

Algoritmos y Estructuras de Datos II

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

Trabajo Práctico Número 2

DCNet

Grupo: 21

Integrante	LU	Correo electrónico
Alvarez, Lautaro Leonel	268/14	lautarolalvarez@gmail.com
Maddonni, Axel Ezequiel	200/14	axel.maddonni@gmail.com
Thibeault, Gabriel Eric	114/13	grojo94@hotmail.com
Vigali, Leandro Ezequiel	951/12	leandrovigali@yahoo.com.ar

Reservado para la cátedra

Instancia	Docente	Nota
Primera entrega		
Segunda entrega		

Índice

1. Módulo Red	3
2. Módulo DCNet	10
3. Módulo Cola de Prioridad $_{HEAP}$ (α)	18
4. Módulo Diccionario $_{TRIE}$ (α)	23
5. Módulo Diccionario $_{AVL}$ (κ, σ)	24

1. Módulo Red

Interfaz

usa: $\text{CONJ}(\alpha), \text{ITCONJ}(\alpha), \text{LISTA}(\alpha), \text{ITLISTA}(\alpha)$.

se explica con: RED.

géneros: red.

Operaciones de Red

COMPUTADORAS(**in** r : red) $\rightarrow res$: conj(hostname)

Pre $\equiv \{\text{true}\}$

Post $\equiv \{res =_{obs} \text{dameHostnames}(\text{computadoras}(r))\}$

Descripción: devuelve el conjunto de las computadoras.

Aliasing: res se devuelve por copia.

CONECTADAS?(**in** r : red, **in** $c1$: hostname, **in** $c2$: hostname) $\rightarrow res$: bool

Pre $\equiv \{c1, c2 \in \text{dameHostnames}(\text{computadoras}(r))\}$

Post $\equiv \{res =_{obs} \text{conectadas?}(r, \text{dameCompu}(c1), \text{dameCompu}(c2))\}$

Descripción: indica si las computadoras estan conectadas por alguna de sus interfaces.

INTERFAZUSADA(**in** r : red, **in** $c1$: hostname, **in** $c2$: hostname) $\rightarrow res$: interfaz

Pre $\equiv \{\text{conectadas?}(r, \text{dameCompu}(c1), \text{dameCompu}(c2))\}$

Post $\equiv \{res =_{obs} \text{interfazUsada}(r, \text{dameCompu}(c1), \text{dameCompu}(c2))\}$

Descripción: devuelve la interfaz por la cual estan conectadas $c1$ y $c2$.

INICIARRED() $\rightarrow res$: red

Pre $\equiv \{\text{true}\}$

Post $\equiv \{res =_{obs} \text{iniciarRed}()\}$

Descripción: crear una nueva Red.

AGREGARCOMPU(**in/out** r : red, **in** $c1$: compu)

Pre $\equiv \{r = r_0 \wedge (\forall c: \text{compu}) c \in \text{computadoras}(r_0) \Rightarrow \text{ip}(c) \neq c1\}$

Post $\equiv \{r =_{obs} \text{agregarComputadora}(r_0, c1)\}$

Descripción: agregar una computadora a la Red.

CONECTAR(**in** r : red, **in** $c1$: hostname, **in** $i1$: interfaz **in** $c2$: hostname, **in** $i2$: interfaz)

Pre $\equiv \{r = r_0 \wedge c1, c2 \in \text{dameHostnames}(\text{computadoras}(r)) \wedge c1 \neq c2 \wedge$

$\neg \text{conectadas?}(r, \text{dameCompu}(c1), \text{dameCompu}(c2)) \wedge \neg \text{usaInterfaz?}(r, \text{dameCompu}(c1), i1) \wedge \neg \text{usaInterfaz?}(r, \text{dameCompu}(c2), i2) \wedge i1 \in \text{dameCompu}(c1).\text{interfaces} \wedge i2 \in \text{dameCompu}(c2).\text{interfaces}\}$

Post $\equiv \{r =_{obs} (\text{conectar}(r_0, \text{dameCompu}(c1), i1, \text{dameCompu}(c2), i2))\}$

Descripción: conectar dos computadoras de la red.

VECINOS(**in** r : red, **in** c : hostname) $\rightarrow res$: conj(hostname)

Pre $\equiv \{c \in \text{dameHostnames}(\text{computadoras}(r))\}$

Post $\equiv \{res =_{obs} \text{dameHostnames}(\text{vecinos}(r, \text{dameCompu}(c)))\}$

Descripción: da el conjunto de computadoras vecinas.

Aliasing: el conjunto se devuelve por copia.

USAINTERFAZ?(**in** r : red, **in** c : hostname, **in** i : interfaz) $\rightarrow res$: bool

Pre $\equiv \{c \in \text{dameHostnames}(\text{computadoras}(r))\}$

Post $\equiv \{res =_{obs} \text{usaInterfaz?}(r, \text{dameCompu}(c), i)\}$

Descripción: indica si la interfaz está siendo utilizada.

CAMINOSMINIMOS(in $r : \text{red}$, in $c_1 : \text{hostname}$, in $c_2 : \text{hostname}$) $\rightarrow res : \text{conj}(\text{lista}(\text{hostname}))$
Pre $\equiv \{c_1, c_2 \in \text{dameHostnames}(\text{computadoras}(r))\}$
Post $\equiv \{res =_{obs} \text{dameCaminosdeHostnames}(\text{caminosMinimos}(r, \text{dameCompu}(c_1), \text{dameCompu}(c_2)))\}$
Descripción: devuelve los conjuntos de caminos minimos entre las computadoras ingresadas.
Aliasing: res se devuelve por copia.

HAYCAMINO?(in $r : \text{red}$, in $c_1 : \text{hostname}$, in $c_2 : \text{hostname}$) $\rightarrow res : \text{bool}$
Pre $\equiv \{c_1, c_2 \in \text{dameHostnames}(\text{computadoras}(r))\}$
Post $\equiv \{res =_{obs} \text{hayCamino?}(r, \text{dameCompu}(c_1), \text{dameCompu}(c_2))\}$
Descripción: indica si las computadoras son alcanzables mediante algún camino.

• == •(in $r_1 : \text{red}$, in $r_2 : \text{red}$) $\rightarrow res : \text{bool}$
Pre $\equiv \{\text{true}\}$
Post $\equiv \{res =_{obs} (r_1 =_{obs} r_2)\}$
Descripción: indica si dos redes son iguales.

donde:

hostname es string,
 interfaz es nat,
 compu es tupla<ip: hostname, interfaces: conj(interfaz)>.

Especificación de las operaciones auxiliares utilizadas en la interfaz (no exportadas)

TAD RED EXTENDIDA

extiende RED

otras operaciones

damehostnames	:	conj(compu) \rightarrow conj(hostname)
dameCompu	:	red $r \times$ hostname $s \rightarrow$ compu $\{s \in \text{hostnames}(r)\}$
auxDameCompu	:	red $r \times$ hostname $s \times$ conj(compu) $cc \rightarrow$ compu $\{s \in \text{hostnames}(r) \wedge cc \subset \text{computadoras}(r)\}$
dameCaminosDeHostnames	:	conj(secu(compu)) \rightarrow conj(secu(hostname))
dameSecuDeHostnames	:	secu(compu) \rightarrow secu(hostname)

axiomas $\forall r : \text{red}, \forall cc : \text{conj}(\text{compu}), \forall s : \text{hostname}, \forall cs : \text{conj}(\text{secu}(\text{compu})), \forall secu : \text{secu}(\text{compu})$

dameHostnames(cc) \equiv **if** vacio?(cc) **then**
 \emptyset
else
 Ag(ip(dameUno(cc)), dameHostnames(sinUno(cc)))
fi

dameCompu(r, s) \equiv auxDameCompu($r, s, \text{computadoras}(r)$)

auxDameCompu(r, s, cc) \equiv **if** ip(dameUno(cc)) = s **then**
 dameUno(cc)
else
 auxDameCompu($r, s, \text{sinUno}(cc)$)
fi

dameCaminosDeHostnames(cs) \equiv **if** vacio?(cs) **then**
 \emptyset
else
 Ag(dameSecuDeHostnames(dameUno(cs)),
 dameCaminosDeHostnames(sinUno(cs)))
fi

```

dameSecuDeHostnames(secu)  $\equiv$  if vacia?(secu) then
    <>
else
    ip(prim(secu)) • dameSecuDeHostnames(fin(secu))
fi

```

Fin TAD

Representación

red se representa con *estr_red*

donde:

estr_red es *dicc*(hostname, datos)

donde *datos* es *tupla*(*interfaces*: *conj*(*interfaz*)
conexiones: *dicc*(*interfaz*, hostname)
alcanzables: *dicc*(*dest*: hostname, *caminos*: *conj*(*lista*(hostname)))))

hostname es *string*, *interfaz* es *nat*.

Rep : *estr_red* \longrightarrow *bool*

```

Rep(e)  $\equiv$  true  $\iff$  ( $\forall$  c: hostname, c  $\in$  claves(e)) (
    // 1 claves(obtener(e, c).conexiones)  $\subseteq$  obtener(e, c).interfaces  $\wedge$ 
    ( $\forall$  i: interfaz, i  $\in$  claves(obtener(e, c).conexiones)) (
    // 2 obtener(obtener(e, c).conexiones, i)  $\in$  claves(e)  $\wedge$ 
    // 3 obtener(obtener(e, c).conexiones, i)  $\neq$  c  $\wedge$ 
    // 4 ( $\neg \exists$  i': interfaz, i'  $\in$  claves(obtener(e, c).conexiones), i  $\neq$  i') obtener(obtener(e,
    // 5 ( $\forall$  h: hostname) ( h == obtener(obtener(e, c).conexiones, i)  $\Rightarrow$  ( $\exists$  i':int) obtener(obtener(e,
    // 6 conexiones, i') == c ) )  $\wedge$ 
    // 7 claves(obtener(e, c).alcanzables)  $\subseteq$  claves(e)  $\wedge$ 
    ( $\forall$  a: hostname, a  $\in$  claves(obtener(e, c).alcanzables) (
    // 8 a  $\neq$  c  $\wedge$ 
    // 9 ( $\exists$  s: secu(hostname)) esCaminoVálido(c, a, s)  $\wedge$ 
    // 10 #obtener(obtener(e, c).alcanzables, a) > 0  $\wedge_L$ 
    ( $\forall$  camino: secu(hostname), camino  $\in$  obtener(obtener(e, c).alcanzables, a) (
    // 11 esCaminoVálido(c, a, camino)  $\wedge$ 
    // 12  $\neg(\exists$  camino': secu(hostname), camino  $\neq$  camino', esCaminoVálido(c, a, camino'))
    long(camino') < long(camino) )  $\wedge$ 
    // 13  $\neg(\exists$  camino': secu(hostname), camino  $\neq$  camino', esCaminoVálido(c, a, camino'),
    long(camino) == long(camino')) (camino'  $\notin$  obtener(obtener(e, c).alcanzables, a) )
    ) )

```

La abreviatura *esCaminoValido* usada en el Rep se debe leer: (no son funciones, son abreviaturas para hacer más fácil la lectura)

```

esCaminoValido(orig, dest, secu)  $\equiv$  ( prim(secu) == orig  $\wedge$ 
    ( $\forall$  i: nat, 0 < i < long(secu) ) esVecino (secu[i], secu[i + 1])  $\wedge$ 
    secu [long(secu)-1] == dest  $\wedge$ 
    sinRepetidos(secu) )

```

Con *esVecino* (*h1*, *h2*) \equiv (\exists *i*: interfaz) *h2* == obtener (obtener(*e*, *h1*).conexiones, *i*)

\\ Rep en Castellano:

Para cada computadora:

1: Las interfaces usadas pertenecen al conjunto de interfaces de la compu.

2: Los vecinos pertenecen a las computadoras de la red.

3: Los vecinos son distintos a la compu actual.

4: Los vecinos no se repiten.

5: Las conexiones son bidireccionales.

6: Los alcanzables pertenecen a las computadoras de la red.

7: Los alcanzables son distintos a la actual.

8: Los alcanzables tienen un camino válido hacia ellos desde la actual.

9: Para cada alcanzable, el conjunto de caminos válidos no es vacío.

10: Todos los caminos en el diccionario alcanzables son válidos.

11: Los caminos son mínimos.

12: Están todos los mínimos.

$\text{Abs} : \text{estr_red } e \longrightarrow \text{red} \quad \{\text{Rep}(e)\}$

$\text{Abs}(e) \equiv r \mid \text{computadoras}(r) = \text{dameComputadoras}(e) \wedge_L$
 $(\forall c1, c2: \text{compu}, c1, c2 \in \text{computadoras}(r)) \text{conectadas?}(r, c1, c2) = (\exists i: \text{interfaz}) (c2.\text{ip} =$
 $\text{obtener}(\text{obtener}(e, c1.\text{ip}).\text{conexiones}, i) \wedge_L$
 $\text{interfazUsada}(r, c1, c2) = \text{buscarClave}(\text{obtener}(e, c1.\text{ip}).\text{conexiones}, c2.\text{ip}))$

Especificación de las funciones auxiliares utilizadas en abs

$\text{dameComputadoras} : \text{dicc}(\text{hostname}; X) \longrightarrow \text{conj}(\text{computadoras})$

$\text{auxDameComputadoras} : \text{dicc}(\text{hostname}; X) \times \text{conj}(\text{hostname}) \longrightarrow \text{conj}(\text{computadoras})$

$\text{buscarClave} : \text{dicc}(\text{interfaz}; \text{hostname}) \times \text{hostname} \longrightarrow \text{interfaz}$

$\text{auxBuscarClave} : \text{dicc}(\text{interfaz}; \text{hostname}) \times \text{hostname} \times \text{conj}(\text{interfaz}) \longrightarrow \text{interfaz}$

axiomas $\forall e: \text{dicc}(\text{hostname}, X), \forall d: \text{dicc}(\text{interfaz}, \text{hostname}), \forall cc: \text{conj}(\text{hostname}), \forall ci:$
 $\text{conj}(\text{interfaz}), \forall h: \text{hostname}$

$\text{dameComputadoras}(e) \equiv \text{auxDameComputadoras}(e, \text{claves}(e))$

$\text{auxDameComputadoras}(e, cc) \equiv \text{if } \emptyset?(cc) \text{ then}$
 \emptyset
 else
 $\text{Ag}(\langle \text{dameUno}(cc), \text{obtener}(e, \text{dameUno}(cc)).\text{interfaces} \rangle,$
 $\text{auxDameComputadoras}(e, \text{sinUno}(cc)))$
 fi

$\text{buscarClave}(d, h) \equiv \text{auxBuscarClave}(d, h, \text{claves}(d))$

$\text{auxBuscarClave}(d, h, ci) \equiv \text{if } \text{obtener}(d, \text{dameUno}(cc)) = h \text{ then}$
 $\text{dameUno}(cc)$
 else
 $\text{auxBuscarClave}(d, h, \text{sinUno}(ci))$
 fi

Algoritmos

Algorithm 1 Implementación de Computadoras

```

function iCOMPUTADORAS(in r: estr_red)→ res: conj(hostname)
  it ← crearIt(r)                                ▷ O(1)
  res ← Vacio()                                  ▷ conjunto ▷ O(1)
  while HaySiguiente(it) do                    ▷ Guarda: O(1)    ▷ El ciclo se ejecuta n veces ▷ O(n)
    Agregar(res, SiguienteClave(it))            ▷ O(1)
    Avanzar(it)                                ▷ O(1)
  end while
end function                                    ▷ O(n)

```

Algorithm 2 Implementación de Conectadas?

```

function iCONECTADAS?(in r: estr_red, in c1: hostname, in c2: hostname)→ res: bool
  it ← CrearIt(Significado(r,c1).conexiones)    ▷ O(n)
  res ← FALSE                                    ▷ O(1)
  while HaySiguiente(it) && ¬res do             ▷ Guarda: O(1)    ▷ El ciclo se ejecuta a lo sumo n-1 veces ▷ O(n)
    if SiguienteClave(it)==c2 then              ▷ O(L)
      res ← TRUE
    end if
    Avanzar(it)                                ▷ O(1)
  end while
end function                                    ▷ O(n*L)

```

Algorithm 3 Implementación de InterfazUsada

```

function iINTERFAZUSADA(in r: estr_red, in c1: hostname, in c2: hostname)→ res: interfaz
  it ← CrearIt(significado(r,c1).conexiones)    ▷ O(n)
  while HaySiguiente(it) do                    ▷ Guarda: O(1)    ▷ El ciclo se ejecuta a lo sumo n-1 veces ▷ O(n)
    if SiguienteSignificado(it)==c2 then        ▷ O(L)
      res ← SiguienteClave(it)                  ▷ nat por copia    ▷ O(copiar(nat))
    end if
    Avanzar(it)                                ▷ O(1)
  end while
end function                                    ▷ O(n*L)

```

Algorithm 4 Implementación de IniciarRed

```

function iINICIARRED() → res: estr_red
    res ← Vacio()                                ▷ Diccionario                ▷ O(1)
end function                                     ▷ O(1)

```

Algorithm 5 Implementación de AgregarCompu

```

function iAGREGARCOMPU(inout r: estr_red, in c1: compu)
    nuevoDiccVacio ← Vacio()                    ▷ Diccionario                ▷ O(1)
    DefinirRapido(r, c1.ip, tupla(c1.interfaces, nuevoDiccVacio, nuevoDiccVacio)) ▷ O(Copiar(sL)) con
    sL=string de largo L
end function                                     ▷ O(L)

```

Algorithm 6 Implementación de Conectar

```

function iCONECTAR(inout r: estr_red, in c1: hostname)
end function

```

Algorithm 7 Implementación de Vecinos

```

function iVECINOS(inout r: estr_red, in c1: hostname) → res: conj(hostname)
    it ← CrearIt(Significado(r,c1).conexiones)    ▷ O(1) + O(n)
    res ← Vacio()                                ▷ Conjunto                ▷ O(1)
    while HaySiguiente(it) do                    ▷ Guarda: O(1)    ▷ El ciclo se ejecuta a lo sumo n-1 veces    ▷ O(n)
        AgregarRapido(res, SiguienteSignificado(it))    ▷ O(L)
        Avanzar(it)                                    ▷ O(1)
    end while
end function                                     ▷ O(n*L)

```

Algorithm 8 Implementación de UsaInterfaz

```

function iUSAIINTERFAZ(in r: estr_red, in c: hostname, in i: interfaz) → res: bool
    res ← Definido?(Significado(r,c).conexiones,i)    ▷ O(comparar(nat)*n)
end function                                     ▷ O(n)

```

Algorithm 9 Implementación de CaminosMinimos

```

function iCAMINOSMINIMOS(in r: estr_red, in c1: hostname, in c2: hostname) → res:
conj(lista(hostname))
    itCaminos ← crearIt(Significado(Significado(r,c1).alcanzables, c2))    ▷ O(1) + O(L*n)
    res ← Vacio()                                                            ▷ Conjunto                ▷ O(1)
    while HaySiguiente(itCaminos) do
        AgregarRapido(res, Siguiente(itCaminos))    ▷ O(1)
        Avanzar(itCaminos)                        ▷ O(1)
    end while
end function                                     ▷ O(n*L)

```

Algorithm 10 Implementación de HayCamino?

```

function iHAYCAMINO?(in r: estr_red, in c1: hostname, in c2: hostname) → res: bool
    res ← Definido?(Significado(r,c1).alcanzables, c2)    ▷ O(n*n)
end function                                     ▷ O(n*n)

```

Algorithm 11 Implementación de ==

```

function IGUALDAD(in r1: estr_red, in r2: estr_red)→ res: bool
    res ← TRUE ▷ O(1)
    if ¬(#Claves(r1)==#Claves(r2)) then ▷ O(comparar(nat))
        // Si la cantidad de claves son distintas => las redes son distintas
        res ← FALSE ▷ O(1)
    else
        itRed1 ← CrearIt(r1) ▷ O(1)
        while HaySiguiente(itRed1) && res do ▷ O(1)
            // Recorro la red 1 y me fijo para cada una de sus computadoras
            if ¬(Definido?(r2, SiguienteClave(itRed1)) then ▷ O(L*n)
                // Si no está definido su hostname en la red 2 => las redes son distintas
                res ← FALSE ▷ O(1)
            else
                Compu2 ← Significado(r2, SiguienteClave(itRed1)) ▷ O(L*n)
                Compu1 ← SiguienteSignificado(itRed1) ▷ O(1)
                // Tomo las computadoras de red 1 y red 2 con el mismo hostname y las comparo
                if ¬(Comp1.interfaces == Comp2.interfaces) then ▷ O(m*m) con m=cantidad de
                    interfaces
                    // Si sus interfaces son distintas => las redes son distintas
                    res ← FALSE ▷ O(1)
                end if
                if ¬(Comp1.conexiones == Comp2.conexiones) then
                    // Si sus conexiones son distintas => las redes son distintas
                    res ← FALSE ▷ O(1)
                end if
                if ¬(#Claves(Compu1.alcanzables)==#Claves(Compu2.alcanzables)) then
                    // Si sus cantidades de alcanzables son distintas => las redes son distintas
                    res ← FALSE ▷ O(1)
                else
                    itAlc1 ← CrearIt(Compu1.alcanzables) ▷ O(1)
                    while HaySiguiente(itAlc1) && res do ▷ se ejecuta a lo sumo n-1 veces ▷ O(n)
                        // Para cada alcanzable de la computadora de la red 1
                        if ¬(Definido?(Comp2.alcanzables, SiguienteClave(itAlc1))) then ▷ O(m)
                            // Si no está definida en los alcanzables de la compu de la red 2 => las redes son distintas
                            res ← FALSE
                        else
                            Caminos1 ← SiguienteSignificado(itAlc1) ▷ O(1)
                            Caminos2 ← Significado(Comp2.alcanzables, itAlc1) ▷ O(n)
                            // Me guardo los 2 conjuntos de caminos (de la compu de la red 1 y la de la red 2)
                            if ¬(Longitud(Caminos1) == Longitud(Caminos2)) then ▷ O(comparar(nat))
                                // Si sus cantidades son distintas => las redes son distintas
                                res ← FALSE
                            else
                                itCaminos1 ← CrearIt(Caminos1) ▷ O(1)
                                while HaySiguiente(itCaminos1) && res do
                                    // Para cada camino en el conjunto de caminos de la compu de la red 1
                                    // Recorro los caminos de la compu de la red 2
                                    itCaminos2 ← CrearIt(Caminos2) ▷ O(1)
                                    noEncontro ← TRUE ▷ O(1)
                                    while HaySiguiente(itCaminos2) && noEncontro do
                                        // Busco que el camino de la compu de la red 1 esté en la compu de la red 2
                                        if Siguiente(itCaminos2) == Siguiente(ItCaminos1) then
                                            noEncontro ← FALSE
                                        end if
                                        Avanzar(itCaminos2) ▷ O(1)
                                    end while
                                    if noEncontro then ▷ O(1)
                                        // Si no encontró alguno => las redes son distintas
                                        res ← FALSE
                                    end if
                                    Avanzar(itCaminos1) ▷ O(1)
                                end while
                            end if
                        end if
                    end while
                end if
            end if
        end if
    end function

```

2. Módulo DCNet

Interfaz

usa: RED, CONJ(α), ITCONJ(α), LISTA(α), ITLISTA(α), DICT_{TRIE}(κ , σ), DICT_{AVL}(κ , σ), CONJ_{HEAP}(α), ITCONJ_{HEAP}(α).

se explica con: DCNET.

géneros: dcnet.

Operaciones de DCNet

RED(**in** d : dcnet) $\rightarrow res$: red

Pre $\equiv \{\text{true}\}$

Post $\equiv \{\text{alias}(res =_{obs} red(d))\}$

Descripción: devuelve la red asociada.

Aliasing: res no es modificable.

CAMINORECORRIDO(**in** d : dcnet, **in** p : IDpaquete) $\rightarrow res$: lista(hostname)

Pre $\equiv \{\text{IDpaqueteEnTransito?}(d, p)\}$

Post $\equiv \{res =_{obs} dameSecuDeHostnames(caminoRecorrido(d, damePaquete(p)))\}$

Descripción: devuelve el camino recorrido desde el origen hasta el actual.

Aliasing: res se devuelve por copia.

CANTIDADENVIADOS(**in** d : dcnet, **in** c : hostname) $\rightarrow res$: nat

Pre $\equiv \{c \in dameHostnames(computadoras(red(d)))\}$

Post $\equiv \{res =_{obs} cantidadEnviados(d, dameCompu(c))\}$

Descripción: devuelve la cantidad de paquetes enviados por la computadora.

ENESPERA(**in** d : dcnet, **in** c : hostname) $\rightarrow res$: conj(paquete)

Pre $\equiv \{c \in dameHostnames(computadoras(red(d)))\}$

Post $\equiv \{\text{alias}(res =_{obs} enEspera(d, dameCompu(c)))\}$

Descripción: devuelve los paquetes en la cola de la computadora.

Aliasing: res no es modificable.

INICIARDCNET(**in** r : red) $\rightarrow res$: dcnet

Pre $\equiv \{\text{true}\}$

Post $\equiv \{res =_{obs} iniciarDCNet(r)\}$

Descripción: crea una nueva Dcnet.

Aliasing: la red se agrega por copia.

CREARPAQUETE(**in/out** d : dcnet, **in** p : paquete)

Pre $\equiv \{d = d_0 \wedge \neg(\exists p': \text{paquete}) (\text{paqueteEnTransito?}(d, p') \wedge \text{id}(p') = \text{id}(p)) \wedge$

$\text{origen}(p) \in \text{computadoras}(red(d)) \wedge_L \text{destino}(p) \in \text{computadoras}(red(d)) \wedge_L \text{hayCamino?}(red(d), \text{origen}(p), \text{destino}(p))\}$

Post $\equiv \{d =_{obs} \text{crearPaquete}(d_0, p)\}$

Descripción: agrega un paquete a la red.

Aliasing: el paquete se agrega por copia.

AVANZARSEGUNDO(**in/out** d : dcnet)

Pre $\equiv \{d = d_0\}$

Post $\equiv \{d =_{obs} \text{avanzarSegundo}(d_0)\}$

Descripción: realiza los movimientos de paquetes correspondientes, aplicando los cambios necesarios a la dcnet.

PAQUETEENTRANSITO?(**in** d : dcnet, **in** p : IDpaquete) $\rightarrow res$: bool

Pre $\equiv \{\text{true}\}$

Post $\equiv \{res =_{obs} \text{IDpaqueteEnTransito?}(d, p)\}$

Descripción: indica si el paquete esta en alguna de las colas dado el ID.

LAQUEMASENVIO(in $d: \text{dcnet}$) $\rightarrow res: \text{hostname}$

Pre $\equiv \{\text{true}\}$

Post $\equiv \{res =_{obs} \text{laQueMasEnvio}(d).\text{ip}\}$

Descripción: devuelve la computadora que más paquetes envió.

Aliasing: res se devuelve por copia.

$\bullet = \bullet$ (in $d_1: \text{dcnet}$, in $d_2: \text{dcnet}$) $\rightarrow res: \text{bool}$

Pre $\equiv \{\text{true}\}$

Post $\equiv \{res =_{obs} (d_1 =_{obs} d_2)\}$

Descripción: indica si dos dcnet son iguales.

donde:

hostname es string,

interfaz es nat,

IDpaquete es nat,

compu es tupla<ip: hostname, interfaces: conj(interfaz)>,

paquete es tupla<id: IDpaquete, prioridad: nat, origen: hostname, destino: hostname >.

Especificación de las operaciones auxiliares utilizadas en la interfaz

TAD DCNET EXTENDIDA

extiende DCNET

otras operaciones

(no exportadas)

damehostnames	: conj(compu) \rightarrow conj(hostname)
dameCompu	: dcnet $d \times$ hostname $s \rightarrow$ compu $\{s \in \text{dameHostnames}(\text{computadoras}(\text{red}(d)))\}$
auxDameCompu	: hostname $s \times$ conj(compu) $cc \rightarrow$ compu
dameSecuDeHostnames	: secu(compu) \rightarrow secu(hostname)
IDpaqueteEnTransito?	: dcnet $d \times$ IDpaquete $p \rightarrow$ bool
damePaquete	: dcnet $d \times$ IDpaquete $p \rightarrow$ paquete $\{\text{IDpaqueteEnTransito?}(d, p)\}$
dameIDpaquetes	: conj(paquete) \rightarrow conj(IDpaquete)

axiomas $\forall d: \text{dcnet}, \forall s: \text{hostname}, \forall p: \text{IDpaquete}, \forall cc: \text{conj}(\text{compu}), \forall secu: \text{secu}(\text{compu}), \forall cp: \text{conj}(\text{paquete}),$

dameHostnames(cc) \equiv **if** vacio?(cc) **then**
 \emptyset
else
 Ag(ip(dameUno(cc)), dameHostnames(sinUno(cc)))
fi
 dameCompu(d, s) \equiv auxDameCompu($s, \text{computadoras}(\text{red}((d)))$)
 auxDameCompu(s, cc) \equiv **if** ip(dameUno(cc)) = s **then**
 dameUno(cc)
else
 auxDameCompu($s, \text{sinUno}(cc)$)
fi

```

dameSecuDeHostnames(secu)  $\equiv$  if vacia?(secu) then
    <>
else
    ip(prim(secu)) • dameSecuDeHostnames(fin(secu))
fi
IDpaqueteEnTransito?(d, p)  $\equiv$  auxIDpaqueteEnTransito(d, computadoras(red(d)), p)
auxIDpaqueteEnTransito(d, cc, p)  $\equiv$  if vacio?(cc) then
    false
else
    if p  $\in$  dameIDpaquetes(enEspera(dameUno(cc))) then
        true
    else
        auxIDpaqueteEnTransito(d, sinUno(cc), p)
    fi
fi
dameIDpaquetes(cp)  $\equiv$  if vacio?(cp) then
     $\emptyset$ 
else
    Ag( id(dameUno(cp)), dameIDpaquetes(sinUno(cp)) )
fi

```

Fin TAD

Representación

dcnet se representa con *estr_dcnet*

donde *estr_dcnet* es tupla(*red*: red
computadoras: dicc(hostname, X)
porHostname: dicc_{TRIE} (hostname, itDicc(hostname, X))
conMasEnvios: itDicc(hostname, X)
caminos: arreglo_dimensionable de arreglo_dimensionable de
lista(hostname))

donde X es tupla(*indice*: nat
paquetes: conj(paquete)
cola: conj_{HEAP}(itConj(paquete))
paqPorID: dicc_{AVL} (IDpaquete, itConj(paquete))
cantEnvios: nat)

Rep : *estr_dcnet* \longrightarrow bool

Rep(*e*) \equiv true \iff ...

Abs : *estr_dcnet d* \longrightarrow dcnet {Rep(*d*)}

Abs(*d*) \equiv ...

Algoritmos

Algorithm 12 Implementación de Red

```

function iRED(in  $d$ : estr_dcnet)  $\rightarrow$  res: Red
  res  $\leftarrow$  d.red
end function

```

Algorithm 13 Implementación de CaminoRecorrido

```

function iCAMINORecorrido(in  $d$ : estr_dcnet, in  $p$ : IDPaquete)  $\rightarrow$  res: lista(hostname)
  itCompu  $\leftarrow$  CrearIt(d.computadoras)  $\triangleright O(1)$ 
  yaEncontrado  $\leftarrow$  FALSE  $\triangleright O(1)$ 
  while HaySiguiente(itCompu) &&  $\neg$ yaEncontrado do  $\triangleright$  Guarda:  $O(1)$   $\triangleright$  Se repite a lo sumo  $n$  veces  $\triangleright$ 
     $O(n)$ 
    if Definido?(SiguienteSignificado(itCompu).paqPorID,  $p$ ) then  $\triangleright O(\log(k))$ 
      paquete  $\leftarrow$  Significado(SiguienteSignificado(itCompu).paqPorID,  $p$ )  $\triangleright O(1)$ 
      yaEncontrado  $\leftarrow$  TRUE  $\triangleright O(1)$ 
    else
      Avanzar(itCompu)  $\triangleright O(1)$ 
    end if
  end while
  res  $\leftarrow$  caminos[Significado(d.computadoras,  $\pi_3(\text{paquete})$ ).indice][SiguienteSignificado(itCompu).indice]
   $\triangleright O(1) + O(n) + O(1)$ 
end function

```

Algorithm 14 Implementación de paquetes enviados

```

function CANTIDADENVIADOS(in  $d$ : estr_dcnet, in  $c$ : hostname)  $\rightarrow$  res: nat
   $it \leftarrow$  Significado( $d$ .porHostname,  $c$ )  $\triangleright O(L)$ 
  res  $\leftarrow$  SiguienteSignificado(it).cantEnvios  $\triangleright O(1)$ 
end function

```

Algorithm 15

```

function iENESPERA(in d: estr_dcnet, in c: hostname) → res: estr
    it ← Significado(d.porHostname, c)                                ▷ O(L)
    res ← SiguienteSignificado(it).paquetes                        ▷ O(1)
end function

```

Algorithm 16 Implementación de iniciarDCNet

```

function iINICIARDCNET(in r: red) → res: estr_dcnet
    res.red ← r                                                    ▷ Hay que copiar Red? O(copy(r))
    diccCompus ← Vaco()                                            ▷ O(1)
    diccHostname ← Vaco()                                          ▷ O(1)
    index ← 0                                                       ▷ O(1)
    itHostname ← CrearIt(Computadoras(r))                        ▷ O(1)
    res.conMasEnvos ← Siguiente(itHostname)                        ▷ O(1)
    while HaySiguiente(itHostname) do                                ▷ O(#Computadoras(r))
        X ← < index, Vaco(), Vaco(), Vaco(), 0 >                ▷ O(n) segun el apunte
        itX ← Definir(diccCompus, Siguiente(itHostname), X)      ▷ O(copy(Siguiente(itHostname)) +
copy(X))
        Definir(diccHostname, Siguiente(itHostname), itX)        ▷ O(copy(Siguiente(itHostname)) +
copy(X))
        index ← index + 1                                          ▷ O(1)
        Avanzar(itHostname)                                         ▷ O(1)
    end while
    res.computadoras ← diccCompus                                  ▷ O(1)
    res.porHostname ← diccHostname                                  ▷ O(1)
    n ← #Claves(diccCompus)                                         ▷ O(1)
    arrayCaminos ← CrearArreglo(n)                                ▷ O(n)
    itPC ← CrearIt(diccCompus)                                       ▷ O(1)
    itPC2 ← CrearIt(diccCompus)                                       ▷ O(1)
    while HaySiguiente(itPC) do                                       ▷ O(1)
        arrayDestinos ← CrearArreglo(n)                            ▷ O(n)
        while HaySiguiente(itPC2) do                                   ▷ O(1)
            itConj ← CaminosMinimos(r, SiguienteClave(itPC), SiguienteClave(itPC2)) ▷ O(???)
            if HaySiguiente(itConj) then                               ▷ O(1)
                arrayDestinos[SiguienteSignificado(itPC2).indice] ← Siguiente(itConj) ▷ el apunte
            dice que no es modificable O(1)
            else
                arrayDestinos[SiguienteSignificado(itPC2).indice] ← Vaco    ▷ es necesario esto? O(1)
            end if
            Avanzar(itPC2)                                           ▷ O(1)
        end while
        arrayCaminos[SiguienteSignificado(itPC).indice] ← arrayDestinos ▷ O(1)
        Avanzar(itPC)                                               ▷ O(1)
    end while
    res.caminos ← arrayCaminos                                       ▷ O(1)
end function

```

Algorithm 17

```

function CREARPAQUETE(in/out d: estr_dcnet, in p: paquete)
    itPC ← Significado(d.porHostname, paquete.origen)              ▷ O(L)
    itPq ← Agregar(SiguienteSignificado(itPC).paquetes, p)        ▷ O(copy(p))
    Encolar(SiguienteSignificado(itPC).cola, p.prioridad, itPq)  ▷ O(log(n)), n cantidad de nodos
    Definir(SiguienteSignificado(itPC).paquetesPorID, IDpaquete, itPq) ▷ O(log(n)), n cantidad de
nodos
end function

```

Algorithm 18 Implementación de PaqueteEnTransito?

```

function iPAQUETEENTRANSITO?(in d: estr_dcnet, in p:IDpaquete)→ res: bool
    res ← false                                     ▷ O(1)
    itCompu ← crearIt(d.computadoras)                ▷ O(1)
    while HaySiguiete(itCompu) && ¬res do
▷ a lo sumo n veces, la guarda es O(1)
        itPaq ← crearIt(siguieteSignificado(itCompu).paquetes)    ▷ O(1)
        while (HaySiguiete(itPaq) && Siguiete(itPaq).id ≠ p) do    ▷ a lo sumo k veces, la guarda es
O(1)
            Avanzar(itPaq)                                     ▷ O(1)
        end while
        if Siguiete(itPaq) == p) then                       ▷ O(1)
            res ← True                                         ▷ O(1)
        end if
        Avanzar(itCompu)                                     ▷ O(1)
    end while
end function

```

Algorithm 19 Implementación de LaQueMasEnvío

```

function iLAQUEMASENVIÓ(in d: estr_dcnet)→ res: hostname
    res ← SiguieteClave(d.conMasEnvios)
end function

```

Algorithm 20 Implementación de AvanzarSegundo

```

function iAVANZARSEGUNDO(inout d: estr_dcnnet)
  arreglo ← crearArreglo[#Claves(d.computadoras)] de tupla(usedo: bool, paquete: paquete, destino:
  string), donde paquete es tupla(IDpaquete: nat, prioridad: nat, origen: string, destino: string)
                                ▷ O(n) para calcular cantidad de claves, O(1) para crearlo
  for (int i=0, < #Claves(d.computadoras), i++) do                                ▷ el ciclo se hará n veces
    arreglo[i].usedo = false                                                    ▷ O(1)
  end for

  \\ Inicializo Iterador
  itCompu ← crearIt(d.computadoras)                                            ▷ O(1)
  i ← 0
                                ▷ Ciclo 1: Desencolo y guardo en arreglo auxiliar.
  while (HaySiguiente(itCompu)) do                                            ▷ el ciclo se hará a lo sumo n veces
    if (¬(Vacía?(SiguienteSignificado(itCompu).cola))) then                    ▷ O(1)
  \\ Borro el de mayor prioridad del heap:
    itPaquete ← Desencolar(SiguienteSignificado(itCompu).cola)                ▷ O(log k)
  \\ Lo elimino del dicc AVL
    Borrar(SiguienteSignificado(itCompu).paquetesPorID, Siguiente(itPaquete).IDpaquete)
                                                                ▷ O(log k)
  \\ Guardo el paquete en una variable
    paqueteDesencolado ← Siguiente(itPaquete)                                ▷ O(1)
  \\ Lo elimino del conjunto lineal de paquetes
    EliminarSiguiente(itPaquete)                                              ▷ O(1)
  \\ Calculo proximo destino fijandome en la matriz
  \\ El origen lo tengo en O(1) en el significado del iterador de compus.
    origen ← (SiguienteSignificado(itCompu)).indice                            ▷ O(1)
  \\ El destino lo obtengo en O(L) buscando por hostname el destino del paquete, y luego guardo el indice.
    itdestino ← Significado(d.porHostname, paqueteDesencolado.destino)        ▷ O(L)
    destino ← (SiguienteSignificado(itdestino)).indice                        ▷ O(1)
    proxDest ← d.camino[origen][destino][1]                                  ▷ O(1)
  \\ Lo inserto en el arreglo junto con el destino sólo si el destino no era el final.
    if (proxDest ≠ paqueteDesencolado.destino) then
      arreglo[i] ← <true, paqueteDesencolado, proxDest>                      ▷ O(1)
    end if
  \\ Aumento cantidad de envíos
    SiguienteSignificado(itCompu).cantEnvios ++                                ▷ O(1)
  \\ Actualizo conMasEnvios
    envios ← SiguienteSignificado(itCompu).cantEnvios                          ▷ O(1)
    if (envios > SiguienteSignificado(d.conMasEnvios).cantEnvios) then        ▷ O(1)
      d.conMasEnvios ← itCompu
    end if
  end if
  \\ Avanzo de computadora
  Avanzar(itCompu)                                                            ▷ O(1)
  i++
end while

```

```

                                ▷ Ciclo 2: Encolo los paquetes del vector a sus destinos correspondientes.
i ← 0
while HaySiguiente(itCompu) do                                ▷ el ciclo se hará a lo sumo n veces
    if arreglo[i].usado then
        \\ Busco el proxDestino guardado en el arreglo por hostname.
        itdestino ← Significado(d.porHostname, arreglo[i].destino)                                ▷ O(L)
        \\ Agrego el paquete al conjunto de paquetes del prox destino.
        itpaquete ← AgregarRapido(SiguienteSignificado(itdestino).paquetes, arreglo[i].paquete)                                ▷ O(1)

        \\ Encolo el heap del destino
        prioridad ← (arreglo[i].paquete).prioridad
        Encolar(SiguienteSignificado(itdestino).cola, prioridad, itpaquete)                                ▷ O(log k)
        \\ Lo agrego en el dicc AVL.
        IDpaq ← (arreglo[i].paquete).IDpaquete                                ▷ O(1)
        Definir(SiguienteSignificado(itdestino).paquetesPorID, IDpaq, itpaquete)                                ▷ O(log k)
    end if
    i++
    Avanzar(itCompu)
end while
end function

```

Algorithm 21 Implementación de ==

```

function IGUALDAD(in d1: estr_dcnet, in d2: estr_dcnet) → res: bool
    \\ Comparo redes usando == de red
    res ← (d1.red == d2.red)                                ▷ O(???)
    if (res) then                                            ▷ O(1)
        itCompu ← crearIt(d1.computadoras)                    ▷ O(1)
        string host                                            ▷ O(1)
        \\ Recorro las computadoras
        while (HaySiguiente(itCompu) && res) do                ▷ itero O(n) veces, la guarda es O(1)
            host ← SiguienteClave(itCompu)                    ▷ O(1)
            \\ Comparo enEspera usando == de conjunto lineal, y cant. enviados
            res ← (enEspera(d1, host) == enEspera(d2, host) &&
cantidadEnviados(d1,host) == cantidadEnviados(d2,host))    ▷ O(???)
            itpaq ← crearIt(SiguienteSignificado(itCompu).paquetes)    ▷ O(1)
            int j ← 0                                            ▷ O(1)
            nat id                                              ▷ O(1)
            \\ Recorro paquetes de cada computadora
            while (HaySiguiente(itpaq) && res) do                ▷ itero O(k) veces, la guarda es O(1)
                id ← Siguiente(itpaq).IDpaquete                ▷ O(1)
                \\ Comparo caminosRecorridos usando == de listas enlazadas
                res ← (caminoRecorrido(d1, id) == caminoRecorrido(d2, id))    ▷ O(???)
                avanzar(itpaq)                                    ▷ O(1)
            end while
            avanzar (itCompu)                                    ▷ O(1)
        end while
    end if
end function

```

3. Módulo Cola de Prioridad $_{HEAP}(\alpha)$

Interfaz

usa: TUPLA, NAT, BOOL, α .

se explica con: COLA DE PRIORIDAD ALTERNATIVA.

géneros: heap.

Operaciones de Cola de Prioridad $_{HEAP}$

VACIA $(\rightarrow res : \text{heap})$

Pre $\equiv \{\text{true}\}$

Post $\equiv \{res =_{obs} \text{vacía}\}$

Complejidad: $O(1)$

Descripción: Crea una cola vacía.

VACIA? $(\text{in } estr : \text{heap}) \rightarrow res : \text{bool}$

Pre $\equiv \{\text{true}\}$

Post $\equiv \{res =_{obs} \text{vacía?}(estr)\}$

Complejidad: $O(1)$

Descripción: Indica si la cola está vacía.

ENCOLAR $(\text{in/out } estr : \text{heap}, \text{in } prio : \text{nat}, \text{in } valor : \alpha) \rightarrow res : \text{bool}$

Pre $\equiv \{estr = estr_0\}$

Post $\equiv \{res \wedge estr =_{obs} \text{encolar}(estr_0)\}$

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

Descripción: Crea un nuevo elemento con los parámetros dados y lo agrega a la cola.

DESENCOLAR $(\text{in/out } estr : \text{heap}) \rightarrow res : \alpha$

Pre $\equiv \{estr = estr_0 \wedge \neg \text{Vacía?}(estr)\}$

Post $\equiv \{estr =_{obs} \text{desencolar}(estr_0) \wedge res =_{obs} \text{proximo}(estr_0)\}$

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

Descripción: Devuelve al elemento de mayor prioridad y lo remueve de la cola. La cola no debe estar vacía.

TAD COLA DE PRIORIDAD ALTERNATIVA(α)

géneros $\quad \text{colaPrio}(\alpha)$

exporta $\quad \text{colaPrio}(\alpha), \text{generadores}, \text{observadores}$

igualdad observacional

$$\left((\forall c_1, c_2 : \text{colaPrio}(\alpha)) (c_1 =_{obs} c_2 \iff (\forall n : \text{nat}) \text{conjPorPrio}(c_1, n) =_{obs} \text{conjPorPrio}(c_2, n)) \right)$$

usa $\quad \text{BOOL}, \text{NAT}, \text{CONJUNTO}(\alpha)$

observadores básicos

prioridades $\quad : \text{colaPrio}(\alpha) \longrightarrow \text{conj}(\text{nat})$

conjPorPrio $\quad : \text{colaPrio}(\alpha) \times \text{nat} \longrightarrow \text{conj}(\alpha)$

próximo $\quad : \text{colaPrio}(\alpha) \times c \longrightarrow \alpha \quad \{ \neg \emptyset?(\text{prioridades}(c)) \}$

generadores

vacía $\quad : \longrightarrow \text{colaPrio}(\alpha)$

$\text{encolar} : \text{colaPrio}(\alpha) \times \text{nat} \times \alpha \longrightarrow \text{colaPrio}(\alpha)$
 $\text{desencolar} : \text{colaPrio}(\alpha) \text{ } c \longrightarrow \text{colaPrio}(\alpha) \quad \{-\emptyset?(prioridades(c))\}$

otras operaciones

$\text{próximaPrio} : \text{colaPrio}(\alpha) \longrightarrow \text{nat}$
 $\text{maxConjunto} : \text{conjunto}(\text{nat}) \text{ } C \longrightarrow \text{nat}$

axiomas $\forall c : \text{colaPrio}(\alpha), \forall n, p : \text{nat}, \forall val : \alpha, \forall conj : \text{conj}(\text{nat})$

$\text{próximaPrio}(c) \equiv \text{maxConjunto}(\text{prioridades}(c))$

$\text{maxConjunto}(conj) \equiv \text{if } \emptyset?(conj) \text{ then } 0 \text{ else if } \text{dameUno}(conj) \geq \text{maxConjunto}(\text{sinUno}(conj))$
 $\text{then } \text{dameUno}(conj) \text{ else } \text{maxConjunto}(\text{sinUno}(conj))$

$\text{prioridades}(vacía) \equiv \emptyset$

$\text{prioridades}(\text{encolar}(c, n, val)) \equiv \text{Ag}(n, \text{prioridades}(c))$

$\text{prioridades}(\text{desencolar}(c)) \equiv \text{if } \#conjPorPrio(c, \text{proximaPrio}(c)) = 1 \text{ the } \text{prioridades}(c) -$
 $\{ \text{próximaPrio}(c) \} \text{ else } \text{prioridades}(c)$

$\text{conjPorPrio}(vacía, p) \equiv \emptyset$

$\text{conjPorPrio}(\text{encolar}(c, n, val), p) \equiv \text{if } p = n \text{ then } \text{Ag}(val, \text{conjPorPrio}(c, p)) \text{ else } \text{conjPorPrio}(c, p)$

$\text{conjPorPrio}(\text{desencolar}(c), p) \equiv \text{if } p = \text{proximaPrio}(c) \text{ then } \text{sinUno}(\text{conjPorPrio}(c, p)) \text{ else } \text{conjPorPrio}(c, p)$

$\text{próximo}(\text{encolar}(c, n, val)) \equiv \text{if } n = \text{proximaPrio}(c) \text{ then } \text{dameUno}(\text{Ag}(\text{conjPorPrio}(c, n))) \text{ else } \text{dameUno}(\text{conjPorPrio}(c, \text{proximaPrio}(c)))$

$\text{próximo}(\text{desencolar}(c)) \equiv \text{if } \#conjPorPrio(c, \text{proximaPrio}(c)) = 1 \text{ then } \text{dameUno}(\text{conjPorPrio}(c, \text{maxConjunto}(\text{prioridades}(c) - \{ \text{proximaPrio}(c) \}))) \text{ else } \text{dameUno}(\text{sinUno}(\text{conjPorPrio}(c, \text{proximaPrio}(c))))$

Fin TAD

Representación

heap se representa con *estr*

donde *estr* es $\text{tupla}(\text{size: nat}$
 $\quad \text{primero: nodo}(\alpha)$
 $\quad)$
 donde $\text{nodo}(\alpha)$ es $\text{tupla}(\text{padre: puntero}(\text{nodo}(\alpha))$
 $\quad \text{izq: puntero}(\text{nodo}(\alpha))$
 $\quad \text{der: puntero}(\text{nodo}(\alpha))$
 $\quad \text{prio: nat}$
 $\quad \text{valro: } \alpha$
 $\quad)$

$\text{Rep: } \text{estr} \rightarrow \text{bool}$
 $\text{Rep}(e) \equiv \text{true} \iff \text{size} = \# \text{arbol}(\text{estr.primero}) \wedge_L$
 $((\text{estr.primero}).\text{padre} = \text{null} \wedge$
 $(\forall e : \text{estr})(e \in \text{arbol}(\text{estr.primero}) \wedge e \neq (\text{estr.primero}) \Rightarrow (e.\text{padre} \neq \text{null} \wedge_L (((e.\text{padre}).\text{izq} =$
 $e \vee (e.\text{padre}).\text{der} = e) \wedge \neg(((e.\text{padre}).\text{izq} = e \wedge (e.\text{padre}).\text{der} = e)))))) \wedge$
 $(\forall e : \text{estr})(e \in \text{arbol}(\text{estr.primero}) \Rightarrow ((\text{estr.izq} \neq \text{null} \Rightarrow \text{estr.prio} \geq (\text{estr.izq}).\text{prio}) \wedge (\text{estr.der} \neq$
 $\text{null} \Rightarrow \text{estr.prio} \geq (\text{estr.der}).\text{prio}))) \wedge$
 $(\forall e : \text{estr})(e \in \text{arbol}(\text{estr.primero}) \Rightarrow \text{caminoHastaRaiz}(e, \text{arbol}(\text{estr.primero})) \leq \lfloor \log_2(\text{size}) \rfloor + 1))$
 $\text{Abs: } \text{estr } d \rightarrow \text{colaPrio}(\alpha) \{ \text{Rep}(d) \}$
 $\text{Abs}(\text{Vacía}()) \equiv \text{Vacía}$
 $(\forall e : \text{estr}, n : \text{nat}, \text{valor} : \alpha)(\text{Abs}(\text{encolar}(e, n, \text{valor}))) \equiv \text{encolar}(\text{Abs}(e), n, \text{valor})$
 $(\forall e : \text{estr})(\text{Abs}(\text{desencolar}(e))) \equiv \text{desencolar}(\text{Abs}(e))$

Especificación de las operaciones auxiliares utilizadas para Rep y Abs

$\text{arbol} : \text{nodo}(\alpha) \rightarrow \text{conj}(\text{nodo}(\alpha))$
 $\text{caminoHastaRaiz} : \text{nodo}(\alpha) \rightarrow \text{nat}$
 $\text{arbol}(n) \equiv \text{if } n.\text{izq} \neq \text{null} \wedge n.\text{der} \neq \text{null} \text{ then } \text{Ag}(n.\text{valor}, \text{arbol}(n.\text{izq}) \cup \text{arbol}(n.\text{der})) \text{ else if } n.\text{izq} \neq$
 $\text{null} \text{ then } \text{Ag}(n.\text{valor}, \text{arbol}(n.\text{izq})) \text{ else if } n.\text{der} \neq \text{null} \text{ then } \text{Ag}(n.\text{valor}, \text{arbol}(n.\text{der})) \text{ else }$
 $\text{Ag}(n.\text{valor}, \emptyset)$
 $\text{caminoHastaRaiz}(n) \equiv \text{if } n.\text{padre} = \text{null} \text{ then } 0 \text{ else } \text{caminoHastaRaiz}(n.\text{padre}) + 1$

Algoritmos

Algorithm 22 Implementación de Vacía

function iVACIA $\rightarrow res$: heap
 $\quad res \leftarrow \langle 0, \text{null} \rangle$ $\triangleright O(1)$
end function

Algorithm 23 Implementación de Vacía?

function iVACIA? $(\text{in } \text{estr: heap}) \rightarrow res$: bool
 $\quad res \leftarrow (\text{estr.primero} == \text{null})$ $\triangleright O(1)$
end function

Algorithm 24 Implementación de Encolar

```

function iENCOLAR(in/out estr: heap, in prio: nat, in valor:  $\alpha$ )  $\rightarrow$  res: bool
    res  $\leftarrow$  true  $\triangleright$  O(1)
    if estr.size == 0 then  $\triangleright$  O(1)
        estr.primer  $\leftarrow$  <null, null, null, prio, valor>  $\triangleright$  O(1)
    else
        size ++  $\triangleright$  O(1)
        x  $\leftarrow$  valor  $\triangleright$  O(1)
        y  $\leftarrow$  <>  $\triangleright$  O(1)
        while x  $\neq$  0 do  $\triangleright$  La cantidad de veces que se ejecuta el ciclo es igual a la altura del heap. Al ser
            un arbol binario completo, la altura siempre será O(log(n))
            y  $\leftarrow$  (x % 2) • y  $\triangleright$  O(1)
            x  $\leftarrow$  x / 2  $\triangleright$  O(1)
        end while
        y  $\leftarrow$  com(y)  $\triangleright$  O(log(n))
        z  $\leftarrow$  estr.primer  $\triangleright$  O(1)
        y  $\leftarrow$  fin(y)  $\triangleright$  O(1)
        while long(y) > 1 do  $\triangleright$  El ciclo se ejecuta O(log(n)) veces
            z  $\leftarrow$  if prim(y) == 0 then z.izq else z.der  $\triangleright$  O(1)
            y  $\leftarrow$  fin(y)  $\triangleright$  O(1)
        end while
        w  $\leftarrow$  <null, null, null, prio, valor>  $\triangleright$  O(1)
        w.padre  $\leftarrow$  z  $\triangleright$  O(1)
        if prim(y) == 0 then  $\triangleright$  O(1)
            z.izq  $\leftarrow$  w  $\triangleright$  O(1)
        else
            z.der  $\leftarrow$  w  $\triangleright$  O(1)
        end if
        while w  $\neq$  estr.primer  $\wedge_L$  w.prio > (w.padre).prio do  $\triangleright$  La cantidad de veces que se ejecuta el
            ciclo es a lo sumo la altura del heap, que es O(log(n))
            aux  $\leftarrow$  w.valor  $\triangleright$  O(1)
            w.valor  $\leftarrow$  (w.padre).valor  $\triangleright$  O(1)
            (w.padre).valor  $\leftarrow$  aux  $\triangleright$  O(1)
            w  $\leftarrow$  w.padre  $\triangleright$  O(1)
        end while
    end if
end function

```

Algorithm 25 Implementación de Desencolar

```

function IDESENCOLAR(in/out estr: heap)  $\rightarrow$  res:  $\alpha$ 
    res  $\leftarrow$  estr.primer                                 $\triangleright O(1)$ 
    x  $\leftarrow$  valor                                        $\triangleright O(1)$ 
    y  $\leftarrow$   $\langle \rangle$                                           $\triangleright O(1)$ 
    while x  $\neq$  0 do  $\triangleright$  La cantidad de veces que se ejecuta el ciclo es igual a la altura del heap. Al ser un
    arbol binario completo, la altura siempre será  $O(\log(n))$ 
        y  $\leftarrow$  (x % 2) • y                                 $\triangleright O(1)$ 
        x  $\leftarrow$  x / 2                                        $\triangleright O(1)$ 
    end while
    y  $\leftarrow$  com(y)                                          $\triangleright O(\log(n))$ 
    z  $\leftarrow$  estr.primer                                      $\triangleright O(1)$ 
    y  $\leftarrow$  fin(y)                                          $\triangleright O(1)$ 
    while long(y) > 1 do  $\triangleright$  El ciclo se ejecuta  $O(\log(n))$  veces
        z  $\leftarrow$  if prim(y) == 0 then z.izq else z.der     $\triangleright O(1)$ 
        y  $\leftarrow$  fin(y)                                        $\triangleright O(1)$ 
    end while
    w  $\leftarrow$   $\langle$  null, null, null, prio, valor  $\rangle$                $\triangleright O(1)$ 
    w.padre  $\leftarrow$  z                                        $\triangleright O(1)$ 
    if prim(y) == 0 then  $\triangleright O(1)$ 
        z.izq  $\leftarrow$  w                                        $\triangleright O(1)$ 
    else
        z.der  $\leftarrow$  w                                        $\triangleright O(1)$ 
    end if
    (estr.primer).valor  $\leftarrow$  z.valor                      $\triangleright O(1)$ 
    borrar(z)                                                $\triangleright O(1)$ 
    size  $\leftarrow$   $\leftarrow$                                         $\triangleright O(1)$ 
    while (z.izq  $\neq$  null  $\vee$  z.der  $\neq$  null)  $\wedge_L$  z.valor < maxValor(z.izq, z.der) do  $\triangleright$  La cantidad de
    veces que se ejecuta el ciclo es a lo sumo la altura del heap, que es  $O(\log(n))$ 
         $\triangleright$  maxValor devuelve el maximo valor si ambos punteros son validos, o el valor apuntado por el
        puntero no nulo en caso de que alguno no lo sea
    end while
    if z.der == null  $\vee_L$  (z.izq).valor  $\geq$  (z.der).valor then  $\triangleright O(1)$ 
        aux  $\leftarrow$  z.valor                                      $\triangleright O(1)$ 
        z.valor  $\leftarrow$  (z.izq).valor                          $\triangleright O(1)$ 
        (z.izq).valor  $\leftarrow$  aux                              $\triangleright O(1)$ 
        z  $\leftarrow$  z.izq                                        $\triangleright O(1)$ 
    else
        aux  $\leftarrow$  z.valor                                      $\triangleright O(1)$ 
        z.valor  $\leftarrow$  (z.der).valor                          $\triangleright O(1)$ 
        (z.der).valor  $\leftarrow$  aux                              $\triangleright O(1)$ 
        z  $\leftarrow$  z.der                                        $\triangleright O(1)$ 
    end if
end function

```

4. Módulo Diccionario $TRIE$ (α)

Interfaz

usa: .

se explica con: DICCIONARIO(CLAVE, SIGNIFICADO).

Operaciones

DEFINIDA(**in** d : dicc $_{TRIE}$ (clave, significado), **in** c : clave) $\rightarrow res$: Bool

Pre $\equiv \{true\}$

Post $\equiv \{res =_{obs} def?(c,d)\}$

Complejidad: $O(L)$

OBTENER(**in** d : dicc $_{TRIE}$ (clave, significado), **in** c : clave) $\rightarrow res$: significado

Pre $\equiv \{def?(c,d)\}$

Post $\equiv \{res =_{obs} obtener(c,d)\}$

Complejidad: $O(L)$

VACIO() $\rightarrow res$: dicc $_{TRIE}$ (clave, significado)

Pre $\equiv \{true\}$

Post $\equiv \{res =_{obs} vacio()\}$

Complejidad: $O(1)$

DEFINIR(**in/out** d : dicc $_{TRIE}$ (clave, significado), **in** c : clave, **in** s : significado) $\rightarrow res$: Bool

Pre $\equiv \{\neg def?(c,d) \wedge d=d_0\}$

Post $\equiv \{d=definir(c,d_0)\}$

Complejidad: $O(L)$

BORRAR(**in/out** d : dicc $_{TRIE}$ (clave, significado), **in** c : clave) $\rightarrow res$: Bool

Pre $\equiv \{d=d_0\}$

Post $\equiv \{d=borrar(c,d_0)\}$

Complejidad: $O(L)$

Descripción: Devuelve TRUE si se pudo borrar la clave, o FALSE si no la encontró

CLAVES(**in** d : dicc $_{TRIE}$ (clave, significado)) $\rightarrow res$: conj(clave)

Pre $\equiv \{true\}$

Post $\equiv \{res =_{obs} claves(d)\}$

Complejidad: $O()$

5. Módulo Diccionario $_{AVL}(\kappa, \sigma)$

Interfaz

usa: .

se explica con: DICCIONARIO(CLAVE,SIGNIFICADO).

géneros: $\text{dicc}_{AA}(\text{clave}, \text{significado})$.

Operaciones

DEFINIDO?(**in** $d: \text{dicc}_{AA}(\text{clave}, \text{significado})$, **in** $c: \text{clave}$) $\rightarrow res: \text{Bool}$

Pre $\equiv \{\}$

Post $\equiv \{res =_{\text{obs}} \text{def?}(c,d)\}$

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

SIGNIFICADO(**in** $d: \text{dicc}_{AA}(\text{clave}, \text{significado})$, **in** $c: \text{clave}$) $\rightarrow res: \text{significado}$

Pre $\equiv \{\text{def?}(c,d)\}$

Post $\equiv \{res =_{\text{obs}} \text{obtener}(c,d)\}$

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

VACIO() $\rightarrow res: \text{dicc}_{AA}(\text{clave}, \text{significado})$

Pre $\equiv \{\text{true}\}$

Post $\equiv \{res =_{\text{obs}} \text{vacio}()\}$

Complejidad: $O(1)$

DEFINIR(**in/out** $d: \text{dicc}_{AA}(\text{clave}, \text{significado})$, **in** $c: \text{clave}$, **in** $s: \text{significado}$)

Pre $\equiv \{\neg \text{def?}(c,d) \wedge d=d_0\}$

Post $\equiv \{d=\text{definir}(c,d_0)\}$

Complejidad: $O()$

BORRAR(**in/out** $d: \text{dicc}_{AA}(\text{clave}, \text{significado})$, **in** $c: \text{clave}$)

Pre $\equiv \{\text{def?}(c,d) \wedge d=d_0\}$

Post $\equiv \{d=\text{borrar}(c,d_0)\}$

Complejidad: $O()$

Representación

dicc_{AA} se representa con estr_{AA}

donde estr_{AA} es $\text{tupla}(id: \text{nat}$
 $\text{izquierdo: puntero}(\text{nodo}(id, it))$
 $\text{derecho: puntero}(\text{nodo}(id, it))$
 $\text{valor: itConj}(\alpha)$
 $)$

$\text{Rep} \quad \quad \quad : \text{estr} \rightarrow \text{bool}$

$\text{Rep}(e) \equiv \text{true} \iff \dots$

$\text{Abs} \quad \quad \quad : \text{estr } r \rightarrow \text{dicc}_{AA}(id, it) \quad \quad \quad \{\text{Rep}(r)\}$

$\text{Abs}(r) \equiv \dots$

Algoritmos

Algorithm 26 Implementación de Definido?

```
function iDEFINIDO?(in d: estr_AA , in c: clave)→ res: bool
  nodoActual ← d
  res ← FALSE
  while ¬(nodoActual == NULO) && ¬res do
    if nodoActual.id == c then res ← TRUE
    else
      if c < nodoActual.id then nodoActual ← nodoActual.izquierdo
      else nodoActual ← nodoActual.derecho
    end if
  end if
end while
end function
```

Algorithm 27 Implementación de Significado

```
function iSIGNIFICADO(in d: estr_AA , in c: clave)→ res:  $\alpha$ 
  nodoActual ← d
  res ← FALSE
  while ¬(nodoActual == NULO) && ¬res do
    if nodoActual.id == c then res ← nodoActual.valor
    else
      if c < nodoActual.id then nodoActual ← nodoActual.izquierdo
      else nodoActual ← nodoActual.derecho
    end if
  end if
end while
end function
```

Algorithm 28 Implementación de Vacio

```
function iVACIO→ res: estr_AA
  res ← tupla(0, NULO, NULO, NULO, 0)
end function
```

Algorithm 29 Implementación de Definir

```

function IDEFINIR(in d: estr_AA , in c: nat, in s:  $\alpha$ )
  nodoActual  $\leftarrow$  d
  yaDefini  $\leftarrow$  FALSE
  while  $\neg$ yaDefini do
    if  $c < \text{nodoActual.id}$  then
      if  $\text{nodoActual.izquierdo} == \text{NULO}$  then
        nuevoNodo  $\leftarrow$  Vacio()
        nuevoNodo.valor  $\leftarrow$  Copiar(s)
        nuevoNodo.id  $\leftarrow$  c
        nodoActual.izquierdo  $\leftarrow$  nuevoNodo
        yaDefini gets TRUE
      else
        nodoActual  $\leftarrow$  nodoActual.izquierdo
      end if
    else
      if  $\text{nodoActual.derecho} == \text{NULO}$  then
        nuevoNodo  $\leftarrow$  Vacio()
        nuevoNodo.valor  $\leftarrow$  Copiar(s)
        nuevoNodo.id  $\leftarrow$  c
        nodoActual.derecho  $\leftarrow$  nuevoNodo
        yaDefini  $\leftarrow$  TRUE
      else
        nodoActual  $\leftarrow$  nodoActual.derecho
      end if
    end if
  end while
  nodoActual  $\leftarrow$  Torsion(nodoActual)
  nodoActual  $\leftarrow$  Division(nodoActual)
end function

```

Algorithm 30 Implementación de Torsion

```

function ITORSION(in d: estr_AA)  $\rightarrow$  res: estr_AA
  if  $d == \text{NULO} \parallel d.\text{izquierdo} == \text{NULO}$  then
    res  $\leftarrow$  d
  else
    if  $\text{Altura}(d.\text{izquierdo}) \geq \text{Altura}(d)$  then
      nodoAux  $\leftarrow$  d.izquierdo
      d.izquierdo  $\leftarrow$  nodoAux.derecho
      nodo.derecho  $\leftarrow$  d
      res  $\leftarrow$  nodoAux
    else
      res  $\leftarrow$  d
    end if
  end if
end function

```

Algorithm 31 Implementación de Division

```
function IDIVISION(in d: estr_AA)→ res: estr_AA
  if d == NULO || d.derecho == NULO || d.derecho.derecho == NULO then
    res ← d
  else
    if Altura(d.derecho.derecho) ≥ Altura(d) then
      nodoAux ← d.derecho
      d.derecho ← nodoAux.izquierdo
      nodoAux.izquierdo ← d
      nodoAux.altura ← nodoAux.altura + 1
      res ← nodoAux
    else
      res ← d
    end if
  end if
end function
```

Algorithm 32 Implementación de Altura

```
function IALTURA(in d: estr_AA)→ res: nat_0
  if d.derecho == NULO && d.izquierdo == NULO then
    res ← 1
  else
    if d.derecho == NULO then
      res ← Altura(d.izquierdo) + 1
    else
      if d.izquierdo == NULO then
        res ← Altura(d.derecho) + 1
      else
        Minimo(Altura(d.izquierdo), Altura(d.derecho))
        ▷ el mínimo de dos nat
      end if
    end if
  end if
end function
```
