $\Theta(compare(a_1, a_2))$
Descripción: función de comparación de menor de α.

función COPIAR(**in** $a : \alpha$) $\rightarrow res$: α
Pre $\equiv$ {true}
Post $\equiv$ {$res =_{\text{obs}} a$}
Complejidad: $\Theta(copy(a))$
Descripción: función de copia de α

se explica con: COLAPRIOR(α)

géneros: heap(α)

Operaciones del heap

VACÍO() $\rightarrow res$: `heap(`α`)`
Pre $\equiv$ {true}
Post $\equiv$ {$res =_{\text{obs}}$ vacío}
Complejidad: $\Theta(1)$
Descripción: Constructor por defecto de heap(α)

ENCOLAR(**in/out** h : `heap(`α`)`, **in** $a : \alpha$)
Pre $\equiv$ {true}
Post $\equiv$ {}
Complejidad: $h =_{\text{obs}} h_0$ $h =_{\text{obs}}$ encolar(a, h_0) [$\Theta(log(h.longitud))$] [Agrega un elemento a la cola de prioridades]

VACÍO?(**in** h : `heap(`α`)`) $\rightarrow res$: `bool`
Pre $\equiv$ {true}
Post $\equiv$ {$h =_{\text{obs}}$ vacío()}
Complejidad: $\Theta(1)$
Descripción: Devuelve true si y solo si h es un heap vacío

PRÓXIMO(**in** h : `heap(`$alpha$`)`) $\rightarrow res$: α
Pre $\equiv$ {($\not\exists$vacía?(h))}
Post $\equiv$ {$res =_{\text{obs}}$ próximo (h)}
Complejidad: $\Theta(1)$
Descripción: Devuelve el próximo elemento en el heap

DESENCOLAR(**in/out** h : `heap(`$alpha$`)`)
Pre $\equiv$ {($\not\exists$vacía?(h))}
Post $\equiv$ {$res =_{\text{obs}}$ desencolar(h)}
Complejidad: $\Theta(log(h.longitud))$
Descripción: Elimina el próximo elemento en el heap

DESENCOLAR2(**in/out** h : `heap(`$alpha$`)`) $\rightarrow res$: α
Pre $\equiv$ {$h =_{\text{obs}} h_0 \wedge$ ($\not\exists$vacía?(h))}
Post $\equiv$ {$res =_{\text{obs}}$ próximo(h_0) $\wedge$ $h =$ desencolar(h_0)}
Complejidad: $\Theta(log(h.longitud))$

Descripción: Elimina el próximo elemento en el heap

Representación

`heap(`α`)` se representa con `vector(`α`)`

Rep : vector(α) $\longrightarrow$ bool

Rep(v) $\equiv$ true $\iff$ ($\forall$ *nat* : i) (((2i <long(v)) $\Rightarrow_{\text{L}}$ iésimo(2i, v) $\leq$ iésimo(i, v)) $\wedge$ ((2i+1 <long(v)) $\Rightarrow_{\text{L}}$ iésimo(2i+1, v) $\leq$ iésimo(i, v)))

Abs : vector(α) v $\longrightarrow$ colaPrior(α) {Rep(v)}

Abs(v) $\equiv$ **if** long(v) = 0 **then** vacía() **else** encolar(prim(v), Abs(fin(v))) **fi**

Algoritmos

iVacio() $\rightarrow$ *res* : `vector(`α`)`

```
1 res ← Vaca()
```

iEncolar(**in**/**out** *hp*: `heap(`α`)`, **in** *a*: α)

```
1 hp.push_back(a)
2 nat i ← hp.longitud - 1
3 nat p ← (i/2) - ((i+1) %2)
4 while hp[p] <hp[i] do
5 |   iSwap(hp[p], hp[i])
6 |   i ← p
7 |   p ← (i/2) - ((i+1) %2)
8 end
```

iVacío?(**in** *v*: `vector(`α`)`) $\rightarrow$ *res* : `bool`

```
1 res ← esVacío?(v)
```

iDesencolar(**in/out** v : `vector(`α`)`) $\rightarrow$ res : α

```
1  nat i ← hp.longitud - 1
2  iSwap(hp[0], hp[i])
3  res ← hp.pop_back()
4  nat hijo_0 ← 1
5  nat hijo_1 ← 2
6  while ¬estaOrdenado do
7      if hijo_0 <hp.longitud then
8          if hijo_1 <hp.longitud then
9              if hp[hijo_0] ≥ hp[hijo_1] then
10                 if hp[hijo_0] >hp[i] then
11                     iSwap(hp[hijo_0], hp[i])
12                     i ← hijo_0
13                 else
14                     estaOrdenado ← True
15                 end
16             else
17                 if hp[hijo_1] >hp[i] then
18                     iSwap(hp[hijo_1], hp[i])
19                     i ← hijo_1
20                 else
21                     estaOrdenado ← True
22                 end
23             end
24         else
25             if hp[hijo_0] >hp[i] then
26                 iSwap(hp[hijo_0], hp[i])
27                 i ← hijo_0
28             else
29                 estaOrdenado ← True
30             end
31         end
32     else
33         estaOrdenado ← True
34     end
35     hijo_0 ← 2xi+1
36     hijo_1 ← 2xi+2
37 end
```

iSwap(**in/out** a : α, **in/out** b : α)

```
1  α c
2  c ← a
3  a ← b
4  b ← c
```

5. Módulo Diccionario Trie

Interfaz

parámetros formales

géneros α

función $\bullet = \bullet$(**in** $a_0 : \alpha$, **in** $a_1 : \alpha$) $\rightarrow res$: `bool`
Pre $\equiv$ {true}
Post $\equiv \{res =_{\text{obs}} \text{equal}(a_1, a_2)\}$
Complejidad: $\Theta(equal(a_1, a_2))$
Descripción: función de igualdad de α

función COPIAR(**in** $a : \alpha$) $\rightarrow res$: α
Pre $\equiv$ {true}
Post $\equiv \{res =_{\text{obs}} a\}$
Complejidad: $\Theta(copy(a))$
Descripción: función de copia de α

se explica con: DICC(SECU(CHAR), α)

géneros: diccTrie(α)

Operaciones de diccionario

VACÍO() $\rightarrow res$: `diccTrie(`α`)`
Pre $\equiv$ {true}
Post $\equiv \{res =_{\text{obs}} \text{vacío}\}$
Complejidad: $\Theta(1)$
Descripción: Constructor por defecto de diccTrie(α)

DEFINIR(**in/out** d: `diccTrie(`α`)`, **in** k: `string`, **in** $s : \alpha$) $\rightarrow res$: `diccTrie(`α`)`
Pre $\equiv \{d =_{\text{obs}} d_0\}$
Post $\equiv \{d =_{\text{obs}} \text{definir}(k, s, d_0\}$
Complejidad: $\Theta(L)$
Descripción: Define una plabra en el diccTrie(α)

BORRAR(**in/out** d: `diccTrie(`α`)`, **in** k: `string`) $\rightarrow res$: `diccTrie(`α`)`
Pre $\equiv \{d =_{\text{obs}} d_0 \wedge \text{def?}(d, k)\}$
Post $\equiv \{d =_{\text{obs}} \text{borrar}(k, s, d_0\}$
Complejidad: $\Theta(L)$
Descripción: Borra una definicion en el diccTrie(α)

DEF?(**in** d: `diccTrie(`α`)`, **in** k: `string`) $\rightarrow res$: `bool`
Pre $\equiv$ {true}
Post $\equiv \{res =_{\text{obs}} \text{def?}(d, k)\}$
Complejidad: $\Theta(L)$
Descripción: Pregunta si la palabra k esta definida en el diccTrie(α)

OBTENER(**in** d: `diccTrie(`α`)`, **in** k: `string`) $\rightarrow res$: α
Pre $\equiv \{\text{def?}(d, k)\}$
Post $\equiv \{res =_{\text{obs}} \text{obtener}(d, k)\}$
Complejidad: $\Theta(L)$
Descripción: Devuelve el significado de la palabra k