Trabajo práctico 2: **Algo2landia**

Normativa

Límite de entrega: Domingo 17 de Octubre, 23:59hs.

Normas de entrega: Ver "Información sobre la cursada" en el sitio Web de la materia. (`http://campus.exactas.uba.ar`)

Versión: 1.3 del 6 de octubre de 2021

El objetivo de este TP es diseñar módulos destinados a implementar el mundo de simulación de *Algo2landia* que se describió en el TP anterior. El diseño a realizar debera ser en base a la **especificación formal** provista por la cátedra. La misma puede encontrarse al final del documento. El diseño propuesto debe cumplir con las siguientes **complejidades temporales en peor caso**, donde $|C|$ representa el nombre más largo de un color existente en la partida. El tamaño del mundo (ancho y alto), así como la cantidad de casilleros y objetos de color, no se consideran acotados.

1. Iniciar una simulación no tiene restricciones de complejidad.
2. Conocer la cantidad de movimientos y la cantidad de objetivos completados debe ser $O(1)$.
3. Conocer la posición del agente debe ser $O(1)$.
4. Conocer la posición de un objeto debe ser $O(|C|)$.
5. Conocer los objetivos disponibles debe ser $O(1)$.
6. Realizar un movimiento del agente debe ser a lo sumo $O(|C|)$. En particular considerar que esto requiere:
   - Al moverse, ver si el movimiento se encuentra con un objeto en $O(|C|)$.
   - Al moverse y empujar un objeto, ver si se cumple un objetivo en $O(|C|)$.

La entrega consistirá de un único documento digital con el diseño completo de todos los módulos. Se debe diseñar el módulo principal (`Algo2landia`) y todos los módulos auxiliares. La única excepción son los módulos disponibles en el Apunte de Módulos Básicos, que se pueden utilizar sin diseñarlos: lista enlazada, pila, cola, vector, diccionario lineal, conjunto lineal y conjunto acotado de naturales. Además, en el caso de usar implementaciones de abstracciones vistos en la materia (e.j.: Trie para Diccionario, AVL para Conjunto, Heap para cola de prioridad), es suficiente con definir un módulo con una interfaz plausible para la abstracción con las complejidades vistas en la teórica. Es decir, no es necesario aclarar estructura de representación, invariante de representación, función de abstracción o algoritmos.

Todos los módulos diseñados deben contar con las siguientes partes.

1. **Interfaz.**
   a) *Tipo abstracto ("se explica con ...").* Género (TAD) que sirve para explicar las instancias del módulo, escrito en el lenguaje de especificación **formal** de la materia. Pueden utilizar la especificación que se incluye en el apéndice.
   b) *Signatura.* Listado de todas las funciones públicas que provee el módulo. La signatura se debe escribir con la notación de módulos de la materia, por ejemplo, apilar(**in**/**out** pila : Pila, **in** x : Elemento).
   c) *Contrato.* Precondición y postcondición de todas las funciones públicas. Las pre y postcondiciones de las funciones de la interfaz deben estar expresadas **formalmente** en lógica de primer orden.[1] Las pre y postcondiciones deben usar los TADs provistos en el apartado **Especificación de la cátedra** más abajo en este documento, y **no** a la especificación escrita por ustedes en el TP2.
   d) *Complejidades.* Complejidades de todas las funciones públicas, cuando corresponda.
   e) *Aspectos de* aliasing. De ser necesario, aclarar cuáles son los parámetros y resultados de los métodos que se pasan por copia y cuáles por referencia, y si hay *aliasing* entre algunas de las estructuras.
2. **Implementación.**
   a) *Representación ("se representa con ...").* Módulo con el que se representan las instancias del módulo actual.
   b) *Invariante de representación.* Puede estar expresado en lenguaje natural o formal.
   c) *Función de abstracción.* Puede estar expresada en lenguaje natural o formal. La función de abstracción debe referirse a los TADs provistos en el apartado **Especificación de la cátedra** más abajo en este documento, y **no** a la especificación escrita por ustedes en el TP2.

[1] Si la implementación requiere usar funciones auxiliares, sus pre y postcondiciones pueden estar escritas en lenguaje natural, pero esto no forma parte de la interfaz.

d) *Algoritmos.* Pueden estar expresados en pseudocódigo, usando si es necesario la notación del lenguaje de módulos de la materia o notación tipo C++. Las pre y postcondiciones de las funciones auxiliares pueden estar expresadas en lenguaje natural (no es necesario que sean formales). Indicar de qué manera los algoritmos cumplen con el contrato declarado en la interfaz y con las complejidades pedidas. No se espera una demostración formal, pero sí una justificación adecuada.

3. **Servicios usados.** Módulos que se utilizan, detallando las complejidades, *aliasing* y otros aspectos que dichos módulos deben proveer para que el módulo actual pueda cumplir con su interfaz.

Sobre uso de tablas de hash.

Recomendamos **no** usar tablas de *hash* como parte de la solución a este TP. El motivo es que, si bien las tablas de *hash* proveen buenas garantías de complejidad *en caso promedio*—asumiendo ciertas propiedades sobre la función de *hash* y condiciones de buena distribución de la entrada—, no proveen en cambio buenas garantías de complejidad *en peor caso*. (En términos asintóticos, una tabla de *hash* se comporta en peor caso tan mal como una lista enlazada).

Sobre el uso de lenguaje natural y formal.

Las precondiciones y poscondiciones de las funciones auxiliares, el invariante y la función de abstracción pueden estar expresados en lenguaje natural. No es necesario que sean formales. Asimismo, los algoritmos pueden estar expresados en pseudocódigo. Por otro lado, está permitido que utilicen fórmulas en lógica de primer orden en algunos lugares puntuales, si consideran que mejora la presentación o subsana alguna ambigüedad. El objetivo del diseño es convencer al lector, y a ustedes mismos, de que la interfaz pública se puede implementar usando la representación propuesta y respetando las complejidades pedidas. Se recomienda aplicar el sentido común para priorizar la **claridad** y **legibilidad** antes que el rigor lógico por sí mismo. Por ejemplo:

Más claro	**Menos claro**
"Cada clave del diccionario D debe ser una lista sin elementos repetidos." ✓ "sinRepetidos?(claves(D))" ✓	"No puede haber repetidos." (¿En qué estructura?).
"Ordenar la lista A usando mergesort." ✓ "A.mergesort()" ✓	"Ordenar los elementos." (¿Qué elementos? ¿Cómo se ordenan?).
"Para cada tupla (x, y) en el conjunto C { x.apilar(y) n++ }" ✓	"Miro las tuplas del conjunto, apilo la segunda componente en la primera y voy incrementando un contador." (Ambiguo y difícil de entender).

Entrega

Para la entrega deben hacer `commit` y `push` de un único documento digital en formato `pdf` en el repositorio **grupal** en el directorio `tpg3/`. El documento debe incluir el diseño completo del enunciado incluyendo todos los módulos, cada uno con su interfaz, estructuras de representación, invariante de representación, función de abstracción, implementación de los algoritmos y descripción de los servicios usados. Se recomienda el uso de los paquetes de LaTeX de la cátedra para lograr una mejor visualización del informe.

Rubricas

Agregamos a continuación rúbricas que exponen qué se espera de la entrega. Las mismas presentan una serie criterios con los que se evaluarán las producciones entregadas. En términos generales, se considera que entregas con soluciones que solo logren los criterios parcialmente deberán ser reentregados con correcciones en estos aspectos en particular.

Por ser criterios generales, pueden no cubrir todos los detalles relacionados con este enunciado. No obstante buscamos que sean lo más completas posibles. Esperamos que las mismas les sirvan de orientación para la resolución del TP.

	Logra Totalmente	Logra	Logra Parcialmente	No Logra
Abstraccion funcional (o modularización)	Los Módulos tienen una responsabilidad adecuada (ni mucha ni poca). Cada módulo tiene una semántica clara. Las partes del problema se separan en módulos de forma de hacer cada módulo comprensible por si mismo. Siempre que es posible, se delega responsabilidad a módulos básicos.	Algún módulo asume demasiadas responsabilidades y es difícil entenderlo como una unidad. Dividirlo ayudaría a una mejor comprensión de la solución. En algunos casos, no se usan módulos basicos que ayudan a resolver el problema.	Varios módulos asume demasiadas responsabilidades y es difícil entenderlos como una unidad. Los módulos básicos se usan poco o incorrectamente. E.j.: secu de tuplas de diccionario lineal, secu en lugar de conjunto lineal.	Se utiliza un único módulo que resuelve todo el problema, por lo que su comportamiento y representación se hace muy difícil de entender. Prácticamente no se usan módulos básicos (todos arreglos/vectores).
Funciones de la interfaz pública	La inferfaz de cada módulo cuenta con suficientes funciones para hacerlo útil para el problema que resuelve. Los nombres de las funciones ayudan a entender la funcionalidad del módulo.	En algún módulo, falta alguna función para poder operar todas funcionalidades del TAD.	En algún módulo, falta varias funciónes para poder operar todas funcionalidades del TAD. Los nombres de las funciones son muy poco claros.	En algún módulo, faltan muchas funciones para poder hacer uso de la funcionalidad del TAD. El módulo se utiliza directamente desde su representación.
Contrato de las funciones de la interfaz pública	Todas las funciones de la interfaz pública cuentan con pre y post-condiciones correctas. Las descripciones son entendibles y representativas. La complejidad está correctamente reportada. Se reporta aliasing donde corresponde.	Algunos pre y post estan incorrectos/incompletos. Algunas descripciones están no se entienden. Algunas complejidades faltan.	Algunos pre y post están expresados sobre la representación. Faltan descripciones. Las complejidades faltan, no se entienden o no dependen de la entrada.	Todas las pre y post condiciones están sobre la estructura de representación o faltan. No hay descripciones ni complejidades.
Funciones privadas	Todas las funciones auxiliares utlizadas estan en la interfaz, cuentan con aridad y descripción. Las funciones cuya complejidad es relevante para la interfaz pública tienen complejidad declarada.	Faltan algunas funciones.	Faltan algunas funciones y carecen de descripción.	Ninguna función auxilar se declara en la intefaz.
Invariante de representación	Todas las restricciones se encuentran expresadas y se pueden entender (ya sea en lenguaje natural y/o formal).	Faltan algunas restriccones pero las definidas se pueden entender (ya sea en lenguaje natural y/o formal).	Faltan algunas restriccones y son difíciles de entender.	Faltan muchas restricciones, se lo asume incorrectamente trivial (True), se expresan sobre el TAD en lugar de la estructura de representación o es el Abs.
Función de abstracción	Explica (en lenguaje natural y/o formal) cómo se definen todos los observadores a partir de la estructura de representación.	Explica cómo se definen los observadores pero tiene casos donde se inhabilita que no estan limitados en el Rep y no se resuelven en el Abs.	No explica cómo se definen todos los observadores o es entendible.	Falta o es totalmente inentendible.
Implementación	Las implementación de las funciones públicas mantienen el rep al finalizar, cumplen la postcondición y puede entenderse su funcionamiento. La complejidad está bien justificada.	La implementación no siempre es fácil de entender o la complejidad no está correctamente explicada.	Hay implementaciones que no cumplen la postcondición, no mantienen el rep o no cumplen la complejidad establecida.	Faltan implementaciones o son muy difíciles de leer.
Restricciones de complejidad	Se resuelven todas las restricciones de complejidad del enunciado.	Se resuelven todas las restricciones de complejidad del enunciado.	Se resuelven la mayoría de las restricciones de complejidad del enunciado.	Faltan resolver varias restricciones de complejidad del enunciado.

Especificación de la cátedra

TAD Pos **es** Tupla⟨nat, nat⟩
TAD Dir **es** Enum{ARRIBA, ABAJO, DER, IZQ}
TAD Color **es** string

TAD Mapa

igualdad observacional

$$(\forall m, m' : \text{mapa}) \left(m =_{\text{obs}} m' \iff \begin{pmatrix} \text{ancho}(m) =_{\text{obs}} \text{ancho}(m') \land \text{alto}(m) =_{\text{obs}} \text{alto}(m') \\ \land \text{ receptáculos}(m) =_{\text{obs}} \text{receptáculos}(m') \\ \land_{\text{L}} ((\forall \text{ p: pos}) \text{ enRango(m, p)} \\ \Rightarrow_{\text{L}} (\text{esPared(m, p)} =_{\text{obs}} \text{esPared(m', p)} \\ \land \text{ esRampa(m, p)} =_{\text{obs}} \text{esRampa(m', p)})) \end{pmatrix} \right)$$

géneros mapa

observadores básicos

ancho : mapa $\longrightarrow$ nat
alto : mapa $\longrightarrow$ nat
receptáculos : mapa $\longrightarrow$ dicc(color, pos)
esPared : mapa m × pos p $\longrightarrow$ bool {enRango(m, p)}
esRampa : mapa m × pos p $\longrightarrow$ bool {enRango(m, p)}

generadores

nuevoMapa : nat *alto* × nat *ancho* × dicc(color, pos) rs $\longrightarrow$ mapa
$\left\{ \begin{array}{l} ((\forall \text{c: color}) \text{ def?(c, rs)} \Rightarrow_{\text{L}} (1 \leq \pi_1(\text{obtener(c, rs)}) \leq \text{ancho} \land 1 \leq \pi_2(\text{obtener(c, rs)}) \leq \text{alto})) \\ \land ((\forall \text{ c1,c2 : color}) (\text{def?(c1,rs)} \land \text{def?(c2,rs)} \land \text{c1} \neq \text{c2}) \Rightarrow_{\text{L}} \text{obtener(c1,rs)} \neq \text{obtener(c2,rs)}) \end{array} \right\}$

agregarPared : mapa m × pos p $\longrightarrow$ mapa
$\left\{ \begin{array}{l} \text{enRango(m, p)} \land_{\text{L}} \text{esPiso(m, p)} \\ \land ((\forall \text{p': pos})(\text{enRango(m, p')} \land_{\text{L}} \text{dist(p, p')} = 1 \land \text{esRampa(m, p')}) \Rightarrow_{\text{L}} ((\exists \text{p": pos}) \text{ p} \neq \text{p"} \\ \land \text{ enRango(m, p")} \land_{\text{L}} \text{dist(p', p")} = 1 \land \text{esPiso(m, p")})) \end{array} \right\}$

agregarRampa : mapa m × pos p $\longrightarrow$ mapa
$\left\{ \begin{array}{l} \text{enRango(m, p)} \land_{\text{L}} \text{esPiso(m, p)} \\ \land ((\exists \text{ p': pos}) \text{ enRango(m, p')} \land_{\text{L}} \text{dist(p', p)} = 1 \land \text{esPared(m, p')}) \\ \land ((\exists \text{ p': pos}) \text{ enRango(m, p')} \land_{\text{L}} \text{dist(p', p)} = 1 \land \text{esPiso(m, p')}) \\ \land ((\forall \text{p': pos})(\text{enRango(m, p')} \land_{\text{L}} \text{dist(p, p')} = 1 \land \text{esRampa(m, p')}) \Rightarrow_{\text{L}} ((\exists \text{p": pos}) \text{ p} \neq \text{p"} \\ \land \text{ enRango(m, p")} \land_{\text{L}} \text{dist(p', p")} = 1 \land \text{esPiso(m, p")})) \end{array} \right\}$

otras operaciones

esPiso : mapa m × pos p $\longrightarrow$ bool {enRango(m, p)}
enRango : mapa × pos $\longrightarrow$ bool
dist : pos × pos $\longrightarrow$ nat

axiomas

ancho(nuevoMapa(alto, ancho, rs)) $\equiv$ ancho
ancho(agregarPared(m, p)) $\equiv$ ancho(m)
ancho(agregarRampa(m, p)) $\equiv$ ancho(m)
alto(nuevoMapa(alto, ancho, rs)) $\equiv$ alto
alto(agregarPared(m, p)) $\equiv$ alto(m)
alto(agregarRampa(m, p)) $\equiv$ alto(m)
receptáculos(nuevoMapa(alto, ancho, rs)) $\equiv$ rs
receptáculos(agregarPared(m, p)) $\equiv$ receptáculos(m)
receptáculos(agregarRampa(m, p)) $\equiv$ receptáculos(m)
esPared(nuevoMapa(alto, ancho, rs), p) $\equiv$ false
esPared(agregarPared(m, p'), p) $\equiv$ p = p' $\lor$ esPared(m, p)
esPared(agregarRampa(m, p'), p) $\equiv$ esPared(m, p)
esRampa(nuevoMapa(alto, ancho, rs), p) $\equiv$ false
esRampa(agregarPared(m, p'), p) $\equiv$ esRampa(m, p)
esRampa(agregarRampa(m, p'), p) $\equiv$ p = p' $\lor$ esRampa(m, p)

esPiso(m, p) $\equiv$ ¬esPared(m, p) $\wedge$ ¬esRampa(m, p)
enRango(m, p) $\equiv$ $1 \leq \pi_1(p) \leq$ ancho(m) $\wedge$ $1 \leq \pi_2(p) \leq$ alto(m)
dist(p1, p2) $\equiv$ $|{+}p1_1 - {+}p2_1| + |{+}p1_2 - {+}p2_2|$

Fin TAD

TAD SIMULACIÓN

igualdad observacional

$$(\forall s, s' : \text{simulación}) \quad \left(s =_{\text{obs}} s' \iff \begin{pmatrix} \text{mapa}(s) =_{\text{obs}} \text{mapa}(s') \\ \wedge\ \text{posJugador}(s) =_{\text{obs}} \text{posJugador}(s') \\ \wedge\ \text{cantMovimientos}(s) =_{\text{obs}} \text{cantMovimientos}(s') \\ \wedge\ \text{objetivosDisponibles}(s) =_{\text{obs}} \text{objetivosDisponibles}(s') \\ \wedge\ \#\text{objetivosRealizados}(s) =_{\text{obs}} \#\text{objetivosRealizados}(s') \\ \wedge\ \text{coloresObjetos}(s) =_{\text{obs}} \text{coloresObjetos}(s') \\ \wedge_{\text{L}}\ ((\forall\ \text{c: color})\ \text{c} \in \text{coloresObjetos(s)} \\ \Rightarrow_{\text{L}}\ \text{posObjeto(s, c)} =_{\text{obs}} \text{posObjeto(s', c)}) \end{pmatrix} \right)$$

géneros sim

observadores básicos

mapa : sim $\longrightarrow$ mapa
posJugador : sim $\longrightarrow$ pos
cantMovimientos : sim $\longrightarrow$ nat
objetivosDisponibles : sim $\longrightarrow$ conj(objetivo)
#objetivosRealizados : sim $\longrightarrow$ nat
coloresObjetos : sim $\longrightarrow$ conj(color)
posObjeto : sim s $\times$ color c $\longrightarrow$ pos {c $\in$ coloresObjetos(s)}

generadores

nuevaSimulación : mapa m $\times$ pos i $\times$ dicc(color,pos) *objetos* $\longrightarrow$ sim
$\left\{ \begin{matrix} \text{enRango(m, i)} \wedge ((\forall \text{c: color})\ \text{def?(c, objetos)} \\ \Rightarrow_{\text{L}}\ (\text{enRango(m, obtener(c, objetos))} \wedge \text{obtener(c, objetos)} \neq \text{i})) \end{matrix} \right\}$
mover : sim s $\times$ dir d $\longrightarrow$ sim {enRango(mapa(s), siguientePosición(posJugador(s), d))}
agObjetivo : sim s $\times$ objetivo o $\longrightarrow$ sim
{colorObjeto(o) $\in$ coloresObjetos(s) $\wedge$ def?(colorDestino(o), receptáculos(mapa(s)))}

otras operaciones

hayMovimiento : pos $\times$ dir $\times$ mapa $\longrightarrow$ bool
siguientePosición : pos $\times$ dir $\longrightarrow$ pos
filtrarRealizados : conj(objetivo) $\times$ sim $\longrightarrow$ conj(objetivo)
hayObjeto : pos p $\times$ sim s $\longrightarrow$ bool {enRango(mapa(s), p)}
hayAlgúnObjeto : pos p $\times$ conj(color) cs $\times$ sim s $\longrightarrow$ bool
{enRango(mapa(s), p) $\wedge$ cs $\subseteq$ coloresObjetos(s)}

axiomas

mapa(nuevaSimulación(m, i, os)) $\equiv$ m
mapa(mover(s, d)) $\equiv$ mapa(s)
mapa(agObjetivo(s, o)) $\equiv$ mapa(s)
posJugador(nuevaSimulación(m, i, os)) $\equiv$ i

posJugador(mover(s, d)) $\equiv$ **if** (hayMovimiento(posJugador(s), d, mapa(s)) $\wedge_{\text{L}}$
(hayObjeto(siguientePosición(posJugador(s), d), s) $\Rightarrow$
(hayMovimiento(siguientePosición(posJugador(s), d), d, mapa(s)) $\wedge_{\text{L}}$
¬hayObjeto(siguientePosición(siguientePosición(posJugador(s), d), d), s))))
then
siguientePosición(posJugador(s), d)
else
posJugador(s)
fi

posJugador(agObjetivo(s, o)) $\equiv$ posJugador(s)

cantMovimientos(nuevaSimulación(m, i, os)) $\equiv$ 0

cantMovimientos(mover(s, d)) $\equiv$ cantMovimientos(s) + 1

cantMovimientos(agObjetivo(s, o)) $\equiv$ cantMovimientos(s)

objetivosDisponibles(nuevaSimulación(m, i, os)) $\equiv$ $\emptyset$

objetivosDisponibles(mover(s, d)) $\equiv$ filtrarRealizados(objetivosDisponibles(s), mover(s, d))

objetivosDisponibles(agObjetivo(s, o)) $\equiv$ **if** realizado?(o, s) **then**
objetivosDisponibles(s)
else
Ag(o, objetivosDisponibles(s))
fi

#objetivosRealizados(nuevaSimulación(m, i, os)) $\equiv$ 0

#objetivosRealizados(mover(s, d)) $\equiv$ #objetivosRealizados(s) +
(#(objetivosDisponibles(s)) - #(objetivosDisponibles(mover(s, d))))

#objetivosRealizados(agObjetivo(s, o)) $\equiv$ **if** realizado?(o, s) **then**
#objetivosRealizados(s) + 1
else
#objetivosRealizados(s)
fi

coloresObjetos(nuevaSimulación(m, i, os)) $\equiv$ claves(os)

coloresObjetos(mover(s, d)) $\equiv$ coloresObjetos(s)

coloresObjetos(agObjetivo(s, o)) $\equiv$ coloresObjetos(s)

posObjeto(nuevaSimulación(m, i, os), c) $\equiv$ obtener(c, os)

posObjeto(mover(s, d), c) $\equiv$ **if** (hayMovimiento(posJugador(s), d, mapa(s)) $\wedge$
siguientePosición(posJugador(s), d) = posObjeto(s, c) $\wedge$
hayMovimiento(siguientePosición(posJugador(s), d), d, mapa(s)) $\wedge_{\text{L}}$
¬hayObjeto(siguientePosición(siguientePosición(posJugador(s), d), d), s)))
then
siguientePosición(posObjeto(s, c), d)
else
posObjeto(s, c)
fi

posObjeto(agObjetivo(s, o), c) $\equiv$ posObjeto(s, c)

siguientePosición(p, d) $\equiv$ $\langle$ p_1 + β(d = DER) - β(d = IZQ),
p_2 + β(d = ARRIBA) - β(d = ABAJO) $\rangle$

hayMovimiento(p, d, m) $\equiv$ enRango(m, siguientePosición(p, d)) $\wedge_{\text{L}}$
(esPared(m, siguientePosición(p, d)) $\Rightarrow$ esRampa(m, p))

filtrarRealizados(os, s) $\equiv$ **if** $\emptyset$?(os) **then**
os
else
if realizado?(dameUno(os), s) **then**
filtrarRealizados(sinUno(os), s)
else
Ag(dameUno(os), filtrarRealizados(sinUno(os), s))
fi
fi

hayObjeto(p, s) $\equiv$ hayAlgúnObjeto(p, coloresObjetos(s), s)

hayAlgúnObjeto(p, cs, s) $\equiv$ $\neg\emptyset?$(cs) $\wedge$ (posObjeto(s, dameUno(cs)) = p $\vee$ hayAlgúnObjeto(p, sinUno(cs), s))

Fin TAD

TAD OBJETIVO

igualdad observacional

$$(\forall o, o' : \text{objetivo}) \left(o =_{\text{obs}} o' \iff \begin{pmatrix} \text{colorObjeto}(o) =_{\text{obs}} \text{colorObjeto}(o') \\ \wedge\ \text{colorDestino}(o) =_{\text{obs}} \text{colorDestino}(o') \end{pmatrix} \right)$$

géneros objetivo

observadores básicos

colorObjeto : objetivo $\longrightarrow$ color

colorDestino : objetivo $\longrightarrow$ color

generadores

nuevoObjetivo : color $\times$ color $\longrightarrow$ objetivo

otras operaciones

realizado? : objetivo o $\times$ sim s $\longrightarrow$ bool {colorObjeto(o) $\in$ coloresObjetos(s) $\wedge$ def?(colorDestino(o), receptáculos(mapa(s)))}

axiomas

colorObjeto(nuevoObjetivo(o, d)) $\equiv$ o

colorDestino(nuevoObjetivo(o, d)) $\equiv$ d

realizado?(o, s) $\equiv$ obtener(colorDestino(o), receptáculos(mapa(s))) = posObjeto(s, colorObjeto(o))

Fin TAD