

Algoritmos y Estructuras de Datos II
Trabajo Práctico 2 (Diseño)
Grupo 6

Bayardo, Julián
julian@bayardo.com.ar
850/13

Cuneo, Christian
chriscuneo93@gmail.com
755/13

Gambaccini, Ezequiel
ezequiel.gambaccini@gmail.com
715/13

Lebrero Rial, Ignacio Manuel
ignacialebrero@gmail.com
751/13

28 de Octubre del 2014

1. Aclaraciones

Como en ciudad se debe devolver una copia de mapa, hubo que implementar Copiar en DiccString. Para copiar DiccString, hay que exigir que el parametro (α) de entrada tenga operacion copiar. Esto fue implementado en Restriccion, DiccString y Cola de prioridad. No pudimos implementarlo en robot ya que para Copiar un robot, se debe tener un iterador a la cola nueva, pero esto requeriria que Cola de prioridad sepa mas cosas de su parametro de las que deberia. La otra opcion era realizar una copia de robot con un iterador que no apunte a nada, pero que no tendria sentido para robot.

2. Módulo Iterador de Vector a Puntero (α)

```

*****
*****                                Interfaz                                *****
*****

```

VectorPointer(α) es Vector(puntero(α))

Este iterador deberia estar en Vector

itVectorPointer(α)

Se explica con iterador unidireccional

Se considera n igual a longitud(vec).

```

*****
*****                                Operaciones                                *****
*****

```

CrearIt(in vec : VectorPointer(α)) \rightarrow res : itVectorPointer(α)

Pre \equiv {true}

Post \equiv {res =obs CrearItUni(in)}

Complejidad: $O(1)$

Descripcion: Crea un iterador unidireccional del VectorPointer(α).

HayMas?(in it : itVectorPointer(α)) \rightarrow res : bool

Pre \equiv {true}

Post \equiv {res =obs HayMas?(it)}

Complejidad: $O(n)$

Descripcion: Devuelve true si y solo si en el iterador quedan elementos para avanzar.

Actual(in it : itVectorPointer(α)) \rightarrow res : puntero(α)

Pre \equiv {HayMas?(it)}

Post \equiv {alias(res =obs Actual(it))}

Complejidad: $O(1)$

Descripcion: Devuelve el elemento actual del iterador.

Aliasing: res y su contenido no son modificables.

Avanzar(in/out it : itVectorPointer(α))

Pre \equiv {it = it₀ \wedge HayMas?(it)}

Post \equiv {it =obs Avanzar(it₀)}

Complejidad: $O(n)$

Descripcion: Avanza a la posicion siguiente del iterador.

```

*****
*****                                Representación                                *****
*****

```

itVectorPointer(α) se representa con iter(α),

donde iter(α) es: tupla(

actual : nat,

len : nat,

vec : puntero(VectorPointer(α)))

Rep: \wedge (iter(α) \rightarrow boolean

($\forall e : \wedge$ (iter(α)) Rep(e) \equiv true \iff

(e.actual < e.len) \wedge (\neg (e.vec =obs NULL) \wedge e.len = Longitud(*e.vec))

Abs: \wedge (iter(α)) i \rightarrow IteradorUnidireccional(α)

{Rep(i)}

($\forall e : \wedge$ (iter(α)) Abs(e) =obs m /

Longitud(Siguientes(m)) =obs (e.len - e.actual) \wedge

($\forall i : \text{nat}$) (i < e.len \wedge *e.vec[i] =obs Siguietes(m)[i])

```

*****
*****                                     Algoritmos                                     *****
*****
iCrearIt(in input_vec : VectorPointer( $\alpha$ )) → res: itVectorPointer( $\alpha$ )
    res ← {actual: 0, len: Longitud(input_vec), vec: &input_vec}
end function

iActual(in it: iter( $\alpha$ )) → res: puntero( $\alpha$ )
    res ← (it.vec)[iter.actual]
end function

iHayMas?(in it : iter( $\alpha$ )) → res : bool
    var next : nat ← it.actual

    while next < len ∧ (*it.vec)[next] == NULL do
        next ← next + 1
    end while

    res ← next != len
end function

iAvanzar(in/out it : iter( $\alpha$ ))
    var next : nat ← it.actual + 1

    while (*it.vec)[next] == NULL do
        next ← next + 1
    end while

    it.actual ← next
end function

```

3. Módulo Conjunto Rápido de Strings

```

*****
*****                                Interfaz                                *****
*****

```

Se explica con: conj(String)
 Géneros: conjRapidoString

```

*****
*****                                Operaciones                                *****
*****

```

Vacio() → res : conjRapidoString
 Pre ≡ {true}
 Post ≡ {res =obs ∅}
 Complejidad: O(1)
 Descripcion: Crea un conjunto vacio.

Agregar(in/out c : conjRapidoString, in s : string)
 Pre ≡ {true}
 Post ≡ {c =obs Ag(s, c)}
 Complejidad: O(long(s))
 Descripcion: Agrega un string al conjunto.

Pertenece?(in c : conjRapidoString, in s : string) → res : bool
 Pre ≡ {true}
 Post ≡ {res =obs s ∈ c}
 Complejidad: O(long(s))
 Descripcion: Se fija si s pertenece al conjunto o no.

CrearIt(in c : conjRapidoString) → res : itConj(string)
 Pre ≡ {true}
 Post ≡ {alias(esPermutación?(SecuSuby(res), c)) ∧ vacia?(Anteriores(res))}
 Complejidad: O(1)
 Descripcion: Devuelve un iterador del conjunto.

```

*****
*****                                Representación                                *****
*****

```

conjRapidoString se representa con conjRap, donde conjRap es DiccString(Bool)

Rep: $\wedge(\text{conjRap}) \rightarrow \text{boolean}$
 $\text{Rep}(e) \equiv \text{true} \iff (\forall s : \text{string}) \text{Definido?}(e, s) \implies \text{Obtener}(e, s) = \text{obs true}$

Abs: $\wedge(\text{conjRap}) e \rightarrow \text{Conj}(\text{String})$ {Rep(e)}
 $(\forall e : \wedge(\text{conjRap})) \text{Abs}(e) = \text{obs } c /$
 $(\forall s : \text{string}) (\text{Definido?}(e, s) \wedge \text{Obtener}(e, s)) = \text{obs } s \in c$

```

*****
*****                                Algoritmos                                *****
*****

```

```

iVacio() → res : conjRap
  res ← Crear()
end function

```

```

iAgregar(in/out c : conjRap, in s : string)
  if ¬Definido?(c, s) then
    Definir(c, s, true)
  end if
end function

```

```

iPertenece?(in c : conjRap, in s : string) → res : bool
  res ← Definido?(c, s)
end function

```

```

iCrearIt(in c : conjRap) → res : itConjString
  res ← Claves(c)
end function

```

4. Módulo Diccionario de Strings (α)

```

*****
*****                                Interfaz                                *****
*****

```

Parametros formales

```

generos  $\alpha$ 
funcion Copiar(in a :  $\alpha$ )  $\rightarrow$  res :  $\alpha$ 
    Pre  $\equiv$  {true}
    Post  $\equiv$  {res =obs a}
    Complejidad: 0(copy(a))
    Descripcion: funcion de copia de  $\alpha$ 's.

funcion  $\bullet = \bullet$  (in a1 :  $\alpha$ , a2 :  $\alpha$ )  $\rightarrow$  res : bool
    Pre  $\equiv$  {true}
    Post  $\equiv$  {res =obs (a1 = a2)}
    Complejidad: 0(equal(a1, a2))
    Descripcion: funcion de igualdad de  $\alpha$ s

```

Se explica con: dicc(string, α)
 Generos: DiccString(α)

```

*****
*****                                Operaciones                                *****
*****

```

```

Crear()  $\rightarrow$  res : DiccString( $\alpha$ )
Pre  $\equiv$  {true}
Post  $\equiv$  {res =obs vacio}
Complejidad: 0(1)
Descripcion: Crea un diccionario vacio.

```

```

Definir(in/out d : DiccString( $\alpha$ ), in k : string, in v :  $\alpha$ )
Pre  $\equiv$  {d =obs d0}
Post  $\equiv$  {d =obs definir(k, v, d0)}
Complejidad: 0(long(k))
Descripcion: Inserta una clave en el diccionario.

```

```

Definido?(in d : DiccString( $\alpha$ ), in k : string)  $\rightarrow$  res : bool
Pre  $\equiv$  {true}
Post  $\equiv$  {res =obs def?(k, d)}
Complejidad: 0(long(k))
Descripcion: Dice si una clave esta definido.

```

```

Obtener(in d : DiccString( $\alpha$ ), in k : string)  $\rightarrow$  res :  $\alpha$ 
Pre  $\equiv$  {def?(k, d)}
Post  $\equiv$  {res =obs obtener(k, d)}
Complejidad: 0(long(k))
Descripcion: Obtiene el significado de la clave en el diccionario

```

```

Claves(in d : DiccString( $\alpha$ ))  $\rightarrow$  res : itConj(string)
Pre  $\equiv$  {true}
Post  $\equiv$  {alias(esPermutación?(SecuSuby(res), claves(d)))  $\wedge$  vacia?(Anteriores(res))}
Complejidad: 0(1)
Descripcion: Devuelve un iterador a las claves del diccionario.

```

```

Copia(in d: DiccString( $\alpha$ ))  $\rightarrow$  res : DiccString( $\alpha$ )
Pre  $\equiv$  {true}
Post  $\equiv$  {res =obs d}
Complejidad: 0(#Claves(d) * long(e) * Copia(Obtener(d, s))), donde e es la clave mas larga
    y s pertenece a Claves(d)
Descripcion: Crea un diccionario por copia.

```



```

*****
*****                                Representación                                *****
*****

```

DiccString(α) se representa con cabeza(α)

```

donde cabeza( $\alpha$ ) es tupla(
    claves: conj(string),
    significados: trie( $\alpha$ )
)

```

```

donde trie( $\alpha$ ) es tupla(
    continuacion : array_estatico[256] de puntero(trie( $\alpha$ )),
    significado  : puntero( $\alpha$ )
)

```

Rep: cabeza(α) $t \rightarrow \text{bool}$

Rep(t) $\equiv \text{true} \iff$

$((\forall s: \text{string})(s \in t.\text{claves} \iff \text{def?}'(t.\text{significados}, s))) \wedge$

No hay ciclos en significados \wedge

$((\forall i: \text{nat}) (i < 256) \implies t.\text{continuacion}[i] = \text{obs NULL}) \implies t.\text{significado} = \text{obs NULL} \wedge$

$(\forall i: \text{nat}) (i < 256 \wedge \neg(t.\text{continuacion}[i] = \text{obs NULL})) \implies \text{Rep}*(t.\text{continuacion}[i])$

Abs: $^{\wedge}(\text{cabeza}(\alpha)) t \rightarrow \text{dicc}(\text{string}, \alpha)$

{Rep(t)}

$(\forall t: ^{\wedge}(\text{cabeza}(\alpha))) \text{Abs}(t) = \text{obs } d /$

$(\forall c: \text{string})$

$\text{def?}'(c, d) = \text{obs } \text{def?}'(c, t.\text{significados}) \wedge$

$\text{def?}'(c, t.\text{significados}) \implies \text{obt}'(c, t.\text{significados}) = \text{obs } \text{obtener}(c, d)$

def?': $\text{string} \times ^{\wedge}(\text{trie}(\alpha)) \rightarrow \text{bool}$

def?'(s, t) \equiv

if vacia?(s) then $\neg(t.\text{significado} = \text{obs NULL})$

else

if t.continuacion[ord(prim(s))] = obs NULL then false

else def?(fin(s), t.continuacion[ord(prim(s))] fi

fi

obt': $\text{string } s \times ^{\wedge}(\text{trie}(\alpha)) t \rightarrow \alpha$

{def?'(s, t)}

obt'(s, t) \equiv

if vacia?(s) then t.significado

else obt'(fin(s), t.continuacion[ord(prim(s))] fi

```

*****
*****                                Algoritmos                                *****
*****

```

iCrear() $\rightarrow \text{res}: \text{cabeza}(\alpha)$

res $\leftarrow \{ \text{claves: Vacio}(),$

significados: {continuacion: arreglo_estatico[256] de puntero(trie(α)),

significado: NULL}

)

end function

iDefinir(in/out d : cabeza(α), in k : string, in v : α)

var i : nat $\leftarrow 0$

var t : puntero(trie(α)) $\leftarrow \&d.\text{significados}$

var nuevo: bool $\leftarrow \text{false}$

while i < longitud(k) do

if t.continuacion[ord(k[i])] == NULL then

t.continuacion[ord(k[i])] $\leftarrow \&\text{iCrear}()$

nuevo $\leftarrow \text{true}$

end if

t $\leftarrow *t.\text{continuacion}[\text{ord}(k[i])]$

i $\leftarrow i + 1$

end while

t.significado $\leftarrow \&v$

if nuevo then

AgregarRapido(d.claves, k)

fi

end function

Como se puede observar el bucle principal depende exclusivamente de la cantidad de caracteres del vector, por lo que el mejor caso es que el mismo tenga 0 caracteres en donde automaticamente saldra y definira la palabra vacia y su costo sera $O(1)$, pero tanto el caso promedio como el peor sera en donde el largo del vector es mayor a 0 entonces dado que todas las operaciones dentro del bucle tienen costo $O(1)$ tendra un costo equivalente al tamaño del vector ($O(\text{long}(k))$) ya que tendra que recorrerlo para definir letra por letra dentro de la estructura hasta llegar a su fin y definir el significado que tiene costo $O(1)$. A esto se le suma la complejidad de AgregarRapido de la clave al conjunto de claves (si esta no estaba definida), al ser la clave un string esto cuesta el copiar del vector de char, que es la longitud del vector por el costo de copiar cada char que es 1, quedando entonces la longitud del string k.

```
iDefinido?(in d : cabeza( $\alpha$ ), in k : string)  $\rightarrow$  res : bool
  var i : nat  $\leftarrow$  0
  var t : puntero(trie( $\alpha$ ))  $\leftarrow$  &d.significados
  bool listo  $\leftarrow$  False
  while i < longitud(k)  $\wedge$  t-continuacion[ord(k[i])] != NULL do
    t  $\leftarrow$  t-continuacion[ord(k[i])]
    i  $\leftarrow$  i + 1
  end while
  res  $\leftarrow$  t-significado != NULL  $\wedge$  i == longitud(k)
end function
```

En el peor caso(si el string esta definido dentro de la estructura y el mismo tiene largo mayor a 0) dado que las operaciones dentro del bucle tienen costo $O(1)$ y se repetiran $\text{long}(k)$ veces, para ir recorriendo la estructura, este tendra un costo $O(\text{long}(k))$ pero en el caso de que no este definido el costo sera $O(\text{long}(k) - n)$ con n cantidad de caracteres que no pertenecen al prefijo perteneciente a la estructura por lo que el peor caso sera $O(\text{long}(k))$.

```
iObtener(in d : cabeza( $\alpha$ ), in k : string)  $\rightarrow$  res :  $\alpha$ 
  var i : nat  $\leftarrow$  0
  var t : puntero(trie( $\alpha$ ))  $\leftarrow$  &d.significados
  while i < longitud(k) do
    t  $\leftarrow$  t-continuacion[ord(k[i])]
    i  $\leftarrow$  i + 1
  end while
  res  $\leftarrow$  *t-significado
end function
```

En el peor caso dado que las operaciones dentro del bucle tienen costo $O(1)$ y se repetiran $\text{long}(k)$ veces, para ir recorriendo la estructura, este tendra un costo $O(\text{long}(k))$.

```
iClaves(in d: cabeza( $\alpha$ ))  $\rightarrow$  res : itConj(string)
  res  $\leftarrow$  CrearIt(d.claves)
end function
```

```
iCopia(in d: cabeza( $\alpha$ ))  $\rightarrow$  res : cabeza( $\alpha$ )
  var i : nat  $\leftarrow$  0
  var c : cabeza( $\alpha$ )  $\leftarrow$  Crear()
  var it : itConj(string)  $\leftarrow$  CrearIt(d.claves)
  while HaySiguiete(it)
    Definir(c, Siguiete(it), Copiar(Obtener(d, Siguiete(it))))
    Avanzar(it)
  end while
  res  $\leftarrow$  c
end function
```

Al copiar se itera por todas las claves y se definen los significados creando una copia de cada uno. Por lo tanto se multiplica el cardinal del conjunto de claves por el obtener de cada claves por el copiar de cada significado. Por lo tanto para el peor caso tomamos el peor obtener que seria el de la clave mas larga y la copia de todos los significados.

5. Módulo Cola de Prioridad(α)

```

*****
*****                                Interfaz                                *****
*****

```

Parametros Formales

```

géneros  $\alpha$ 
función • < • (in a1 :  $\alpha$ , a2 :  $\alpha$ ) → res : bool
  Pre ≡ {true}
  Post ≡ {res =obs (a1 < a2)}
  Complejidad: O(lower(a1, a2))
  Descripción: funcion de comparación de  $\alpha$ s

```

Se explica con: ColaDePrioridadExtendida(α), IteradorUnidireccional(α)
 Generos: ColaPrioridad(α), itCola(α)

```

*****
*****                                Operaciones                                *****
*****

```

```

Crear() → res : ColaPrioridad( $\alpha$ )
Pre ≡ {true}
Post ≡ {res =obs vacia}
Complejidad: O(1)
Descripción: Crea una cola vacia.

```

```

Encolar(in/out t : ColaPrioridad( $\alpha$ ), in e :  $\alpha$ ) → res : itCola( $\alpha$ )
Pre ≡ {¬(e ∈ t) ∧ t₀ =obs t}
Post ≡ {t =obs encolar(e, t₀) ∧ alias(Actual(res) =obs e)}
Complejidad: O(log(Tamaño(t)))
Descripción: Inserta un elemento en la cola y devuelve un iterador posicionado en el elemento
agregado.
Aliasing: El iterador se invalida sii se borra el elemento utizando Desencolar o Borrar

```

```

Desencolar(in/out t : ColaPrioridad( $\alpha$ )) → res :  $\alpha$ 
Pre ≡ {¬vacía?(t) ∧ t =obs t₀}
Post ≡ {t =obs desencolar(t₀) ∧ res =obs proximo(t₀)}
Complejidad: O(log(Tamaño(t)))
Descripción: Desencola el elemento con mayor prioridad.

```

```

Tamaño(in t : ColaPrioridad( $\alpha$ )) → res : nat
Pre ≡ {true}
Post ≡ {res =obs #t}
Complejidad: O(1)
Descripción: Devuelve la cantidad de elementos en la cola.

```

```

Borrar(in/out t : ColaPrioridad( $\alpha$ ), in i : itCola( $\alpha$ )) → res :  $\alpha$ 
Pre ≡ {t₀ =obs t}
Post ≡ {t =obs borrar(Actual(i), t₀)}
Complejidad: O(log(Tamaño(t)))
Descripción: Borra el elemento al que apunta el iterador.
Aliasing: Invalida el iterador.

```

```

Copiar(in t : ColaPrioridad( $\alpha$ )) → res : ColaPrioridad( $\alpha$ )
Pre ≡ {true}
Post ≡ {t =obs res}
Complejidad: O(#t)
Descripcion: Realiza una copia de la cola de prioridad.

```

```

TAD ColaDePrioridadExtendida( $\alpha$ )
  extiende colaPrior( $\alpha$ )
  otras operaciones (exportadas)
    #• : colaPrior( $\alpha$ ) → nat
    • ∈ • :  $\alpha \times$  colaPrior( $\alpha$ ) → bool
    borrar :  $\alpha \times$  colaPrior( $\alpha$ ) c → colaPrior( $\alpha$ ) {e ∈ c}
  axiomas
    #c ≡ if vacía?(c) then 0 else 1 + #desencolar(c) fi
    x ∈ c ≡ ¬vacía?(c) ∧1 (x =obs proximo(c) ∨1 x ∈ desencolar(c))
    borrar(e, c) ≡

```

```

        if e =obs proximo(c) then
            if e ∈ desencolar(c) then borrar(e, desencolar(c))
            else desencolar(c) fi
        else encolar(proximo(c), borrar(e, desencolar(c))) fi
Fin TAD

```

```

*****
*****
***** Representación *****
*****

```

```

ColaPrioridad( $\alpha$ ) se representa con estr( $\alpha$ )
donde estr( $\alpha$ ) es tupla(
    cabeza : puntero(nodo( $\alpha$ )),
    ultimo : puntero(nodo( $\alpha$ )),
    tamaño : nat)
donde nodo( $\alpha$ ) es tupla(
    arr : puntero(nodo( $\alpha$ )),
    izq : puntero(nodo( $\alpha$ )),
    der : puntero(nodo( $\alpha$ )),
    dato :  $\alpha$ )

```

```

Rep:  $\wedge(\text{estr}(\alpha)) \rightarrow \text{boolean}$ 
Rep(e)  $\equiv \text{true} \iff$ 
    (e.cabeza =obs NULL  $\iff$  e.ultimo =obs NULL)  $\wedge$ 
    e.tamaño =obs Tamaño(e.cabeza)  $\wedge$ 
    InvPadres(e.cab)  $\wedge$ 
    No hay ciclos en el arbol  $\wedge$ 
    MaxHeap(e.cab)  $\wedge$ 
    Balanceado(e.cab)  $\wedge$ 
    Izquierdista(e.cab)  $\wedge$ 
    ( $\neg(\text{e.cabeza} =\text{obs NULL}) \implies$ 
        e.cabeza $\rightarrow$ arr =obs NULL  $\wedge$ 
        e.ultimo ES EL ULTIMO AGREGADO)

```

```

InvPadres: puntero(nodo( $\alpha$ ))  $\rightarrow \text{bool}$ 
InvPadres(p)  $\equiv$ 
    if p =obs NULL then true
    else
        ( $\neg(\text{p} \rightarrow \text{izq} =\text{obs NULL}) \implies$  p $\rightarrow$ izq $\rightarrow$ arr =obs p)  $\wedge$ 
        ( $\neg(\text{p} \rightarrow \text{der} =\text{obs NULL}) \implies$  p $\rightarrow$ der $\rightarrow$ arr =obs p)  $\wedge$ 
        InvPadres(p $\rightarrow$ izq)  $\wedge$ 
        InvPadres(p $\rightarrow$ der)
    fi

```

```

MaxHeap: puntero(nodo( $\alpha$ ))  $\rightarrow \text{bool}$ 
MaxHeap(p)  $\equiv$ 
    if p =obs NULL then true
    else
        ( $\neg(\text{p} \rightarrow \text{izq} =\text{obs NULL}) \implies$  p $\rightarrow$ izq $\rightarrow$ dato < p $\rightarrow$ dato)  $\wedge$ 
        ( $\neg(\text{p} \rightarrow \text{der} =\text{obs NULL}) \implies$  p $\rightarrow$ der $\rightarrow$ dato < p $\rightarrow$ dato)  $\wedge$ 
        MaxHeap(p $\rightarrow$ izq)  $\wedge$ 
        MaxHeap(p $\rightarrow$ der)
    fi

```

```

Balanceado: puntero(nodo( $\alpha$ ))  $\rightarrow \text{bool}$ 
Balanceado(p)  $\equiv$ 
    (p =obs NULL)  $\vee$  ( $| \text{Altura}(\text{p} \rightarrow \text{izq}) - \text{Altura}(\text{p} \rightarrow \text{der}) | \leq 1$ )  $\wedge$ 
    Balanceado(p $\rightarrow$ izq)  $\wedge$  Balanceado(p $\rightarrow$ der)

```

```

Altura: puntero(nodo( $\alpha$ ))  $\rightarrow \text{nat}$ 
Altura(p)  $\equiv$  if p =obs NULL then 0 else 1 + max(Altura(p $\rightarrow$ izq), Altura(p $\rightarrow$ der)) fi

```

```

Izquierdista: puntero(nodo( $\alpha$ ))  $\rightarrow \text{bool}$ 
Izquierdista(p)  $\equiv$ 
    (p =obs NULL)  $\vee$  ( $\neg(\text{p} \rightarrow \text{der} =\text{obs NULL}) \implies \neg(\text{p} \rightarrow \text{izq} =\text{obs NULL})$ )  $\wedge$ 
    Izquierdista(p $\rightarrow$ izq)  $\wedge$  Izquierdista(p $\rightarrow$ der)

```

```

Tamaño: puntero(nodo( $\alpha$ ))  $\rightarrow \text{nat}$ 
Tamaño(p)  $\equiv$  if p =obs NULL then 0 else 1 + Tamaño(p $\rightarrow$ izq) + Tamaño(p $\rightarrow$ der) fi

```

```

Abs:  $\wedge(\text{estr}(\alpha)) e \rightarrow \text{ColaDePrioridadExtendida}(\alpha)$  {Rep(e)}
( $\forall e : \wedge(\text{estr}(\alpha))$ ) Abs(e) = obs t /
  vacia?(t) = obs (e.tam = obs 0)  $\wedge$ 
   $\neg \text{vacia?}(t) \Rightarrow$ 
    proximo(t) = obs e.cab-dato  $\wedge$ 
    ( $\forall e : \alpha$ ) (((e  $\in$  t)  $\wedge$   $\neg$ (e = obs proximo(t)))  $\Leftrightarrow$  (e  $\in$  desencolar(t)))

```

```

*****
*****                               Algoritmos                               *****
*****

```

```

iCrear()  $\rightarrow$  res : estr( $\alpha$ )
  res  $\leftarrow$  {cabeza: NULL, ultimo: NULL, tamaño: 0}
end function

iTamaño(in t : estr( $\alpha$ ))  $\rightarrow$  res : nat
  res  $\leftarrow$  t.tamaño
end function

iEncolar(in/out t : estr( $\alpha$ ), in e :  $\alpha$ )  $\rightarrow$  res : itCola( $\alpha$ )
  var tmp : puntero(nodo( $\alpha$ ))  $\leftarrow$  &{arr: NULL, izq: NULL, der: NULL, dato: e}

  if Tamaño(t) == 0 then
    tmp-arr  $\leftarrow$  NULL
    t.cabeza  $\leftarrow$  tmp
  else if Tamaño(t) == 1 then
    tmp-arr  $\leftarrow$  t.cabeza
    t.cabeza-izq  $\leftarrow$  tmp
  else
    if t.ultimo-arr-izq == t.ultimo then
      tmp-arr  $\leftarrow$  t.ultimo-arr
      t.ultimo-arr-der  $\leftarrow$  tmp
    else
      var cur : puntero(nodo( $\alpha$ ))  $\leftarrow$  t.ultimo

      while cur-arr != NULL  $\wedge$  cur-arr-izq != cur do
        cur  $\leftarrow$  cur-arr
      end while

      if cur-arr != NULL then
        cur  $\leftarrow$  cur-arr-der
      fi

      while cur-izq != NULL do
        cur  $\leftarrow$  cur-izq
      end while

      tmp-arr  $\leftarrow$  cur
      cur-izq  $\leftarrow$  tmp
    end if
  end if

  t.ultimo  $\leftarrow$  tmp
  t.tamaño++

  Subir(t.ultimo)
  res  $\leftarrow$  crearIter(t, p)
end function

```

En el peor caso, tenemos un árbol con más de 1 elemento, en el que el último nodo agregado está a la derecha de su padre, fundamentalmente el peor es cuando el árbol es completo.

En este caso, observemos que lo que sucederá es que subiremos hasta la raíz del árbol, y luego se bajaremos hacia el último nodo a la izquierda del árbol. Es decir, recorreremos dos veces la altura del árbol ($2 \cdot \log(\#t)$). Luego, en absolutamente todos los casos haremos a lo sumo $\log(\#t)$ pasos para restablecer el invariante utilizando Subir. Es decir, haremos $3 \cdot \log(\#t)$, por lo que en el peor de los casos es $O(\log(\#t))$.

```

iDesencolar(in/out t : estr( $\alpha$ ))  $\rightarrow$  res :  $\alpha$ 
    res  $\leftarrow$  Eliminar(t, t.cabeza)
end function

```

```

iBorrar(in/out t : estr( $\alpha$ ), in i : itCola( $\alpha$ ))  $\rightarrow$  res :  $\alpha$ 
    res  $\leftarrow$  Eliminar(t, i)
end function

```

```

iCopiar(in t : estr( $\alpha$ ))  $\rightarrow$  res : estr( $\alpha$ )
    res  $\leftarrow$  {cabeza: &iCopiarNodo(*t.cabeza), ultimo: NULL, tamaño: t.tamaño}
    var camino_ultimo : Pila( $\alpha$ )
    var tmp : Puntero(Nodo( $\alpha$ ))  $\leftarrow$  t.ultimo
    while tmp $\rightarrow$ arr  $\neq$  NULL
        Apilar(camino_ultimo, tmp $\rightarrow$ dato)
    end while

    tmp  $\leftarrow$  res.cabeza

    while  $\neg$ EsVacía?(camino_ultimo)
        if tmp $\rightarrow$ izq $\rightarrow$ dato == Tope(camino_ultimo)
            tmp  $\leftarrow$  tmp $\rightarrow$ izq
        else
            tmp  $\leftarrow$  tmp $\rightarrow$ der
        end if
        Desapilar(camino_ultimo)
    end while

    res.ultimo  $\leftarrow$  tmp
end function

```

```

Pre  $\equiv$  {true}
Post  $\equiv$  {res =obs n}
Complejidad: O(Cantidad de nodos subyacentes)
Descripcion: Devuelve una copia del nodo n.
iCopiarNodo(in n : nodo( $\alpha$ ))  $\rightarrow$  res : nodo( $\alpha$ )
    res  $\leftarrow$  {arr: NULL, izq: NULL, der: NULL, dato: e}

    if n.izq  $\neq$  NULL
        res.izq  $\leftarrow$  &iCopiarNodo(*n.izq)
        res.izq $\rightarrow$ arr  $\leftarrow$  &res
    end fi

    if n.der  $\neq$  NULL
        res.der  $\leftarrow$  &iCopiarNodo(*n.der)
        res.der $\rightarrow$ arr  $\leftarrow$  &res
    end fi

    res.e  $\leftarrow$  Copiar(e)

end function

```

```

Pre  $\equiv \{ \neg(p = \text{obs NULL}) \wedge p \text{ es un puntero de la estructura de datos} \wedge t_0 = \text{obs } t \}$ 
Post  $\equiv \{ t = \text{obs borrar}(p \rightarrow \text{dato}, t_0) \wedge \text{res} = \text{obs } p \rightarrow \text{dato} \}$ 
Descripción: Elimina el dato al que apunta el puntero.
Complejidad:  $O(\log(\text{Tamaño}(t)))$ 
iEliminar(in/out t : estr( $\alpha$ ), in p : puntero(nodo( $\alpha$ )))  $\rightarrow$  res :  $\alpha$ 
    res  $\leftarrow$  p  $\rightarrow$  dato

    if Tamaño(t) == 1 then
        t.ultimo  $\leftarrow$  NULL
        t.cabeza  $\leftarrow$  NULL
    else
        p  $\rightarrow$  dato  $\leftarrow$  t.ultimo  $\rightarrow$  dato

        if t.ultimo  $\rightarrow$  arr  $\rightarrow$  izq == t.ultimo then
            var cur : puntero(nodo( $\alpha$ )) = t.ultimo

            while cur  $\rightarrow$  arr != NULL  $\wedge$  cur  $\rightarrow$  arr  $\rightarrow$  der != cur do
                cur  $\leftarrow$  cur  $\rightarrow$  arr
            end while

            if cur  $\rightarrow$  arr != NULL then
                cur  $\leftarrow$  cur  $\rightarrow$  arr  $\rightarrow$  izq
            fi

            while cur  $\rightarrow$  der != NULL do
                cur  $\leftarrow$  cur  $\rightarrow$  der
            end while

            t.ultimo  $\rightarrow$  arr  $\rightarrow$  izq  $\leftarrow$  NULL
        else
            t.ultimo  $\leftarrow$  t.ultimo  $\rightarrow$  arr  $\rightarrow$  izq
            t.ultimo  $\rightarrow$  arr  $\rightarrow$  der  $\leftarrow$  NULL
        end if

        Bajar(p)
    end if

    t.tamaño--
end function

```

En el peor caso, tenemos un árbol con más de 1 elemento, en el que el último nodo agregado está a la izquierda de su padre, fundamentalmente el peor es cuando el árbol tiene un nodo de más para ser completo.

En este caso, observemos que lo que sucederá es que subiremos hasta la raíz del árbol, y luego se bajaremos hacia el último nodo a la derecha del árbol. Es decir, recorreremos dos veces la altura del árbol ($2 * \log(\#t)$). Luego, en absolutamente todos los casos haremos a lo sumo $\log(\#t)$ pasos para restablecer el invariante utilizando Bajar. Es decir, haremos $3 * \log(\#t)$, por lo que en el peor de los casos es $O(\log(\#t))$.

```

Pre  $\equiv \{ \neg(p = \text{obs NULL}) \}$ 
Post  $\equiv \{ \text{Se restableció el rep de la estructura de datos} \}$ 
Complejidad:  $O(\log(\#t))$ 
Descripción: Restablece el invariante si el nodo al que apunta p está fuera del lugar que le corresponde.
iSubir(in/out p : puntero(nodo( $\alpha$ )))
    while p  $\rightarrow$  arr != NULL  $\wedge$  p  $\rightarrow$  arr  $\rightarrow$  dato < p  $\rightarrow$  dato do
        var tmp :  $\alpha$   $\leftarrow$  p  $\rightarrow$  arr  $\rightarrow$  dato
        p  $\rightarrow$  arr  $\rightarrow$  dato  $\leftarrow$  p  $\rightarrow$  dato
        p  $\rightarrow$  dato  $\leftarrow$  tmp
        p  $\leftarrow$  p  $\rightarrow$  arr
    end while
end function

```

Observemos que en el peor caso, se va a iterar hasta que p \rightarrow arr sea NULL. Pero el invariante de representación asegura que el único caso en que esto sucede es que el nodo sea la raíz. Es decir, desde una posición arbitraria la máxima cantidad de pasos es la altura del árbol, por lo que en el peor caso, la complejidad de iSubir es $\log(\#t)$.


```

Pre  $\equiv \{\neg(p = \text{obs NULL})\}$ 
Post  $\equiv \{\text{Se restableció el rep de la estructura de datos}\}$ 
Complejidad:  $O(\log(\#t))$ 
Descripción: Restablece el invariante si el nodo al que apunta p está fuera del
lugar que le corresponde.
iBajar(in/out p : puntero(nodo( $\alpha$ )))
  while (p $\rightarrow$ izq  $\neq$  NULL  $\wedge$  p $\rightarrow$ dato < p $\rightarrow$ izq $\rightarrow$ dato) v
    (p $\rightarrow$ der  $\neq$  NULL  $\wedge$  p $\rightarrow$ der $\rightarrow$ dato < p $\rightarrow$ dato) do
      if p $\rightarrow$ izq  $\neq$  NULL then
        var tmp :  $\alpha \leftarrow$  p $\rightarrow$ izq $\rightarrow$ dato
        p $\rightarrow$ izq $\rightarrow$ dato  $\leftarrow$  p $\rightarrow$ dato
        p $\rightarrow$ dato  $\leftarrow$  tmp
      else
        if p $\rightarrow$ der  $\neq$  NULL then
          var tmp :  $\alpha \leftarrow$  p $\rightarrow$ der $\rightarrow$ dato
          p $\rightarrow$ der $\rightarrow$ dato  $\leftarrow$  p $\rightarrow$ dato
          p $\rightarrow$ dato  $\leftarrow$  p $\rightarrow$ der $\rightarrow$ dato
        end if
      end if
    end while
end function

```

Observemos que en el peor caso, se va a iterar hasta que tanto p \rightarrow izq como p \rightarrow der. sean NULL. Pero el invariante de representación asegura que el único caso en que esto sucede es que el nodo al que se llega sea una hoja. Es decir, desde una posición arbitraria la máxima cantidad de pasos es la altura del árbol, por lo que en el peor caso, la complejidad de iBajar es $\log(\#t)$.

```

*****
*****                               Operaciones del iterador                               *****
*****

```

Ninguna.

```

*****
*****                               Representación del iterador                               *****
*****

```

itCola(α) se representa con it(α)
donde it(α) es puntero(nodo(α))

Rep: $\wedge(it(\alpha)) \rightarrow \text{boolean}$
Rep(e) $\equiv \text{true} \iff \neg(e = \text{obs NULL})$

Abs: $\wedge(it(\alpha)) \rightarrow \text{IteradorUnidireccional}(\alpha)$
($\forall e : \wedge(it(\alpha))$) Abs(e) = obs i / Siguietes(i) = obs *e • <>

```

*****
*****                               Algoritmos del Iterador                               *****
*****

```

```

Pre  $\equiv \{p \text{ es un puntero en la estructura de } t\}$ 
Post  $\equiv \{\text{itCola es un iterador posicionado en } p\}$ 
Complejidad:  $O(1)$ 
Descripción: Crea un puntero disfrazado de iterador.
crearIter(in t : colaPrioridad( $\alpha$ ), p : puntero(nodo( $\alpha$ )))  $\rightarrow$  res : itCola( $\alpha$ )
  res  $\leftarrow$  p
end function

```

6. Módulo Restricción

```

*****
*****                                Interfaz                                *****
*****

```

Se explica con: Restricción
 Géneros: restricción

```

*****
*****                                Operaciones                                *****
*****

```

Var(in s : string) → res : restricción
 Pre ≡ {true}
 Post ≡ {res =obs {s}}
 Complejidad: O(1)
 Descripción: Crea una nueva restricción

And(in r1 : restricción, in r2 : restricción) → res : restricción
 Pre ≡ {true}
 Post ≡ {res =obs r1 AND r2}
 Complejidad: O(1)
 Descripción: Crea una nueva restricción que tiene que cumplir con r1 y r2

Or(in r1 : restricción, in r2 : restricción) → res : restricción
 Pre ≡ {true}
 Post ≡ {res =obs r1 OR r2}
 Complejidad: O(1)
 Descripción: Crea una nueva restricción que tiene que cumplir con r1 o r2

Not(in r : restricción) → res : restricción
 Pre ≡ {true}
 Post ≡ {res =obs NOT r}
 Complejidad: O(1)
 Descripción: Crea una nueva restricción que no tiene que cumplir con r

Verifica?(in tags : conjRapidoString, in r : restricción) → res : bool
 Pre ≡ {true}
 Post ≡ {res =obs verifica?(tags, r)}
 Complejidad: O(#r)
 Descripción: Evalua si la restricción r evalua a verdadero asumiendo que las variables que figuran en tags son verdaderas.

Copiar(in r: restricción) → res : restricción
 Pre ≡ {true}
 Post ≡ {res =obs r}
 Complejidad: O(R)
 Descripción: Devuelve una copia de la restricción.

```

*****
*****                                Representación                                *****
*****

```

restricción se representa con estr
 donde estr es tupla(
 tipo : Enumerado(VAR, AND, OR, NOT),
 op1 : puntero(estr),
 op2 : puntero(estr),
 valor : string)

Rep: $\wedge(\text{estr}) \rightarrow \text{boolean}$
 Rep(e) $\equiv \text{true} \iff$
 No hay ciclos en el árbol \wedge
 Ningún nodo de más abajo en el árbol tiene punteros a e \wedge
 $(e.\text{tipo} = \text{obs VAR} \iff (e.\text{op1} = \text{obs NULL} \wedge e.\text{op2} = \text{obs NULL})) \wedge$
 $(e.\text{tipo} = \text{obs NOT} \iff (\neg(e.\text{op1} = \text{obs NULL}) \wedge e.\text{op2} = \text{obs NULL})) \wedge$
 $((e.\text{tipo} = \text{obs AND} \vee e.\text{tipo} = \text{obs OR}) \iff (\neg(e.\text{op1} = \text{obs NULL}) \wedge \neg(e.\text{op2} = \text{obs NULL}))) \wedge$
 $(\neg(e.\text{op1} = \text{obs NULL}) \implies \text{Rep}(*e.\text{op1})) \wedge$
 $(\neg(e.\text{op2} = \text{obs NULL}) \implies \text{Rep}(*e.\text{op2})) \wedge (\text{Long}(e.\text{valor}) \leq 64)$

Abs: $\wedge(\text{estr}) \rightarrow \text{Restricción}$ {Rep(e)}

```
Abs(e) ≡
  if e.tipo = obs VAR then
    (e.valor)
  else if e.tipo = obs AND then
    Abs(*e.op1) AND Abs(*e.op2)
  else if e.tipo = obs OR then
    Abs(*e.op1) OR Abs(*e.op2)
  else
    NOT Abs(*e.op1)
  fi fi fi
```

```
#•:  $\wedge(\text{estr}) \rightarrow \text{nat}$ 
#(e) ≡
  if e.tipo = obs VAR then
    1
  else if e.tipo = obs AND then
    1 + #(*e.op1) + #(*e.op2)
  else if e.tipo = obs OR then
    1 + #(*e.op1) + #(*e.op2)
  else
    1 + #(*e.op1)
  fi fi fi
```

```
*****
*****                                     *****
*****                               Algoritmos                               *****
*****
```

```
iVar(in s : string) → res : estr
  res ← {tipo: VAR, op1: NULL, op2: NULL, valor: s}
end function
```

```
iAnd(in r1 : estr, in r2 : estr) → res : estr
  res ← {tipo: AND, op1: &r1, op2: &r2, valor: ""}
end function
```

```
iOr(in r1 : estr, in r2 : estr) → res : estr
  res ← {tipo: OR, op1: &r1, op2: &r2, valor: ""}
end function
```

```
iNot(in r : estr) → res : estr
  res ← {tipo: NOT, op1: &r, op2: NULL, valor: ""}
end function
```

```
iVerifica?(in tags : conj(string), in r : estr) → res : bool
  case
    [] tipo == AND
      res ← Verifica?(tags, *r.op1) ∧ Verifica?(tags, *r.op2)
    [] tipo == OR
      res ← Verifica?(tags, *r.op1) ∨ Verifica?(tags, *r.op2)
    [] tipo == NOT
      res ← ¬Verifica?(tags, *r.op1)
    [] tipo == VAR
      res ← Pertenece?(tags, r.valor)
  end case
end function
```

La complejidad de iVerifica? es $O(\#r)$, siendo $\#r$ la cantidad de restricciones anidadas. Esto se debe a que para verificar una restriccion vale para un conj(string), si esta no es un Var, debe verificar que valga para sus restricciones anidadas en op1 y/o op2 (depende si la restriccion es de tipo NOT o no), recursivamente, hasta llegar a un Var. Luego, cada restriccion devuelve el resultado anidado, por lo que se pasaria por cada nodo 2 veces, ergo, $O(2R)$, y por algebra de ordenes, esto es equivalente a $O(R)$

```

iCopiar(in r: estr) → res: estr
  case
    [] tipo == AND
      res ← {tipo: AND, op1: &Copiar(*r.op1), op2: &Copiar(*r.op2), valor: ""}
    [] tipo == OR
      res ← {tipo: OR, op1: &Copiar(*r.op1), op2: &Copiar(*r.op2), valor: ""}
    [] tipo == NOT
      res ← {tipo: Not, op1: &Copiar(*r.op1), op2: NULL, valor: ""}
    [] tipo == VAR
      res ← {tipo: VAR, op1: NULL, op2: NULL, valor: Copiar(s)}
  end case
end function

```

La complejidad de este algoritmo es $O(R)$ porque se tienen que copiar todos los nodos. Como el valor esta acotado a 64 caracteres por enunciado, $O(\text{Copiar}(s)) \equiv O(1)$

7. Módulo Mapa

```

*****
*****                                *****
*****                                *****
*****                                *****

```

Se explica con: Mapa
 Géneros: Mapa

```

*****
*****                                *****
*****                                *****
*****                                *****

```

Crear() → res: Mapa
 Pre ≡ {true}
 Post ≡ {res =obs vacío}
 Complejidad: O(1)
 Descripcion: Crea un mapa vacío

Agregar(in/out m : Mapa, in e : estacion)
 Pre ≡ {e ∉ estaciones(m) ∧ m₀ =obs m}
 Post ≡ {m =obs agregar(e, m₀)}
 Complejidad: O(#estaciones(m) + long(e))
 Descripcion: Agrega una estación al mapa

Conectar(in/out m : Mapa, in e1 : estacion, in e2 : estacion, in r : restriccion)
 Pre ≡ {e1, e2 ∈ estaciones(m) ∧ ¬conectadas?(m, e1, e2) ∧ m₀ =obs m}
 Post ≡ {m =obs conectar(e1, e2, r, m)}
 Complejidad: O(long(e1) + long(e2) + S)
 Descripcion: Conecta 2 estaciones del mapa entre con una restriccion para ese vinculo.

Estaciones(in m : Mapa) → res : itConj(string)
 Pre ≡ {true}
 Post ≡ {alias(esPermutación?(SecuSuby(res), estaciones(m))) ∧ vacia?(Anteriores(res))}
 Complejidad: O(1)
 Descripcion: Devuelve un iterador al conjunto de las estaciones del mapa.
 Aliasing: No se pueden modificar los contenidos del iterador.

Conectadas?(in m : Mapa, in e1 : estacion, in e2 : estacion) → res : bool
 Pre ≡ {e1, e2 ∈ estaciones(m)}
 Post ≡ {res =obs conectadas?(m, e1, e2)}
 Complejidad: O(long(e1) + long(e2))
 Descripcion: Indica si 2 estaciones estan conectadas.

idSenda(in m : Mapa, in e1 : estacion, in e2 : estacion) → res : nat
 Pre ≡ {e1, e2 ∈ estaciones(m) ∧ conectadas?(m, e1, e2)}
 Post ≡ {res es el id de la senda en nuestra representación}
 Complejidad: O(long(e1) + long(e2))
 Descripcion: Devuelve el id de la senda entre e1 y e2.

Sendas(in m : Mapa) → res : itVectorPointer(restriccion)
 Pre ≡ {true}
 Post ≡ {res itera sobre las restricciones de todas las sendas del mapa}
 Complejidad: O(1)
 Descripcion: Devuelve las restricciones de las sendas del mapa

Copiar(in m : Mapa) → res : Mapa
 Pre ≡ {true}
 Post ≡ {res =obs m}
 Complejidad: O(Copiar(m.sendas) + Copiar(m.estaciones) + Copiar(m.conexiones))
 Descripcion: Devuelve una copia del mapa.
 Aliasing: El nuevo mapa comparte las restricciones ya agregadas al mapa original.

```

*****
*****                                Representación                                *****
*****

```

Mapa se representa con estr,
donde estr es: tupla(

```

    sendas      : VectorPointer(Restriccion),
    conexiones  : DiccString(DiccString(Int)),
    estaciones  : conj(string)
)
```

Rep: $\wedge(\text{estr}) \rightarrow \text{boolean}$

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

claves(e.conexiones) \subset e.estaciones \wedge

(($\forall e1 : \text{string}$)

$e1 \in \text{claves}(e.\text{conexiones}) \wedge$

$\text{claves}(\text{obtener}(e1, e.\text{conexiones})) \subset e.\text{estaciones} \wedge$

(($\forall e2 : \text{string}$)

$(e1 \in \text{claves}(e.\text{conexiones}) \wedge e2 \in \text{claves}(\text{obtener}(e1, e.\text{conexiones})) \iff$

$e2 \in \text{claves}(e.\text{conexiones}) \wedge e1 \in \text{claves}(\text{obtener}(e1, e.\text{conexiones}))) \wedge$

$(e1 \in \text{claves}(e.\text{conexiones}) \wedge e2 \in \text{claves}(\text{obtener}(e1, e.\text{conexiones})) \implies$

$\text{obtener}(e2, \text{obtener}(e1, e.\text{conexiones})) < \text{longitud}(e.\text{sendas}))$)

Abs: $\wedge(\text{estr}) \rightarrow \text{mapa}$

{Rep(e)}

($\forall e : \wedge(\text{estr})$) Abs(e) =obs m /

(e.estaciones =obs estaciones(m)) \wedge

(($\forall e1, e2 : \text{string}$)

$\text{definido?}(e.\text{conexiones}, e1) \wedge$

$(\text{definido?}(\text{obtener}(e.\text{conexiones}, e1), e2) = \text{obs conectadas?}(e1, e2, m)) \wedge$

$(\text{conectadas?}(e1, e2, m) \implies *(e.\text{sendas})[i] = \text{obs restriccion}(e1, e2, m))$)

```

*****
*****                                Algoritmos                                *****
*****

```

iCrear() \rightarrow res : estr

res \leftarrow {sendas: Vacia(), conexiones: Vacio(), estaciones: Vacio()}

end function

iAgregar(in/out m : estr, in e : estacion)

Agregar(m.estaciones, e)

end function

iConectar(in/out m : estr, in e1 : estacion, in e2 : estacion, in r : restriccion)

var i : nat \leftarrow Longitud(m.sendas)

AgregarAtras(m.sendas, &r)

if $\neg \text{Definido?}(m.\text{conexiones}, e1)$ then

Definir(m.conexiones, e1, Vacio())

end if

if $\neg \text{Definido?}(m.\text{conexiones}, e2)$ then

Definir(m.conexiones, e2, Vacio())

end if

Definir(Obtener(m.conexiones, e1), e2, i)

Definir(Obtener(m.conexiones, e2), e1, i)

end function

iEstaciones(in m : estr) \rightarrow res : itConj(string)

res \leftarrow CrearIt(m.estaciones)

end function

iConectadas?(in m : estr, in e1 : estacion, in e2 : estacion) \rightarrow res : bool

res \leftarrow Definido?(m.conexiones, e1) \wedge Definido?(obtener(m.conexiones, e1), e2)

end function

iidSenda(in m : estr, in e1 : estacion, in e2 : estacion) \rightarrow res : nat

res \leftarrow Obtener(Obtener(m.conexiones, e1), e2)

end function


```
iSendas(in m : estr) → res : itVectorPointer(Restriccion)
    res ← CrearIt(m.sendas)
end function

iCopiar(in m : estr) → res : estr
    res ← {    sendas      : Copiar(m.sendas),
             conexiones : Copiar(m.conexiones),
             estaciones : Copiar(m.estaciones)}
end function
```

8. Módulo Ciudad

```

Crear(in m : Mapa) → res : Ciudad
Pre ≡ {true}
Post ≡ {res =obs Crear(m)} actualizar con la copia de mapa.
Complejidad:  $O(\#estaciones(m) * |e_m|)$ 
Descripcion: Crea una nueva ciudad a partir de un mapa.
Aliasing: Se realiza una copia del mapa.

Entrar(in ts : conjRapidoString, in e : estacion, in/out c : Ciudad)
Pre ≡ {e ∈ estaciones(mapa(c)) ∧ c =obs c₀}
Post ≡ {c =obs entrar(ts, e, c₀)}
Complejidad:  $O(\text{long}(e) + S \cdot R + N_{total})$ 
Descripcion: Agrega un conjunto de caracteristicas nuevo a la ciudad, creando un nuevo robot.

Mover(in rur : nat, in e : estacion, in/out c : Ciudad)
Pre ≡ {u ∈ robots(c) ∧ e ∈ estaciones(c) ∧ u
conectadas?(estacion(u, c), e, mapa(c)) ∧ c₀ =obs c}
Post ≡ {c =obs mover(rur, e, c₀)}
Complejidad:  $O(\text{long}(e) + \text{long}(\text{estacion}(u, c)) + \log(\#robotsEn(\text{estacion}(u, c), c)) + \log(\#robotsEn(e, c)))$ 
Descripcion: Mueve a un robot de una estacion a otra.

Inspeccion(in e : estacion, in/out c : Ciudad)
Pre ≡ {e ∈ estaciones(c)}
Post ≡ {c =obs inspección(e, c)}
Complejidad:  $O(\text{long}(e) + \log(\#robotsEn(e, c)))$ 
Descripcion: Remueve al robot mas infractor en la estacion e de la ciudad.

ProximoRUR(in c : ciudad) → res : nat
Pre ≡ {true}
Post ≡ {res =obs ProximoRUR(c)}
Complejidad:  $O(1)$ 
Descripcion: Devuelve el proximo rur disponible.

Mapa(in c : ciudad) → res : Mapa
Pre ≡ {true}
Post ≡ {res =obs Mapa(c)}
Complejidad:  $O(\text{Copiar}(c.mapa))$ 
Descripcion: Devuelve el mapa de la ciudad.
Aliasing: res es una copia de mapa

Robots(in c : ciudad) → res : ItVectorPointer(robot)
Pre ≡ {true}
Post ≡ {alias(res =obs Iterador Unidireccional(Puntero(robot)))}
Complejidad:  $O(1)$ 
Descripcion: Devuelve un iterador de los robots que hay en la ciudad.
Aliasing: res no es modificable.

Estacion(in c : ciudad, in u : nat) → res : estacion
Pre ≡ {u ∈ robots(c)}
Post ≡ {res =obs estacion(u, c)}
Complejidad:  $O(1)$ 
Descripcion: Devuelve la estacion donde esta el robot con rur u.

Tags(in c : ciudad, in u : nat) → res : itConj(string)
Pre ≡ {u ∈ robots(c)}
Post ≡ {alias(esPermutacion?(SecuSuby(res), tags(u, c)) ∧ vacia?(Anteriores(res)))}
Complejidad:  $O(1)$ 
Descripcion: Devuelve un iterador a los tags del robot u.

```

Aliasing: res no es modificable.

```
#Infracciones(in c : ciudad, in u : nat) → res : nat
```

```
Pre ≡ {u ∈ robots(c)}
```

```
Post ≡ {res =obs #infracciones(u, c)}
```

```
Complejidad: O(1)
```

```
Descripcion: Devuelve la cantidad de infracciones del robot con rur u.
```

```
*****
*****
***** Representación *****
*****
```

Ciudad se representa con city,

```
donde city es: tupla(
    robots          : VectorPointer(robot),
    mapa            : Mapa,
    robotsEnEstacion : DiccString(colaPrioridad(robot))
donde robot es: tupla(
    rur              : nat,
    infracciones     : nat,
    tags             : Puntero(conjRapidoString),
    estacion         : string,
    infringe_restriccion : Vector(Bool),
    mi_estacion      : itCola(robot)
)
```

```
Pre ≡ {true}
```

```
Post ≡ {res =obs (r1 < r2)}
```

```
Complejidad: O(1)
```

```
Descripción: función de comparación de robots
```

```
• < • (in r1 : robot, r2 : robot) → res : bool
  if r1.infracciones < r2.infracciones then
    res ← true
  else
    if r1.infracciones == r2.infracciones then
      res ← r1.rur < r2.rur
    else
      res ← false
    end if
  end if
end function
```

Escribimos el rep de ciudad informalmente:

- Las claves del diccionario e.robotsEnEstacion todas pertenecen a las estaciones definidas en e.mapa.
- Todos los robots pertenecientes a las colas de los significados de e.robotsEnEstacion tienen la clausula estación puesta al significado de la cola a la que pertenecen.
- Los elementos de e.robots que no sean NULL cumplen que
 - El rur es igual a su indice en e.robots.
 - El robot pertenece a la cola de prioridad en la entrada estacion de e.robotsEnEstacion (obviamente, la entrada debe estar también definida).
 - mi_estacion se corresponde con la posición del robot en la cola de prioridad asociada a la estación en la que se encuentra.
 - infringe_restriccion se corresponde con los caminos que hay en el mapa, y aparte se corresponde con si el robot verifica o no la restricción entre las sendas.
- Los elementos en tags tienen una longitud menor o igual a 64.

```
Abs: ^ (city) c → Ciudad
```

```
{Rep(c)}
```

```
(∀ e : ^ (city)) Abs(e) =obs c /
```

```
convertir(e.robots) =obs robots(c) ∧
```

```
long(e.robots) =obs ProximoRUR(c) ∧
```

```
e.mapa =obs mapa(c) ∧
```

```
(∀ u : rur)
```

```
(u < Longitud(e.robots) ∧ e.robots[u] != NULL) ⇒1
```

```
((e.robots[u].estacion =obs estacion(u, c)) ∧
```

```
(e.robots[u].tags =obs tags(u, c)) ∧
```

```
(e.robots[u].infracciones =obs #infracciones(u, c)))
```

convertir: secu(puntero(α)) \rightarrow conj(α)

```
convertir(xs)  $\equiv$ 
  if vacia?(xs) then  $\phi$ 
  else
    if prim(xs) =obs NULL then convertir(fin(xs))
    else Ag(prim(xs), convertir(fin(xs))) fi
  fi
```

```
*****
*****                                Algoritmos                                *****
*****
```

```
iCrear(in m : Mapa)  $\rightarrow$  res : city
  var robots_en_estacion: DiccString(ColaPrioridad(robot))  $\leftarrow$  Crear()
  var it: itConj(string)  $\leftarrow$  Estaciones(m)

  while HaySiguiente(it) do
    Definir(robots_en_estacion, Siguiente(it), Crear())
    Avanzar(it)
  end while

  Definir(robots_en_estacion, *it, Crear())

  res  $\leftarrow$  {robots: Vacia(), mapa: Copiar(m), robotsEnEstacion: robots_en_estacion}
end function
```

Recorrer todas las estaciones en el mapa es $O(E)$. Definir cada entrada en robots_en_estacion es $O(|e_m|)$, siendo e_m el nombre de estacion mas largo, y hay que hacerlo E veces. Por esto, la complejidad es $O(|e_m| * E)$.

```
iEntrar(in ts : conjRapidoString, in e : estacion, in/out c : city)
  var rob : robot  $\leftarrow$  {
    tags: &ts,
    infracciones: 0,
    rur: ProximoRUR(city),
    infringe_restriccion: Vacia(),
    estacion: e,
    mi_estacion: Encolar(obtener(robotsEnEstacion, e), rob)}

  var it : ItVectorPointer(Restriccion)  $\leftarrow$  Sendas(c.mapa)

  while HayMas?(it) do
    AgregarAtras(rob.infringe_restriccion,  $\neg$ Verifica?(ts, *Actual(it)))
    Avanzar(it)
  end while

  AgregarAtras(c.robots, &rob)
end function
```

La operacion obtener(robotsEnEstacion, e) tiene complejidad $O(|e|)$. La operacion Encolar de cola de prioridad es $O(\text{Log de la cantidad de elementos de la cola})$. Como se evaluan todas las sendas para saber si un robot infringe o no, el recorrido lineal del iterador es $O(S)$, siendo S la cantidad de sendas que hay en el mapa. Evaluar si un robot infringe o no cada senda (Verifica?) es $O(R)$. Finalmente, agregar un robot a robots de la ciudad es $O(N)$ en el peor caso, siendo N la cantidad de robots en la ciudad, como esta explicado en agregar atras de vector. Este $O(N)$ por algebra de ordenes acota superiormente al costo logaritmico de encolar. Luego, la complejidad queda en $|e| + S*R + N_{total}$.

```
iMover(in rur : nat, in e : estacion, in/out c : city)
  var rob : puntero(robot)  $\leftarrow$  c.robots[rur]

  Borrar(Obtener(c.robotsEnEstacion, rob $\rightarrow$ estacion), rob $\rightarrow$ mi_estacion)

  var infringe : nat  $\leftarrow$  rob $\rightarrow$ infracciones
  var id_senda : nat  $\leftarrow$  idSenda(c.mapa, rob $\rightarrow$ estacion, e)

  if rob $\rightarrow$ infringe_restriccion[id_senda] then
    infringe++
```

```

end if

rob→infracciones ← infringe
rob→estacion ← e
rob→mi_estacion ← Encolar(obtener(c.robotsEnEstacion, e), *rob)
end function

```

La complejidad de Obtener es $O(|e|)$, siendo el `rob→estacion`. Borrar de la cola de prioridad teniendo el iterador al elemento es $O(\log(\#cola))$, siendo `#cola` la cantidad de elementos de la cola. Todo el cálculo de si infringe o no es $O(1)$ porque ya está precalculado. Luego, insertarlo en otra cola es $O(|e|)$ para encontrarla en el diccionario y $O(\log(\#cola))$ para insertarlo. Esto da como resultado $O(|e| + |e| + \log(\#cola1) + \log(\#cola2))$.

```

iInspeccion(in e : estacion, in/out c : city)
  var cola : colaPrioridad(robot) ← Obtener(c.robotsEnEstacion, e)

```

```

  if tamaño(cola) > 0 then
    var rob : robot ← Desencolar(cola)
    c.robots[rob.rur] ← NULL
  end if
end function

```

```

iProximoRUR(in c : city) → res : nat
  res ← Longitud(c.robots)
end function

```

```

iMapa(in c : city) → res : Mapa
  res ← Copiar(c.mapa)
end function

```

```

iRobots(in c : city) → res : ItVectorPointer(robot)
  res ← CrearIt(c.robots)
end function

```

```

iEstacion(in c : city, in u : nat) → res : estacion
  res ← (c.robots[u])→estacion
end function

```

```

iTags(in c : city, in u : nat) → res : itConj(string)
  res ← CrearIt((c.robots[u])→tags)
end function

```

```

i#Infracciones(in c : city, in u : nat) → res : nat
  res ← (c.robots[u])→infracciones
end function

```