POLITÉCNICA

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE
INGENIEROS INFORMÁTICOS

Integración de un Sistema de Diálogo con un
Sistema Inteligente de Tutoría dirigido al
Entrenamiento Procedimental

Tesis Doctoral

Autor: José Nevardo Paladines Morán
Magister en Informática Empresarial

Director: Jaime Ramírez Rodríguez
Doctor en Informática

2020

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE
INGENIEROS INFORMÁTICOS**

**Integración de un Sistema de Diálogo con
un Sistema Inteligente de Tutoría
dirigido al Entrenamiento Procedimental**

Tesis Doctoral

Autor: José Nevardo Paladines Morán
Magister en Informática Empresarial

Director: Jaime Ramírez Rodríguez
Doctor en Informática

2020

A mis padres Julio y Elizabeth,
A mi esposa Lilian,
A mi hijo Jesús David y al que está por llegar,
A mis hermanos Jair, Julio, Jorge y Josue,
Porque sin ellos, este trabajo no habría sido posible.

Agradecimientos

Al terminar esta grata e intensa trayectoria, llegan a mi memoria seres irremplazables a los que quiero expresar mi sincero agradecimiento, por su influencia positiva y directa en el desarrollo de la presente tesis.

Expreso mi agradecimiento imperecedero:

A Dios por las bendiciones recibidas, por haberme brindado la fuerza interior para tener fe, y por permitirme vivir esta gratificante experiencia.

A mi Director de Tesis, Jaime Ramírez Rodríguez, quien, con su disponibilidad, y calidad humana y profesional, ha hecho posible alcanzar esta meta. Además, resaltar que, su apoyo incondicional, confianza, paciencia y capacidad analítica han sido esenciales para direccionar este trabajo y poder convertirlo en una maravillosa realidad.

A Roberto, Robinson, Eric y Carolina por el excelente aporte que le brindaron a este interesante trabajo.

A mi esposa, Lilian por su apoyo constante, paciencia y comprensión durante todo este tiempo que no pude estar a su lado ni en el de mi hijo Jesús David. Gracias por estar siempre ahí, motivándome en esta aventura, y por escucharme hablar largas horas sobre un tema con ciertas complejidades de entender, pero apasionante de descubrir.

A mis queridos padres: Julio y Elizabeth; a mis hermanos, sobrinos y demás familiares, por estar pendiente de mi en todo momento, brindándome apoyo, comprensión y amor; por sus palabras de motivación y cariño, con las que lograron que los años lejos de casa, sean más llevaderos. Les debo tanto que, espero poder compensarlos en el transcurso de los días.

A la Universidad Estatal del Sur de Manabí y la Universidad Politécnica de Madrid por la oportunidad que me brindaron para formarme y aprender cosas significativas para mi crecimiento profesional.

Por último y no menos importante, mi agradecimiento a mis amigos/as que siempre me manifestaron frases motivadoras, de forma especial a Karlita González, por brindarme ese impulso inicial para emprender este reto y por sus permanentes comentarios motivadores.

A todos, ¡infinitas gracias!

Resumen

Muchos de los Sistemas Inteligentes de Tutoría (SITs) que se han desarrollado durante los últimos 20 años han demostrado ser bastante exitosos, particularmente en los dominios STEM. Estos sistemas producen ganancias de aprendizaje significativas más allá del entorno del aula, ya que son capaces de captar la atención y el interés de la mayoría de los estudiantes durante horas. En ese sentido, los investigadores han sumado esfuerzos para brindar herramientas en las que la tutoría permita tener un trato más cercano con el alumno, y conocer sus actitudes, y emociones. Algunos de esos esfuerzos han sido direccionados para promover la implementación de SITs capaces de mantener diálogos en lenguaje natural con los alumnos.

Aunque la literatura nos refiere algunos SITs con diálogo en lenguaje natural que han alcanzado un alto reconocimiento por su capacidad para interactuar con los alumnos mientras enseñan conceptos o dan soporte a la resolución de problemas, son muy pocos los SITs que utilizan escenarios de aprendizaje 3D en los cuales el alumno sea parte del escenario virtual a través de un avatar, y que además, estén dirigidos a desarrollar tareas procedimentales. Además, estos escasos SITs adolecen de una limitada capacidad de diálogo en lenguaje natural.

Así pues, a través de esta Tesis Doctoral, proponemos una arquitectura de referencia que incorpora un Sistema de Diálogo Tutorial (SDT), un SIT y un entorno virtual de entrenamiento procedimental cuyo objetivo es lograr un diálogo tutorial humano – computador lo más efectivo y natural posible.

Un aspecto sobresaliente de la solución propuesta será su capacidad para proporcionar una tutoría adaptada a las necesidades de cada alumno basada en su contexto. Es decir, el sistema propuesto podrá generar respuestas considerando el nivel de conocimientos del alumno, su grado de progreso en la práctica, la posición/orientación del avatar del alumno en el entorno virtual así como información sobre los elementos (áreas, objetos, materiales, maquinarias, etc.) que forman parte del entorno virtual. La información sobre el entorno virtual estará representada en una ontología. Para generar una respuesta contextual en un lenguaje lo más natural posible, utilizaremos una adaptación de un algoritmo, propuesto en otra Tesis Doctoral, para

generar indicaciones sobre la ubicación de un objeto que tiene en cuenta el tamaño, el color y el aspecto de otros objetos de referencia próximos al objeto buscado.

Para la construcción del SDT de la arquitectura propuesta hemos definido una metodología. En esta metodología se llevan a cabo cuatro fases, que incluyen diferentes actividades, siguiendo un ciclo de vida iterativo e incremental.

La capacidad del SDT para generar respuestas ha sido validada por medio de un prototipo que integra un laboratorio virtual 3D de biotecnología agroforestal como entorno de entrenamiento procedimental. Los resultados de las validaciones indican que la mayoría de las respuestas fueron clasificadas como correctas y un tercio de ellas fueron calificadas como incorrectas, es decir, no generaron la respuesta que se esperaba. De entre las incorrectas, cabe señalar que la mayoría no transmitieron un conocimiento erróneo al alumno sobre la práctica.

Abstract

Many of the Intelligent Tutoring Systems (ITSs) that have been developed over the past 20 years have proven quite successful, particularly in STEM domains. These systems produce significant learning gains beyond the classroom environment, as they are able to capture the attention and interest of most students for hours. In this sense, researchers have joined efforts to provide tools in which tutoring allows to have a closer treatment with the student, and to know their attitudes, and emotions. Some of these efforts has been directed to promote the implementation of ITSs capable of maintaining natural language dialogues with students.

Although literature refers to some ITSs with natural language dialogue that have achieved high recognition for their ability to interact with students while teaching concepts or supporting problem solving, very few ITSs use 3D learning scenarios in which the student is part of the virtual scenario through an avatar, and are also aimed at developing procedural tasks. In addition, these few ITSs have limited natural language dialogue capacity.

Thus, through this Ph. D. Thesis, we propose a reference architecture that incorporates a Tutorial Dialog System (TDS), an ITS and a virtual procedural training environment whose objective is to achieve a human-computer tutorial dialogue as effective and natural as possible.

An outstanding aspect of the proposed solution will be its ability to provide tutoring tailored to the needs of each student based on their context. That is, the proposed system can generate responses considering the level of knowledge of the student, their degree of progress in practice, the position/ orientation of the student's avatar in the virtual environment as well as information about the elements (areas, objects, materials, machinery, etc.) that are part of the virtual environment. Information about the virtual environment will be represented in an ontology. To generate a contextual response in a language as natural as possible, we will use an adaptation of an algorithm, proposed in another doctoral thesis, to generate indications about the location of an object that takes into account the size, color, and appearance of other reference objects to the searched object.

For the construction of the TDS of the proposed architecture we have defined a methodology. This methodology performs four phases, including different activities, following an iterative and incremental life cycle.

The TDS's ability to generate responses has been validated by a prototype that integrates a 3D biotechnology virtual laboratory as a procedural training environment. The results of the validations indicate that most of the responses were classified as correct and one third of them were classified as incorrect, i.e. they did not generate the expected response. Among the wrong ones, it should be noted that most did not pass on erroneous knowledge to the student about the practice.

ÍNDICE

Agradecimientos.....	iii
Resumen	iv
Abstract	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiv
TABLA DE ACRÓNIMOS	xv
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Contexto y Motivación	1
1.2. Objetivos Generales	3
1.3. Resumen de la Solución	3
1.4. Estructura del Documento	5
2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS Y TECNOLÓGICOS	7
2.1. Entornos de Aprendizaje por Computador	7
2.1.1. Entornos Virtuales 3D aplicados a la Educación	8
2.1.2. Sistemas Inteligentes de Tutoría	10
2.1.3. Arquitectura clásica de un Sistema Inteligente de Tutoría.....	10
2.1.4. Generaciones de Sistemas Inteligentes de Tutoría	13
2.2. Ontologías.....	16
2.2.1. Lenguaje de Ontología Web	17
2.2.2. Beneficios de una Ontología.....	18
2.2.3. Ontología del Mundo Virtual	19
2.2.4. Ontología del Estudiante.....	21
2.3. Sistemas de Diálogo.....	24
2.3.1. Movimiento de Diálogo.....	25
2.3.2. Tipos de Sistemas de Diálogo	26
2.3.3. Componentes de un Sistema de Dialogo.....	28
2.3.4. Enfoques para la Gestión del Diálogo.....	31
2.4. Sistemas de Diálogo en Sistemas Inteligente de Tutoría	35
2.5. Plataformas para crear un Sistema de Diálogo.....	37
2.5.1. Elementos para construir un Diálogo en las Plataformas.....	38
2.5.2. Principales Plataformas para crear un Sistema de Diálogo.....	38

2.5.3.	Watson Assistant	40
2.6.	Generación de Indicaciones en Lenguaje Natural para localizar Objetos	45
2.6.1.	Algoritmo para generar indicaciones para localizar objetos en un entorno virtual.....	45
2.6.2.	Algoritmo para seleccionar objetos de referencia.....	47
2.6.3.	Algoritmo para la selección de relaciones espaciales.....	52
3.	ESTADO DEL ARTE	54
3.1.	Aspectos Preliminares	55
3.2.	Metodología Aplicada	55
3.2.1.	Planificación	55
3.2.2.	Ejecución.....	57
3.3.	Resultados de la Revisión Sistemática.....	58
3.3.1.	Análisis	63
3.3.2.	Discusión	98
3.3.3.	Amenazas a la Validez.....	100
3.3.4.	Tendencias Futuras	101
3.4.	Análisis Crítico	101
4.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	104
4.1.	Definición del Problema.....	104
4.2.	Objetivos de la Tesis	105
4.3.	Supuestos de la Tesis	106
5.	SOLUCIÓN PROPUESTA.....	108
5.1.	Requisitos del Sistema Propuesto	108
5.2.	Arquitectura de Referencia Propuesta y Funcionamiento de los Componentes	109
5.2.1.	Entorno de Entrenamiento Procedimental.....	110
5.2.2.	Sistema Inteligente de Tutoría	111
5.2.3.	Sistema de Diálogo Tutorial.....	114
5.3.	Ejemplo de un Entorno de Entrenamiento Procedimental	114
5.3.1.	Descripción del Entorno	115
5.3.2.	Procedimiento para el Entrenamiento	116
5.4.	Algoritmo para integrar el Sistema de Diálogo en la Estrategia de Tutoría ..	117
5.4.1	Tratamiento del intento de acción.....	119
5.4.2	Tratamiento del enunciado del alumno.....	121

5.4.3	Tratamiento de la inactividad del alumno	123
5.5.	Estructura del Sistema de Diálogo Tutorial.....	125
5.5.1.	Elementos del Sistema de Diálogo	125
5.5.2.	Variables de Contexto	130
5.5.3.	Definición del Flujo del Diálogo.....	131
5.5.4.	Definición de los Nodos de Acciones del Procedimiento.....	133
5.6.	Extensiones de la Ontología del Mundo para dar soporte al Sistema de Diálogo.	138
5.7.	Rol del Módulo de Comunicación en la Generación de la Respuesta en Lenguaje Natural.....	140
5.7.1.	Generación de descripciones de objetos	140
5.7.2.	Generación de indicaciones para ubicar objetos.....	142
5.8.	Metodología para la Creación del Sistema de Diálogo Tutorial.....	147
5.8.1.	FASE 1: Especificación de los diálogos	148
5.8.2.	FASE 2: Análisis de los diálogos.....	156
5.8.3.	FASE 3: Implementación del Sistema de Diálogo Tutorial.....	159
5.8.4.	FASE 4: Integración con el SIT	162
6.	VALIDACIÓN	164
6.1.	Laboratorio Virtual de Biotecnología Agroforestal.....	164
6.1.1.	Protocolo de la práctica.....	166
6.1.2.	Tutor Automático	167
6.1.3.	Comunicación entre objetos	169
6.2.	Diseño del Prototipo	170
6.2.1.	Integración del Sistema de Diálogo Tutorial con el Laboratorio virtual de Biotecnología.....	170
6.2.2.	Aplicación de la metodología paso a paso	173
6.3.	Hipótesis del Experimento.....	201
6.4.	Procedimiento de la Evaluación.....	201
6.5.	Análisis de los Resultados.....	203
6.6.	Conclusiones.....	204
6.7.	Limitaciones del Experimento.....	205
7.	CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS	207
7.1.	Conclusiones.....	207
7.2.	Trabajos Futuros.....	210

8. BIBLIOGRAFÍA	212
9. ANEXOS	227
Anexo A.....	228
Anexo B	253

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Arquitectura clásica de un SIT	11
Figura 2.2. Estructura jerárquica de clases de la Ontología Mundo	20
Figura 2.3. Principales relaciones ad_hoc entre las ontologías modulares	22
Figura 2.4. Arquitectura general de un Sistema de Diálogo (McTear, 2002)	28
Figura 2.5. Implementación de un diálogo en Watson Assistant (IBM, 2018b).....	41
Figura 2.6. Representación de un nodo	42
Figura 2.7. Representación de un flujo de diálogo.....	43
Figura 2.8. Ejemplo de un flujo de diálogo	44
Figura 2.9. Esquema del modelo computacional para cálculo de saliencia general o visual (Lara, 2016)	48
Figura 3.1. Etapas y Actividades de una RSL	55
Figura 3.2. Proceso de selección de estudios primarios.....	57
Figura 3.3. Vista temporal de publicaciones por intervalos.....	61
Figura 5.1. Arquitectura de referencia propuesta	110
Figura 5.2. Vista de la bodega de materiales.....	115
Figura 5.3. Vista de la torre exterior.....	116
Figura 5.4. Diagrama General de la Estrategia de Tutoría	118
Figura 5.5. Secuencia de acciones para el tratamiento del intento de acción.....	119
Figura 5.6. Secuencia de acciones para el tratamiento del enunciado del alumno	121
Figura 5.7. Secuencia de acciones para el tratamiento de la inactividad del alumno ..	123
Figura 5.8. Esquema del flujo de diálogo	132
Figura 5.9. Funcionamiento de un nodo hijo de diálogo para una pista de acción siguiente.....	134
Figura 5.10. Funcionamiento de un nodo de diálogo para buscar una herramienta	135
Figura 5.11. Funcionamiento de un nodo padre que gestiona varios enunciados correctos para una misma acción	136
Figura 5.12. Funcionamiento de un nodo hijo de diálogo para una entrada no comprendida	137
Figura 5.13. Fases para la creación de un Sistema de Diálogo Tutorial.....	147
Figura 6.1. Laboratorio virtual de Biotecnología.....	165
Figura 6.2. Alumnos (avatares) recibiendo mensajes del tutor.	167
Figura 6.3. Ejemplo de acciones y sus dependencias.....	168

Figura 6.4. Ejemplo de secuencia de mensajes intercambiados entre el avatar y algunos objetos involucrados en la práctica.	169
Figura 6.5. Arquitectura del módulo de comunicación.	172
Figura 6.6. Estructura jerárquica de clases de la ontología	188
Figura 6.7. Instancias para el laboratorio virtual de biotecnología	189
Figura 6.8. Creación de la habilidad de diálogo para el laboratorio virtual de biotecnología.....	191
Figura 6.9. Creación de las intenciones de diálogo para el laboratorio virtual de biotecnología.....	192
Figura 6.10. Creación de las entidades de diálogo para el laboratorio virtual de biotecnología.....	192
Figura 6.11. Creación de las variables de contexto para el laboratorio virtual de biotecnología.....	193
Figura 6.12. Nodo común que procesa un saludo.....	194
Figura 6.13. Nodo que procesa una acción del procedimiento.....	194
Figura 6.14. Nodo que procesa una acción del procedimiento.....	195
Figura 6.15. Nodo que procesa una pregunta relevante.....	196
Figura 6.16. Nodo que procesa una frase fuera de contexto	196
Figura 6.17. Prueba de un nodo del SD	197
Figura 6.18. Usuario recibe pista para encontrar un fregadero	199
Figura 6.19. Usuario recibe pista para llegar a otra sala	200

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1. Características asociadas a las PIs	58
Tabla 3.2. Formulario de Extracción de Datos	59
Tabla 3.3. Resumen de las Características de los SITs	62
Tabla 3.4. Características esenciales de los SITs	67
Tabla 3.5. Propósito del diálogo de los SITs	71
Tabla 3.6. Características pedagógicas de los SITs	78
Tabla 3.7. Enfoque CLN de los SITs	84
Tabla 3.8. Evidencia en la evaluación de los SITs	91
Tabla 3.9. Evaluación de los SITs vs Métodos de aprendizaje tradicional	92
Tabla 3.10. Evaluación de las impresiones de los estudiantes sobre los SITs	96
Tabla 3.11. Evaluación de los Componentes de los SITs	97
Tabla 5.1. Intenciones definidas para el EFPE	125
Tabla 5.2. Entidades definidas para el EFPE	128
Tabla 5.3. Variables para el contexto	130
Tabla 5.4. Categoría de enunciados	152
Tabla 6.1. Clasificación de enunciados del laboratorio virtual de biotecnología	178
Tabla 6.2. Intenciones definidas para el laboratorio virtual de biotecnología	185
Tabla 6.3. Entidades definidas para el laboratorio virtual de biotecnología	186
Tabla 6.4. Variables para el contexto del laboratorio virtual de biotecnología	190
Tabla 6.5. Evaluación de las respuestas del SDT	203

TABLA DE ACRÓNIMOS

API	Application Programming Interface
BNM	Bayesian Network Model
BRO	Best Reference Object
CA	Agente Conversacional
CBL	Computer Based Learning Environment
CBM	Constraint Based Model
CLN	Comprensión de Lenguaje Natural
EEP	Entorno de Entrenamiento Procedimental
EFPE	Entorno virtual para la formación en medidas de protección en subestación eléctrica
EMT	Expectation and misconceptions Tailored
EPP	Equipo de Protección Personal
FSA	Finite State Automaton
GD	Gestor de diálogo
GLN	Generación de Lenguaje Natural
GS	General Saliency
IBM	International Business Machines Corporation
IS	Individual Saliency
ISU	Information state update
LSA	Latent Semantic Analysis
LUIS	Language Understanding Intelligent Service
MTT	Model-Trace Tutor
OWL	Web ontology language
PI	Pregunta de Investigación
PK	Prior Knowledge
PLN	Procesamiento de Lenguaje Natural
PR	Probabilidad de recuerdo
RDFS	Resource Description Framework Schema
RSL	Revisión Sistemática de Literatura

Sc	Saliencia de Color
SD	Sistema de Diálogo
SDT	Sistema de Diálogo Tutorial
SIT	Sistema Inteligente de Tutoría
SITDEP	Sistema Inteligente de Tutoría con Diálogo para Entorno Procedimienta
SoC	Saliencia de Contexto
Ssh	Saliencia de Forma
Ssi	Saliencia de Tamaño
STEM	Science, Technology, Engineering and Mathematics
UPM	Universidad Politécnica de Madrid

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1. Contexto y Motivación

La tutoría humana individualizada es considerada como la forma de instrucción más eficaz (Bloom, 1984). Los alumnos han incrementado en dos desviaciones estándar las ganancias de aprendizaje, cuando son instruidos por tutores humanos en comparación con la instrucción tradicional que reciben en el aula. Esta situación ha motivado a los investigadores a indagar cómo se puede incorporar la eficacia de las estrategias de tutoría humana en los Sistemas Inteligentes de Tutoría (SIT). Uno de los elementos críticos que favorecen la efectividad de la tutoría humana es el aspecto conversacional de la instrucción (Graesser, Person, & Magliano, 1995).

Los diálogos de tutoría se utilizan en SITs para simular los diálogos entre un estudiante y un tutor humano que ocurrirían en un entorno de clase. Utilizando el lenguaje natural para dialogar, el docente guía y corrige al alumno, brinda pistas cuando se da cuenta de que el alumno está estancado, proporciona apoyo motivacional, formula preguntas al alumno, solicita explicaciones al alumno para ver si realmente comprende el dominio que enseña, y proporciona retroalimentación positiva y negativa, incluyendo información sobre el dominio.

Las partes de los diálogos que van y vienen entre el alumno y el tutor se denominan “diálogos tutoriales”. Estos diálogos tutoriales sirven para muchos propósitos y utilizan diferentes estrategias comunicativas. La utilización de diálogos tutoriales entre humanos ha sido evaluada empíricamente y ha demostrado que mejora significativamente el aprendizaje, pues brindan oportunidades para que los estudiantes

reflexionen sobre sus conocimientos y construyan nuevos conocimientos (Olney, Graesser, & Person, 2010).

En general, los SITs basados en diálogos fomentan que los alumnos hablen la mayor parte del tiempo generando información relevante para la tutoría, y a la vista de esta información, les proporcionan pistas, indicaciones, elecciones forzadas y otros andamios pedagógicos.

El desarrollo de estos SITs ha demandado muchos esfuerzos y altos costes de implementación de su sistema de procesamiento del lenguaje natural. Aunque estos sistemas se han basado en enfoques simbólicos y estadísticos para la interpretación de los enunciados de los alumnos en el pasado, la tendencia en la actualidad va más en la línea de incorporar sistemas híbridos y reutilizar soluciones preexistentes a través de, por ejemplo, plataformas como servicios en la nube.

Aunque la literatura, como se demostrará en el capítulo 3, refiere algunos SITs basados en diálogo que han demostrado ser exitosos para la enseñanza de conceptos y la resolución de problemas en dominios STEM (*science, technology, engineering, and mathematics*), éstos se han apoyado en un entorno virtual de aprendizaje relativamente sencillo (imágenes, vídeos, rostros animados, etc.). Por otro lado, son escasos los SITs dirigidos al entrenamiento procedimental que utilizan entornos virtuales en los que se simula el mundo real con un aceptable grado de fidelidad. En este ámbito de aplicación, esta Tesis Doctoral pretende brindar un aporte original, como se argumentará en el análisis crítico del capítulo del estado del arte.

Esta tesis presenta una arquitectura de referencia que ha sido diseñada para poner en acción un Sistema de Diálogo (SD) y un SIT, mientras se realiza un entrenamiento procedimental utilizando un entorno virtual 3D. Consideramos que el entorno virtual es un recurso vital para la tutorización, debido a que el conocimiento que se genera en él es directo, personal, subjetivo y en primera persona, frente al conocimiento en tercera persona que se adquiere cuando ha sido enseñado de forma teórica por otros medios. Además, en esta clase de entornos, el alumno no solo puede realizar acciones correctas, sino también tiene la libertad para ejecutar otras acciones, que en unos casos serán irrelevantes y en otros impedirán la consecución de los objetivos de la práctica.

La solución propuesta en esta Tesis Doctoral está motivada por los resultados obtenidos de una Revisión Sistemática de Literatura (RSL) que llevamos a cabo en torno a los SITs con capacidad de diálogo en lenguaje natural, que indican la existencia de solo tres SITs dirigidos al entrenamiento procedimental. Por otro lado, solo dos SITs con capacidad de diálogo en lenguaje natural utilizan entornos virtuales 3D para la tutorización, de los cuales, solo uno de ellos pertenece al grupo de SITs procedimentales. Además, aunque las características de estos SITs guardan relación con nuestra propuesta, estos SITs trabajan con una noción del contexto para gestionar el diálogo tutorial con el alumno más pobre que la que proponemos en esta Tesis Doctoral.

Por esta razón, vimos interesante la idea de proponer una arquitectura de referencia y una metodología que permita construir un Sistema de Diálogo Tutorial (SDT) que se integre con un SIT de forma que pueda dialogar con el alumno, y por ende pueda brindarle ayudas/pistas o responder preguntas con arreglo a las necesidades de cada alumno. Además, se propone una arquitectura de referencia que sea aplicable a cualquier entorno virtual de entrenamiento que reúna las características especificadas en esta Tesis Doctoral.

1.2. Objetivos Generales

En base a lo anteriormente expuesto, se han derivado los siguientes objetivos que pretende alcanzar esta tesis:

- Diseñar una arquitectura de referencia que integre un entorno de aprendizaje procedimental, un SIT y un SDT basado en una de las plataformas actualmente disponibles para el desarrollo de este tipo de sistemas.
- Definir una metodología para el desarrollo de un SDT que se ajuste a la arquitectura de referencia propuesta.
- Validar la utilidad y la efectividad de la metodología propuesta por medio de un experimento con un SDT construido siguiendo esta metodología que sería utilizado en una práctica virtual.

1.3. Resumen de la Solución

La solución propuesta consiste en una arquitectura de referencia que incorpora un SD y un SIT para apoyar el diálogo tutorial, mientras se realiza un entrenamiento

procedimental en un entorno virtual. Aunque la literatura refiere muchos esfuerzos por parte de los investigadores en desarrollar por ellos mismos toda la infraestructura que necesitan para implementar un módulo de procesamiento del lenguaje natural, consideramos más sencillo y fructífero poder reutilizar componentes ya desarrollados que pudiesen interconectarse fácilmente entre sí. Por lo tanto, el SD que se propone está construido sobre la base de un servicio cognitivo de una plataforma de IBM Cloud, llamado Watson Assistant.

Durante la gestión del diálogo tutorial el SD se encargará de proporcionar una tutoría adaptada a las necesidades de cada alumno. De manera específica, podrá generar dos tipos de respuestas en lenguaje natural: 1) automáticas, y 2) basadas en información sobre el entorno virtual.

Las respuestas automáticas son generadas por el propio SDT y tienen que ver con aspectos generales o comunes de los diálogos como saludos/despedidas, o con la indicación de pistas sobre la tarea a realizar bajo demanda del alumno o cuando el SIT considera que el alumno las necesita (p.e., por excesiva inactividad).

En cambio, las respuestas basadas en información del entorno virtual son generadas en el módulo de comunicación del SIT en base a la información contextual y los elementos del enunciado del alumno (intenciones y entidades) que le envía el SDT tras analizar dichos enunciados. Para ello, nos apoyamos en dos ontologías, una ontología que almacena la información del entorno virtual, y otra, para modelar al estudiante, especialmente sus conocimientos y su comportamiento durante la práctica. Gracias a la información disponible en estas ontologías será posible generar respuestas con arreglo a la ubicación/orientación del avatar del alumno en el momento del diálogo, el nivel de conocimientos demostrado por el alumno, así como su progreso durante el desarrollo del procedimiento. En este sentido, hablaremos de un diálogo basado en el contexto del alumno, entendiendo por contexto toda la información mencionada anteriormente.

Para que la respuesta que se genera en base al entorno del alumno sea lo más natural posible, utilizaremos una adaptación del algoritmo propuesto en la Tesis Doctoral de Graciela Lara (Lara, 2016), que sirve para generar indicaciones sobre la ubicación de un objeto tomando de referencia aspectos tales como el tamaño, el color y la forma de otros objetos cercanos al que se desea localizar.

En esta Tesis Doctoral se definen de forma general las características que deben reunir los componentes de la arquitectura de referencia propuesta, así como se plantean algunas directrices de diseño para algunos de estos componentes.

Asimismo, se propone una metodología para construir un SDT de tal manera que pueda ser integrado con un SIT orientado al entrenamiento procedimental en un entorno virtual con las características reflejadas en la arquitectura de referencia propuesta. Esta metodología está compuesta por cuatro fases, que incluyen actividades específicas para cada fase, que siguen un ciclo de vida iterativo e incremental. En la primera fase se realiza la especificación de los diálogos; en la segunda se lleva a cabo un análisis de los diálogos; en la tercera se realiza la implementación del SDT; y en la cuarta se realiza la integración del SDT con el SIT.

La metodología propuesta fue validada por medio de un prototipo construido siguiendo esta metodología, que fue utilizado en un experimento con alumnos de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes de la UPM. Asimismo, este prototipo incorpora un laboratorio virtual 3D que sirve de base para explicar cómo se puede construir un SDT siguiendo la metodología propuesta.

Gracias a los *logs* de las conversaciones registradas a través del chat del laboratorio virtual, se pudo validar la generación de las respuestas tanto automáticas como las que se generan en base a la información de la ontología. Los resultados de las pruebas muestran un número mucho mayor de respuestas correctas que incorrectas. Para estudiar mejor la tipología de las respuestas incorrectas, se clasificaron en leves (errores de comprensión del SDT sin transcendencia en el desarrollo de la práctica) y graves (transmiten un conocimiento erróneo al estudiante respecto a la tarea).

1.4. Estructura del Documento

La presente Tesis Doctoral está organizada en siete capítulos. El primer capítulo sirve de introducción al trabajo de investigación y es el presente capítulo.

El segundo capítulo está dedicado a definiciones teóricas y tecnológicas para abordar conceptos sobre los entornos de aprendizaje por computador, los entornos virtuales 3D aplicados a la Educación, así como los SITs con especial énfasis en los componentes de su arquitectura clásica. Además, incluimos conceptos relacionados con las ontologías,

así como los sistemas de diálogo para los que se aborda su tipología, componentes, y enfoques para la gestión de diálogo. Finalmente, describimos cómo los sistemas de diálogo se han incorporado en los SITs; algunas plataformas que se utilizan para construir sistemas de diálogo; y el método para realizar la generación de indicaciones en entornos virtuales, presentado en la Tesis Doctoral de Graciela Lara (Lara, 2016).

El tercer capítulo presenta el estado del arte derivado de una Revisión Sistemática de la Literatura (RSL) sobre los SITs presentados en las dos últimas décadas que utilizan diálogo en lenguaje natural durante el proceso de tutoría. En dicha RSL se indaga sobre el tipo de SIT y sus características tanto esenciales como pedagógicas; el propósito para el cual utilizan el diálogo; el enfoque de comprensión del lenguaje natural utilizado para analizar los enunciados de los alumnos; y el tipo de evaluación al que han sido sometidos la mayoría de ellos para validar la eficacia de su proceso tutorial. Además, mostramos un análisis crítico sobre los hallazgos reportados por la RSL, que sirve motivar la presente Tesis Doctoral.

En el cuarto capítulo se detallan los objetivos específicos y los supuestos o premisas del trabajo.

El quinto capítulo está dedicado a la solución que hemos propuesto para poder alcanzar los objetivos mencionados en el capítulo anterior, y que es el principal aporte del presente trabajo. Por lo tanto, se presentan las características del sistema propuesto; su arquitectura de referencia; un algoritmo para integrar el SDT de la arquitectura propuesta en la estrategia de tutoría; los elementos y la estructura del flujo de diálogo existentes en el SDT de la arquitectura propuesta; las extensiones que se han realizado en la ontología del mundo para generar las indicaciones basadas en el contexto; y por último, la metodología que se debe seguir para la construcción del SDT de la arquitectura propuesta y su integración con el SIT de la arquitectura propuesta.

El sexto capítulo muestra, en primer lugar, una descripción del entorno virtual de entrenamiento procedimental que hemos tomado como punto de partida para poner en práctica la solución propuesta y demostrar su utilidad y efectividad. Posteriormente se presentan los resultados de la validación del prototipo para el dominio de aplicación contemplado.

Y, finalmente, el séptimo capítulo presenta las conclusiones obtenidas de esta investigación y la propuesta de líneas futuras que ha surgido con motivo de la presente Tesis Doctoral.

CAPÍTULO 2

FUNDAMENTOS TEÓRICOS Y TECNOLÓGICOS

En este capítulo presentamos una visión general de los fundamentos teóricos y tecnológicos sobre los que se ha sustentado el trabajo de esta tesis. Para tal efecto, se muestran algunos de los principales aspectos relacionados con la tecnología informática a través de los Entornos de Aprendizaje por Computador, con especial énfasis en los Sistemas Inteligentes de Tutoría. De igual manera, también se abordan los conceptos concernientes a las ontologías y los Sistemas de Diálogo que son elementos de interés para esta investigación.

2.1. Entornos de Aprendizaje por Computador

Los Entornos de Aprendizaje por Computador o *Computer based learning environment* (CBLE) son sistemas computacionales que están alineados con las teorías que sustentan el aprendizaje (Lajoie & Naismith, 2012). Por lo tanto, los CBLEs están diseñados para ayudar a los estudiantes durante el proceso de su aprendizaje, brindándoles oportunidades para usar sus conocimientos en contextos complejos y actividades o situaciones significativas (Lajoie & Azevedo, 2006).

Los CBLEs son específicos de dominio, pero su formato de instrucción varía (práctica, basados en problemas, inmersivos, basado en casos, etc.) según las teorías incorporadas en su diseño. Sin embargo, se han diseñado entornos de aprendizaje para cubrir una amplia variedad de disciplinas, para estudiantes de diferentes niveles

educativos e incluso para abordar el aprendizaje no formal en el mundo real y la práctica profesional.

A través de los CBLEs se pueden proporcionar experiencias de aprendizaje *in-situ*, donde los alumnos interactúan con situaciones complejas que implica la resolución de problemas, utilizando multimedia (por ejemplo, texto, video, animaciones y diagramas). Además, los CBLE pueden proporcionar un andamiaje a los estudiantes en el contexto de su aprendizaje al proporcionar una asistencia tecnológica adaptativa en forma de tutoría informática (por ejemplo, con sistemas de tutoría inteligente) o agentes pedagógicos, y así, ayudar a satisfacer diferentes necesidades de aprendizaje individuales (Moreno & Mayer, 2007).

Dado que el objetivo de los CBLEs actuales es situar el aprendizaje en entornos auténticos, significativos y atractivos, estos sistemas han evolucionado como resultado de: la incorporación de técnicas de Inteligencia Artificial en la práctica educativa, dotándola, por ejemplo, de técnicas de lenguaje natural y diálogo; y el control de las emociones para crear experiencias de aprendizaje efectivas. Un área particular de la presente investigación es el uso de técnicas y/o herramientas para la generación de diálogo en lenguaje natural en un CBLE.

2.1.1. Entornos Virtuales 3D aplicados a la Educación

Un entorno virtual de aprendizaje facilita el desarrollo de procesos de incorporación de habilidades y saberes mediante sistemas telemáticos, a través de un espacio con acceso restringido. Por lo tanto, un alumno puede acceder a un entorno virtual y desarrollar una serie de acciones que son propias de un proceso de enseñanza presencial, ofreciendo la posibilidad de practicar la tarea en el mundo virtual de manera que esas habilidades puedan transferirse al mundo real (Saračević, 2014).

Un entorno virtual 3D permite el diseño y la realización de actividades didácticas prácticas, contextualizadas y basadas en problemas reales que pueden ser introducidas en la formación impartida en las aulas, y realizadas de manera colaborativa por los estudiantes bajo la dirección del profesor.

Según los autores Eseryel et al., (2012), Olasoji & Henderson-Begg (2010), Wilson et al. (2008), los entornos 3D tienen algunas características para propiciar numerosas potencialidades en la educación, entre ellas: la interactividad y la sensación de

inmersión, la colaboración y la motivación. Para que estos escenarios sean atractivos y efectivos es necesario que su diseño tenga en cuenta la similitud a la realidad y la navegación dentro del entorno; para que, el usuario entienda qué debe hacer y por dónde debe desplazarse.

Los entornos virtuales 3D pueden ser simuladores donde interviene un solo usuario o entornos multiusuarios conocidos como mundos virtuales. Estos últimos, según Papadopoulos et al., (2013) se definen como “una red síncrona y persistente de personas, representadas por avatares, implementado por medio de una red de computadores”.

Los primeros mundos virtuales no tenían características 3D. El primero de estos entornos fue MultiUser Dungeons (Bartle, 2003). Desde entonces, los mundos virtuales han evolucionado gracias a la industria de los videojuegos. Con el pasar de los años, los entornos virtuales han ido ganándose un espacio entre los CBLEs, ya que desde un punto de vista constructivista existen buenas razones para utilizar estos entornos con fines educativos (Dalgarno, 2002).

A través de la utilización de estos mundos 3D se ofrece al alumno la posibilidad de “aprender haciendo” proporcionando herramientas, estrategias y entornos virtuales en los que se hace posible poner en práctica la teoría y reforzar los conocimientos asimilados previamente.

Según Saračević (2014), en la actualidad, es posible diferenciar los siguientes tipos de entornos virtuales:

- Espacios compartidos.
- Entornos basados en texto. Como Multi-User Dungeons (MUD)
- Entornos multiusuarios orientados a objetos (MOO – MUD Orientado a Objetos).
- Chats multiusuario (MUC).
- Juego de rol en línea multijugador masivo (MMORPG).
- Entornos interactivos multiusuario 2D y 3D.

Existen plataformas para la creación de mundo virtuales, como: Second Life u OpenSim, que simulan espacios físicos en 3D, similares a la realidad o no, y que permiten a los usuarios a través de sus avatares, interactuar entre sí y con el entorno, y utilizar, crear e intercambiar objetos (Esteve & Gisbert, 2013), (Atkins, 2009).

De acuerdo con lo expresado por Dalgarno & Lee (2010), los entornos 3D permiten:

1. Desarrollar tareas de enseñanza que conducen al desarrollo de una mejor representación del conocimiento espacial del dominio explorado.
2. Facilitar tareas de aprendizaje experimental que serían poco prácticas o imposibles de realizar en el mundo real.
3. Promover tareas de aprendizaje que incrementen la motivación intrínseca y el compromiso de los estudiantes.
4. Encauzar tareas de enseñanza que mejoren la transferencia de conocimiento y habilidades a situaciones reales a través de la contextualización del aprendizaje.
5. Facilitar tareas que conlleven un aprendizaje colaborativo más efectivo que el que es posible con sistemas de educación 2D.

2.1.2. Sistemas Inteligentes de Tutoría

Los Sistemas Inteligentes de Tutoría (SITs) son programas de computadora que brindan una instrucción adaptada a las necesidades de cada estudiante; es decir, realizan funciones inherentes al proceso de tutoría (presentan información que debe aprenderse, formulan preguntas o asignan tareas, proporcionan retroalimentación, etc.) para causar un cambio cognitivo y motivador en el estudiante.

El objetivo de un SIT es dar a la computadora la capacidad de involucrarse en el proceso de enseñanza usando técnicas de Inteligencia Artificial. El centro es el estudiante, donde la computadora se transforma en un instructor dinámico en lugar de un vehículo estático de información.

El término SIT tiene su origen en la publicación de Carbonell (1970) en el que se detalla un sistema llamado Scholar. Este sistema consiste en un conjunto de programas que utilizan una representación semántica del conocimiento del alumno para crear un diálogo con él. Más tarde, Sleeman & Brown (1982) enumeraron las características principales que debe tener un SIT, precisando las siguientes: adaptativo al estudiante, capaz de intercambiar el control con el alumno, y conocimiento del dominio específico que se desea enseñar.

2.1.3. Arquitectura clásica de un Sistema Inteligente de Tutoría

A partir de estas ideas, Wenger (1987) presentó una arquitectura de referencia para un SIT (Figura 2.1), compuesta de cuatro módulos: comunicación, tutoría, estudiante y experto.

Figura 2.1. Arquitectura clásica de un SIT

En la arquitectura de Wenger, los módulos tienen las siguientes responsabilidades:

El **módulo de comunicaciones** determina cómo los estudiantes usan e interactúan con el sistema. Contiene la interfaz gráfica de usuario. También contiene conocimientos y reglas sobre los tipos de comunicación con el estudiante. Su diseño debe responder a la pregunta “¿Cómo se debe presentar el material al alumno?”. Por ejemplo, le proporciona al estudiante el problema (si es un escenario de resolución de problemas) y un espacio de trabajo para que elabore la solución. Por lo tanto, la interfaz debe ser intuitiva para que permita al estudiante comprender fácilmente el objetivo y el contexto de la situación actual.

El **módulo de tutoría** es el responsable de todas las decisiones de enseñanza dentro del SIT. Utiliza información de otros módulos (como el módulo del experto y el modelo del estudiante) para determinar qué acción se debe tomar a continuación. Estas acciones varían en su naturaleza dependiendo de los objetivos pedagógicos que el autor quiera alcanzar. Este módulo es responsable de las acciones de bajo nivel (¿qué debería hacer el sistema en este momento?), así como de las de alto nivel (¿qué actividad se le debe dar al estudiante a continuación?). El módulo de tutoría alberga las estrategias pedagógicas que determinan las decisiones que afectan al aprendizaje del estudiante. Debido a la

dificultad de agregar nuevas estrategias, la mayoría de los SIT solo tienen una estrategia pre-establecida para cada decisión que deben tomar. Por ejemplo, puede que solo haya una estrategia para decidir qué recibe el estudiante a continuación; puede haber muchas variables de las que esto depende (como el conocimiento actual del estudiante), pero aun así, solo una estrategia.

El **módulo del estudiante** contiene una representación del nivel de conocimientos y las habilidades del estudiante dentro de un determinado dominio. Asimismo, debe contener todas las fortalezas y debilidades del estudiante en ese dominio para que se puedan tomar decisiones pedagógicas precisas a partir de ellas. Cuanto más preciso sea el modelo del estudiante, mejores serán las decisiones pedagógicas. Cabe señalar que no es útil modelar todo sobre el alumno, sino únicamente lo que el SIT puede utilizar para enseñar (Self, 1990).

Existen dos tipos de modelos del estudiante: el modelo a largo plazo y el modelo a corto plazo. El modelo a largo plazo contiene la representación de todas las interacciones del estudiante con el sistema y, por lo tanto, puede inferir una estimación de su dominio de los conceptos objeto de estudio. El modelo a largo plazo se puede utilizar para tomar decisiones pedagógicas más importantes, como elegir el siguiente tema o problema que el estudiante debe abordar. Por otra parte, el modelo a corto plazo solo contiene las representaciones de las interacciones más recientes del estudiante con el sistema. Este modelo a corto plazo se utiliza para brindar retroalimentación específica sobre lo que el estudiante está haciendo en ese momento.

Dado que el modelado de los estudiantes es un elemento central del diseño de los SITs, los investigadores han adoptado distintos enfoques dependiendo de cómo se represente el modelo del estudiante. En este sentido, en (Ma et al., 2014) se propone la siguiente clasificación para los modelos del estudiante: modelo basado en el rastreo (*Model-Trace Tutor*, MTT), modelo basado en restricciones (*Constraint based Model*, CBM), modelo de red bayesiana (*Bayesian Network Model*, BNM) y adaptación según las expectativas y los conceptos erróneos (*Expectation and misconceptions tailored*, EMT). A continuación, explicaremos brevemente cada enfoque.

En el MTT, el conocimiento del dominio se captura a través de reglas, y se requiere que el modelo del estudiante “rastree” la entrada del estudiante y encuentre una secuencia de ejecuciones de reglas cuyo resultado final coincida con las contribuciones del estudiante (Koedinger et al., 1997). Para proporcionar la entrada, las operaciones o

acciones que puede realizar el estudiante están disponibles en la interfaz de usuario, de tal forma que le permiten al estudiante avanzar hacia la solución del problema.

En el CBM, el conocimiento del dominio se representa como un conjunto de restricciones, y el modelo del estudiante tiene que identificar las restricciones que el estudiante viola durante la resolución del problema (Mitrovic et al., 2007). Este tipo de SITs es particularmente adecuado para dominios mal definidos en los que podría haber muchas soluciones posibles al mismo problema.

En BNM, el modelo de estudiante contiene conexiones causales entre piezas de conocimiento del dominio objeto de estudio y las acciones observables de los estudiantes. Además, cada parte del conocimiento del dominio objeto de estudio tiene una probabilidad asociada que representa el grado de certeza que tiene el SIT de que el estudiante conoce ese conocimiento (Conati et al., 2002).

En EMT, el modelo del estudiante representa un conjunto de datos faltantes en una respuesta esperada y un conjunto de errores o conceptos erróneos expresados por el estudiante hasta el momento (Graesser et al., 2005).

El **módulo experto** contiene conocimiento sobre el dominio objeto de estudio. En entornos de resolución de problemas, el módulo experto a menudo puede resolver un problema dinámicamente, por lo que a veces se le denomina solucionador de problemas. En ese caso, el sistema puede verificar las diferencias entre la solución del estudiante y la obtenida por el modelo experto y dar retroalimentación cuando difieren entre sí.

2.1.4. Generaciones de Sistemas Inteligentes de Tutoría

Desde el trabajo publicado por Wenger hasta la actualidad, los SITs han experimentado avances notables, hasta tal punto que en el estudio de Gonzalez (2004) se los ha podido clasificar en diferentes generaciones:

Primera generación: *CBM*. Centrados en el estado de la interfaz, con relación a la información que se muestra/oculta, gráficos, ayudas, etc.

Segunda generación: *MTT/Cognitive Tutors*. Centrados en las acciones del estudiante y las reglas que generan la solución correcta a una tarea propuesta basada en un modelo mental del estado cognitivo (y de la memoria de trabajo) del alumno.

Tercera generación: *Dialogue Based Tutors* (Tutores basados en diálogo-lenguaje natural): Centrados en la comunicación con el alumno a través del dialogo. Las ayudas,

las explicaciones a los ejercicios, críticas y discusiones sobre un tema o problema se realizan por medio del diálogo entre el sistema y el alumno.

Las generaciones descritas han hecho posible observar distintas modalidades y recursos, en los que un SIT se apoya para lograr sus objetivos. Por ejemplo:

- Los sistemas de tutoría basados en la simulación involucran a los estudiantes en entornos dinámicos receptivos en lugar de presentar contenido verbal y gráficamente solo (Fournier-Viger et al., 2008).
- Los sistemas de tutoría basados en juegos en mundos virtuales (Johnson, 2010) y algunos sistemas de tutoría robótica físicamente incorporados tienen enfoques muy sofisticados para usar multimedia.
- Los tutores de matemática basados en problemas, como ASSISTMents (Razzaq, Heffernan et al., 2007), ALEKS (Craig et al., 2013) y el Tutor cognitivo (Ritter et al., 2007), generalmente son conectados a imágenes de texto y gráficas, pero utiliza algoritmos avanzados de inteligencia artificial para generar problemas, sugerencias y comentarios.
- Los sistemas de tutoría de lenguaje natural brindan tutoría de manera conversacional para enseñar conceptos y resolver problemas mediante la interacción de turnos de conversación. En el caso de AutoTutor (Graesser et al., 2012), utilizan un agente (cabeza parlante) que entabla un diálogo cara a cara con el alumno. Los agentes pueden ayudar al alumno a comprender y utilizar otros medios, como diagramas y simulaciones integradas en un mundo virtual (Graesser et al., 2005), (Johnson et al., 2000).

Generalmente, los SITs brindan retroalimentación y sugerencias en cada paso del proceso de resolución de problemas. En algunos casos, la retroalimentación y las sugerencias se muestran inmediatamente cada vez que el alumno realiza un paso (Gertner & VanLehn, 2000), (Ritter et al., 2007), mientras que en otros casos, el SIT espera hasta que el alumno ha presentado una solución completa (Mitrovic & Ohlsson, 1999).

Además, los SITs han demostrado ser efectivos para promover el aprendizaje porque continuamente evalúan el conocimiento del alumno y adaptan la instrucción de una manera sensible a los alumnos individuales. Por ejemplo, VanLehn (2011) comparó la efectividad de los sistemas basados en respuestas, los SITs basados en pasos y la tutoría humana para promover el aprendizaje más allá de los controles de instrucción en los que

se enseñan el contenido equivalente sin tutoría, y los resultados mostraron que el efecto medio de los SITs basados en pasos fue impresionante, de 0.76σ (Cohen's d) en relación al efecto del tutor humano de 0.79σ .

2.2. Ontologías

Una ontología desempeña un papel clave al momento de proporcionar un vocabulario que comprende definiciones inequívocas de términos que pueden servir de soporte formal para la comunicación entre agentes de software. Una ontología se caracteriza por: proporcionar un mecanismo de comunicación tanto para usuarios como para agentes de software; definir claramente la semántica para diferentes dominios; y ayudar a crear una base de conocimiento para trabajar en un dominio en particular. Studer et al., (1998) el término ontología, se refiere a “una especificación formal y explícita de una conceptualización compartida”. La *conceptualización* se refiere a un modelo abstracto que permite describir algo relevante en el mundo, para el cual se utilizan normalmente conceptos, propiedades y restricciones. Que sea *compartida* refleja la noción de que una ontología captura el conocimiento consensuado; es decir, no es privado para algunas personas, sino aceptado por un grupo. Por lo tanto, las entidades del modelo abstracto deben describirse *explícitamente*, de tal manera que, la ontología cubra tanto como sea posible el fenómeno del mundo a representar. Y finalmente, que sea *formal* se refiere a que la ontología sea comprensible para un ordenador, es decir, que esté disponible en un lenguaje formal, como el esquema marco de descripción de recursos (RDFS) o el lenguaje de ontología web (OWL) que se pueden procesar fácilmente.

Según Gruber, (1995), las ontologías se componen de:

Conceptos. Pueden ser cualquier cosa sobre la cual se pueda aseverar algo. Por lo tanto, puede ser un objeto físico, la descripción de una tarea, acción, estrategia, etc. Los conceptos se describen a partir de propiedades que representan los atributos, características, relaciones y correspondencias entre los conceptos.

Atributos. Representan propiedades de los conceptos relevantes en el dominio de aplicación.

Relaciones. Representan un tipo de interacción entre los conceptos de una determinada parte del mundo real. Se definen como: $R: C_1 \times C_2 \times \dots \times C_n$ en donde C_i denota un concepto.

Funciones. Son un caso especial de relaciones donde el n-ésimo elemento de la relación es único para los n-1 anteriores. Se definen como: $F: C_1 \times C_2 \times \dots \times C_{n-1} \rightarrow C_n$

Axiomas. Definen fórmulas que vinculan elementos de la ontología con condiciones que siempre deber ser satisfechas.

Instancias. Representan elementos identificables que constituyen los individuos concretos que represente la ontología. Cada instancia representa un caso particular de un concepto.

2.2.1. Lenguaje de Ontología Web

Para la creación de ontologías existen distintos lenguajes formales, entre los cuales se escogió el Lenguaje OWL para la implementación de la ontología mundo y de la ontología estudiante, que se describirán más adelante en este capítulo, dada su relevancia para esta Tesis Doctoral.

El OWL es un lenguaje de etiquetado semántico para publicar y compartir ontologías en la Web. Se trata de una recomendación del W3C, y puede usarse para representar ontologías de forma explícita, es decir, permite definir el significado de términos en vocabularios y las relaciones entre aquellos términos. Surge como respuesta a las limitaciones que tienen RDF y RDFS, al definir predicados binarios, una jerarquía de subclases y una jerarquía de propiedades con sus respectivas definiciones de dominios y rangos. OWL, en comparación con RDFS, satisface mejor los principales requisitos que debe reunir un lenguaje de ontologías, por ejemplo: una sintaxis bien definida; un soporte para realizar inferencia de forma eficiente; una semántica formal; y una suficiente capacidad expresiva.

Sublenguajes de OWL

OWL proporciona tres sublenguajes, OWL Lite, OWL DL y OWL Full, cada uno con un nivel de expresividad mayor que el anterior, diseñados para utilizarse por comunidades de desarrolladores y usuarios. A continuación, se describen brevemente estos sublenguajes:

OWL Full representa la totalidad del lenguaje OWL y usa todas las primitivas del lenguaje, así como la combinación libre de estas con RDF y RDFS. OWL es completamente compatible hacia arriba con RDF, sintáctica y semánticamente, lo que significa que cualquier documento RDF válido es también un documento OWL Full válido.

OWL DL denominado Lógica Descriptiva, es un sublenguaje de OWL Full que restringe los constructores de OWL Full y RDF que pueden ser usados. Consiste

básicamente en deshabilitar la aplicación de ciertos constructores de OWL Full para que el lenguaje resultante se corresponda con una lógica descriptiva bien estudiada, permitiendo de este modo realizar razonamiento de forma eficiente. Además, se pierde la total compatibilidad con RDF.

OWL Lite restringe aún más el OWL DL a un subconjunto de constructores del lenguaje OWL, excluyendo las clases enumeradas, declaraciones de clases disjuntas y la cardinalidad arbitraria de las propiedades. De esta manera, queda un lenguaje más simple, menos expresivo, pero más fácil de comprender y aplicar por parte de los usuarios.

Los tres sublenguajes de OWL usan la sintaxis de RDFS. Las instancias son declaradas como en RDFS, usando descripciones RDF y añadiendo información. Los constructores propios de OWL como `owl:Class`, `owl:DatatypeProperty` y `owl:ObjectProperty` son especializaciones de sus homólogos en RDFS.

2.2.2. Beneficios de una Ontología

En las ontologías es posible encontrar algunos beneficios relacionados con: la comunicación, la interoperabilidad y el razonamiento automático.

Comunicación. Las ontologías reducen las confusiones de tipo conceptual y terminológico; de esta manera, habilitan el entendimiento compartido y la comunicación entre personas, organizaciones y aplicaciones con diferentes necesidades y puntos de vista sobre un contexto particular. Esto es posible gracias a los modelos normativos los cuales permiten agregar semántica a un sistema determinado y crear un modelo extensible que puede ser refinado posteriormente y que permite transformaciones semánticas entre diferentes contextos (Uschold & Gruninger, 1996).

Interoperabilidad. La interoperabilidad es la condición que facilita el intercambio de proceso y datos en los sistemas heterogéneos. Para manejar la interoperabilidad, las ontologías se utilizan para dar soporte a traducciones entre diferentes lenguajes y representaciones, es decir, la ontología puede funcionar como traductora permitiendo la interoperabilidad entre dos aplicaciones de software (Uschold & Gruninger, 1996).

Razonamiento automático. Las ontologías resultan muy útiles para facilitar el razonamiento automático, es decir, no requieren de la intervención humana. A partir de unas reglas de inferencia, un motor de razonamiento puede usar los datos de las

ontologías para inferir conclusiones de estos. Se considera que la validación de los datos es una de las aplicaciones más importante del razonamiento automático. Además, se puede utilizar también para establecer relaciones entre ontologías, para descubrir relaciones ocultas o inesperadas entre los datos y para integrar esquemas de bases de datos (Viinikkala, 2004).

Además, la utilización de las ontologías facilita a los usuarios la organización y estructuración de la información de manera que, los agentes de software puedan interpretar el significado y, por ende, puedan buscar e integrar datos con mayor precisión. Gracias al conocimiento almacenado en las ontologías, las aplicaciones, entre otras acciones, podrán: extraer automáticamente datos, procesarlos y sacar conclusiones de ellos, así como tomar decisiones y negociar con otros agentes y personas (Pedraza-Jimenez et al., 2007).

En esta sección vamos a presentar dos ontologías que se utilizarán como parte de la solución propuesta, estas son: la ontología del mundo y la ontología del estudiante, que se explican en las secciones 2.2.3 y 2.2.4

2.2.3. Ontología del Mundo Virtual

Esta ontología está diseñada para representar el conocimiento semántico acerca de la estructura de un mundo virtual y los objetos que forman parte de él. Aunque esta ontología podría ser utilizada en distintos dominios de aplicación, inicialmente fue concebida para dar soporte al proceso de aprendizaje de un alumno dentro de un mundo virtual. Esta ontología fue desarrollada en el Proyecto ENVIRA financiado por el Ministerio de Educación y Ciencia (de Antonio, 2006), y es capaz de representar, *grosso modo*, por un lado, la descomposición del entorno en diferentes espacios (salas) y las conexiones que hay entre ellos; y por otro lado, información semántica (p.e. descripciones) y geométrica sobre los objetos que hay en cada una de las salas, así como ciertas relaciones espaciales entre ellos. Asimismo, también es posible representar trayectorias dentro del mundo virtual, en las que se pueden incluir puntos de interés.

Como podemos observar en la Figura 2.2, la información en la ontología mundo se detalla de manera jerárquica en clases.

En la ontología todos los objetos que constituyen el entorno virtual de aprendizaje se han definido como instancias de subclases de la clase *ManipulableElement*, que como se

puede ver en la Figura 2.2, es una subclase de la clase *ContentElement*, que a su vez es subclase de *ObjectWithGraphicRepresentation*.

Figura 2.2. Estructura jerárquica de clases de la Ontología Mundo

Para guardar los datos geométricos referentes a los objetos (incluidos los avatares de los estudiantes) se definieron las propiedades de: tamaño (*scaleX*, *scaleY*, *scaleZ*), orientación (*orientationX*, *orientationY*, *orientationZ*) y posición (*absolutePositionX*, *absolutePositionY*, *absolutePositionZ*). Para manejar información visual sobre los objetos se disponen también de las propiedades *shape* y *color*.

Por otro lado, los objetos cuentan con varias propiedades (p.e. *saliency*, *sizeSaliency*, etc.) para describir distintos aspectos relativos a la saliencia de un objeto en el entorno virtual, que, como se explicará en el apartado 5.4.2., serán de utilidad para generar las indicaciones para localizar los objetos en el entorno virtual.

Para el establecimiento de las relaciones espaciales entre los objetos, cuenta con la propiedad *hasSpatialRelation* y sus subpropiedades, por ejemplo: *above*, *away*, *behind*, *below*, *inFrontOf*, *nearOf*, *toTheLeft*, *toTheRight*, etc.

Además, es posible representar los espacios que integran un entorno virtual mediante la clase *Area*. Por ejemplo, las salas se representan mediante la subclase *Room* perteneciente a la Clase *Area*. Para cada instancia de la clase *Room* es posible definir sus vértices asociándole una superficie a dicha instancia.

Con la información almacenada en la ontología y el uso de reglas de inferencia, se hace posible resolver una gran variedad de consultas, tales como:

- Las relaciones geométricas existentes entre los objetos/herramientas del entorno virtual, por ejemplo: determinar si un objeto está dentro de otro, o si un objeto está encima de otro. Por ejemplo:
 - El vaso está dentro de la vitrina.
 - Las señaléticas están encima del armario.
- La posición del avatar de alumno/objeto en relación con los espacios del entorno virtual, por ejemplo: determinar dónde se encuentra el alumno o algún objeto con relación a los espacios del entorno. Por ejemplo:
 - El alumno está en la sala principal.
 - El equipo de protección está en la bodega de materiales.

2.2.4. Ontología del Estudiante

Esta ontología está diseñada para representar los diferentes tipos de conocimientos necesarios para el modelado de un estudiante dentro de un SIT. A través de este conocimiento, es posible adaptar el proceso de tutoría acorde a las necesidades de cada estudiante.

La ontología fue modelada en la Tesis Doctoral de Julia Clemente (Clemente, 2010) y, como se puede observar en la Figura 2.3 está dividida en siete ontologías modulares:

Figura 2.3. Principales relaciones ad_hoc entre las ontologías modulares

- **Ontología de información del estudiante** (*Student Information Ontology*). Esta ontología referencia la información específica de cada estudiante.
- **Ontología del perfil del estudiante** (*Student Profile Ontology*). Representa la información relativa a cada estudiante, es decir, datos personales, preferencias, estilos de aprendizaje, rasgos de personalidad, etc.
- **Ontología de objetos de aprendizaje** (*Learning Object Ontology*). Describe los principales tipos de elementos de conocimiento que los estudiantes pueden aprender durante el proceso de aprendizaje. Estos objetos de aprendizaje están divididos en objetos que definen el conocimiento estructural y el conocimiento procedimental.
- **Ontología de objetivos de aprendizaje** (*Learning Objective Ontology*). Posibilita la especificación de los objetivos de aprendizaje del alumno en diferentes dominios (afectivo, psicomotor y cognitivo) y en diferentes niveles de abstracción (objetivos generales y objetivos específicos). Esta ontología es clave y novedosa en el modelado del estudiante, porque da soporte a un mecanismo de diagnóstico que permite inferir el estado de cumplimiento de los objetivos del

estudiante a partir de su comportamiento registrado en la ontología de trazas del estudiante.

- **Ontología del estado del estudiante** (*Student State Ontology*). Describe el estado actual de los conocimientos actual del alumno a partir de la información obtenida sobre su actividad dentro del entorno de aprendizaje, el estado de cumplimiento de sus objetivos de aprendizaje, su estado pedagógico, su estado emocional y sus capacidades y competencias.
- **Ontología de trazas del estudiante** (*Student Trace Ontology*). Mantiene un registro detallado del comportamiento del estudiante. En ella se registran, tanto las acciones o intentos de acciones realizadas por el estudiante como las intervenciones del tutor (instrucciones o pistas). Además, registra los cambios que se han inferido en los estados de cumplimiento de los objetivos de aprendizaje durante el proceso de aprendizaje que sigue cada alumno.
- **Ontología de monitorización del estudiante** (*Student Monitoring Ontology*). Describe las características relacionadas con el procedimiento de seguimiento de ciertas variables durante el aprendizaje del estudiante.

2.3. Sistemas de Diálogo

El diálogo puede definirse como el proceso de comunicación que se realiza entre dos o más agentes, sean estos humanos o máquinas. Por lo tanto, conviene realizar una distinción entre diálogos humano-humano y diálogos humano-máquina. Siendo los segundos el motivo principal del presente estudio. Los diálogos humano-máquina requieren de un sistema de dialogo.

Un sistema de diálogo podría verse como un programa o aplicación informática que permite la interacción y la comunicación entre el humano y la máquina (ordenador) con la mayor naturalidad posible.

Los sistemas de diálogo tradicionales típicamente contemplan dicha interacción como un proceso comunicativo basado en turnos. La comunicación en estos sistemas está principalmente basada en el uso de interfaces conversacionales o hablados en lenguaje natural (Fraser, 1997). A diferencia de los sistemas de diálogo tradicionales, durante los últimos años han aparecido sistemas de diálogo multimodales, en los que el usuario puede formular una petición al sistema de forma intencionada y explícita apoyándose en el lenguaje no verbal (por ejemplo, información fundamentalmente vinculada a la voz). Incluso otras acciones o comportamientos por parte del usuario que, a pesar de no estar explícitamente dirigidos al sistema, ocurren de forma natural y por tanto también pueden ser debidamente reconocidos e interpretados por este (por ejemplo, gestos) (Oviatt, 2003).

Los sistemas multimodales están dotados de la capacidad de procesar de manera combinada dos o más modalidades en cuanto a la entrada de información procedente del usuario como, por ejemplo: voz, tacto, gestos (movimiento de manos, labios, cabeza, cuerpo, etc.), vista, etc. Todo ello de manera coordinada con la salida multimedia del sistema (Oviatt, 2003). De igual forma que en la entrada de información, los sistemas de diálogo multimodales permiten emplear diferentes modalidades de salida para la presentación de la información facilitada por el sistema, por ejemplo: voz, texto, imágenes 2D/3D, avatares, etc. e incluso combinaciones de estas.

A pesar de las diferencias entre los sistemas tradicionales y los sistemas multimodales, ambos necesitan de un módulo central denominado Gestor de Diálogo (GD) que es el responsable de la mantener el estado del diálogo y decidir la respuesta más adecuada en cada momento.

Toda la información procedente de las diferentes fuentes disponibles debe ser, de algún modo, integrada o fusionada. Este proceso de “integración” o “fusión” debe en primer lugar recoger la información procedente de las diferentes modalidades para después someterla a un cierto procesado que, en última instancia, permita su oportuna combinación. Como resultado de este proceso, toda la información disponible es agrupada a modo de marco semántico que será posteriormente enviado al GD.

2.3.1. Movimiento de Diálogo

Según Traum & Larsson, (2003) “Los movimientos de diálogo están destinados a servir como una abstracción entre la gran cantidad de diferentes mensajes posibles que se pueden enviar (especialmente en un lenguaje natural)”. En ese contexto, los movimientos de un diálogo son una abstracción de la función que tienen los enunciados en un diálogo. Por lo tanto, cuando se realiza un movimiento de diálogo, su contenido puede resultar en un cambio en el estado del diálogo.

En un diálogo tutorial, los tutores humanos eligen movimientos de diálogo que son más sensibles a la calidad y cantidad del turno anterior del estudiante. Por su parte, los tutores por computador basado en turnos requieren en cada turno de uno o más movimientos de diálogo que respondan de forma adaptativa a lo que expresa el alumno.

Algunos movimientos de diálogo responden al turno anterior del estudiante, como comentarios cortos (positivos, neutrales o negativos), respuestas a preguntas de los estudiantes y correcciones de conceptos erróneos de los estudiantes. Otros movimientos de diálogo impulsan el diálogo hacia adelante en un intento de cubrir las respuestas esperadas a la pregunta principal. Por ejemplo, en un SIT llamado AutoTutor, los movimientos de diálogo están impulsados por un marco de discurso adaptado a las “expectativas y los conceptos erróneos”.

Según (Person, et al., (2001) algunas de las categorías de movimientos del diálogo identificadas en una tutoría humana, serían:

1. Retroalimentación positiva inmediata. “Eso es correcto” “Sí”
2. Retroalimentación inmediata neutral. “Está bien” “Ajá”
3. Retroalimentación inmediata negativa. “No del todo” “No”
4. Bombeo para obtener más información. “Ajá” “Qué más”

5. Solicitar información específica. “Las memorias principales de la CPU son ROM y _____”
6. Insinuación. “El disco duro se puede utilizar para almacenamiento” o “¿Qué pasa con el disco duro?”
7. Elaboración. “El CD ROM es otro medio de almacenamiento”.
8. Empalmar/corregir contenido después de un error del estudiante. “En el CD ROM puedes almacenar todo tipo de información”.
9. Resumiendo. “Para recapitular,” <resumen sucinto de la respuesta a la pregunta>

Al igual que los tutores humanos, muchos de los tutores por computador simulan uno o una combinación de estos movimientos de diálogo después de cada contribución del alumno.

2.3.2. Tipos de Sistemas de Diálogo

Establecemos una clasificación informal de los sistemas de diálogo en función del tipo del diálogo que modelan. Nos concentramos en lo que Allen et al., (2001) definen como diálogos prácticos, es decir, “interacciones en las que el diálogo se centra en la realización de una tarea concreta”. Esta definición excluye géneros como la conversación casual, en la que la naturaleza ilimitada del diálogo lo hace menos adecuado para el modelado computacional.

Los tipos de diálogo pueden cambiar de acuerdo con un número de características diferentes. A pesar de ello, es preciso, definir una característica común, que es la iniciativa en un diálogo. La iniciativa de un diálogo se refiere a qué participante del diálogo está impulsando la conversación en algún momento.

La iniciativa puede recaer en el sistema, en el usuario o en ambos, denominada iniciativa mixta. En este caso, tanto el sistema como el usuario pueden introducir nuevos temas en el discurso.

La realización de un sistema de diálogo depende en cierta medida del tipo de diálogo. Las interfaces simples basadas en menús se pueden hacer por teléfono, mientras que algunos escenarios *e-learning* o *problem solving* pueden requerir una interfaz multimodal que utilice tanto el habla como los gráficos. A continuación, presentamos algunos géneros de diálogo que son subclases del diálogo práctico.

Diálogo en busca de información. Una aplicación común de los sistemas de diálogo es la interfaz de una base de datos. En este tipo, el sistema de diálogo actúa como una interfaz de lenguaje natural, y tales diálogos se conocen como diálogos de búsqueda de información. El sistema intenta recabar tanta información del usuario como sea necesario para buscar la información que el usuario desea. Esto significa que la iniciativa en los diálogos de búsqueda de información es normalmente del sistema. Ejemplos de este tipo de sistemas de diálogo son ATIS (Hemphill et al., 1990), en el que se ha recopilado un corpus de diálogos de información de vuelo, otro es Philips (Aust et al., 1995), un sistema automático de información de horarios de trenes.

Diálogo de negociación. La finalidad de este tipo de diálogo es que los participantes del diálogo lleguen a un acuerdo sobre un tema. Los diálogos de negociación difieren de muchas otras interacciones usuario/sistema porque en una negociación ambas partes tendrán sus propios objetivos y limitaciones. Un ejemplo es Verbmobil (Wahlster, 2000), que modela los diálogos de negociación de nombramiento humano-humano.

Diálogo de comandos/control. Ocurre cuando el objetivo del diálogo es la ejecución de comandos. En este tipo de diálogo, la iniciativa es totalmente del usuario. Los lenguajes de comandos suelen tener un vocabulario restringido y los diálogos de comandos tienen relativamente pocos estados. Un diálogo de este tipo es modelado en el Proyecto TALK que se basa en una interfaz multimodal y controla un reproductor MP3 en el automóvil mientras se conduce (Rieser et al., 2005).

Diálogo de resolución de problemas. Ocurre cuando el usuario y el sistema colaboran con el objetivo común de realizar una tarea compleja. El sistema a menudo modela un experto en el dominio que ayuda al usuario a realizar la tarea en cuestión cuando el usuario lo solicita, pero también puede haber iniciativa mixta cuando el sistema introduce objetivos o informa al usuario de eventos externos. Debido a la naturaleza colaborativa de este género, a menudo habrá subdiálogos de negociación (Blaylock et al., 2003). El proyecto TRAINS ha recopilado un corpus (Heeman & Allen, 1995) de diálogos de resolución de problemas en los que el usuario colabora con un asistente de planificación para completar una tarea en un sistema de transporte de mercancías por ferrocarril.

Diálogo tutorial. La finalidad de este tipo de diálogo es que el usuario, o estudiante, aprenda conceptos o procedimientos en un dominio determinado. Primero, el sistema presenta al usuario un objetivo de tutoría o una tarea que debe ser resuelta y luego le

ayuda a encontrar la solución. El diálogo tutorial es de iniciativa mixta, de tal manera que el usuario es libre de proponer preguntas, por ejemplo, sobre conceptos desconocidos, cómo realizar una tarea, etc. Ambos pueden iniciar subdiálogos de aclaración.

Para que la tutoría sea eficaz, debe utilizar un lenguaje natural flexible. Sin embargo, el lenguaje puede restringirse al dominio en cuestión. Los sistemas de diálogo tutorial se basan en gran medida tanto en las características del dominio como en las estrategias pedagógicas generales para dar apoyo al alumno. En una mayor escala, el diálogo tutorial puede formar parte de una aplicación de *e-learning* más amplia. Ejemplos de este tipo de diálogo son comunes en sistemas inteligentes y entornos de aprendizaje interactivo. Algunos de ellos los mencionaremos en la sección 0.

2.3.3. Componentes de un Sistema de Dialogo

Generalmente, un sistema de diálogo se divide en módulos o subsistemas que proporcionan la funcionalidad necesaria para el diálogo en lenguaje natural. Esta funcionalidad implica al menos la comprensión del lenguaje natural, la generación del lenguaje natural y alguna interfaz con fuentes de conocimiento externas. Un módulo de control organiza el flujo del diálogo y facilita la comunicación entre módulos de tal forma que puedan entrelazarse correctamente. En la Figura 2.4 mostramos una arquitectura general para SDs propuesta por McTear, (2002).

Figura 2.4. Arquitectura general de un Sistema de Diálogo (McTear, 2002)

Aunque la arquitectura incluye módulos que proporcionan entrada y salida de voz, estos no tienen por qué estar presentes en todos los SDs. Además de estos módulos, en algunos SDs es necesaria la presencia de un módulo que proporcione conocimiento sobre el dominio, a veces, mediante el acceso a fuentes externas de datos.

A continuación, presentamos el rol que juegan los módulos más importantes.

Comprensión de Lenguaje Natural.

La comprensión del lenguaje natural (CLN) es considerado un campo del procesamiento de lenguaje natural (PLN), que se ocupa de los enunciados que un usuario formula en un diálogo. Estos pueden proceder de una entrada por texto o el resultado del reconocimiento de voz, según el medio del diálogo. La salida de la CLN es una representación del significado del enunciado que luego puede ser utilizada por el módulo de gestión de diálogo.

La CLN en un contexto de diálogo debe abordar dificultades además de las propias del procesamiento del lenguaje en general. Los diálogos a menudo contienen expresiones que no están bien formadas gramaticalmente en términos de la gramática normal de una oración. Por ejemplo, los participantes del diálogo a menudo usan oraciones incompletas o fragmentos de oraciones, o usan la autocorrección cuando hablan. El reconocimiento de voz no siempre es confiable y es posible que no siempre reconozca exactamente el enunciado que dijo el usuario. Por lo tanto, un módulo de CLN debe tener esto en cuenta al analizar el enunciado. Una solución es hacer que el análisis sea más robusto restringiendo el vocabulario que el sistema comprende. Cuando la tarea asociada al diálogo es lo suficientemente simple, la identificación de palabras clave es suficiente para extraer la información requerida del enunciado.

Existen tres enfoques principales para la CLN: enfoques simbólicos, estadísticos e híbridos (Jordan, Makatchev, & VanLehn, 2004).

El enfoque simbólico se basa en conocimientos lingüísticos o lexicográficos. Este conocimiento lo especifica un experto en forma de un léxico y una gramática que luego se puede emplear para analizar las entradas del usuario. Por otro lado, el enfoque estadístico se basa en métodos cuantitativos y utiliza un corpus para entrenar un clasificador de texto sin considerar la semántica (Klavans & Resnik, 1996). En otras palabras, este enfoque no aborda explícitamente el significado, sino que se limita a

descubrir las relaciones de coincidencia de las palabras en extractos de texto de un corpus. Finalmente, el enfoque híbrido resulta de una combinación de los otros dos enfoques, con el objetivo de complementarse entre sí. Por ejemplo, las características sintácticas se pueden utilizar para complementar el entrenamiento de un clasificador de texto.

Conocimiento del Dominio.

Un sistema de diálogo generalmente necesitará acceder a algún tipo de fuente de conocimiento externa para completar su tarea. Por ejemplo, una base de datos para una aplicación de programación de horarios o un enlace a un sistema de *backend* financiero para una aplicación bancaria. También puede acceder al conocimiento del dominio que ayuda a su tarea, como una base de conocimientos relacionada con la tarea.

Permitir que un sistema de diálogo se comuniquen con fuentes de conocimiento externas le permite abstraerse de la tarea en cuestión y aumenta la capacidad de reutilización y adaptabilidad.

Generación de Lenguaje Natural.

El componente de generación de lenguaje natural (GLN) de un sistema de diálogo es responsable de generar la realización lingüística del movimiento de diálogo del sistema. En general, debe decidir qué contenido expresar (aunque esto puede provenir del módulo de gestión de diálogo), cómo estructurar esta información y, finalmente, cómo concretarlo en uno o varios enunciados. La cadena de enunciados se puede pasar luego a un módulo de comunicación. Las posibles soluciones van desde la generación basada en plantillas hasta la generación de lenguajes complejos que utilizan recursos lingüísticos.

La GLN dentro de un sistema de diálogo debe ser capaz de relacionar los enunciados con la historia del diálogo, por ejemplo, para generar anáforas correctas y naturales como un mecanismo cohesivo. También debe tener en cuenta un modelo de usuario y debe estar equipado para generar no solo oraciones completas, sino también fragmentos, que a menudo aparecen en el diálogo.

Estrategia de diálogo/Control de tareas.

Para poner en marcha el funcionamiento de los componentes antes mencionados, estos deben reunirse y organizarse mediante un módulo de gestión central, cuya función exacta variará según las necesidades del sistema en particular. En la Figura 2.4, este módulo de gestión central está representado por el módulo Sistema de Diálogo.

El papel de facilitar la comunicación entre módulos generalmente lo asume un gestor de diálogo, quien a su vez puede mantener una representación del contexto del diálogo para motivar acciones adicionales.

El control del flujo de diálogo debe basarse en una teoría del diálogo. Esto significa que el gestor de diálogo debe tener: un plan dependiente del dominio que guíe su acción; y el conocimiento necesario para poder utilizar los módulos con el fin de lograr su objetivo en el diálogo, es decir, poder intercalar los cálculos realizados por la comprensión y generación del lenguaje natural con el acceso a otras fuentes de conocimiento.

2.3.4. Enfoques para la Gestión del Diálogo

Como mencionamos anteriormente, la función del gestor de diálogo consiste en gestionar el flujo de la interacción entre el sistema y un participante del diálogo con arreglo a alguna teoría del diálogo. En esta sección consideramos cuatro enfoques o tipos de diseños que apoyan esta función:

1. Autómatas de estado finito
2. Enfoque de llenado de formularios
3. Sistemas basados en agentes
4. Enfoque de actualización del estado de la información.

Traum & Larsson (2003) sostienen que, la gestión del diálogo implica las siguientes funciones:

- Mantenimiento de un contexto de diálogo
- Proporcionar expectativas dependientes del contexto para la interpretación de señales observadas como comportamiento comunicativo.
- Interfaz con el procesamiento de tareas o dominios, como el *backend* de una base de datos

- Decidir qué contenido expresar a continuación

Los enfoques descritos aquí difieren en su grado de apoyo a cada una de estas tareas. Por ejemplo, los sistemas de estados finitos tienen una representación implícita del contexto de diálogo, mientras que el contexto de diálogo es el concepto central del enfoque de actualización del estado de la información. A continuación, describimos cada uno de los enfoques.

Autómata de Estado Finito

Los sistemas que utilizan un autómata de estados finitos (FSA) se caracterizan por una máquina de estados finitos que codifica estáticamente todos los diálogos posibles. Un nodo representa un estado de diálogo o un contexto de diálogo, y un borde representa una acción como un movimiento de diálogo.

Un gestor de diálogo basado en un FSA puede mantener un control muy estricto sobre el proceso de diálogo. Además, tiene un diseño simple y puede hacerse determinista. Sin embargo, estos sistemas son inflexibles con respecto al flujo de diálogo y no son adecuados para facilitar la iniciativa del usuario.

Los gestores de diálogo basados en un FSA son adecuados para tareas simples como la obtención de información, donde un agente debe recopilar un determinado conjunto de datos para llevar a cabo alguna acción. Se pueden representar contextos donde el número de diálogos posibles es pequeño.

Enfoque de llenado de Formularios

También conocido como enfoque basado en marcos o plantillas es más adaptable que el de estado finito. El sistema intenta llenar de forma incremental los espacios en un formulario haciendo preguntas al usuario. Cuando hay información suficiente en el formulario, el sistema puede realizar su tarea, como una búsqueda en una base de datos. Un sistema de llenado de formularios funciona como un sistema de producción, donde las acciones están determinadas por el estado actual de las cosas.

La ganancia en flexibilidad sobre los sistemas FSA radica en que no existe un orden estricto para el llenado de los campos del formulario, lo que permite cierta variación en el orden en el que se obtiene la información del usuario. El exceso de respuesta puede

tratarse, ya que más de un espacio puede llenarse con una sola palabra de usuario. En el siguiente ejemplo podemos ver que el usuario da más información de la solicitada.

Sistema: ¿Cuál es su destino?

Usuario: Madrid el viernes alrededor de las 9 de la mañana.

Como podemos observar, aunque el sistema solo ha pedido al usuario su destino, el sistema puede reconocer que se han proporcionado tres datos (destino, día y hora), y puede insertarlos en los espacios adecuados del formulario. Un sistema de llenado de formularios está mejor equipado para dar cabida a la iniciativa del usuario, y esta capacidad se puede fortalecer modelando la tarea como conjuntos de formularios o contextos (Allen et al., 2001).

Enfoque basado en Agentes

En los sistemas de diálogo que utilizan este enfoque, la comunicación se ve como una interacción entre agentes. Los participantes del diálogo están representados por agentes que pueden razonar sobre acciones y creencias. Este tipo de enfoque es ideal para el diálogo de iniciativa mixta porque, por ejemplo, el usuario puede introducir nuevos temas de conversación. Estos sistemas también pueden utilizar las expectativas para ayudar a corregir errores. Debido a la complejidad de la interacción que soportan los sistemas basados en agentes, existe la necesidad de disponer de sofisticados mecanismos de procesamiento del lenguaje natural. Esto contrasta con los sistemas FSA y de llenado de formularios, que restringen el lenguaje en el que puede tener lugar la interacción.

Enfoque de actualización del estado de la Información

El enfoque de actualización del estado de la información (ISU) (Traum & Larsson, 2003), fue desarrollado dentro del proyecto Trindi (Larsson & Traum, 2000). Está motivado por la necesidad de poder formalizar diferentes teorías de la gestión del diálogo para permitir la evaluación y la comparación. Desde una perspectiva de ingeniería, el enfoque de ISU está motivado por el hecho de que no existen reglas estrictas y rápidas que rijan el diseño de sistemas de diálogo, lo que conduce a un mal soporte para la reutilización. El enfoque ISU propone una visión unificadora de la gestión del diálogo basada en el

estado de la información, en la que se pueden implementar teorías independientes del dominio creando una base reutilizable.

Según este enfoque, el diálogo consta de cinco componentes:

- Un estado de información
- Representaciones para el estado de la información
- Un conjunto de movimientos de diálogo
- Un conjunto de reglas de actualización
- Una estrategia de actualización

2.4. Sistemas de Diálogo en Sistemas Inteligente de Tutoría

Los SITs con sistemas de diálogo o SITs conversacionales forman una categoría especial de tecnologías educativas. Estos SITs se basan en teorías constructivistas del aprendizaje basadas en explicaciones y en las actividades constructivistas colaborativas que ocurren durante la tutoría humana. Muchos de estos SITs han demostrado promover las ganancias de aprendizaje de los estudiantes significativamente. Este es el caso de un exitoso SIT llamado AutoTutor, que ha sido capaz de producir una ganancia de aprendizaje en promedio de 0.8σ por encima de las condiciones de control, que implicaban la lectura de libros de textos durante una cantidad de tiempo equivalente (Nye, Graesser, & Hu, 2014).

Los SITs conversacionales tienen varias ventajas sobre otros tipos de SITs debido a que fomentan un aprendizaje profundo, ya que los estudiantes deben explicar su razonamiento y reflexionar sobre las bases de su enfoque para resolver un problema.

Los diálogos de estos SITs se consideran una forma dinámica de instrucción que puede ser altamente adaptable a las necesidades individuales de los estudiantes y brinda oportunidades para que los estudiantes hagan que su pensamiento sea transparente para un tutor (D'Mello & Graesser, 2013). Por lo tanto, los sistemas de diálogo tutorial tienen como objetivo proporcionar retroalimentación en lenguaje natural utilizando una amplia gama de tácticas de tutoría similares a las empleadas por un maestro humano; facilitan una gran interactividad y brindan oportunidades para reflexionar sobre los conocimientos existentes (correctos o incorrectos) e integrar nuevos conocimientos (Chi et al., 2001).

Para lograr una conversación fluida en un diálogo de tutoría, el gestor del diálogo debe ser flexible, rápido y orientado a objetivos. El sistema debe ser flexible para adaptarse a cualquier aportación del estudiante. Además, debe ser rápido para aprovechar las oportunidades de aprendizaje que se presenten y, sobre todo, para asegurar que los planes de diálogo existentes se cumplan sin fallos mientras se brinda la retroalimentación adecuada. Para ello, un gestor de diálogo debe emular la pragmática de los diálogos de tutoría humano-humano (D'Mello & Graesser, 2013).

En la literatura, los sistemas de diálogo también se denominan Agentes Conversacionales (Conversational Agents, CAs) (O'Shea, Bandar, & Crockett, 2011). Hay dos tipos de CAs (no mutuamente excluyentes): agentes conversacionales lingüísticos

que manejan la conversación en forma escrita o hablada (Owda, Bandar, & Crockett, 2011) y agentes conversacionales encarnados que dan una apariencia más realista al diálogo usando los atributos de un cuerpo humanoide animado, es decir, expresiones faciales, movimiento de la boca y mirada fija (Cassell, 2001).

El impacto de los SITs conversacionales supuestamente puede aumentar mediante el uso de agentes conversacionales animados que se han vuelto más populares en los entornos de aprendizaje avanzados (Lippert et al., 2020). Los agentes animados interactúan con los estudiantes y los ayudan a aprender, ya sea modelando una buena pedagogía o manteniendo una conversación con los estudiantes.

En el capítulo 3 se mostrará una revisión sistemática de SITs conversacionales, ya que constituyen la tipología de sistemas más relacionada con la presente tesis.

2.5. Plataformas para crear un Sistema de Diálogo

El PLN surge con la finalidad de hacer posible la comprensión y el procesamiento de información expresada en lenguaje natural, facilitando el desarrollo de determinadas tareas como el análisis de opiniones, la traducción automática, los sistemas de diálogo interactivos, reconocimiento de patrones, clasificación de entidades, entre otras.

Gracias a los servicios en la nube, existen plataformas con *frameworks* especializados para implementar sistemas de diálogo. Como lo expresamos anteriormente, estos sistemas de diálogo proporcionan a las personas una vía de interacción con una aplicación informática a través de diálogos escritos (e incluso orales), similares a los que entablan entre sí los seres humanos sobre un asunto concreto.

Estas plataformas están alcanzando un alto grado de madurez en el tratamiento de las estructuras de diálogo y la interpretación de los conceptos, lo cual ha provocado una significativa proliferación de su uso en diferentes dominios, y ha elevado la complejidad de los sistemas desarrollados.

Para lograr su cometido, estas plataformas utilizan el poder del aprendizaje automático para resolver el difícil problema de extraer el significado de las entradas del usuario en lenguaje natural. De esta manera, cualquier aplicación cliente que converse con usuarios puede pasar la entrada del usuario a un sistema de diálogo construido con una de estas plataformas y recibir los resultados derivados de una comprensión del lenguaje natural. Esto, además, es posible sin necesidad de que el programador de la aplicación cliente conozca los algoritmos de aprendizaje automático que se están empleando.

Entre las plataformas más populares se encuentran Api.ai de Google, Wit.ai de Facebook Messenger, Watson de IBM, LUIS de Microsoft, entre otras. Cada una de estas plataformas tienen APIs para desarrolladores disponibles en diversos sistemas operativos, dispositivos y lenguajes de programación.

Estas plataformas tienen características muy parecidas en cuanto a su estructura y finalidad. Por ello, la elección de la plataforma más idónea dependerá de la aplicación que se vaya a construir, teniendo en cuenta básicamente el modelado del flujo de la conversación que es en sí lo que va a definir el comportamiento de la aplicación.

2.5.1. Elementos para construir un Diálogo en las Plataformas

Generalmente, las plataformas antes mencionadas requieren de algunos elementos para estructurar el flujo de conversación o diálogo. Estos elementos en su conjunto facilitan el PLN, entre ellos están: el enunciado, las intenciones, las entidades y la estructura de diálogo.

El **enunciado** es la entrada del usuario que la aplicación necesita interpretar, que en algunas ocasiones no están bien formuladas, porque contienen errores ortográficos o sintácticos.

Las **intenciones** representan el propósito expresado en la entrada del usuario, el cual podrá ser una petición para el sistema, una indicación para proporcionar ciertos datos, etc.

Las **entidades** serían como los sustantivos de una oración, representan una instancia de una clase de objeto que es relevante para la intención de un usuario.

La **estructura del diálogo** es el flujo de conversación que define la forma en que la aplicación responde cuando reconoce intenciones y entidades definidas.

Algo sobresaliente de estas plataformas es que permiten que el diálogo pueda ser ajustado a las diferentes situaciones de un determinado escenario por medio de una estructura denominada **contexto**, que se utiliza de forma interna dentro del gestor de diálogo, o de forma externa para pasar información entre una aplicación cliente y el gestor de diálogo.

Una aplicación desarrollada en cualquiera de estas plataformas toma un enunciado del usuario y extrae intenciones y entidades que corresponden a actividades relativas a la lógica de la aplicación cliente. De este modo, esta aplicación puede tomar la acción más apropiada basándose en las intenciones del usuario y así generar un diálogo efectivo.

2.5.2. Principales Plataformas para crear un Sistema de Diálogo

Existen muchas plataformas para la construcción de SDs. Sin embargo, explicaremos lo más sobresaliente de las plataformas que consideramos más comunes y que a nuestro criterio responden mejor a los requerimientos/especificaciones que perseguimos en esta tesis.

Api.ai (Google, 2016): desde 2017 se la pasó a llamar Dialogflow (Google, 2017). Crea un enlace entre lo que dice un usuario y qué acción debe tomar el sistema a través de las intenciones; además brinda servicios de integración con otras plataformas. Los contextos son útiles para diferenciar peticiones que podrían tener un significado diferente con relación a las peticiones anteriores. Las intenciones y contextos permiten crear máquinas de estados que modelan grandes y complejos flujos de conversación. Asimismo, dispone de una sección de entrenamiento en versión beta.

Wit.ai (Facebook, 2015): dispone de entidades predefinidas y considera a las intenciones del usuario como historias. Cada historia representa un ejemplo de una posible conversación. Una historia puede ser vista como un gráfico de las intenciones a las que se pueden agregar ramas que se activan en condiciones tales como la existencia o no de valores de variables específicas. A pesar de ello, las historias están en versión beta y en ocasiones es difícil seguir en ellas el flujo de la conversación.

Watson (IBM, 2018a): es uno de los servicios disponibles en IBM Cloud. El Servicio de Conversación Watson permite la implementación de un SD que es controlado por un espacio de trabajo en el que se definen las intenciones, las entidades y las variables de contexto. Los usuarios interactúan con su aplicación a través de su interfaz de usuario proporcionando enunciados. Para cada enunciado proporcionado, la aplicación se conecta al espacio de trabajo y el servicio de conversación interpreta el enunciado del usuario, proporciona una respuesta y dirige el flujo de conversación.

LUIS (*Language Understanding Intelligent Service*) (Microsoft, 2016): considera a los enunciados, los intentos y las entidades como los conceptos claves para modelar el diálogo. LUIS es incapaz de reconocer palabras raras, por lo tanto, aparte de las entidades, puede utilizar una lista de frases para generalizar e identificar nuevos elementos de una categoría. Además, se pueden agregar funciones al modelo para proporcionar sugerencias sobre cómo reconocer las entradas que se desean etiquetar o clasificar. Estas funciones ayudan a reconocer tanto las intenciones como las entidades a través de términos relacionados o patrones para reconocer dichos términos.

Tanto **Watson** como **LUIS** proponen un marco de desarrollo un poco más complejo y potente que las otras plataformas, ya que disponen de servicios que aprenden de forma rápida y por tanto minimizan el esfuerzo requerido para crear los sistemas de diálogo. Sin embargo, cabe señalar que la mayoría de las plataformas disponen de entidades predefinidas que dan una mayor robustez a la aplicación.

En general, independientemente de la plataforma que se utilice, para poner en marcha un SD es necesario entrenar su espacio de trabajo, es decir, las intenciones necesitan que se les suministren muchos ejemplos de enunciados de usuario; y las entidades requieren que se les refieran todos sus posibles valores junto a los sinónimos que probablemente los usuarios utilizarán.

2.5.3. Watson Assistant

IBM Cloud es una plataforma como servicio en la nube, que ofrece un conjunto de tecnologías que ejecutan tareas cognitivas de uso habitual, que pueden ser personalizadas para las necesidades de cada implementación. Concretamente, IBM Watson Assistant facilita la construcción de interfaces conversacionales que pueden ser integradas en cualquier aplicación (IBM, 2018a).

Watson Assistant es un producto de inteligencia artificial perteneciente a IBM que le permite construir, entrenar e implementar interacciones conversacionales en cualquier aplicación, dispositivo o canal (IBM, 2018b).

Watson Assistant combina el aprendizaje automático, comprensión del lenguaje natural y un editor de diálogo integrado para crear flujos de conversación entre sus aplicaciones y sus usuarios. Dispone de dos versiones de interfaz de programación de aplicaciones (API), la API Assistant v1 proporciona métodos de creación que su aplicación puede utilizar para crear o actualizar un espacio de trabajo, y la API Assistant v2 proporciona métodos en tiempo de ejecución que su aplicación cliente puede usar para enviar la entrada del usuario a un asistente y recibir la respuesta. Además, admite 13 idiomas diferentes para conseguir un alcance global.

En la Figura 2.5 mostramos el diagrama que muestra cómo se realiza la implementación de un diálogo.

Figura 2.5. Implementación de un diálogo en Watson Assistant (IBM, 2018b).

Para construir un sistema de diálogo en Watson Assistant se deben crear habilidades de diálogo (*Dialog skills*) que es un contenedor para todos los artefactos que constituyen un flujo de información. Las habilidades constan de los siguientes artefactos: intenciones, entidades y flujo de diálogo. A continuación, los explicamos en detalle:

Intenciones (*Intents*). Las intenciones representan el propósito de la entrada de un usuario. Una intención es una acción vinculada a las preguntas formuladas por el alumno; es decir, lo que el alumno busca al decir algo. Se define una intención para cada tipo de solicitud del alumno que admitirá el sistema de diálogo. Para nombrar una intención se debe colocar el nombre precedido del símbolo #. Por ejemplo, podríamos definir una intención #conocer_hora, que se correspondería con las frases “Me puedes decir la hora” o “qué hora tienes?”, entre otras.

Dada la diversidad de maneras en la que se puede “decir algo”, en Watson Assistant se dan ejemplos de preguntas o frases y posteriormente el sistema hace generalizaciones al identificar alguna de las intenciones definidas. Por ejemplo: si el alumno dice “necesito un martillo” (aunque este ejemplo de intención no esté en el sistema), se podría comprender que la intención es #ubicar_objeto por similitud a otro ejemplo de esa intención que sí que está incluido en la definición de esa intención. Además, se pueden agregar otras intenciones como #descripción_objeto, #pista_siguiente_accion y todas aquellas intenciones a las que el sistema deba responder.

A las intenciones relacionadas con el dominio que se implementa, se podrán agregar otras intenciones más generales tales como #saludo, #despedida, #informaciones, etc.,

teniendo siempre en consideración lo que se espera que el sistema de diálogo sepa responder. Además de la intención, se deben agregar los complementos de esta acción, es decir, las entidades.

Actualmente, Watson en su plan “Plus” cuenta con algunas intenciones existentes en el catálogo de contenido para facilitar su adición al espacio de trabajo que estamos implementando.

Entidades (Entities). Una entidad representa un término o un objeto que da contexto a una intención. Asimismo, son conocidas como complementos de información ya que representan la información en la entrada de usuario que es relevante para conseguir una interpretación más precisa de la intención del usuario.

Para hacer referencia a una entidad se debe indicar su nombre precedido del símbolo @. Una entidad puede tomar algunos valores, y para cada valor se pueden asignar diversos sinónimos para facilitar el tratamiento de la diversidad de maneras en que se puede mencionar una misma entidad. Por ejemplo, se podría definir una entidad @herramienta, cuyos valores serían *martillo*, *destornillador*, *alicate*, etc. Y al valor *alicate*, se le podría asignar el sinónimo *tenaza*.

Si consideramos el enunciado anterior “necesito un martillo”, que se correspondía con la intención #ubicar_objeto, se puede observar que en este enunciado estaría presente la entidad @herramienta con el valor *martillo*.

El servicio de Watson Assistant tiene entidades del sistema listas para ser añadidas a la estructura de diálogo que no necesitan ser definidas. Por ejemplo, @sys-date.

Flujo de diálogo. Después de haber definido las intenciones y las entidades, se procede a estructurar el flujo o árbol de diálogo. El flujo de diálogo está compuesto por diversos nodos, cada nodo del diálogo tiene como al menos una condición y una respuesta (Figura 2.6), si bien en un nodo también pueden existir varias respuestas alternativas controladas por diferentes condiciones. Además, entre los nodos hijos pueden existir saltos (*skip*), es decir, se puede saltar de un nodo a otro con la finalidad de dirigir una mejor respuesta al estudiante.

Figura 2.6. Representación de un nodo

La estructura del diálogo tiene una representación de árbol con nodos (véase la Figura 2.7). Cuando Watson Assistant analiza un enunciado debe recorrer en orden de arriba hacia abajo cada uno de los nodos principales o “nodos padres” del árbol hasta encontrar el primer nodo cuya condición se cumpla, por ejemplo, porque se relacione con una intención y una entidad detectadas en dicho enunciado. De igual manera ocurre con los “nodos hijos”, si un nodo activado por su condición tiene nodos hijos, estos se procesan de la misma forma que los nodos del primer nivel del árbol.

A través de cada nodo se puede: a) generar la respuesta a una petición o enunciado del alumno; b) obtener información para elaborar una respuesta en una aplicación externa. Para ello, en el nodo se establece una condición con base a las intenciones y entidades que Watson Assistant puede detectar en la entrada del alumno.

Figura 2.7. Representación de un flujo de diálogo

A continuación, en la Figura 2.8 presentamos un ejemplo en el que a partir del enunciado “Necesito un martillo” se muestra el comportamiento del flujo de diálogo.

Figura 2.8. Ejemplo de un flujo de diálogo

Variables de contexto. Se utilizan para pasar información de forma interna entre los nodos del flujo de diálogo y para facilitar la comunicación entre una aplicación cliente externa y el sistema de diálogo. Estas variables se pueden consultar en las condiciones de los nodos y se pueden modificar en las respuestas de los nodos.

Para nombrar una variable de contexto se debe ubicar el nombre de la variable precedido del símbolo \$.

2.6. Generación de Indicaciones en Lenguaje Natural para localizar Objetos

Para dar soporte a la generación de indicaciones en lenguaje natural se han tomado como referencia los algoritmos descritos en la Tesis Doctoral de Graciela Lara (Lara, 2016). El modelo computacional propuesto proporciona la información necesaria para generar automáticamente indicaciones en lenguaje natural tomando en cuenta objetos de referencia y aspectos espaciales y perceptivos. Los algoritmos se describen en las siguientes secciones.

2.6.1. Algoritmo para generar indicaciones para localizar objetos en un entorno virtual

A través de este algoritmo es posible obtener las indicaciones necesarias para localizar un objeto. La estructura de las indicaciones se basa en la estructura lingüística de Kelleher & Costello, (2009) y está compuesta por: objeto a localizar + relación espacial + objeto de referencia; y en algunos casos por las propiedades del objeto.

En este trabajo de tesis se especifica que, para realizar la generación de indicaciones de ubicación de objetos dentro de entornos virtuales, existen tres escenarios que se describen a continuación:

a) El objeto a localizar está en el mismo cuarto del usuario, pero no en su campo de visión

Para tratar este caso se necesita una estrategia para dar indicaciones extras al usuario (de giro y movimiento) con la finalidad de que el objeto a localizar entre en su campo de visión, transformándose en el escenario que se describe en el punto c).

b) El objeto a localizar no está en el mismo cuarto

Para tratar este caso se plantea que se den instrucciones al usuario para que se dirija al cuarto en el que se encuentra el objeto a localizar, y una vez allí vuelva a formular la pregunta. Cuando el usuario y el objeto se encuentren en el mismo cuarto, se puede dar el escenario de que el objeto se encuentre (punto c)) o no (punto b)) en el campo de visión del usuario.

a) El objeto a localizar está en el campo de visión del usuario

Cuando el objeto a localizar está dentro del campo de visión del usuario hay tres posibles casos:

c.1) El objeto a localizar se encuentra dentro de otro objeto

Para este caso, consideramos que si el objeto a localizar (OL) se encuentra dentro de otro objeto, entonces el objeto contenedor se convierte también en un objeto secundario para localizar (OL2). Ejemplo:

“El destornillado está dentro de la caja de herramientas que está en la bodega”

OL SR OR/OL2 SR OR2

Donde:

OL	Objeto a localizar
SR	Relación espacial
OR/OL2	Objeto de referencia transformado en un objeto a localizar
OR2	Objeto de referencia del objeto secundario para localizar

c.2) El objeto a localizar es saliente por sí mismo

Si el objeto a localizar tiene una alta visibilidad perceptiva o saliencia visual, es decir su valor de saliencia es mayor a 4.8, la instrucción de localización será generada con una relación espacial de tipo intrínseca (centrada en el usuario). Ejemplo:

“El destornillador está frente a tí”

OL SR OR

c.3) Necesidad de objeto de referencia

Si no se cumplen las condiciones de los casos (c1) y (c2) es necesario seleccionar el mejor objeto de referencia del objeto a localizar, para ello se utilizará el algoritmo descrito en la sección 2.6.2.

2.6.2. Algoritmo para seleccionar objetos de referencia

Selección del mejor objeto de referencia (*Best Reference Object*, BRO)

Para realizar la selección del mejor objeto de referencia se consideran los objetos que están localizados dentro de una esfera con su centro en el objeto a localizar y con un radio máximo del 10% del tamaño total del entorno virtual.

Esta selección se basa en tres criterios: 1) el conocimiento previo del tipo de objeto (PK), 2) la saliencia visual del objeto (GS) y 3) la capacidad del usuario para recordar su posición en el entorno, o probabilidad de recuerdo (PR).

La ecuación (1) muestra que, para la selección del mejor objeto de referencia se realiza una suma de los tres valores para cada uno de los objetos próximos al objeto a localizar, y de ellos, se considerará como el mejor objeto de referencia aquel que tenga el valor máximo.

$$BRO(\textit{Best Reference Object}) = \text{Max of } (PK + GS + PR) \quad (1)$$

1) Conocimiento previo (PK)

Este aspecto se evalúa considerando por un lado las áreas de conocimiento a las cuales cada objeto pertenece, y por otro, la familiaridad que el usuario tiene con éstas, principalmente asociada a una experiencia o entrenamiento previo. El conocimiento previo de cada área está asociado al estudiante, y sus escalas de valoración son:

- 1 si el conocimiento en dicha área es alto,
- 0.5 si el nivel es medio, y
- 0 si el nivel es bajo.

2) Saliencia visual o saliencia general del objeto (GS)

También conocida como saliencia general o saliencia perceptual. Este valor de la saliencia visual se obtiene en relación con todos los objetos que se encuentran en el área visual del usuario. Sus puntajes de valoración van de 0 a 1, y para calcularlo se debe aplicar la ecuación (2).

$$GS = \frac{1}{3} IS + \frac{2}{3} SoC \quad (2)$$

El cálculo de la saliencia general de un objeto (GS) depende tanto de la saliencia individual (IS) como de la saliencia con respecto al contexto (SoC). Estas saliencias están determinadas por los siguientes atributos de los objetos: color, tamaño y forma.

Figura 2.9. Esquema del modelo computacional para cálculo de saliencia general o visual (Lara, 2016)

Como se muestra en la Figura 2.9 y en las ecuaciones (3) y (4), el cálculo de la saliencia general se basa en la suma ponderada de los valores individuales de saliencia de color (Sc), saliencia de tamaño (Ssi) y saliencia de forma (Ssh), tanto de la saliencia individual como la saliencia de contexto.

Y aunque no existe en la literatura una medida de la importancia relativa de cada factor (color, tamaño, forma), un peso fue asignado a cada factor de la siguiente manera: 0.5 al color, 0.3 al tamaño y 0.2 a la forma.

$$IS = (Sc_{[0-1]} * 0.5) + (Ssi_{[0-1]} * 0.3) + (Ssh_{[0-1]} * 0.2) \quad (3)$$

$$SoC = (ScC_{[0-1]} * 0.5) + (SsiC_{[0-1]} * 0.3) + (SshC_{[0-1]} * 0.2) \quad (4)$$

Saliencia individual (IS)

Saliencia por color: Para cada objeto se valora su saliencia por color, tomando como referencia los colores salientes, que según Choungourian, (1968) los colores con principales estímulos para el sistema visual humano son: rojo, naranja, amarillo, verde-amarillo, verde, azul-verde, azul y púrpura. Para calcular la saliencia por color se sigue un proceso de tres pasos:

- 1) Las distancias entre el color de los objetos con respecto al grupo de los 8 colores salientes son calculadas usando la Distancia Euclidiana.
- 2) Se selecciona el color saliente con menor distancia al color del objeto y se asigna un valor de saliencia a cada una de sus 3 coordenadas (L,a,b) de acuerdo con los siguientes rangos.

1.00	para distancias inferiores a 5 unidades
0.75	para distancias mayores de 5 y menores de 10 unidades
0.50	para distancias mayores de 10 y menores de 15 unidades
0.00	para distancias superiores a 15 unidades
- 3) Finalmente, los tres valores salientes son promedian para obtener la saliencia por color del objeto,

Saliencia por tamaño: Para cada objeto se calcula esta saliencia haciendo un promedio de las saliencias de: longitud (SI), ancho (Sw), altura (Sh) y volumen (Sv), como se muestra en la ecuación (5).

$$SSl_{|0-1|} = \frac{Sl_{|0-1|} + Sw_{|0-1|} + Sh_{|0-1|} + Sv_{|0-1|}}{4} \quad (5)$$

La saliencia de longitud se calcula dividiendo la longitud del objeto entre la longitud más grande de todos los objetos del entorno virtual (hlv). De igual forma se realiza para la saliencia de ancho, altura y volumen.

Saliencia por forma: Para cada objeto se determina esta saliencia teniendo en cuenta su forma con relación a las formas de todos los objetos en el entorno virtual. Se calcula a través de la ecuación (6) y toma valores entre 0 y 1.

$$Ssh_{[0-1]} = \frac{Es}{siBBox} \quad (6)$$

Donde:

Es	Espacio vacío, que se obtiene de restar el cuadro delimitador de vóxeles menos el volumen de vóxeles del objeto.
siBBox	Cuadro delimitador de vóxeles

Saliencia en base al contexto (SoC)

Para determinar matemáticamente el valor de la saliencia por color, tamaño y forma de los objetos del entorno virtual con respecto al contexto, es necesario:

- 1) Calcular el valor promedio de cada uno de estos parámetros dentro del contexto. En la Figura 2.9 se representan como *context color (avg)*, *context size (avg)*, *context shape (avg)*.
- 2) Calcular la distancia o diferencia entre el valor individual de la saliencia de color (tamaño o forma) y el valor promedio del color (tamaño o forma) en el contexto, y
- 3) Para el cálculo de la saliencia en base al contexto se propone un proceso basado en las siguientes operaciones:

Estandarizar la distribución: Partiendo de que las distancias en color, forma y tamaño con respecto al contexto están normalmente distribuidas, se transforman estas distancias en su correspondiente valor en distribución normal estándar (Lara, 2016). Se utiliza la ecuación (6), en la que μ representa el valor promedio y σ la desviación estándar en la distribución de distancias. Esta transformación permite determinar el grado de anormalidad de una distancia de color (tamaño o forma) entre las distancias de todos los objetos presentes dentro del contexto (Lara, 2016).

$$Z = \frac{x - \mu}{\sigma} \quad (7)$$

Uso de una distribución proporcional para determinar el valor de la saliencia normalizado: El objeto con puntuación estándar más alto tendrá el valor de

saliencia de '1', el objeto con la puntuación estándar más baja tendrá '0' y el resto se transformarán en proporción a sus valores. Para ello se utiliza la fórmula:

$$ScC_{|0-1|} = \frac{x+|min|}{|max|+|min|} \quad (8)$$

Donde:

ScC[0-1]	es el valor normalizado de la saliencia en base al contexto
x	es el valor de puntuación estándar de distancia a ser normalizado
max/min	es el valor máximo o mínimo de los puntajes estándar

3) Probabilidad de recordar la posición del objeto en el entorno (PR)

Considerando que la probabilidad de recordar algo es siempre subjetivo e impreciso se plantea su cálculo con la fórmula de la ecuación (9).

$$PR = \frac{GS+Mol+Hv}{3} \quad (9)$$

Saliencia general del objeto (GS): Su cálculo se realizará de acuerdo con las especificaciones del cálculo establecido en el numeral 2 "Saliencia visual o saliencia general del objeto (GS)"

Capacidad del usuario para recordar la localización de un objeto (Memory of Location, Mol): Representa la habilidad que tiene un usuario para memorizar la localización de una serie de objetos en una escena y una posición relativa entre ellos. La escala para evaluar la memoria de ubicación es:

- 1 si la capacidad es alta,
- 0,5 si la capacidad es media, y
- 0 si la capacidad es baja.

Historia de visión (Hv): La historia de visión de un objeto depende del tiempo que el usuario ha estado observándolo, y de la claridad de visibilidad.

2.6.3. Algoritmo para la selección de relaciones espaciales

Las relaciones espaciales es otro elemento crucial en la generación de direcciones. Estas relaciones están apoyadas en las tipologías acerca del conocimiento espacial de la Teoría de Piaget: topológica, proyectiva y euclidiano.

Las coordenadas absolutas de los objetos dentro del entorno virtual resultan poco efectivas para este propósito, pues para que las relaciones espaciales lo sean deben considerar el punto de vista del usuario. Por tanto, a continuación se describen los criterios considerados para el procedimiento computacional de las relaciones espaciales utilizadas.

On/under

Solo se comparan las coordenadas absolutas en el eje "Y" de ambos objetos, para saber que el objeto está arriba o abajo.

Close to

Para determinar si un objeto está cerca de otro, se consideran las distancias entre la cámara (representación de la posición del usuario) y el objeto a ser localizado, junto con la distancia entre los dos objetos. En esta relación se define un límite llamado d . Puede ser representado por la siguiente expresión lógica.

$$\text{Close to } \text{If } 2 \cdot d < d_g \ \&\& \ d_g > d_t$$

Left / Right / Above / Below / In front of / Behind

Estos casos son evaluados simultáneamente y si uno se sostiene los otros se descartan. Se toma de referencia el cuadro delimitados para la evaluar las coordenadas del objeto. Además, para la evaluación de la relación espacial se aplica una operación para obtener las coordenadas de un punto utilizado como amplitud.

Inside

Para determinar si un objeto está o no dentro de otro, se decidió utilizar la técnica conocida como "*ray casting*".

Between

Se examinaron varios criterios. Primero, se examine si existe varios candidatos a ser objetos de referencia, entonces se identifican los dos objetos de referencia más cercanos al objeto a localizar. Finalmente, se calculan las distancias del objeto a localizar para el objeto de referencia 1 and el objeto de referencia 2. Esto es, si $d_1 \leq 1.2$ de d_2 entonces se utiliza una relación espacial "*between*", caso contrario se utiliza una relación espacial binaria relativa para el objeto de referencia 2.

Firts, second, third, etc.

Estas relaciones espaciales son un caso auxiliar que es tomado en cuenta una vez que la mejor referencia del objeto es escogida. En este caso es necesario ayudar al usuario a discernir cuál de los objetos entre ellos es el objeto de referencia

CAPÍTULO 3

3 ESTADO DEL ARTE

En este capítulo analizamos los SITs que realizan la tutoría por medio de un diálogo con el alumno en lenguaje natural. Para identificar los SITs que disponen de esta cualidad, llevamos a cabo una Revisión Sistemática de Literatura (RSL) siguiendo la guía propuesta por Kitchenham (Kitchenham & Charters, 2007).

Decidimos realizar una RSL, porque es una metodología que permite identificar, evaluar, interpretar y sintetizar los estudios disponibles para responder preguntas de investigación particulares (Kitchenham & Charters, 2007). A diferencia de una revisión experta que utiliza la selección de literatura *ad hoc*, una RSL es una revisión metodológicamente rigurosa de los resultados de la investigación en un campo concreto. En una RSL, todas las decisiones utilizadas para seleccionar, extraer datos y recopilar información sobre los documentos deben ser explícitas, lo que permite al lector verificar el proceso de revisión (e incluso reproducirlo), así como evaluar el potencial de sesgo (Wohlin et al., 2012).

Para presentar este apartado, hemos organizado la información en cuatro secciones:

- a. los aspectos preliminares de la RSL realizada;
- b. la descripción de cómo se ha aplicado la metodología de RSL en este trabajo;
- c. la presentación y la discusión de los resultados obtenidos en la RSL; y
- d. el análisis crítico de los hallazgos de la RSL desde la perspectiva de los objetivos de esta Tesis Doctoral.

3.1. Aspectos Preliminares

La RSL fue llevada a cabo con el objetivo de conocer aquellos SITs que utilizan un diálogo en lenguaje natural para llevar a cabo la tutoría; y en base a ello, poder determinar determinadas características de estos SITs tales como: sus características esenciales y pedagógicas; las técnicas de procesamiento natural que utilizan para comprender los enunciados de los estudiantes; y las evaluaciones empíricas a las que han sido sometidos estos SITs.

3.2. Metodología Aplicada

Como lo indicamos al inicio de este apartado, para llevar a cabo la RSL se siguió la guía de Kitchenham, que refiere un protocolo compuesto por algunas etapas y actividades, que se ilustran en la Figura 3.1.

Figura 3.1. Etapas y Actividades de una RSL

3.2.1. Planificación

Preguntas de Investigación

Considerando que el objetivo de la RSL es identificar los SITs con capacidad de diálogo que se han implementado, se plantearon las siguientes preguntas de investigación (PIs):

- PI1: ¿Cuáles son las características esenciales de los SITs existentes que tienen la capacidad de dialogar con el alumno en lenguaje natural?
- PI2: ¿Cuál es el propósito principal del diálogo en cada sistema?

- PI3: ¿Cuáles son los enfoques de instrucción y los recursos de apoyo utilizados por los SITs con diálogo en lenguaje natural?
- PI4: ¿Cuál es el enfoque de CLN implementado por cada sistema?
- PI5: ¿Cómo se han evaluado empíricamente los SITs con diálogo en lenguaje natural?

Estrategia de búsqueda

La búsqueda se realizó en el período comprendido entre enero de 1998 y enero de 2018 en las siguientes bibliotecas digitales: ACM Digital Library, Elsevier Scopus, Elsevier Science Direct, IEEE Xplore, Semantic Scholar y SpringerLink.

La expresión de búsqueda (*query*) se definió mediante el uso de diferentes palabras clave relacionadas con los SITs y los sistemas de diálogo, de la siguiente manera:

("Intelligent Tutoring" OR "Tutor*" OR "Pedagogical Agent" OR "Intelligent Learning Environment") AND ("Dialogue*" OR "Tutorial Dialogue System" OR "Natural Language *" OR "Conversational") AND ("Teaching" OR "Educational Training" OR "Procedural Training")*

Para asegurarnos de que no estábamos omitiendo documentos relevantes (falsos negativos), repetimos la búsqueda con nuevas palabras clave sinónimas hasta que la búsqueda no arrojó ningún documento nuevo que cumpliera con los criterios de inclusión.

Criterios de inclusión y exclusión

Se incluyeron estudios que habían sido revisados por pares; describen algunas contribuciones de los SITs cuya tutoría se basa en el diálogo con lenguaje natural; explican el propósito principal del diálogo; especifican el enfoque CLN adoptado; y describen cómo se lleva a cabo el diálogo en la tutoría.

Para algunos SITs, también incluimos artículos que describían más detalles de su enfoque de CLN o estudios empíricos relacionados con ellos.

Se excluyeron aquellos estudios que: son encuestas, no revisados por pares, duplicados o no escritos en inglés; describen agentes conversacionales que no se han integrado en los SITs; o cuyo proceso de tutoría o su enfoque de CLN no se explica con suficiente detalle.

3.2.2. Ejecución

Proceso de selección de estudios primarios

Como se describe en la Figura 3.2, el proceso de selección constaba de cuatro pasos. En el paso 1, los artículos identificados mediante las búsquedas en las bases de datos se examinaron teniendo en cuenta el título y las palabras clave. Luego, en el paso 2, revisamos los resúmenes (*abstracts*). Como resultado de esta revisión, seleccionamos 185 de 630 artículos. A continuación, examinamos en detalle el texto completo de esos 185 artículos en el paso 3 y nos quedaron 46 artículos. Finalmente, en el paso 4, aplicamos la técnica de “bola de nieve” a los trabajos seleccionados, y obtuvimos tres artículos más, alcanzando un total de 49 estudios primarios.

Figura 3.2. Proceso de selección de estudios primarios

Extracción de datos y síntesis

Para responder a las cinco PIs, además de la identificación, el nombre del sistema y las referencias del artículo, definimos nueve características para cada SIT que se muestran en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1. Características asociadas a las PIs

Pregunta de Investigación	Características derivadas
¿Cuáles son las características esenciales de los SITs existentes que tienen la capacidad de dialogar con el alumno en lenguaje natural?	1) El tipo de SIT, 2) El área de conocimiento, y 3) El nivel educativo a los que va destinado
¿Cuál es el propósito principal del diálogo en cada sistema?	4) El propósito del diálogo
¿Cuáles son los enfoques de instrucción y los recursos de apoyo utilizados por los SITs con diálogo en lenguaje natural?	5) El enfoque de instrucción, 6) Los recursos de apoyo, y 7) El formato del texto de entrada requerido al alumno
¿Cuál es el enfoque de CLN implementado por cada sistema?	8) El enfoque de CLN
¿Cómo se han evaluado empíricamente los SITs con diálogo en lenguaje natural?	9) La evaluación empírica

3.3. Resultados de la Revisión Sistemática

En los 49 estudios primarios analizados, se identificaron un total de 33 SITs. La Tabla 3.2 presenta la información general de cada estudio: identificador, nombre del sistema, referencia, preguntas de investigación abordadas, tipo de artículo, lugar y año de publicación; y la Tabla 3.3 muestra un resumen de las principales características de cada SIT. Además, también tabulamos los datos con respecto a cada pregunta de investigación en las Tabla 3.4 - Tabla 3.8

Tabla 3.2. Formulario de Extracción de Datos

SIT	Referencia	Relación Con PI	Tipo de artículo	Lugar de Evento	Año
Abdullah	(Alobaidi et al., 2015)	1,2,3,4,5	Conference	International Conference on Agents and Artificial Intelligence	2015
Aries	(Millis et al., 2011)	1,2,3,4,5	Chapter	Serious Games and Edutainment Applications	2011
	(Cai et al., 2011)	4	Conference	International Conference on Computing and Intelligent Systems	2011
Atlas-Andes	(Rosé et al., 2001),	1,2,3,4,5	Conference	Artificial Intelligence in Education	2001
AutoTutor	(Graesser et al., 1999)	1,2,3,4,5	Journal	Cognitive Systems Research	1999
	(Graesser et al., 2000)	5	Journal	Interactive Learning Environments	2000
	(Graesser et al., 2003)	5	Conference	Artificial Intelligence in Education	2003
AutoTutor 3D	(Jackson et al., 2006)	1,2,3,4,5	Conference	28th Annual Meeting of the Cognitive Science Society	2006
AutoTutor Affect-Sensitive	(D'Mello & Graesser, 2012),	1,2,3,4,5	Journal	ACM Transaction Interactive Intelligent System	2012
AutoTutor Lite	(Sullins et al., 2015)	1,2,3,4,5	Journal	International Journal of Learning Technology	2015
Beetle II	(Dzikovska et al., 2014)	1,2,3,4,5	Journal	International Journal of Artificial Intelligence in Education	2014
	(Dzikovska et al., 2013)	4,5	Conference	International Conference on Artificial Intelligence in Education	2013
	(Dzikovska et al., 2010)	5	Demo/Con	Association for Computational Linguistics	2010
	(Dzikovska et al., 2010)	5	Conference	Association for Computational Linguistics	2010
	(Dzikovska et al., 2010)	5	Conference	Sustaining TEL: From Innovation to Learning and Practice	2010
BRCA Gist	(Wolfe et al., 2016)	1,2,3,4,5	Journal	Learning and Individual Differences	2016
CIRCSIM-Tutor	(Woo et al., 2006)	1,2,3,4,5	Journal	Artificial Intelligence in Medicine	2006
	(Glass, 2001)	4	Conference	International Conference on Artificial Intelligence in Education	2001
	(Mills et al., 2004)	5	Conference	Int. Conf. on Information Technology: Coding and Computing	2004
DeepTutor	(Rus et al., 2013)	1,2,3,4	Chapter	AI Magazine	2013

	(Rus et al., 2014)	5	Conference	International Conference on Intelligent Tutoring Systems	2014
Dialog	(Benzmüller et al., 2007)	1,2,3,4	Conference	Cognitive Systems	2007
EER-Tutor	(Weerasinghe & Mitrovic, 2006b)	1,2,3,4	Workshop	2006 Workshop on ITS for Ill-defined Domains	2006
	(Weerasinghe et al., 2010)	5	Conference	International Conference on Computers in Education	2010
Gaze Tutor	(D'Mello et al., 2012)	1,2,3,4,5	Journal	International Journal Human - Computer Studies	2012
Geometry Explanation Tutor	(Aleven et al., 2004)	1,2,3,4,5	Conference	International Conference on Intelligent Tutoring Systems	2004
Guru	(Olney et al., 2010)	1,2,3,4	Chapter	Advances in Intelligent Tutoring Systems	2010
	(Olney et al., 2012)	4	Chapter	Cross-Disciplinary Advances in Applied Natural Language Processing: Issues and Approaches	2012
	(Olney et al., 2012)	5	Conference	International Conference on Intelligent Tutoring Systems	2012
ITSpoke	(Litman & Forbes-Riley, 2006)	1,2,3,4,5	Journal	Speech Communication	2006
Jacob	(Evers & Nijholt, 2000),	1,2,3,4	Conference	Advances in Multimodal Interfaces - ICMI 2000	2000
Kermit-SE	(Weerasinghe & Mitrovic, 2006a)	1,2,3,4,5	Journal	International Journal of Knowledge-Based and Intelligent Engineering Systems	2006
Lana	(Aljameel et al., 2017)	1,2,3,4	Conference	IEEE International Conference on Computational Intelligence and Virtual Environments for Measurement Systems and Applications	2017
Ms. Lindquist	(Heffernan et al., 2008)	1,2,3,4,5	Journal	International Journal of Artificial Intelligence in Education	2008
My Science Tutor	(Ward et al., 2011)	1,2,3,4,5	Journal	ACM Transactions on Speech and Language Processing	2011
Normit-SE	(Mitrovic, 2005)	1,2,3,4,5	Conference	International Conference on Artificial Intelligence in Education	2005
Oscar	(Latham et al., 2014)	1,2,3,4,5	Journal	Computers & Education	2014
Paco	(Rickel et al., 2002)	1,2,3,4,5	Conference	International Conference on Intelligent Tutoring Systems	2002
ProPL	(Lane & VanLehn, 2005)	1,2,3,4,5	Journal	Computer Science Education	2005
ReportTutor	(El Saadawi et al., 2008)	1,2,3,4,5	Journal	Advances in Health Sciences Education	2008

Rimac	(Albacete et al., 2015)	1,2,3,4,5	Conference	International Conference on Artificial Intelligence in Education	2015
RMT	(Arnott et al., 2008)	1,2,3,4,5	Journal	Behavior Research Methods	2008
SCoT	(Pon-Barry et al., 2004)	1,2,3,4,5	Workshop	Workshop on Dialogue-based Intelligent	2004
VCAEST	(Shubeck et al., 2016)	1,2,3,4,5	Conference	Human Factors and Ergonomics Society	2016
Why2-Atlas	(VanLehn et al., 2002)	1,2,3,4	Conference	International Conference on Intelligent Tutoring Systems	2002
	(Jordan et al., 2006)	4,5	Conference	International Conference Florida Artificial Intell. Research Society	2006
Why2-AutoTutor	(Graesser et al., 2003)	1,2,3,4,5	Conference	25th Annual Conference of the Cognitive Science Society	2003
	(Jackson et al., 2004)	5	Conference	International Conference on	2004
	(VanLehn et al., 2007)	5	Journal	Intelligent Tutoring Systems Cognitive Science	2007

Cabe señalar que, los estudios incluidos en esta revisión son publicaciones en revistas, conferencias, talleres o capítulos de libros. La mayoría de los estudios se publicaron en conferencias (51.02%; 25 artículos), seguidos por las revistas (34.69%; 17 artículos), capítulos de libros (8.16%; 4 artículos) y talleres (6.12%; 3 artículos).

La Figura 3.3. muestra la distribución temporal de los artículos analizados. Estas publicaciones se agruparon en intervalos de 5 años para proporcionar una mejor visualización de las contribuciones numéricas a lo largo del tiempo. Se puede observar que el intervalo entre 2003 - 2007 tuvo el número máximo de publicaciones (32.65%), seguido por el intervalo 2008 - 2012 con 30.61%. Luego el intervalo 2013 - 2018 con 22.45%, mientras que en el intervalo 1998 - 2002 solo hubo 14.29% de publicaciones.

Figura 3.3. Vista temporal de publicaciones por intervalos

Tabla 3.3. Resumen de las Características de los SITs

SUMMARY OF ITSs CHARACTERISTICS																																					
RQ	Characteristics		ITS																																		
	ITS type		Abdullah	Aries	Atlas-Andes	AutoTutor	AutoTutor 3D	AutoTutor AS	AutoTutor Lite	Beetle II	BRCA Gist	CIRCUSIM-Tutor	DeepTutor	Dialog	EER-Tutor	Gaze Tutor	Guru	ITSpoke	Jacob	Kermit-SF	Lana	Ms. Lindquist	My Science Tutor	Normit-SF	Oscar	Paco	ProPL	ReportTutor	Rimac	RMT	SCoT	VCAEST	Why2-Atlas	Why2-AutoTutor			
1		Expectation and misconceptions tailored																																			
		Model-tracing tutor																																			
		Constraint-based model																																			
		Bayesian network model																																			
		Natural science																																			
		Computer science																																			
		Others																																			
		Medicine																																			
		Mathematics																																			
		College																																			
		High school																																			
		Others																																			
		Elementary school																																			
		Not reported																																			
		Explanation of concepts																																			
		Short answer questioning																																			
2		Explanation of executed actions																																			
		Justification of solutions																																			
		Application of rules, laws, and theorems																																			
		Execute an exercise																																			
		Resolution based on schemas																																			
		Analyze level																																			
		Create level																																			
		Test formats																																			
3		Long answer																																			
		Short answer																																			
4		Symbolic																																			
		Statistical																																			
		Hybrid																																			
		Comparison of different strategies supported by dialogue																																			
		Tutoring feedback supported by dialog vs limited tutoring feedback																																			
		Tutoring feedback supported by dialog vs limited tutoring feedback vs random feedback																																			
5		Short-term learning																																			

3.3.1. Análisis

En esta sección se muestra el análisis de las PIs.

PI1: Características esenciales de un SIT

En esta pregunta de investigación, buscamos identificar las características esenciales de los SITs incluidos en este estudio. Para lograr esta tarea, elegimos las tres características esenciales que se muestran en la Tabla 3.4. Para cada característica, definimos algunas categorías basadas en el contenido de los estudios seleccionados y otros estudios. A continuación, detallamos cómo se clasifican los SITs mediante el uso de estas categorías para cada característica esencial.

1) Tipo de SIT

Para esta característica esencial, usaremos la clasificación mencionada en la sección 2.1.3.

Expectativas y conceptos erróneos adaptados (*Expectation and misconceptions tailored*, EMT)

La Tabla 3.4 muestra que los SITs de tipo EMT son los más frecuentes. Este enfoque es bastante común en la tutoría humana (Graesser, 2016), (Graesser et al., 2004). Básicamente, estos sistemas modelan el conocimiento de los estudiantes comparando las respuestas de los estudiantes con una lista de respuestas correctas que representan expectativas (objetivos de aprendizaje) y/o una lista de respuestas erróneas asociadas a conceptos mal aprendidos, que se pueden prever en la materia de estudio (Graesser et al., 2005). Sin embargo, no todos estos SITs funcionan con expectativas y conceptos erróneos, por cuanto algunos de ellos utilizan solo uno de estos conjuntos para proporcionar retroalimentación, como se explicará a continuación.

En este grupo de sistemas EMT, podemos encontrar Autotutor (Graesser et al., 1999) y sus descendientes, a saber, Aries (Millis et al., 2011), Autotutor 3D (Jackson et al., 2006), Autotutor Affect-Sensitive (D'Mello & Graesser, 2012), AutoTutor Lite (Sullins et al., 2015), DeepTutor (Rus et al., 2013), Gaze Tutor (D'Mello et al., 2012), Guru (Olney et al., 2010) y Why2-Autotutor (Graesser et al., 2003). Todos los SITs de la familia Autotutor comparten una estrategia de tutoría basada tanto en expectativas como en conceptos erróneos.

AutoTutor Lite es una versión web diseñada para la integración en sistemas de terceros que funciona con un modelo de estudiante simplificado llamado curvas características del estudiante basadas en la relevancia y novedad de las contribuciones de los estudiantes (Morrison et al., 2014). Además, AutoTutor Lite trabaja con objetos de conocimiento compartibles (SKO) para crear los materiales que deben aprender los estudiantes (Nye, 2013). BRCA Gist (Wolfe et al., 2016) y VCAEST (Shubeck et al., 2016) fueron desarrollados usando AutoTutor Lite para la generación de diálogos tutoriales.

Aunque la aplicación de la estrategia EMT no se indica explícitamente en los estudios relacionados con Abdullah (Alobaidi et al., 2015), Lana (Aljameel et al., 2017), Beetle II (Dzikovska et al., 2014), CIRCSIM-Tutor (Woo et al., 2006), Dialog (Benzmüller et al., 2007), Geometry Explanation Tutor (Aleven et al., 2004), ITSpoke (Litman & Forbes-Riley, 2006), My Science Tutor (Ward et al., 2011), Oscar (Latham et al., 2014), ProPL (Lane & VanLehn, 2005), ReportTutor (El Saadawi et al., 2008), Rimac (Albacete et al., 2015), RMT (Arnott et al., 2008) y Why2-Atlas (VanLehn et al., 2002), después de analizar la forma en que realizan la tutoría, concluimos que pertenecen a este tipo de SIT. A continuación, justificaremos esta conclusión para cada uno de estos sistemas.

Abdullah y Lana comparan las respuestas cortas de los estudiantes con las respuestas correctas esperadas.

Beetle II utiliza una base de conocimientos para verificar la exactitud de los hechos y las explicaciones expresadas por los estudiantes. Por tanto, esta base de conocimientos puede considerarse un conjunto de expectativas explícitas e inferidas.

CIRCSIM-Tutor mantiene un modelo de estudiante que representa los errores del estudiante y sus posibles conceptos erróneos.

Luego, tenemos algunos SITs (Rimac, ITSpoke, Why2-Atlas y ProPL) que se han implementado mediante el uso de kits de herramientas de diálogo tutorial, como TuTalk (Jordan et al., 2007) y Atlas (Freedman et al., 2000). Estas herramientas permiten la definición de estrategias de tutoría flexibles, que pueden basarse en expectativas y/o errores típicos.

Dialog aborda los conceptos erróneos que se detectan en las pruebas matemáticas creadas por los estudiantes. Para detectar estos conceptos erróneos, el sistema se basa en un razonador de dominio que evalúa la solidez, la granularidad (tamaño aceptable de la

prueba) y la relevancia (útil con respecto al objetivo) de los pasos de la prueba con respecto a las expectativas.

Geometry Explanation Tutor se centra en ayudar a los estudiantes a mejorar las explicaciones que parecen apuntar a la idea correcta, pero que no son lo suficientemente precisas con respecto a la explicación esperada.

My Science Tutor hace preguntas que están diseñadas para obtener respuestas de los estudiantes que se asignarán a los elementos de los marcos semánticos específicos (declaraciones que deben aprenderse). La información extraída de las respuestas de los estudiantes se integra en el contexto de la sesión que representa qué puntos han sido tratados por el estudiante, cuáles no, cuáles se expresaron correctamente y cuáles representaron conceptos erróneos.

Oscar se basa en soluciones erróneas o incompletas para proporcionar comentarios.

ReportTutor evalúa la corrección de los informes de los estudiantes comprobando si contienen información errónea o faltante.

RMT involucra a los estudiantes en un diálogo de lenguaje natural, evaluando las respuestas de los estudiantes respecto a un conjunto de respuestas esperadas.

Modelo basado en Rastreo (*Model-tracing tutor*, MTT)

Estos SITs (Atlas-Andes (Rosé et al., 2001), Jacob (Evers & Nijholt, 2000), Paco (Rickel et al., 2002) y Ms. Lindquist (Heffernan et al., 2008)) monitorean la progresión del aprendizaje de los estudiantes realizando un seguimiento de sus acciones a través de la interfaz de usuario. Así, estos SITs emplean un diálogo para posibilitar el avance del alumno en la resolución de un problema.

Modelo basado en Restricciones (*Constrain-based Model*, CBM)

Los SITs de tipo CBM (Normit-SE (Mitrovic, 2005), Kermit-SE (Weerasinghe & Mitrovic, 2006a) y EER-Tutor (Weerasinghe & Mitrovic, 2006b)) modelan el conocimiento del dominio mediante un conjunto de restricciones que deben cumplirse durante el proceso de resolución de problemas. Por lo tanto, la violación de una restricción revelará una brecha de conocimiento o un concepto erróneo que deberá corregirse en el conocimiento del estudiante. Como mostraremos más adelante, el soporte que proporcionarán estos

SITs para la auto-explicación jugará un papel clave en la revisión de los conocimientos del alumno.

Modelo de red Bayesiana (*Bayesian network model*, BNM)

Una red bayesiana se puede utilizar para representar un modelo de estudiante por medio de múltiples variables con las que se puede determinar la probabilidad de que el estudiante haya adquirido algún conocimiento o tenga un concepto erróneo. La red bayesiana es una opción de modelado apropiada, en la medida de que la tarea de inferir el estado cognitivo de un estudiante a partir de sus respuestas a las preguntas implica una gran cantidad de incertidumbre. Según los estudios seleccionados, SCoT (Pon-Barry et al., 2004) es el único SIT de este subgrupo.

2) Área de Conocimiento

Cada uno de los SITs referidos aborda una de las siguientes áreas de conocimiento: ciencias naturales, informática, medicina, matemáticas y otras. De éstos, destacan en mayor medida los SITs de las ciencias naturales en los ámbitos de la física, la biología y la electrónica, seguidos de los SITs de la informática.

Además de mostrar sus áreas de conocimiento, vale la pena señalar que los SITs encontrados en esta RSL brindan tutoría en tres idiomas diferentes: Dialog (alemán), Abdullah y Lana (árabe) y los restantes SITs (inglés).

3) Nivel Educativo

Esta característica esencial se refiere al nivel educativo en el que se ha utilizado el SIT. Consideraremos los siguientes niveles educativos: primaria, secundaria, universitario y otros. En esta característica esencial destacan con un mayor porcentaje, los SITs dirigidos al nivel universitario. Para AutoTutor Lite y Jacob, esta información no se proporcionó en ningún documento.

Tabla 3.4. Características esenciales de los SITs

Característica Esencial		SIT	Frec.	%
Tipo de SIT	Expectativas y conceptos erróneos adaptados	Abdullah, Aries, AutoTutor, AutoTutor 3D, AutoTutor Affect – Sensitive, AutoTutor Lite, Beetle II, BRCA Gist, CIRCSIM-Tutor, DeepTutor, Dialog, Gaze Tutor, Geometry Explanation Tutor, Guru, ITSpoke, Lana, My Science Tutor, Oscar, ProPL, ReportTutor, Rimac, RMT, VCAEST, Why2-Autotutor, Why2-Atlas.	25	75.76
	Modelo de rastreo	Atlas-Andes, Jacob, Ms. Lindquist, Paco.	4	12.12
	Modelo basado en restricciones	EER-Tutor, Kermit-SE, Normit-SE.	3	9.09
	Modelo de red bayesiana	SCoT	1	3.03
Área de Conocimiento	Ciencias Naturales	Atlas-Andes, AutoTutor 3D, Beetle II, DeepTutor, Gaze Tutor, Guru, ITSpoke, Lana, My Science Tutor, Rimac, Why2-Autotutor, Why2-Atlas.	12	36.36
	Informática	Autotutor, AutoTutor Affect – Sensitive, EER-Tutor, Kermit-SE, Normit-SE, Oscar, ProPL.	7	21.21
	Otros	Abdullah, Aries, AutoTutor Lite, Jacob, Paco, RMT, SCoT.	7	21.21
	Medicina	BRCA Gist, CIRCSIM-Tutor, ReportTutor, VCAEST.	4	12.12
	Matemáticas	Dialog, Geometry Explanation Tutor, Ms. Lindquist.	3	9.09
Nivel Educativo	Universitario	Atlas-Andes, AutoTutor, AutoTutor 3D, AutoTutor Affect – Sensitive, Beetle II, BRCA Gist, CIRCSIM-Tutor, Dialog, EER-Tutor, Gaze Tutor, ITSpoke, Kermit-SE, Normit-SE, Oscar, ProPL, RMT, Why2-Autotutor, Why2-Atlas.	18	54.55
	Secundario	Aries, DeepTutor, Geometry Explanation Tutor, Guru, Ms. Lindquist, Paco, Rimac, SCoT.	8	24.24
	Otros	Lana, ReportTutor, VCAEST.	3	9.06
	Primario	Abdullah, My Science Tutor.	2	6.06
	No reportado	AutoTutor Lite, Jacob.	2	6.06

PI2: Propósito del Diálogo

Esta PI se formuló con la intención de conocer qué tipo de procesos cognitivos el alumno pueda realizar con cada SIT. Para clasificar los SITs, como se muestra en la Tabla 3.5, consideramos los niveles de procesos cognitivos definidos en la edición revisada de la taxonomía de Bloom (Anderson, Krathwohl, & Bloom, 2001). A su vez, en los dos primeros niveles (niveles de comprensión y aplicación), distinguimos diferentes subgrupos de SITs atendiendo a cómo los estudiantes demuestran su conocimiento del tema objeto de estudio.

1) Nivel de Comprensión

Este tipo de sistema adapta el diálogo para facilitar la construcción de conexiones entre el conocimiento nuevo y el conocimiento previo en la mente de los estudiantes. En este sentido, los diálogos tienen varios propósitos: ayudar a los estudiantes a proporcionar respuestas a preguntas y explicaciones correctas; para remediar conceptos erróneos; y resumir los temas abordados para dejar patente la asimilación de los principales conceptos.

Explicación de conceptos

Dentro del grupo de sistemas para el nivel de comprensión, la mayoría de los sistemas están dirigidos a facilitar la creación de explicaciones de conceptos. En este subgrupo se encuentran Aries, AutoTutor, AutoTutor Affective - Sensitive, AutoTutor Lite, BRCA Gist, Gaze Tutor, Guru, My Science Tutor y RMT. Todos estos sistemas requieren que los estudiantes proporcionen explicaciones en respuesta a sus preguntas en lugar de respuestas breves que podrían conducir a un conocimiento superficial. En el caso de Guru, presenta a los estudiantes breves clases magistrales a partir de las cuales los alumnos elaboran resúmenes, completan mapas conceptuales y rellenan ejercicios de tipo *cloze*.

Preguntas de respuesta corta

Abdullah y Lana integran otro subgrupo de SITs, que comparten la cualidad de formular preguntas de respuesta breve a los estudiantes.

Explicación de acciones ejecutadas

Otro SIT de este grupo es SCoT. Sin embargo, en lugar de comentar las respuestas del estudiante, SCoT examina las acciones que el estudiante realizó en un simulador (DC-Train) y luego lo hace partícipe de un diálogo reflexivo (Bulitko & Wilkins, 1999).

2) Nivel de Aplicación

Los SITs de este grupo generan diálogos en lenguaje natural para acompañar a los estudiantes en la resolución de problemas, guiando al estudiante en el proceso de resolución. Sin embargo, algunos de estos SITs esperan a que los estudiantes completen la resolución de un problema y luego los involucran en diálogos para revisar su comprensión de los conceptos. Aquí, vale la pena señalar que este enfoque está respaldado por el estudio presentado en (Katz, O'Donnel, & Kay, 2000). Según sus conclusiones, los estudiantes pueden hacer más preguntas y discutir mejor sus procesos de razonamiento en los diálogos que se generan después de la resolución de un problema que en los diálogos generados durante la resolución del problema.

Justificación de soluciones

La mayoría de los SITs de este subgrupo (AutoTutor 3D, DeepTutor, ITSpoke, Why2-Atlas y Why2-AutoTutor) plantean un problema de física a los estudiantes y luego ayudan a los estudiantes a resolver el problema paso a paso mediante un diálogo de iniciativa mixta. En algunos pasos, se les pide a los estudiantes que justifiquen sus decisiones/acciones correctas o incorrectas.

Por el contrario, Rimac y VCAEST esperan a que los estudiantes hayan completado la resolución del problema y luego los involucran en un diálogo reflexivo.

Aplicación de reglas, leyes y teoremas.

A diferencia de los SITs del grupo anterior, este tipo de SIT soporta diálogos basados en un lenguaje mixto que combina lenguaje natural y un lenguaje formal. Por lo tanto, durante la resolución del problema, estos SITs ayudan a los estudiantes a construir una expresión matemática o completar una tabla aplicando algunas reglas, leyes o teoremas.

Por ejemplo, en Atlas-Andes, los estudiantes deben resolver problemas relacionados con la aceleración con el apoyo del módulo *Conceptual Helper*, que ofrece ayuda no solicitada.

CIRCSIM-Tutor genera un diálogo basado en una predicción sobre siete parámetros cardiovasculares previamente introducida por el alumno en una tabla.

En Dialog, los estudiantes deben demostrar un teorema en la teoría de conjuntos.

Geometry Explanation Tutor pide a los alumnos que expliquen con sus propias palabras cada uno de los pasos que han seguido para resolver un problema relacionado con los teoremas de los ángulos.

Ms. Lindquist ayuda al estudiante a construir una fórmula de álgebra a partir de un enunciado de un problema proporcionando retroalimentación paso a paso.

Ejecución de un ejercicio

En este subgrupo, tenemos los SITs (Jacob, Normit-SE y Paco) que ayudan al alumno a realizar tareas aplicando paso a paso procedimientos predefinidos, en donde un procedimiento consiste en una secuencia de pasos que deben seguirse en un orden prefijado.

Resolución basada en esquemas

En este subgrupo, podemos encontrar los SITs (Oscar y ProPL) que trabajan con esquemas de la solución y ayudan a los estudiantes a identificar y/o instanciar los esquemas o plantillas requeridos. En el caso de ProPL, en primer lugar, los estudiantes deben identificar los objetivos de la programación (tarea de descomposición) a partir de un enunciado del problema con la ayuda del tutor. Posteriormente, deben identificar el esquema correcto para lograr cada objetivo por medio de un diálogo con el tutor y proporcionar detalles sobre cómo instanciar los esquemas para el problema en cuestión (tarea de composición).

3) Nivel de Análisis

En este nivel, incluimos únicamente ReportTutor, porque es el único SIT que implica el análisis de algunos datos para elaborar un informe de diagnóstico, concretamente para casos de melanoma. En este sentido, ayuda a los estudiantes a aprender a documentar e

identificar todas las características relevantes que se encuentran en unas diapositivas virtuales.

4) Nivel de Creación

Este nivel comprende solo dos SITs (EER-Tutor y Kermit-SE) que permiten la creación de un modelo de entidad-relación. Al usar estos SITs, los estudiantes son libres de tomar las decisiones de diseño que consideren necesarias para construir un modelo de datos correcto, siempre que cumplan con ciertas restricciones de dominio.

Tabla 3.5. Propósito del diálogo de los SITs

Propósito de Diálogo		SIT	Frec.	%
Nivel de Comprensión	Explicación de conceptos	Aries, AutoTutor, AutoTutor Affective – Sensitive, AutoTutor Lite, BRCA Gist, Gaze Tutor, Guru, My Science Tutor, RMT.	9	27.27
	Preguntas de respuestas cortas	Abdullah, Lana.	2	6.06
	Explicación de acciones ejecutadas	SCoT.	1	3.03
Nivel de Aplicación	Justificación de soluciones	AutoTutor 3D, Beetle II, DeepTutor, ITSpoke, Rimac, VCAEST, Why2-Atlas, Why2-AutoTutor.	8	24.24
	Aplicación de reglas, leyes y teoremas	Atlas-Andes, CIRCSIM-Tutor, Dialog, Geometry Explanation Tutor, Ms. Lindquist.	5	15.15
	Ejecución de un ejercicio	Jacob, Normit-SE, Paco.	3	9.09
	Resolución basada en esquemas	Oscar, ProPL.	2	6.06
Nivel de Análisis		ReportTutor.	1	3.03
Nivel de Creación		EER-Tutor. Kermit-SE.	2	6.06

PI3: Características Pedagógicas

Esta PI se planteó para conocer las características pedagógicas de los SITs. Para cumplir con esta tarea, se establecieron tres características relevantes relacionadas con el proceso de tutoría: el enfoque instruccional, los recursos de apoyo en los que se apoya y el formato del texto de entrada proporcionado por el alumno mediante el cual el SIT evalúa

su adquisición de los conocimientos. Las categorías para cada característica que presentamos en la Tabla 3.6 se definieron: para el enfoque instruccional a partir de los estudios considerados; para los recursos de apoyo, nos inspiramos en la sección sobre medios complementarios descrita en (Nye et al., 2014); y para el formato del texto de entrada, nos basamos en la clasificación establecida en (Graesser & Person, 1994).

1) Enfoque Instruccional

El enfoque de instrucción es la estrategia que sigue el SIT para asegurarse de que los estudiantes aprendan el tema objeto de estudio y alcancen sus objetivos de aprendizaje.

Si bien sabemos que el enfoque instruccional SIT se inspira generalmente en la teoría del aprendizaje socrático y constructivista, examinamos el enfoque que cada SIT lleva a cabo durante el proceso de enseñanza.

Como no pudimos encontrar en la literatura relacionada ninguna clasificación que se ajuste a los requisitos específicos de este estudio, desarrollamos nuestra propia clasificación definida por medio de las cuatro categorías descritas en la Tabla 3.6.

Además, queremos señalar que las descripciones de los SITs que se muestran a continuación se basan en lo que se explica en los estudios seleccionados. Por lo tanto, es posible que estemos omitiendo algunas características relevantes de estos SIT que no se mencionaron en los estudios seleccionados.

Generación de explicaciones para justificar soluciones

En este enfoque de instrucción, el SIT permite al estudiante elaborar activamente explicaciones y justificaciones de una entrada previa del estudiante (por ejemplo, una respuesta del estudiante, una predicción del estudiante que esté relacionada con una simulación) en un diálogo por turnos. En cada turno, el SIT compara la respuesta del estudiante con las expectativas (respuestas correctas) y/o los conceptos erróneos que se prepararon para cada pregunta. Para facilitar el tratamiento de los conceptos erróneos, el SIT cuenta con un conjunto de respuestas incorrectas anticipadas (*bugs*) y sus correspondientes remedios.

Descubrimos que la mayoría de los SITs implementan este enfoque, por ejemplo, AutoTutor y sus descendientes. AutoTutor presenta al alumno una pregunta profunda

y le anima a que proporcione una respuesta suficientemente detallada en un ciclo de “pista – indicación – afirmación” (Person et al., 2000).

El mecanismo de diálogo de AutoTutor se ha implementado en todos sus descendientes con ciertas variaciones. Por ejemplo, AutoTutor 3D, además de hacer preguntas profundas a los estudiantes, también solicita predicciones sobre simulaciones y las responde.

En Aries se emplea un mecanismo de diálogo similar, si bien se diferencia en que el diálogo puede transcurrir de tres maneras distintas (denominados “*dialogs*”), y en él siempre participan el jugador y dos agentes virtuales, Dr. Quinn y Glass. Hay tres tipos de *dialogs*. Un *dialog* estándar ocurre cuando Glass observa al Dr. Quinn enseñar al jugador. Se produce un *dialog* indirecto o vicario cuando el jugador observa al Dr. Quinn enseñar a Glass. Por último, se produce un *dialog* de enseñanza cuando el jugador enseña a Glass mientras el Dr. Quinn observa. El tipo de *dialog* que se utiliza para una pregunta en particular depende del nivel de conocimiento exhibido por el jugador. Todos los *dialogs* siguen la misma secuencia “pregunta – sugerencia – indicación – resumen”.

Los autores de Guru propusieron un ciclo de diálogo extendido con las siguientes fases “instrucción directa - indicación - retroalimentación - verificación - pregunta - retroalimentación” para mejorar la efectividad de las evaluaciones de la comprensión del estudiante.

AutoTutor Affective-Sensitive puede reconocer los estados afectivos y cognitivos del alumno, y en base a ellos, adaptar sus movimientos de diálogo.

BRCA Gist y VCAEST aplican preguntas de razonamiento profundo complementadas con preguntas de autorreflexión más simples y tutoría indirecta.

Aparte de Autotutor y sus descendientes, hay otros destacables SITs que implementan este enfoque instruccional, como mostraremos a continuación.

En el caso de Beetle II, se proporciona retroalimentación dinámica basada en un contexto específico, fomentando un diálogo reflexivo a través de un ciclo de “predecir – verificar – evaluar”. El contexto específico viene determinado por las simulaciones en las que se pide a los estudiantes que predigan el comportamiento del circuito y expliquen la predicción. Luego, deben verificar sus predicciones en el simulador de circuitos. A continuación, el sistema pregunta si los resultados simulados coinciden con sus

predicciones y solicita a los estudiantes que expliquen lo que han observado. Después de analizar la respuesta de cada alumno, Beetle II puede proporcionar diferentes tipos de comentarios: reconocer la parte correcta de la respuesta; sugerir una diapositiva para leer con material relacionado con el tema objeto de estudio; solicitar al alumno que completa las partes faltantes en su respuesta previa; dar pistas (con baja o alta especificidad); e indicar la respuesta correcta directamente.

My Science Tutor hace preguntas basadas en lo que ven los estudiantes en videos interactivos para ayudarles a proporcionar respuestas que demuestren su comprensión de algunos temas. Las preguntas de seguimiento y los vídeos están diseñados para reforzar el aprendizaje proporcionando pistas sobre los elementos importantes de la investigación que el estudiante no incluyó en su explicación o que no entendió correctamente.

En Rimac, los diálogos solo los inician los tutores, y el alumno inicialmente emite respuestas breves y luego explicaciones. Rimac está diseñado para ser sensible al nivel de abstracción de la entrada del estudiante en varios puntos durante el diálogo. Así, durante el diálogo, Rimac pide al estudiante que abstraiga o especialice sus explicaciones, cuando sea apropiado.

SCoT formula preguntas basadas en las acciones realizadas por el estudiante en el simulador DC-Train y discute respuestas incorrectas o parcialmente correctas (relacionadas con acciones incorrectas en el simulador) con el estudiante aplicando recetas de actividades (*activity recipes*) para guiar el diálogo.

En ITSpoke y Why2-Atlas, el estudiante debe construir un ensayo que luego se analiza y se utiliza como base para un diálogo tutorial. En este diálogo se exponen las críticas al ensayo y se ayuda al alumno a reescribirlo para abordar los defectos que se hayan detectado. En ITSpoke, si el alumno no corrige todos los defectos, el tutor vuelve a intentarlo, pero con un diálogo diferente. A diferencia de ITSpoke y Why2-Atlas, Why2-AutoTutor se enfoca principalmente en obtener las contribuciones correctas (expectativas) del estudiante en lugar de corregir todos los defectos de sus ensayos. Si no se cumplen todas las expectativas, recurrirá a indicaciones y sugerencias para guiar al alumno hacia ellas.

Apoyo en la resolución de problemas

Los SITs de este grupo pueden ofrecer apoyo en la resolución de problemas, ya sea bajo demanda; cuando detectan un error del estudiante o un concepto incorrectamente aprendido por el estudiante; o cuando la solución no es lo suficientemente completa. A continuación, mencionaremos los enfoques más relevantes implementados en estos SITs.

Atlas-Andes, Geometry Explanation Tutor y ProPL inician su diálogo cuando detectan conceptos erróneos o las soluciones no son lo suficientemente completas o precisas. En el caso de ProPL, se centra en conseguir una respuesta correcta del estudiante proporcionándole una pista (por ejemplo, señalándole algo en el enunciado del problema); o solicitándole al estudiante una generalización o una síntesis que le permita mejorar su respuesta anterior (por ejemplo, pidiéndole que imagine un escenario que provoque un fallo del programa).

Las respuestas de Geometry Explanation Tutor a menudo toman la forma de preguntas, con la intención de conseguir que el estudiante vea que la regla que afirmó era demasiado general. Después de varias iteraciones, el estudiante debe transformar una explicación, que inicialmente era imprecisa o demasiado general, en una declaración precisa de la regla geométrica.

CIRCSIM-Tutor pide a los estudiantes predicciones cualitativas (aumentan, disminuyen o no cambian) sobre siete parámetros cardiovasculares. Luego, si el SIT detecta alguna predicción errónea, iniciará un diálogo reflexivo con preguntas dirigidas a conseguir que el estudiante revise un concepto erróneo en su comprensión del tema objeto de estudio (por ejemplo, relaciones causa-efecto erróneas). Este sistema genera una pista solo cuando el estudiante comete un error en el primer intento de responder a una pregunta. De lo contrario, le da al estudiante la respuesta correcta directamente.

En EER-Tutor y Kermit-SE, los diálogos comienzan una vez que el estudiante ha violado una restricción. Hay un esquema de diálogo para cada tipo de error, y si hay varios errores, se selecciona el error más apropiado para la discusión. En el caso de Kermit-SE, el diálogo consta de las siguientes etapas: (i) informa del error y pregunta al alumno el motivo de la decisión; (ii) le anima a comprender por qué la decisión fue incorrecta; (iii) le anima a tomar la decisión correcta; y (iv) le pide que revise el concepto de dominio relacionado con el error a través de una pregunta.

En ReportTutor, el participante hace un diagnóstico a partir de un conjunto de diapositivas virtuales y procede a escribir un informe. Si se pierde en la redacción, puede pedir ayuda y recibir sugerencias para el tema objeto de estudio. Cuando el informe está terminado, el sistema verifica si no tiene errores ni atributos faltantes, y proporciona retroalimentación visual.

Clarificar y dirigir procedimientos

La aclaración y dirección de los procedimientos es otro enfoque instructivo que identificamos en los estudios seleccionados. Este grupo podría ser un subgrupo del grupo anterior, pero preferimos considerarlo un grupo separado para resaltar que en este grupo los estudiantes necesitan apoyo para llevar a cabo un procedimiento o tarea predefinida. En cambio, los SITs del grupo anterior tienen como objetivo apoyar la resolución de problemas cuya solución no se puede construir paso a paso siguiendo un procedimiento predefinido. Nosotros pensamos que esta diferencia tiene un claro impacto en cómo los SITs de estos dos grupos guían a los estudiantes a lo largo del proceso de resolución, por tanto tiene sentido presentarlos por separado.

Dentro de este grupo, incluimos a Paco, Jacob y Normit-SE. Tanto Jacob como Paco brindan instrucción y asistencia para las tareas, dando pistas sobre la siguiente acción a realizar y retroalimentación inmediata sobre las acciones ejecutadas. Paco también ofrece confirmación cuando el alumno hace algo correctamente, y correcciones y aliento cuando comete un error. Además, en el caso de Paco, la práctica se plantea como un trabajo colaborativo entre el alumno y el tutor. Entonces, si Paco cree que el alumno tiene los conocimientos suficientes para realizar la siguiente acción, esperará que la haga. De lo contrario, Paco intervendrá y explicará al alumno qué hacer a continuación.

Normit-SE permite la auto-explicación para que los estudiantes se expliquen mientras resuelven el problema. Más concretamente, esta explicación se solicita para cada acción que se realiza por primera vez y en el caso de que se cometa un error. El alumno también puede solicitar una pista para cada error cometido. La solución correcta está disponible solo bajo petición del alumno.

Hacer preguntas - responder

Este enfoque es el más simple de implementar porque los dos SITs de este grupo plantean preguntas basadas únicamente en los fragmentos de información brindados al

estudiante antes del diálogo y luego esperan respuestas breves. Si el alumno comete un error, estos dos SITs reaccionan de forma diferente. Por un lado, Abdullah le da otra oportunidad al estudiante para corregir su respuesta. Si el estudiante falla nuevamente en dar una respuesta correcta, Abdullah se la muestra y continúa con la siguiente pregunta. Por otro lado, Lana explica directamente la respuesta correcta al estudiante y continúa con la siguiente pregunta.

Además, Abdullah puede clasificar las respuestas de los estudiantes en diferentes niveles de corrección (completamente correcta, parcialmente correcta o casi fallada). De esta forma, puede responder a los estudiantes con diferentes tipos de estímulos o mensajes de ánimo.

Antes de cerrar este apartado, cabe mencionar algunos SITs que incorporan destacables mecanismos para potenciar la adaptabilidad al alumno. En este sentido, podemos mencionar a DeepTutor, Lana y Oscar.

DeepTutor amplió la capacidad de tutoría de AutoTutor con macro-adaptabilidad. Este sistema de macro-adaptación se basa en progresiones de aprendizaje, para modelar y organizar el conocimiento en base a lo que se sabe sobre cómo los estudiantes realmente progresan a través del contenido que se está enseñando. La macro-adaptabilidad es particularmente importante cuando se imparte tutoría durante períodos más largos que una o dos sesiones con el tutor y cuando los estudiantes comienzan con niveles de conocimientos diferentes. Finalmente, Lana y Oscar consideran los estilos de aprendizaje para proporcionar contenido personalizado durante el diálogo.

2) Recursos de Apoyo

Los recursos de apoyo se refieren a los tipos de recursos que cada SIT utiliza en su proceso de enseñanza ya sea durante el diálogo, antes o después. En cualquier caso, estos recursos sirven para motivar el diálogo (por ejemplo, simulando un fenómeno físico), para ayudar a los estudiantes a construir enunciados o para describir conceptos que luego se abordarán en la conversación.

Esta característica puede tomar algunos de los siguientes ocho valores: agente animado, audio y video, mapas conceptuales, imágenes, menú de opciones, simulación,

tabla y diapositivas virtuales. Algunos trabajos no reportan el uso de ningún material específico para dar soporte al proceso de enseñanza.

Vale la pena aclarar que el valor del “menú de opciones” se asigna a los sistemas que brindan opciones de menú para ayudar a los estudiantes a construir sus enunciados.

Los resultados de esta categoría se muestran en la Tabla 3.6 y nos permiten ver que los agentes animados y las imágenes son claramente los recursos más utilizados por los SITs, porque facilitan el proceso de aprendizaje y pueden incorporarse fácilmente al sistema. Casi la mitad de los SITs incluidos en esta RSL utilizan agentes animados. Entre ellos, encontramos a Autotutor y sus descendientes, y otros SITs como Jacob, Lana, My Science Tutor y Oscar.

Varios SITs emplean simulaciones de diferentes formas. En AutoTutor 3D, Beetle II, My Science Tutor, VCAEST y SCoT, la simulación se utiliza para motivar el diálogo de tutoría. Por otro lado, en el caso de Jacob y Paco, se utilizan simulaciones para permitir la resolución del problema guiada por el tutor.

3) Formato del Texto de Entrada

Distinguimos dos formatos para los enunciados que los estudiantes deben proporcionar al ITS: respuesta larga y respuesta corta. Una respuesta larga o un ensayo corto generalmente se compone de al menos 2 oraciones y es la forma de evaluación de la mayoría de los SITs. En cambio, las respuestas breves normalmente constan de dos oraciones cortas como máximo.

Vale la pena señalar que, si bien Ms. Lindquist y Rimac admiten solo respuestas breves en lenguaje natural, permiten la construcción de explicaciones mediante menús de opciones.

Tabla 3.6. Características pedagógicas de los SITs

Característica Pedagógica		SIT	Frec.	%
Enfoque Instruccional	Generación de explicaciones para justificar soluciones	Aries, AutoTutor, Autotutor 3D, AutoTutor Affective – Sensitive, AutoTutor Lite, Beetle II, BRCA Gist, DeepTutor, Gaze Tutor, Guru, ITSpoke, My Science Tutor, Rimac, RMT, SCoT, VCAEST, Why2-Atlas, Why2-AutoTutor.	18	54.55

	Soporte para la resolución de problemas	Atlas-Andes, CIRCSIM-Tutor, Dialog, EER-Tutor, Geometry Explanation Tutor, Kermit-SE, Ms. Lindquist, Oscar, ProPL, ReportTutor.	10	30.30
	Clarificar y dirigir procedimientos	Paco, Jacob, Normit-SE.	3	9.09
	Hacer preguntas - responder	Abdullah, Lana.	2	6.06
Recursos de apoyo	Agentes animados	Aries, AutoTutor, AutoTutor 3D, AutoTutor Affect-Sensitive, AutoTutor Lite, BRGA Gist, DeepTutor, Gaze Tutor, Guru, Jacob, Lana, My Science Tutor, RMT, VCAEST, Why2-AutoTutor.	15	44.12
	Imágenes	Abdullah, Atlas-Andes, AutoTutor, AutoTutor Affective-Sensitive, AutoTutor Lite, BRCA Gist, DeepTutor, Gaze Tutor, Guru, Geometry Explanation Tutor, My Science Tutor, Oscar, RMT.	13	38.24
	Audio y video	Abdullah, Aries, Lana, My Science Tutor, BRCA Gist, Guru, ITSpoke, Oscar, Rimac, SCoT, VCAEST.	11	32.35
	Simulación	AutoTutor 3D, Beetle II, Jacob, My Science Tutor, Paco, SCoT, VCAEST.	7	20.59
	Opciones de menú	EER-Tutor, Kermit-SE, Ms. Lindquist, Normit-SE, Paco, Rimac.	6	17.65
	Mapas conceptuales	CIRCSIM-Tutor, Guru.	2	5.88
	No reportado	ProPL, Why2-Atlas.	2	5.88
	Tabla	CIRCSIM-Tutor.	1	2.94
	Diapositivas virtuales	ReportTutor	1	2.94
Formato de Entrada	Respuesta larga	Aries, AutoTutor, AutoTutor 3D, AutoTutor Affective-Sensitive, AutoTutor Lite, Beetle II, BRCA Gist, DeepTutor, Dialog, EER-Tutor, Gaze Tutor, Geometry Explanation Tutor, Guru, ITSpoke, Kermit-SE, My Science Tutor, Normit-SE, ReportTutor, RMT, SCoT, VCAEST, Why2-Autotutor, Why2-Atlas.	23	69.70
	Respuesta corta	Abdullah, Atlas-Andes, CIRCSIM-Tutor, Jacob, Lana, Ms. Lindquist, Oscar, Paco, ProPL, Rimac.	10	30.30

PI4. Enfoque de CLN

Esta PI se propuso para determinar los enfoques de CLN que aplican los SITs para comprender los enunciados que un usuario puede formular durante una conversación y relacionarlos con la tarea que un usuario desea realizar. La Tabla 3.7 muestra la

clasificación de cada SIT según los tres tipos de enfoques mencionados en la sección 2.3.3.

1) Enfoque Simbólico

La Tabla 3.7 muestra que el enfoque simbólico es el más ampliamente utilizado por los SITs con capacidad de diálogo en lenguaje natural.

En este grupo están Abdullah y Lana, que aplican la coincidencia de patrones para el tratamiento del idioma árabe. Lana también recurre a la similitud de texto corto si la entrada del usuario no se puede reconocer correctamente.

Jacob y las primeras versiones de CIRCSIM-Tutor analizan los comentarios de los estudiantes a través de gramáticas semánticas superficiales. Posteriormente, la última versión de CIRCSIM-Tutor incorporó transductores de estado finito, que permiten la identificación de conceptos clave incluidos en respuestas de una o dos palabras (Glass, 2001).

Atlas-Andes y ProPL se apoyan en Atlas, que cuenta con un motor para CLN llamado CARMEL (Rosé, 2000), que se encarga de analizar los comentarios de los estudiantes. CARMEL consiste en un completo analizador sintáctico y un paquete de robustos y eficientes algoritmos necesarios para el análisis y la interpretación semántica.

En Beetle II, las frases de los estudiantes se analizan mediante un proceso que incluye dos etapas: en la primera, el analizador de diálogo TRIPS (Allen et al., 2007) genera una representación semántica que es independiente del dominio; y en el segundo, el intérprete contextual aplica un enfoque de resolución de referencia y un conjunto de reglas para obtener una representación en términos del dominio del Beetle II. Posteriormente, en (Dzikovska et al., 2013), el grupo de investigadores responsables de Beetle II presentó un estudio sobre cómo mejorar la robustez del intérprete semántico. Básicamente, la mejora consistió en implementar un clasificador basado en la similitud léxica dentro del enfoque simbólico.

Dialog interpreta una mezcla de lenguaje natural y expresiones matemáticas por medio de un razonador de dominio que requiere un profundo análisis sintáctico y semántico para obtener una representación formal de los pasos seguidos por el alumno. Como parte de este proceso, el sistema procesa las expresiones de los estudiantes

mediante el analizador sintáctico OpenCCG (Baldrige & Kruijff, 2003), que se basa en una gramática combinatoria con una base léxica para el alemán.

My Science Tutor incorpora el analizador Phoenix (Ward & Pellon, 1999) para extraer una expresión del enunciado del estudiante a través de una gramática semántica que trabaja con entidades, eventos y sus relaciones. Luego, esta expresión se compara con patrones de elementos del sistema para evaluar su exactitud.

Oscar y ReportTutor se basan en la coincidencia de patrones para abordar las expresiones gramaticalmente incompletas o incorrectas que los estudiantes suelen presentar.

Paco interpreta las declaraciones de los estudiantes a través de un algoritmo de interpretación del habla implementado en Collagen (Rich, Sidner, & Lesh, 2001). Collagen representa enunciados utilizando un lenguaje de discurso artificial. Este lenguaje está destinado a incluir los tipos de expresiones que las personas usan cuando colaboran en tareas. Por ejemplo, incluye tipos de enunciados para estar de acuerdo; preguntar o proponer cómo se debe realizar una tarea; preguntar qué se debe hacer a continuación; etc. Así pues, las opciones de menú disponibles en Paco para construir enunciados se definen de acuerdo con este tipo de enunciados.

Rimac se basa en el kit de herramientas de diálogo del tutorial de TuTalk (Jordan et al., 2007). Por lo tanto, puede emplear diferentes métodos de CLN porque TuTalk admite el uso de diferentes módulos de CLN, implementando enfoques como la distancia mínima (por defecto), LSA y Naïve Bayes. Como el enfoque de distancia mínima es simbólico, clasificamos a Rimac como simbólico, pero el uso de TuTalk abre la posibilidad de adoptar también enfoques estadísticos.

SCoT utiliza una gramática de unificación bidireccional llamada Gemini (Dowding et al., 1993).

2) Enfoque Estadístico

Este enfoque ha sido aplicado por AutoTutor, muchos de sus descendientes y RMT.

Como se explicó anteriormente, cuando el estudiante proporciona un enunciado, AutoTutor y sus versiones deben comparar este enunciado con un conjunto de expectativas y conceptos erróneos previstos inicialmente. Para lograr este objetivo, aplican la técnica LSA (*Latent Semantic Analysis*) para determinar si dos extractos de texto

son conceptualmente similares (Graesser et al., 2007). LSA, por su parte, crea dos vectores, un vector que representa el contenido semántico del enunciado del estudiante y otro vector que representa el contenido semántico de una expectativa o concepto erróneo. Posteriormente, emplea la función coseno para calcular la similitud conceptual.

La técnica LSA representa el significado del texto basado en conceptos latentes que se derivan automáticamente de una extensa colección de textos (*corpus*). Sin embargo, aunque puede detectar que la respuesta del estudiante no se ajusta a una respuesta ideal, no puede señalar exactamente qué conceptos y/o relaciones entre conceptos están equivocados o faltan en la respuesta del estudiante porque LSA procesa la respuesta como un todo. La limitación subyacente de LSA es que ignora la sintaxis de las oraciones y el orden de las palabras. Como resultado, LSA no puede manejar negaciones o resolver referencias a términos (por ejemplo, pronombres personales). Con el tiempo, algunas versiones posteriores de AutoTutor han agregado mejoras significativas al enfoque estadístico para mitigar esta limitación. En este sentido, incorporaron diferentes algoritmos de evaluación semántica, y como resultado de esto, estos descendientes de Autotutor se convirtieron en sistemas híbridos. En la siguiente sección, mencionaremos estos sistemas (Aries, DeepTutor, Guru y Gaze Tutor).

Por otro lado, tenemos AutoTutor Lite. Esta versión de AutoTutor no emplea la gama completa de métodos de análisis semántico que han sido utilizados en otros descendientes de Autotutor, sino que está limitada a LSA y concordancia extendida de palabras clave ponderadas (*extended weighted keyword matching*). Como BRCA y VCAEST se basan en AutoTutor Lite, no aprovechan todos los métodos semánticos implementados en otros descendientes de AutoTutor.

3) Enfoque Híbrido

Este enfoque es utilizado por los siguientes SITs: Aries, DeepTutor, Gaze Tutor, Geometry Explanation Tutor, Guru, Why2-Altas e ITSpoke.

Aries aplica tanto LSA como expresiones regulares para evaluar las entradas de los estudiantes (Cai et al., 2011). En este sistema se utilizaron expresiones regulares para describir los patrones de respuestas cortas y variaciones de palabras.

Los diseñadores de DeepTutor adoptaron algunos de los métodos de similitud semántica implementados en un kit de herramientas llamado SEMILAR (Rus et al.,

2013). Este kit de herramientas incluye una solución basada en la concordancia léxica óptima para dar un tratamiento más sensible a la estructura y descomposición semántica. La concordancia léxica óptima tiene como objetivo encontrar una asignación global óptima de palabras en una oración (entrada del estudiante) a palabras en la otra oración (expectativa / concepto erróneo) basada en la similitud palabra a palabra mientras maximiza simultáneamente la concordancia entre las dependencias sintácticas.

Geometry Explanation Tutor se basa principalmente en un enfoque basado en el conocimiento para reconocer si las afirmaciones de los alumnos son correctas o parcialmente correctas, con lo que se crea una representación semántica basada en LCFlex (Rosé, 2000) y un unificador de estructuras características. Cuando falla el enfoque basado en el conocimiento, se recurre a un clasificador de texto Naïve Bayes para clasificar las explicaciones de los estudiantes con respecto a un subconjunto de categorías. Por lo tanto, este sistema determina si el estudiante se está centrando en la regla geométrica correcta.

Guru y su descendiente, Gaze Tutor, emplean LSA pero superan la limitación de este enfoque, mencionada en la sección anterior, apoyándose en mapas conceptuales. Mediante esta técnica el modelo de dominio se expresa como un conjunto de tripletas (*key_term*, *pedagogical_relation*, *proposition*). Luego se derivan tripletas de las expresiones de los estudiantes y se comparan con las tripletas que representan el modelo del dominio para identificar diferentes tipos de errores de los estudiantes (Olney et al., 2012).

Why2-Atlas analiza las contribuciones (ensayos) de los estudiantes con dos módulos: uno para el entendimiento a nivel de oración (SLU) y el otro para el entendimiento a nivel de discurso (DLU). El módulo SLU funciona de la misma forma que en Geometry Explanation Tutor. Y por otra parte, el módulo DLU recibe las representaciones lógicas proporcionadas por el SLU y genera pruebas utilizando razonamiento abductivo (Makatchev, Jordan, & VanLehn, 2004).

Para perfeccionar la interpretación de las explicaciones de los estudiantes en Why2-Atlas (Jordan et al., 2004), los investigadores presentaron un método para combinar heurísticamente múltiples enfoques de comprensión del lenguaje natural. En (Jordan et al., 2006), propusieron un nuevo mecanismo para analizar las explicaciones de los estudiantes. Primero, este nuevo mecanismo clasifica el enunciado del alumno en una explicación o una respuesta corta, y luego, cada tipo de enunciado se procesa de manera diferente.

La explicación se procesa en dos etapas: 1) Un análisis de la oración, que genera una representación en lógica de predicados de primer orden, y 2) Una evaluación de la precisión e integridad de dicha representación.

El análisis de la oración se realiza siguiendo tres enfoques diferentes: a) CARMEL (Rosé, 2000), que proporciona análisis sintáctico y semántico a través de LCFlex; b) RAINBOW (McCallum & Nigam, 1998), que proporciona clasificadores de texto basados en un modelo de bolsa de palabras; y c) RAPPEL, obtenido a través de MINIPAR (Lin & Pantel, 2001), que utiliza características de dependencia sintáctica derivadas simbólicamente a través de plantillas que representan cada proposición en el lenguaje. A continuación, para evaluar las representaciones lógicas obtenidas con cada enfoque, se comparan con los nodos de un Sistema de Mantenimiento de la Verdad basado en Supuestos (*Assumption Truth Maintenance System*) (Makatchev & VanLehn, 2005).

ITSpoke se basa en el sistema de diálogo de Why2-Atlas en el *back-end*, con la novedad de que ITSpoke reconoce las emociones y actitudes de los estudiantes en la entrada del diálogo hablado.

Tabla 3.7. Enfoque CLN de los SITs

Enfoque CLN	SIT	Frec.	%
Simbólico	Abdullah, Atlas-Andes, Beetle II, CIRCSIM-Tutor, Dialog, EER-Tutor, Jacob, Kermit-SE, Lana, Ms. Lindquist, My Science Tutor, Normit-SE, Oscar, Paco, ProPL, ReportTutor, Rimac, SCoT.	18	54.55
Estadístico	AutoTutor, AutoTutor 3D, AutoTutor Affect - Sensitive, AutoTutor Lite, BRCA Gist, RMT, VCAEST, Why2-AutoTutor	8	24.24
Hibrido	Aries, DeepTutor, Gaze Tutor, Geometry Explanation Tutor, Guru, ITSpoke, Why2-Atlas.	7	21.21

PI5. Evaluación Empírica

El propósito de esta pregunta fue conocer qué tipo de evidencia existe con respecto a las evaluaciones de SITs con diálogo en lenguaje natural. A continuación, describiremos brevemente las evaluaciones encontradas en los estudios incluidos en esta revisión. Sin

embargo, podría suceder que algunos de los SITs referidos hayan sido evaluados de alguna manera (por ejemplo, con encuestas a estudiantes), pero estas evaluaciones no se hayan reportado en ningún artículo publicado.

Además, queremos señalar que una descripción detallada de estos estudios requeriría otra revisión sistemática centrada en este tema. Por tanto, en este apartado solo mencionaremos el objetivo principal y algunos resultados destacados de cada estudio.

Como se muestra en la Tabla 3.8, decidimos clasificar las evaluaciones encontradas en cinco tipos. Algunos de los artículos mencionados incluyen evaluaciones de más de un tipo. De hecho, todos los estudios sobre las impresiones de los estudiantes se publican en artículos que también comprenden estudios que comparan diferentes estrategias de tutoría o comparan las ganancias de aprendizaje que brindan los SITs respecto a los métodos tradicionales de enseñanza, como se muestra en la Tabla 3.8.

1) Impacto de diferentes Estrategias de Tutoría

En este grupo incluimos los experimentos que han estudiado el desempeño de cada SIT trabajando con diferentes estrategias de tutoría. Se distinguieron tres tipos de estrategias de tutoría en estos experimentos:

1. Retroalimentación de tutoría basada en diálogo: estas estrategias de tutoría representan el comportamiento de versiones de los sistemas dotadas de capacidad para dialogar.
2. Retroalimentación de tutoría limitada: estas estrategias de tutoría presentan el funcionamiento de versiones recortadas de los sistemas evaluados, que, por ejemplo, no pueden responder a las respuestas de los estudiantes, o brindan la solución completa sin analizar la respuesta del estudiante.
3. Retroalimentación aleatoria: esta estrategia consiste en proporcionar retroalimentación aleatoria independientemente de la entrada del estudiante.

A continuación, agruparemos los estudios en función de los tipos de estrategias que se compararon en cada estudio.

Comparación de diferentes estrategias de tutoría basadas en diálogo

Los investigadores de Aries estudiaron cómo los diferentes tipos de *dialogs* afectaban al aprendizaje (los tipos de *dialogs* se explicaron en la sección 1 de la PI3. Descubrieron que el *dialog de enseñanza* superaba en rendimiento al *dialog vicario*. Además, constataron que los *dialogs* tuvieron poco impacto en las pruebas que se realizaron de forma inmediata, pero tuvieron un impacto significativo en las que se realizaron dos días después.

AutoTutor Affective-Sensitive se evaluó en tres condiciones diferentes: AutoTutor regular, Support afective y Shakeup afective. La diferencia entre las estrategias Support y Shakeup radica en el hecho de que mientras Support se diseñó asumiendo que el origen de la emoción está en el material a aprender, Shakeup se diseñó asumiendo que la fuente de la emoción está en el estudiante. El experimento no vio un efecto principal significativo asociado al tipo de estrategia, pero sí que mostró una ligera tendencia a favor de Support.

DeepTutor (Rus et al., 2014) se evaluó con estudiantes universitarios bajo dos condiciones de formación: sólo micro-adaptativo versus totalmente adaptativo (macro y micro-adaptativo). Solo en una condición micro-adaptativa, el SIT utilizó un conjunto fijo y predefinido de tareas de instrucción para todos los estudiantes. Por el contrario, el SIT utilizado en la condición totalmente adaptativa podría clasificar a los estudiantes en diferentes niveles de comprensión en función de su puntuación en el pre-test, y luego seleccionar las tareas que se consideraran más propicias para conseguir el aprendizaje en ese nivel de comprensión. Tras comparar los resultados, llegaron a la conclusión de que las ganancias de aprendizaje con la condición totalmente adaptativa fueron significativamente mayores que las ganancias con la otra condición.

Los investigadores de EER-Tutor, en el estudio (Weerasinghe et al., 2010), compararon dos versiones del sistema: con soporte adaptativo y sin soporte adaptativo. La versión no adaptativa proporcionaba el mismo diálogo a dos estudiantes diferentes con diferentes niveles de conocimiento. En cambio, la versión adaptativa puede seleccionar los diálogos teniendo en cuenta los errores de los alumnos anteriores. La ganancia de aprendizaje del grupo que recibió diálogos adaptativos fue significativamente mayor que la ganancia del grupo no adaptativo.

En un estudio con Gaze Tutor, que es una versión mejorada de Guru, se evaluó la efectividad del sistema en dos condiciones: reactivo a la mirada (usando Gaze tutor) y

no reactivo a la mirada (usando Guru). La condición de mirada reactiva está relacionada con una estrategia de tutoría en la que el tutor monitorea la mirada del estudiante para detectar cuando el estudiante está aburrido, desconectado o distraído, y luego, intenta volver a captar al estudiante con movimientos de diálogo. Los autores señalaron que los diálogos sensibles a la mirada tuvieron éxito en reorientar a los estudiantes y que la estrategia basada en mirada reactiva fue más efectiva que la no reactiva para promover ganancias de aprendizaje en los estudiantes más aventajados.

Oscar fue evaluado en dos experimentos. Los resultados revelaron que la tutoría con personalización basada en el estilo de aprendizaje obtuvo mejores resultados que la tutoría sin esta personalización.

En ReportTutor, el efecto del retardo para mostrar la retroalimentación se evaluó utilizando dos interfaces, una inmediata y otra retrasada. El análisis mostró una mejora significativa en la capacidad para redactar los informes en ambas condiciones, pero no hubo ningún efecto del retardo de la retroalimentación sobre las mejoras en el rendimiento de los alumnos.

Los investigadores de Rimac realizaron un experimento para comparar dos versiones del sistema. La primera versión se definió utilizando solo líneas directas de razonamiento y diálogos de remediación, mientras que la segunda versión también incorporó algunas reglas de decisión que se disparaban ante distintos tipos de situaciones que pueden surgir durante el diálogo. Los resultados revelaron que la segunda versión proporcionó una ganancia de aprendizaje mejor que la primera versión.

Retroalimentación de tutoría basada en el diálogo vs retroalimentación de tutoría limitada.

La efectividad del aprendizaje de Atlas-Andes se evaluó en una pequeña evaluación comparativa con Andes (sin capacidad de diálogo). Esta comparación mostró un efecto significativo a favor de Atlas-Andes.

En una evaluación de Beetle II, los investigadores compararon dos versiones de Beetle, TELL (proporcionar la respuesta correcta sin analizar la respuesta del estudiante a la pregunta) y ELICIT (guía hacia la respuesta correcta en varios turnos de diálogo). Se llegó a la conclusión de que la versión TELL era tan efectiva como la versión ELICIT sin

una diferencia significativa entre ellas. Anteriormente, en (Dzikovska et al., 2010), los investigadores habían logrado resultados similares.

Los investigadores de Beetle II en (Dzikovska et al., 2010) estudiaron el efecto de diferentes tipos de errores de interpretación por parte del alumno en la ganancia de aprendizaje utilizando dos estrategias de tutoría similares a TELL y ELICIT. Los resultados indicaron que la mayoría de los problemas de interpretación no se correlacionan significativamente con la ganancia de aprendizaje. Sin embargo, los errores relacionados con el uso indebido de la terminología del dominio parecían ser particularmente significativos.

En otro estudio con Beetle II (Dzikovska et al., 2010), los investigadores compararon tres condiciones: tutoría humano-humano y dos condiciones de tutoría humano-computadora similares a TELL y ELICIT. Los resultados indicaron que, a pesar de que los estudiantes produjeron el mismo porcentaje de contenido hablado (declaraciones que incluyen conceptos de dominio que son pertinentes respecto a la lección) bajo las dos condiciones humano-computadora, la proporción de contenido hablado se correlacionó solo con la ganancia de aprendizaje en la condición similar a ELICIT.

Una evaluación de Geometry Explanation Tutor mostró que los estudiantes no aprendieron más usando explicaciones que usando opciones de menú (para seleccionar el nombre de una definición de geometría o teorema que justifica un paso de resolución del problema). Ahora bien, los estudiantes que usaron explicaciones luego en los post-tests demostraron una mayor habilidad para expresarlas. Además, los resultados indicaron que la retroalimentación de buena calidad (calificada por dos expertos humanos) se correlaciona con el progreso de los estudiantes a través de los diálogos (calificado por dos expertos humanos) y con el aprendizaje. Este hallazgo sugiere que los estudiantes utilizan los comentarios del sistema y son capaces de extraer la información que necesitan para mejorar sus explicaciones.

Para Kermit-SE, los investigadores realizaron un experimento para comparar las ganancias de aprendizaje en dos condiciones diferentes: Kermit (versión anterior sin capacidad de diálogo) con solo sugerencias detalladas (sobre cómo corregir un error) y Kermit-SE (con soporte de auto-explicación). Después de trabajar con Kermit-SE, los estudiantes que usaron Kermit-SE se dividieron en dos grupos, auto-explicativos y no auto-explicativos (no usaron el apoyo de autoexplicación). Los investigadores descubrieron que los estudiantes que usaron Kermit mejoraron más que los estudiantes

que usaron Kermit-SE; y la diferencia en la ganancia de aprendizaje entre los auto-explicativos y los no auto-explicativos no fue estadísticamente significativa.

Un experimento con Ms. Lindquist comparó su retroalimentación de tutoría normal con una retroalimentación de tutoría limitada en la que el sistema les dice a los estudiantes las respuestas correctas tan pronto como cometen un error. Los resultados de este experimento revelaron que la tutoría basada en el diálogo proporcionó una mayor ganancia de aprendizaje que la estrategia limitada.

Los investigadores de Normit-SE realizaron un estudio y demostraron que, a pesar de no tener una diferencia significativa, los estudiantes que utilizaron la auto-explicación (usando Normit-SE) aprendieron a manejar las restricciones más rápido que aquellos a quienes no se les pidió que explicaran sus acciones (usando la versión básica de Normit).

En un estudio se midió la eficacia de SCoT como herramienta de aprendizaje. Los resultados mostraron que los diálogos tutoriales con SCoT fueron más efectivos que una simple simulación sin tutoría.

Retroalimentación de tutoría basada en el diálogo vs retroalimentación de tutoría limitada vs retroalimentación aleatoria.

Los investigadores de AutoTutor Lite realizaron un estudio para comparar un nuevo sistema de retroalimentación (basado en curvas características del alumno) con otros dos generadores de retroalimentación diferentes: retroalimentación aleatoria y sin retroalimentación. Los investigadores descubrieron que la retroalimentación que se apoyaba en el modelo del alumno basado en curvas características conducía a un mayor aprendizaje de los participantes que los otros dos generadores.

2) SIT versus Método de Aprendizaje Tradicional

En este grupo incluimos los experimentos destinados a comparar la ganancia de aprendizaje proporcionada por el SIT con la proporcionada por un método de enseñanza tradicional como libros de texto, tutoría humana (experta o principiante) o una lección/tutorial sobre un tema diferente al que se plantea como objetivo de aprendizaje, etc. Para realizar estas comparaciones, estos experimentos aplicaron pruebas A/B y pre/post-tests.

La prueba A/B es el proceso de comparar dos versiones de un producto/herramienta/método probando las respuestas de los sujetos a la versión A con las respuestas a la versión B y determinando cuál de las dos versiones es más efectiva. Normalmente, se utilizan dos grupos de usuarios, de forma que cada grupo utiliza una versión distinta, y luego se comparan las respuestas para cada versión.

En los experimentos mencionados en esta sección que implican pruebas A/B, los investigadores compararon las ganancias de aprendizaje de dos grupos, el grupo experimental y el grupo de control. Mientras que el grupo experimental utilizó los SITs evaluados, el grupo de control utilizó un método de enseñanza tradicional. En algunos de los experimentos, los investigadores emplearon más de un grupo de control.

Por otro lado, hay cuatro experimentos, como se puede ver en la Tabla 3.9, en los cuales los experimentos solo evaluaron la ganancia de aprendizaje de un grupo experimental usando solo pre-tests y post-tests. En tales casos, podemos suponer que el método de enseñanza tradicional era “nada”.

En la Tabla 3.9 se muestra la clasificación de las evaluaciones con respecto al tipo de retención del aprendizaje que se abordó en cada estudio: aprendizaje a corto plazo y aprendizaje a largo plazo. Para cada estudio, la Tabla 3.9 especifica qué tipo de evaluación se realizó (pre/post-test y/o prueba A/B), el grupo de control y un resultado resaltado. Para la mayoría de los SITs, describimos la ganancia de aprendizaje utilizando el tamaño del efecto estandarizado calculado como la diferencia entre las medias obtenidas en los post-tests por los grupos experimental y de control, dividida por la desviación estándar de la población dentro del grupo (0,2 pequeña, 0,5 mediana, 0,8 grande) (Cohen, 1988). Como referencia, los estudiantes que trabajan individualmente con tutores humanos expertos a menudo obtienen un puntaje 2.0 más alto que los estudiantes que trabajan en el mismo tema en las aulas (Bloom, 1984).

3) Impresiones de los Estudiantes

Este grupo contiene algunas encuestas en las que los investigadores emplearon cuestionarios para recopilar las impresiones de los estudiantes sobre los SITs. En la Tabla 3.10 se muestran los SITs evaluados junto con los aspectos evaluados más destacados y los resultados más relevantes obtenidos en cada estudio. Además, en el campo “Experimentos relacionados”, indicamos qué experimento de las dos subsecciones

anteriores (1 o 2) se realizó antes de la encuesta a los estudiantes y se presentó en el mismo artículo.

4) Evaluación de Componentes

Este grupo engloba las validaciones de determinadas propiedades de los componentes de SITs. En la Tabla 3.11 se muestran los estudios referidos agrupados en tres tipos dependiendo del tipo de componente evaluado.

5) Argumentación Positiva

En este grupo incluimos a Paco, que fue evaluado mediante un estudio cualitativo con siete usuarios. Luego de capacitarse con Paco, fueron entrevistados sobre sus impresiones. La mayoría de ellos elogió las habilidades generales de enseñanza de Paco y pudieron completar toda la tarea sin errores importantes.

No Reportado

No pudimos encontrar ninguna evaluación informada para Lana o Jacob. Sin embargo, en el caso de Lana, los autores presentaron una metodología experimental en la que indicaron cómo realizarían la evaluación y las hipótesis que querrían probar.

Tabla 3.8. Evidencia en la evaluación de los SITs

Evidencia		SIT	Frec.	%
Impacto de diferente estrategia de tutoría	Comparación de diferentes estrategias de tutoría basadas en el diálogo.	Aries, AutoTutor Affective-Sensitive, DeepTutor, EER-Tutor, Gaze Tutor, Oscar, ReportTutor, Rimac.	8	24.24
	Retroalimentación de tutoría basada en el diálogo vs retroalimentación de tutoría limitada.	Atlas-Andes, Beetle II, Geometry Explanation Tutor, Kermit-SE, Ms. Lindquist, Normit-SE, SCoT.	7	21.21
	Retroalimentación de tutoría basada en el diálogo vs retroalimentación de tutoría limitada vs retroalimentación aleatoria.	AutoTutor Lite.	1	3.03

SITs vs Método tradicional de aprendizaje	Aprendizaje a corto plazo	Abdullah, Aries, AutoTutor, AutoTutor 3D, Beetle II, BRCA Gist, CIRCSIM-Tutor, Guru, Ms. Lindquist, ProPL, RMT, VCAEST, Why2-Atlas.	13	39.39
	Aprendizaje a largo plazo	Why2-AutoTutor.	1	3.03
Impresiones de los estudiantes		Abdullah, Beetle II, CIRCSIM-Tutor, Kermit-SE, Oscar, ProPL, ReportTutor, VCAEST.	8	24.24
Evaluación de componentes	CLN	Atlas-Andes, AutoTutor, My Science Tutor.	3	9.09
	Reconocedor de voz	My Science Tutor, SCoT.	2	6.06
	Reconocedor de emociones	ITSpoke.	1	3.03
No reportado		Dialog, Jacob, Lana.	3	9.09
Argumentación positiva		Paco.	1	3.03

Tabla 3.9. Evaluación de los SITs vs Métodos de aprendizaje tradicional

SIT	A/B Prueba	Pre/Post Prueba	Grupo de Control	Tamaño del Efecto	Resultados destacados
Aprendizaje a corto plazo					
Abdullah		X			Los resultados revelaron la ganancia de aprendizaje y sugirieron una fuerte relación estadísticamente significativa entre los puntajes del estudiante antes de la tutoría (prueba preliminar) y después de la tutoría (prueba posterior).
Aries		X		1.3 *	Los puntajes posteriores a la prueba fueron significativamente más altos que los puntajes generales previos a la prueba.
AutoTutor	X	X	Libro de Texto	0.8	(Nye et al., 2014) AutoTutor produjo ganancias de aprendizaje que son bastante superiores a las producidas por el control.

AutoTutor	X	X	Tutor humano experto		(Nye et al., 2014) Las ganancias de aprendizaje están a la par.
AutoTutor	X	X	Leer texto y nada	0.31 and 1.23	(Graesser et al., 2003) Los resultados indicaron que AutoTutor no mejoró el desempeño de los estudiantes en evaluaciones de aprendizaje superficial, pero sí en las de desempeño de aprendizaje profundo.
AutoTutor 3D		X			Los resultados revelaron que los estudiantes que utilizaron las simulaciones de manera más efectiva (manipulando los parámetros relevantes) experimentaron más ganancias de aprendizaje.
Beetle II	X	X	Tarea de distracción (lección sobre otro tema)	1.72	Beetle II (ELICIT) proporcionó grandes ganancias de aprendizaje en comparación con el grupo de control, pero el grupo de control no recibió capacitación específica sobre el tema objeto de estudio.
BRCA Gist	X	X	Páginas web y tutoriales irrelevantes con otro SIT sobre diferentes temas	0.26 *	El grupo BRCA Gist puntuó significativamente más alto que el grupo de páginas web, y ambos puntuaron significativamente más alto que el grupo que recibió un tutorial irrelevante. La diferencia entre el grupo BRCA Gist y el grupo de páginas web fue mayor en los participantes con menor nivel educativo.

CIRCSIM-Tutor (1)	X	X	Material textual	1.24 *	El resultado mostró que el uso del sistema durante una hora produce importantes ganancias de aprendizaje; Además, incluso este uso breve mejora más la capacidad del estudiante para resolver problemas que la lectura de material textual sobre el tema.
CIRCSIM-Tutor (2)		X			(Mills et al., 2004) Los resultados indicaron una ganancia de aprendizaje y mostraron que las puntuaciones eran estadísticamente significativas.
Guru	X	X	Tutoría humana y aula	0.72 (Guru vs aula)	(Olney et al., 2012) Hubo ganancias de aprendizaje significativas en los estudiantes con Guru y los tutores humanos en comparación con el control de clase. Por otro lado, aunque no se encontraron diferencias entre los grupos de Guru y tutores humanos novatos, los autores señalaron varias limitaciones en esta comparación.
Ms. Lindquist	X	X	CAI y maestros en aula	0.5 (Ms. Lindquist vs aula)	Ms. Lindquist y una solución CAI superaron a los maestros en aula. Los autores plantearon la hipótesis de que este hallazgo se debió principalmente al beneficio de la retroalimentación inmediata. Ms. Lindquist proporcionó una ganancia de aprendizaje ligeramente mayor que la solución CAI.

ProPL	X	X	Leer texto	0.58 (en tarea de composición)	El grupo experimental demostró una mayor capacidad que el grupo de control en tareas de composición en términos de corrección de algoritmos. En cambio, en el caso de la habilidad de descomposición, no se encontraron diferencias entre los dos grupos.
RMT	X	X	Instrucción en aula y CAI	0.71 y 0.34	Este estudio reveló que la condición de diálogo genera mayores beneficios educativos que las condiciones de control.
VCAEST	X	X	Entrenamiento en el mundo real		No se encontraron diferencias significativas en las ganancias de aprendizaje.
Why2-Atlas	X	X	Tutoría humana y leer un texto corto		(Jordan et al., 2006) Los estudiantes de Why2-Atlas obtuvieron calificaciones más altas que los estudiantes de tutoría humana y de texto corto en una de los tres post-tests y lo mismo en los otros dos.
Why2-AutoTutor	X	X	Leer Libro de texto y nada	1.02 (Why2-AutoTutor vs Leer Libro de texto)	Los resultados mostraron que Why2-AutoTutor superó a los otros dos enfoques en la ganancia de aprendizaje.
Aprendizaje a largo plazo					
Why2-AutoTutor	X	X	Mini lecciones (Estilo de libro de texto)	0.97 (post-test) 0.93 (Prueba de retención)	(Jackson et al., 2004) Los resultados de los ejercicios de opción múltiple y los ensayos mostraron una ganancia de aprendizaje desde las pruebas previas hasta las posteriores. Esta ganancia de aprendizaje se mantuvo tanto en la prueba de retención como en la prueba de transferencia lejana, que se realizó una semana después.

Why2-AutoTutor	X	X	Corrección basada en texto "enlatado"		(VanLehn et al., 2007) En el experimento 3 de 7, los resultados del ensayo muestran que hubo una ventaja muy pequeña pero poco confiable para Why2-AutoTutor sobre la condición de corrección basada en texto "enlatado". Esta ventaja se mantuvo tanto en la prueba de retención como en la prueba de transferencia lejana, que se realizó una semana después.
----------------	---	---	---------------------------------------	--	---

* Estos estudios utilizaron una fórmula diferente a la de Cohen.

Tabla 3.10. Evaluación de las impresiones de los estudiantes sobre los SITs

SIT	Experimento relacionado	Aspectos evaluados desatacados	Resultados destacados
Abdullah	Subsección 2	¿El Tutor Abdullah te sobrecarga de información?	La mayoría (58.6%) de los estudiantes tenía un sentimiento neutral, el 25.9% de los estudiantes estaba contento y el 15.5% de los estudiantes no estaba contento.
Beetle II	Subsección 1	La calidad de la tutoría	TELL obtuvo una puntuación más alta que ELICIT en las preguntas de satisfacción con el tutor.
CIRCSIM-Tutor (1)	Subsección 2	Satisfacción con el uso	Los resultados de la encuesta fueron bastante positivos. Los estudiantes encontraron el programa fácil de usar; sintieron que aprendieron mucho; y recomendarían el programa a otros estudiantes.
Kermit-SE	Subsección 1	Tiempo para aprender la interfaz, la cantidad aprendida y el disfrute	No hubo diferencia significativa entre el tiempo que necesitaron los dos grupos para aprender la interfaz. La diferencia entre las medias de las respuestas sobre la cantidad aprendida y el disfrute no fue significativa.

Oscar	Subsección 1	Satisfacción con el uso	Dieron la bienvenida al uso de Oscar, con el 94% y el 90% estaba de acuerdo en que Oscar les ayudó a revisar sus conocimientos. Aquí, el 92% de los participantes usaría Oscar si estuviera disponible, y el 78% dijo que preferiría Oscar a aprender de un libro. Inesperadamente, el 46% de la muestra dijo que usaría Oscar en lugar de asistir a una tutoría cara a cara.
ProPL	Subsección 2	Satisfacción con el uso	La mayoría de los estudiantes indicaron su deseo de volver a utilizar el sistema en el futuro.
ReportTutor	Subsección 1	Satisfacción con las dos interfaces (inmediata o diferida)	Aunque las puntuaciones no revelaron una diferencia estadística en la preferencia general, los residentes opinaron que la interfaz diferida era más fácil de usar y más flexible que la otra. Los residentes de primer año obtuvieron en la encuesta una puntuación total para la actitud hacia la interfaz inmediata significativamente más alta que otros residentes.
VCAEST	Subsección 2	¿Tienes la sensación de que el entrenamiento es efectivo/adecuado?	Los participantes en la condición de entrenamiento en el mundo real opinaron que su entrenamiento en el mundo real fue efectivo y adecuado (94.73%), y aquellos que recibieron entrenamiento virtual opinaron que su entrenamiento no fue efectivo, donde el 56.25% de los participantes respondieron con "algo" o "de ningún modo".

Tabla 3.11. Evaluación de los Componentes de los SITs

SIT	Componente Evaluado	Resultados destacados
Atlas-Andes	CLN	El estudio concluyó que el componente CLN fue capaz de clasificar correctamente las respuestas de los estudiantes en una de las categorías predefinidas el 96,3% del tiempo con una precisión del 99,5% y una exhaustividad (<i>recall</i>) del 94.4%.

AutoTutor	CLN	El estudio de (Graesser et al., 2000) presentó una evaluación que concierne a LSA como técnica para interpretar las declaraciones del alumno. Esta evaluación sirvió para validar su eficiencia para rastrear la cobertura de una expectativa durante el diálogo y obtuvo excelentes resultados.
My Science Tutor	CLN	Los resultados mostraron que, utilizando un modelo de lenguaje global, el sistema de línea de base tenía una tasa de error de palabras (WER) del 30,9% con una recuperación general del 84% y una precisión del 89% para la extracción de elementos del marco.
My Science Tutor	Reconocedor de voz	Los resultados indicaron un WER del 27,4% con una exhaustividad del 86% y una precisión del 90% después de adaptar el altavoz no supervisado en lotes para el sistema ASR.
SCoT	Reconocedor de voz	La evaluación concluyó que el reconocedor de voz es lo suficientemente maduro como para ser utilizado en sistemas de diálogo tutorial.
ITSpoke	Reconocedor de emociones	El estudio investigó la posibilidad de reconocer el estado emocional de los estudiantes (negativo, positivo y neutral) en dos condiciones, con un tutor humano y un tutor informático. Los resultados mostraron mejoras significativas en la precisión de la predicción sobre las líneas de base relevantes.

3.3.2. Discusión

De acuerdo con los resultados mostrados anteriormente, podemos afirmar que la mayoría de los SITs de esta revisión sistemática pertenecen al tipo EMT y están dirigidos a la enseñanza de temas en dominios STEM a nivel universitario.

Además, los SITs facilitan principalmente un diálogo destinado a dar apoyo en la resolución de problemas (el nivel de aplicación de la taxonomía de Bloom). Otro grupo significativo de SITs tiene como objetivo facilitar la construcción de conexiones entre el conocimiento nuevo y el conocimiento previo en la mente de los estudiantes (el nivel de comprensión en la taxonomía de Bloom) dando soporte a la generación de explicaciones (Graesser et al., 2000).

Con respecto al enfoque de instrucción, la mayoría de los SITs ayudan al estudiante a elaborar activamente explicaciones y justificaciones de las aportaciones previas del propio estudiante en la sesión de aprendizaje. Esta aportación previa podría ser una

respuesta anterior del propio alumno, una predicción errónea relacionada con una simulación (por ejemplo, Beetle II), una acción incorrecta en la resolución de un problema (por ejemplo, SCoT), etc. Además, existen SITs, como SCoT y Rimac, cuyo diálogo de tutorial no comienza hasta que los estudiantes hayan ejecutado una tarea por completo o hayan proporcionado una solución (correcta o incorrecta).

AutoTutor y sus descendientes abordan las explicaciones de los estudiantes a través de una amplia variedad de estrategias pedagógicas. Sin embargo, todos, excepto DeepTutor, se basan en la misma técnica estadística para CLN llamada LSA. Con el tiempo, para mejorar su efectividad, LSA ha sido mejorada y complementada con otras técnicas en sucesivas versiones de AutoTutor, como se explicó anteriormente.

Por otro lado, la mayoría de SITs incluidos en esta RSL utilizan un enfoque simbólico basado en léxicos, gramáticas y coincidencia de patrones. Aunque este enfoque se utilizó en el diseño de muchos de los primeros SITs, durante la última década (2010-2020), los enfoques simbólicos y estadísticos se han adoptado con una frecuencia similar y, en algunos casos, en el mismo sistema. Las representaciones semánticas estructuradas que producen los sistemas simbólicos ofrecen ventajas para integrar la tutoría con entornos basados en simulación o con entornos en los que se generan problemas de forma dinámica. Por contra, el enfoque estadístico tiende a ser más robusto que el enfoque simbólico frente a entradas inesperadas de los estudiantes o errores lingüísticos. Además, el enfoque simbólico requiere una mayor inversión inicial en la infraestructura de análisis e interpretación que se desarrollará y desplegará en un nuevo dominio (M. Dzikovska et al., 2014).

Por lo tanto, algunos investigadores trataron de aprovechar las fortalezas de cada enfoque desarrollando sistemas híbridos. Como se menciona a continuación, creemos que este enfoque seguirá siendo una tendencia futura.

Encontramos evaluaciones empíricas para el 90,91% de los SITs considerados que miden las ganancias de aprendizaje y/o evalúan los impactos de diferentes estrategias de tutoría. Aquí, vale la pena señalar que algunos de los primeros SITs no han tenido tantas evaluaciones rigurosas como las de los SITs desarrollados en la última década. En la mayoría de estos estudios, los SITs superaron a las condiciones de control (contenidos estáticos, enseñanza en el aula, etc.) o proporcionaron ganancias de aprendizaje en los post-tests respecto a los pre-tests. Asimismo, algunos de estos estudios incluyeron

encuestas sobre las impresiones de los estudiantes, que en la mayoría de los casos revelaron una alta satisfacción con el SIT.

3.3.3. Amenazas a la Validez

En este apartado se describen algunos aspectos que deben ser mejorados en futuras réplicas de este estudio y otros aspectos que deben tenerse en cuenta para ampliar los resultados de la RSL realizada en este trabajo. En esta sección, de acuerdo con la clasificación definida en (Wohlin et al., 2012), abordaremos los siguientes tipos de amenazas a la validez de este estudio: constructo, interno, externo y conclusión.

Los principales constructos en esta revisión son los dos conceptos de: sistema inteligente de tutoría y el sistema de diálogo. Sin embargo, en la literatura se utilizan diferentes palabras clave estrechamente relacionadas para referirse a estos conceptos. Por lo tanto, para mitigar esta amenaza, la consulta de búsqueda se definió de forma que incluyera estas diferentes palabras clave. Además, aplicamos la técnica de la bola de nieve para identificar posibles estudios faltantes.

Como amenazas a la validez interna, cabe señalar que algunas decisiones subjetivas podrían haber ocurrido durante la selección de los artículos y la extracción de datos. Por ejemplo, la clasificación de algunos de los SITs en la categoría EMT, porque muchos de los estudios primarios no indican explícitamente que los sistemas pertenezcan a esta categoría. Para paliar en la medida de lo posible esta amenaza, realizamos el proceso de selección de manera iterativa, y revisamos y discutimos minuciosamente la extracción de datos con respecto a las categorías consideradas en este trabajo. Además, antes de realizar la extracción de datos, solicitamos a un experto externo que validara la cobertura de las preguntas de investigación.

La validez externa se ocupa de establecer la generalidad de los resultados de la RSL, que está relacionada con el grado en que los estudios primarios son representativos del tema objeto de revisión. Para aliviar esta amenaza, utilizamos las bibliotecas digitales más conocidas en informática.

Con respecto a la validez de la conclusión, es posible que se hayan excluido algunos estudios que deberían haber sido incluidos en esta revisión.

3.3.4. Tendencias Futuras

Los hallazgos de esta RSL nos permiten prever tres tendencias futuras en la investigación y desarrollo de SITs con diálogo en lenguaje natural.

Primero, esperamos que se trabaje en soluciones más reutilizables que aprovechen los SITs ya existentes como bloques de construcción. Un ejemplo de esto es el trabajo que está realizando la Oficina de Investigación Naval a través de dos proyectos: 1) SKOPE-IT (Nye et al., 2018), un tutor del dominio matemático que enseña a resolver problemas de álgebra integrando tecnologías AutoTutor y ALEKS; y 2) ElectronixTutor (Graesser et al., 2018), un tutor para el dominio de la electrónica que enseña a los navegantes a aprender sobre la integración de circuitos electrónicos como componentes utilizando AutoTutor, Dragoon, LearnForm, ASSISSTments y Beetle II.

En segundo lugar, esperamos que haya mejoras en el procesamiento del lenguaje natural mediante sistemas híbridos. Hasta ahora, ya se han realizado algunos esfuerzos para optimizar las técnicas de CLN de esta manera. Por un lado, la familia AutoTutor ha apostado por mejorar y obtener el mejor rendimiento de su técnica LSA incorporando mejoras basadas en métodos simbólicos. Por otro lado, otros SITs (por ejemplo, Why2-Atlas) han adoptado enfoques híbridos desde el principio combinando enfoques simbólicos con estadísticos.

Finalmente, esperamos que aparezcan más SITs con diálogo integrados con entornos de aprendizaje enriquecidos, por ejemplo, simulaciones interactivas 3D en las que los usuarios pueden encontrar agentes animados (alumno o tutor) con los que interactuar. Como resultado de este tipo de interacción, la comunicación no verbal ganaría relevancia.

3.4. Análisis Crítico

Aunque el proceso de selección de documentos en una RSL es bastante subjetivo, los SITs que se muestran en el análisis anterior, constituyen una referencia lo suficientemente significativa de lo que muchos autores han aportado en el campo de la tutoría basada en lenguaje natural. En la RSL se incluyen SITs de alta relevancia a la vista del número de citas y número de artículos publicados sobre ellos, pero también, se incluyen algunos SITs de menor relevancia, porque cuentan con características similares al tipo de sistemas objetivo del presente trabajo.

Con arreglo a la información recabada en esta RSL, llama la atención el escaso número de SITs dirigidos al entrenamiento procedimental que se han encontrado (Jacob, Normit-SE y Paco), que además tienen una capacidad de diálogo en lenguaje natural bastante limitada, ya que sólo admiten respuestas cortas. Este hecho refuerza nuestra intención de centrar el objeto de estudio en los sistemas orientados al entrenamiento procedimental.

Por otro lado, cabe destacar que la mayoría de los entornos de aprendizaje de estos SITs, cuentan con interfaces apoyadas en variados recursos educativos (agentes conversacionales, audios, videos, simulaciones 3D, tablas de predicción, etc.). Sin embargo, sólo dos de ellos, Jacob y VCAEST, utilizan un entorno virtual 2D/3D donde el avatar del alumno está dentro de la simulación y durante la simulación el alumno puede dialogar con el tutor. Ahora bien, cabe puntualizar aquí que existen otros SITs, como AutoTutor 3D, Beetle II y SCoT, que utilizan simulaciones, en su mayor parte 2D, que permiten que el alumno observe lo que sucede, pero no inician el diálogo hasta que termina la simulación. Además, estos SITs a excepción de VCAEST y de Jacob solo evalúan los conocimientos del alumno por lo que dice y no por lo que hace en una simulación.

A pesar de que Jacob y VCAEST comparten un mismo tipo de entorno virtual de enseñanza, existen dos aspectos en los que se diferencian:

- 1) El analizador del lenguaje natural; mientras, Jacob utiliza un analizador semántico elemental, VCAEST utiliza un analizador del lenguaje de AutoTutor Lite que es bastante ligero comparado con el de AutoTutor.
- 2) El tipo de conocimiento; mientras Jacob está orientado al entrenamiento procedimental (torres de Hanoi), VCAEST está diseñado para enseñar conceptos (triaje en casos de emergencia).

Si bien Jacob y VCAEST guardan relación con las características del problema planteado en esta Tesis Doctoral, en cuanto a la tutoría, estos SITs, a diferencia de nuestra propuesta, no tienen en cuenta el contexto de las acciones que realiza el estudiante. Es decir, en esta tesis se pretende que la retroalimentación de tutoría y las respuestas que se generen para los enunciados del alumno sean el resultado de un diálogo basado en el contexto. Como parte del contexto se van a tener en cuenta no solo el estado del entorno virtual del avatar del estudiante, sino también el estado de los conocimientos del alumno.

Como se mencionó en el apartado de las tendencias futuras, actualmente existe una tendencia en el desarrollo de los sistemas dirigida a la reutilización de sistemas ya existentes como componentes de un nuevo sistema. En este sentido, este trabajo se va alinear con la tendencia actual a reutilizar componentes y servicios conversacionales, como los que se describen en la sección 2.5.2.

CAPÍTULO 4

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En este capítulo presentamos los objetivos específicos que se intentan conseguir con esta tesis, que han sido derivados de una revisión exhaustiva de la literatura existente sobre el tema, que ha dejado ver algunas carencias en otros trabajos previos en torno a los Sistemas Inteligentes de Tutoría (SITs) dirigidos al entrenamiento procedimental con capacidad de diálogo. Además, se incluyen los supuestos que delimitan el alcance de esta tesis.

4.1. Definición del Problema

Este trabajo de investigación tiene como punto de partida los resultados de una Revisión Sistemática de Literatura (RSL) que se llevó a cabo en torno a los SITs con capacidad de diálogo en lenguaje natural. Estos resultados obtenidos motivan el desarrollo de esta tesis y justifican su originalidad con respecto a las carencias existentes en el estado del arte:

- Hay un escaso número de SITs (Jacob, Normit-SE y Paco) dirigidos al entrenamiento procedimental, que además tienen una capacidad de diálogo en lenguaje natural bastante limitada, ya que sólo admiten respuestas cortas.
- Sólo dos de los SITs (Jacob y VCAEST) utilizan un entorno virtual 2D/3D donde el avatar del alumno está dentro de la simulación y durante ella el alumno puede dialogar con el tutor.
- La mayoría de los SITs que utilizan simulaciones, con excepción de VCAEST y Jacob, solo evalúan el conocimiento en base a lo que el alumno dice y no respecto

a lo que hace durante la simulación.

Además, indagando sobre el enfoque instruccional que utilizan estos SITs, se pudo conocer que los tutores no pueden percibir las necesidades pedagógicas de cada alumno, por tanto las pistas o mensajes de error que generan no están adaptadas a dichas necesidades. En otras palabras, el tutor les brinda a todos los alumnos una misma pista o mensaje de error en una misma situación de la práctica virtual sin tener en cuenta el historial de desempeño que ha tenido el alumno hasta el momento.

Por otro lado, dado que se pretende proporcionar al alumno respuestas personalizadas, será necesario tener en cuenta, no solo los conocimientos demostrados por el alumno, sino también la posición/orientación de su avatar en el entorno virtual, así como el grado de progreso del alumno en la práctica. Todos estos elementos de información constituirán el contexto del alumno, y permitirán al SIT de esta Tesis Doctoral brindar al alumno una retroalimentación de tutoría basada en el contexto.

Cabe destacar aquí que ni Jacob ni VCAEST manejan una representación del contexto del alumno tan rica como la que se propone en esta tesis.

4.2. Objetivos de la Tesis

Basado en los objetivos generales presentados en el capítulo 1, se plantean los siguientes objetivos específicos que se han derivado de ellos.

- Diseñar una arquitectura de referencia que integre un entorno de aprendizaje procedimental, un SIT y un Sistema de Diálogo Tutorial (SDT) basado en una de las plataformas actualmente disponibles para el desarrollo de este tipo de sistemas.
 - Definir de qué manera el sistema propuesto debe ser consciente del contexto del diálogo para poder desempeñar su papel con éxito.
 - Definir un algoritmo que describa como integrar un SDT en la estrategia de tutoría aplicada por el SIT.
 - Especificar las características que debe reunir un SDT que se pueda integrar en la arquitectura de referencia propuesta.
 - Definir la estructura genérica del flujo de diálogo para el sistema propuesto.

- Especificar las características que debe reunir un SIT que se pueda integrar en la arquitectura de referencia propuesta.
 - Proponer una ontología del mundo virtual que se pueda incluir en el SIT y que permita atender las necesidades de información sobre el mundo virtual y dar soporte a la generación del lenguaje natural.
 - Especificar las características de un módulo de comunicación que facilite la interacción con el alumno y el SDT.
- Definir una metodología para el desarrollo de un SDT que se ajuste a la arquitectura de referencia propuesta.
 - Precisar los pasos de la metodología que permita construir un SDT que se ajuste a la arquitectura de referencia propuesta.
- Validar la utilidad y la efectividad de la metodología propuesta por medio de un experimento con un SDT construido siguiendo esta metodología que sería utilizado en una práctica virtual.
 - Diseñar un experimento que sirva para validar la calidad del diálogo tutorial.
 - Implementar un prototipo que permita verificar las hipótesis del experimento siguiendo las directrices de la metodología propuesta.
 - Analizar los resultados con el fin de identificar las bondades y las limitaciones de la solución propuesta.

4.3. Supuestos de la Tesis

Con base en los objetivos planteados, se presentan a continuación las premisas que se van a asumir en este trabajo:

S1. El entorno de aprendizaje procedimental que va a ser objeto de esta tesis debe reunir las siguientes características:

- Disponer de una interfaz gráfica de usuario en 2D y 3D.
- Permitir que los alumnos trabajen de forma autónoma durante la práctica, aunque exista la posibilidad de que interactúen entre ellos durante la sesión de aprendizaje en un entorno virtual.

- Dar soporte a la ejecución de procedimientos en los que ciertas acciones se puedan realizar en distinto orden y el resultado final sea válido.
- Permitir que los alumnos realicen acciones correctas e incorrectas que no formen parte del procedimiento válido.
- Contemplar los errores por omisión de acciones (no ejecutar acciones) que los alumnos puedan cometer antes de un determinado momento de la práctica.
- Distinguir entre tipos de errores, es decir, errores irrelevantes y errores relevantes para los objetivos de la práctica. Debido a que los errores relevantes impedirán que el alumno acabe la práctica con éxito.

S2. La utilización de un diálogo en lenguaje natural enriquece el proceso de tutoría en un entorno de entrenamiento procedimental.

S3. Un SIT que dirige un entrenamiento procedimental debe ser capaz de responder preguntas que estén basadas en el contexto en el que alumno realiza una determinada tarea. Es decir, no solo es necesario contar con el enunciado del estudiante, sino con una noción del contexto en el cual se articula dicho enunciado, que englobe su nivel de conocimientos, su ubicación dentro del entorno virtual, la fase de la actividad que está realizando, etc.

S4. Una pista o retroalimentación dentro del proceso tutorial debe ser de calidad, por lo tanto, debe ser ajustada al rendimiento demostrado por el alumno en el desarrollo de la tarea. Gracias a esto, no se brindará la misma pista/sugerencia a todos los alumnos, sino que se proporcionarán distintas pistas/sugerencias personalizadas que favorezcan el aprendizaje del alumno.

CAPÍTULO 5

SOLUCIÓN PROPUESTA

En este capítulo presentamos el aporte de este trabajo, consistente en la integración de un Sistema de Diálogo (SD) con un Sistema Inteligente de Tutoría (SIT) para brindar retroalimentación de tutoría en lenguaje natural en un entorno de entrenamiento procedimental 2D/3D. Al sistema resultante de esta integración lo denominaremos Sistema Inteligente de Tutoría con Diálogo para Entorno Procedimental (SITDEP). Este sistema, en realidad, representa toda una familia de sistemas que se ajustarán a la arquitectura de referencia que presentaremos en este capítulo.

En este capítulo, en primer lugar, describimos los requisitos que debe satisfacer el SITDEP que se propone. Posterior a ello, presentamos una arquitectura de referencia que muestra la integración de los componentes del SITDEP. Luego definimos un algoritmo que describe cómo se realizará la generación de la tutoría apoyada en el diálogo. Después explicamos la estructura del Sistema de Diálogo Tutorial (SDT) que forma parte de la arquitectura propuesta. A continuación, explicamos las extensiones realizadas en la ontología del mundo, presentada en la sección 5.6. que contiene información del mundo virtual necesaria para dar soporte a la elaboración de la retroalimentación de tutoría en lenguaje natural. Finalmente, definimos una metodología que describe el desarrollo de un SDT que se ajuste a la arquitectura propuesta.

5.1. Requisitos del Sistema Propuesto

La principal finalidad de la integración de un SDT con un SIT consiste en que un alumno reciba una retroalimentación de tutoría apropiada, mientras desarrolla acciones como

parte de un entrenamiento procedimental. Para lograr este cometido, es necesario contar no solo con el enunciado/pregunta del alumno, sino con una noción del contexto en el cual se dice dicho enunciado/pregunta. Por lo tanto, el SITDEP debe tener suficiente información a fin de poder proporcionar un diálogo contextualizado como parte de la retroalimentación de la tutoría. Para proporcionar este tipo de diálogo, el contexto debe contener información relacionada con:

- Lo que el estudiante sabe y no sabe;
- La ubicación/orientación de su avatar en el entorno virtual en el momento del diálogo;
- La fase de la actividad en que se encuentra el estudiante, y por tanto las siguientes acciones correctas que debería llevar a cabo, etc.

A continuación presentamos las capacidades de la tutoría personalizada que podrá proporcionar un diálogo contextualizado:

- Responder a las preguntas sobre la próxima acción a realizar en la tarea de la práctica.
- Responder preguntas sobre la apariencia o la ubicación de un objeto/herramienta en un entorno virtual o cómo llegar a dicho objeto, aunque este objeto esté lejos del avatar del alumno.
- Proporcionar pistas/sugerencias de manera proactiva para guiar al alumno en la ejecución de una tarea, si se observa que el alumno necesita ayuda, incluso si no la solicita explícitamente. Estas pistas se adaptarán al nivel de conocimientos del alumno, de tal forma que se ajustará el nivel de detalle de las pistas dependiendo del rendimiento mostrado por el alumno hasta el momento.
- Fomentar un diálogo afectivo para mitigar la inactividad de los alumnos en la ejecución de una tarea.
- Fomentar un diálogo afectivo para mitigar los momentos de desánimo de los alumnos durante la práctica.

5.2. Arquitectura de Referencia Propuesta y Funcionamiento de los Componentes

Para lograr la integración de un SDT con un SIT y poder mantener una tutoría en lenguaje natural mientras se lleva a cabo un entrenamiento procedimental, hemos

diseñado la arquitectura de referencia para el SITDEP que se muestra en la Figura 5.1. En ella se presentan los tres principales componentes que la integran: el entorno de entrenamiento procedimental, el SIT y el SDT.

Figura 5.1. Arquitectura de referencia propuesta

A continuación, explicaremos las funciones que realiza cada componente.

5.2.1. Entorno de Entrenamiento Procedimental

El Entorno de Entrenamiento Procedimental (EEP) es el escenario que simula al mundo real donde se llevan a cabo las actividades de entrenamiento. Este escenario puede ser diseñado con elementos 3D para dar más realismo a las tareas que el alumno debe realizar a lo largo de la práctica.

Dentro del EEP se pueden ejecutar dos tipos de acciones: las acciones generadas por el alumno que son parte del desarrollo de la tarea, y las acciones automáticas que son generadas por la propia simulación interactiva. Mientras que las acciones automáticas

solo provocarán actualizaciones en el estado del mundo virtual, las acciones generadas por el alumno darán lugar a actualizaciones tanto en dicho estado como en el modelo del estudiante que manejará el SIT.

Además, a través del EEP se pueden observar: los intentos de acciones por parte del alumno que el SIT debe validar y la inactividad del alumno (cuando ha transcurrido un determinado tiempo y el alumno no dice ni hace nada) para en base a ello generar una respuesta en lenguaje natural, si se considera pedagógicamente apropiado. Por otro lado, el sistema deberá generar retroalimentación de tutoría en forma de validaciones de los intentos de acciones que el alumno realice, lo cual habilitará que se puedan ejecutar en la simulación interactiva, si se requiere.

5.2.2. Sistema Inteligente de Tutoría

El SIT estará integrado por los módulos correspondientes a un SIT clásico propuesto por Wenger, (1987), es decir, el módulo del estudiante, el módulo de tutoría, el módulo experto y el módulo de comunicación. Para que el SIT disponga de la información de los elementos que integran el EEP y en base a ella, pueda brindar una tutoría basada en el contexto en el que el alumno desarrolla su tarea, se adicionó un módulo del mundo. Esta solución ya se adoptó en la arquitectura multiagente para un entorno virtual de entrenamiento con tutoría inteligente propuesta por (de Antonio, Ramírez, Imbert, & Méndez, 2005).

El **módulo del mundo** representará las características del entorno virtual de formación, a fin de posibilitar un efectivo proceso de diálogo tutorial basado en el contexto. Este módulo manejará información sobre los aspectos constituyentes del entorno relacionado con los avatares y los objetos 2D/3D del entorno virtual. Por lo tanto, en este módulo se representará la estructura física de los escenarios (p.e. la división en salas/espacios), y su contenido para que el sistema pueda responder a preguntas relativas a la ubicación de un objeto o cómo ir de un lugar a otro. Esta información no solo será necesaria para la tutoría, sino también para validar las acciones realizadas por el estudiante. Además, la información en el módulo del mundo se irá actualizando a medida que el alumno progresa en la práctica formativa. Las acciones de los alumnos en el EEP podrán provocar las siguientes actualizaciones en módulo del mundo:

- Nueva posición/orientación del avatar del usuario (movimientos/desplazamiento),
- Asignación de algún objeto/herramienta del mundo virtual a un determinado alumno.
- Liberación de algún objeto/herramienta del mundo virtual que ha sido asignado a un alumno.

Con el fin de representar la información con la que va a trabajar el módulo del mundo respecto al entorno virtual, se va a utilizar la ontología del mundo virtual descrita en la sección 2.2.3 (*Miles.owl*), ya que dicha ontología permite representar la mayor parte de la información que requiere el módulo del mundo, y además ofrece todas las ventajas propias de las ontologías mencionadas en la sección 2.2.2. No obstante, como se explicará en la sección 5.6, será necesario extender esta ontología de manera que se puedan representar la disponibilidad de los objetos de uso individual por parte de los alumnos y se pueda dar soporte a la generación de lenguaje natural.

Otros dos módulos que tendrán un papel clave en nuestra propuesta serán el módulo del estudiante y el módulo experto:

El **módulo del estudiante** contendrá información relacionada con las acciones realizadas por el estudiante; sus movimientos a través del entorno virtual; el tiempo que necesitó para realizar cada acción o grupo de acciones; las preguntas que hizo; las respuestas que recibió por parte del tutor, etc. A partir de esta información este mismo módulo inferirá, con un cierto nivel de fiabilidad, los conocimientos del alumno, lo cual, a su vez, resultará útil para decidir la mejor estrategia de tutoría. Para lograr este fin adoptaremos el modelo del estudiante propuesto en (Clemente, 2010), y presentado de manera somera en la sección 2.2.4.

El **módulo de comunicación** se encargará de recibir los enunciados, la indicación de inactividad detectada así como las acciones y los intentos de acciones del alumno generados en el EEP. Esta información será transmitida a los otros módulos del SIT. Por ejemplo, le pasará al módulo del estudiante toda la información relacionada con la actividad del estudiante dentro del entorno virtual. Posterior a ello, parte de esta información será enviada al SDT para que elabore la respuesta en lenguaje natural. Ahora bien, si para construir la respuesta se necesita información del entorno virtual, el SDT enviará al módulo de comunicación los elementos claves del enunciado del alumno

(intención y entidades identificadas en el enunciado) para que construya la respuesta a partir de la información existente en la ontología del mundo. Este mecanismo será explicado con más detalle en la sección 5.7.

Cabe señalar que el SDT se podía haber incluido dentro del módulo de comunicación como un componente adicional. No obstante, hemos optado por considerarlo un componente externo para destacar que su implementación se llevará a cabo sobre una plataforma de propósito general independiente del SIT, que podría estar disponible como un servicio en la nube. A pesar de esta separación, cabe señalar también que toda la comunicación entre el EEP y el resto del sistema se canalizará a través del módulo de comunicación. Por tanto, no existirá ninguna dependencia entre el EEP y el SDT.

El **módulo de tutoría** es el núcleo del SIT y posee la estrategia de tutoría, es decir, su objetivo es proponer actividades a los alumnos dependiendo del conocimiento que ya posean y por ende, decidirá el nivel de pista para cada alumno. También, se encargará del seguimiento del alumno comparando la secuencia de acciones que ha realizado el alumno con el procedimiento de la práctica. Este módulo utilizará el algoritmo que se propone en la sección 5.4.1.

El **módulo experto** especificará el conocimiento que debe ser enseñado al estudiante. Como estamos abordando el entrenamiento procedimental, este modelo contendrá una descripción del procedimiento a ser aprendido. Por tanto, este módulo será el que informará al módulo tutor acerca de cuáles son las siguientes acciones que debe realizar el alumno en la práctica.

Dentro del SIT, el contexto del diálogo estará representado por un conjunto de variables, que permitirán intercambiar información relevante entre el SIT y el SDT. El SIT empleará el contexto para informar al SDT de:

- El nombre del estudiante activo;
- La/s siguiente/s acción/es que debe realizar el estudiante activo;
- La indicación de que debe generar una pista para la siguiente acción;
- La indicación de inactividad detectada;
- La indicación de que debe generar un mensaje de error para un intento de acción incorrecto;
- La indicación de que debe generar una retroalimentación positiva (p.e. ¡¡enhorabuena!!) tras realizar una acción correcta; y

- El nivel de detalle de la pista que debe proporcionar al estudiante activo en el actual turno de diálogo (determinado por el módulo de tutoría).

En la dirección opuesta, el SDT usará el contexto para pasarle al SIT información derivada del análisis del enunciado del estudiante, necesaria para construir la respuesta del SIT para él.

5.2.3. Sistema de Diálogo Tutorial

Es uno de los componentes fundamentales de la arquitectura de referencia y el principal objetivo de esta tesis. El SDT contendrá toda la definición de la estructura del diálogo junto con las intenciones y las entidades específicamente destinadas al entorno de formación, así como el sistema de ejecución de la plataforma elegida. Se ha comprobado que al menos la plataforma Watson Assistant, presentada en la sección 2.5.3, se podría utilizar para implementar un SDT como el que se propone en este capítulo. Sin embargo, sería posible utilizar otras plataformas que cumplieran también los requisitos exigidos por la arquitectura propuesta.

El SDT, junto con el módulo de comunicación del SIT, será responsable de articular el diálogo con el usuario teniendo en cuenta la información contextual proporcionada por los otros módulos que integran el SIT.

El SDT se encargará de analizar el enunciado del alumno para identificar los datos esenciales que conjuntamente con la información del contexto, servirán para la generación de ayudas para el usuario en forma de pistas, sugerencias o respuestas. Para la generación de estas ayudas existen dos casos: 1) cuando el SDT genera directamente la respuesta, y 2) cuando lo hace el SIT desde el módulo de comunicación. Este mecanismo de generación de ayuda será explicado con más detalle en la sección 5.7.

5.3. Ejemplo de un Entorno de Entrenamiento Procedimental

Como explicamos en la sección anterior, el sistema propuesto requiere de un entorno virtual donde se lleve a cabo un entrenamiento procedimental. Basado en ello, hemos elegido un ejemplo de entorno virtual que cumple los supuestos planteados en la sección 4.3., y que utilizaremos para ilustrar los conceptos que se explicarán en este capítulo.

En las siguientes apartados haremos referencia al *corpus* de este EEP, al poner ejemplos de enunciados de alumnos relacionados con las prácticas que realizarían los alumnos en

este EEP. No obstante, no disponemos de este *corpus*, por tanto los enunciados que se plantearán como ejemplos serán enunciados hipotéticos que cabría esperar que los alumnos planteen en las prácticas con este entorno virtual. Posteriormente, en el capítulo 6, se explicará cómo se ha implementado un prototipo de SDT para otro EEP a partir de un *corpus* real y ahí sí que se mostrarán ejemplos de enunciados reales.

5.3.1. Descripción del Entorno

El entorno virtual que hemos elegido corresponde al área de la Electricidad y refiere el entrenamiento para el personal de una Subestación Eléctrica en el uso de medidas de protección de la salud y seguridad frente al riesgo eléctrico que se ha regulado mediante el Real Decreto 614/2001.

A este entorno virtual lo vamos a denominar Entorno virtual para la Formación en medidas de Protección en una subestación Eléctrica (EFPE), en él cada usuario puede interactuar con el entorno a través de la navegación por los espacios físicos que lo integran, cogiendo y soltando objetos que son necesarios para una tarea, cambiando de posición los objetos que utiliza, etc.

La Figura 5.2 y Figura 5.3 muestran las áreas que comprende el entorno de entrenamiento, el cual consiste en una subestación eléctrica virtual creada por el grupo ISASTUR de 132 kilovoltios de simple barra con dos líneas y un transformador. En el siguiente enlace¹ se puede encontrar un vídeo de este entorno virtual.

Figura 5.2. Vista de la bodega de materiales

¹ https://www.youtube.com/watch?v=NZWF1FdOH_s

Figura 5.3. Vista de la torre exterior

5.3.2. Procedimiento para el Entrenamiento

El procedimiento que se lleva a cabo tiene como objetivo entrenar al personal de una Subestación Eléctrica para trabajar sin tensión y de esa forma evitar riesgos eléctricos, mientras cumple con las siguientes cinco reglas de oro de la seguridad eléctrica.

1. Desconectar, corte visible o efectivo.
2. Enclavamiento, bloqueo y señalización.
3. Comprobación de ausencia de tensión.
4. Puesta a tierra y cortocircuito.
5. Señalización de la zona de trabajo.

Este procedimiento contempla una secuencia de 18 acciones, que se enumeran a continuación:

1. Revisa el plano eléctrico del tablero
2. Colócate el EPP (equipo de protección personal). No importa el orden en el que se coloquen los distintos elementos.
 - 2.1. Ponte los guantes
 - 2.2. Ponte las gafas
 - 2.3. Ponte el casco

Desconexión

3. Dirígete al cuadro de control principal
4. Realiza el enclavamiento o bloqueo de los aparatos (selectores) de corte de corriente operados.

5. Señaliza con protección de maniobra el bloqueo realizado en el paso anterior.

Bloqueo y señalización

6. Dirígete al panel de control de la torre en el exterior y abre el gabinete
7. Identifica el selector principal.
8. Realiza el bloqueo manual del circuito en el que se trabaja.

Comprobar ausencia de tensión

9. Toma una pértiga de medición.
10. Haz contacto con la línea de tensión.
11. Verifica la ausencia de energía.

Puesta a tierra y cortocircuito.

12. Toma las pértigas de puesta a tierra.
13. Selecciona la cantidad de pértigas que se necesiten para poner a tierra las fases en todos los posibles puntos de retorno intempestivo de la corriente.
14. Localiza la toma de tierra.
15. Efectúa un puente (cortocircuito) de las fases en todos los posibles puntos de retorno intempestivo de la corriente.

Señalización de la zona de trabajo.

16. Toma las señaléticas de seguridad.
17. Regresa al área de trabajo.
18. Delimita el área de trabajo.

5.4. Algoritmo para integrar el Sistema de Diálogo en la Estrategia de Tutoría

Para explicar la integración del SDT en la estrategia de tutoría aplicada por el SIT partimos del diagrama general que se muestra en la Figura 5.4. En dicho diagrama, se han contemplado tres posibles casos que generan diálogos en lenguaje natural, estos casos surgen a partir de los eventos que el alumno genera desde el EEP a lo largo de la práctica. Los eventos que el SDT controla son: intento de acción, enunciado/pregunta y

la inactividad del alumno durante un tiempo excesivo. Además, cada uno de estos eventos pueden dar lugar a actualizaciones en el módulo del estudiante y del mundo.

Figura 5.4. Diagrama General de la Estrategia de Tutoría

Los pasos 3, 4 y 5 que se muestran en el diagrama de la Figura 5.4 se corresponden con cada uno de los tres tipos de eventos mencionados arriba. Para cada uno de estos tipos, se especifica el tratamiento que requiere así como la comunicación que se produce entre los diferentes módulos de la arquitectura de referencia para que el SDT pueda proporcionar una respuesta en lenguaje natural apropiada para las necesidades y las características del alumno. A continuación, se describen los tratamientos para cada uno de los eventos:

5.4.1 Tratamiento del intento de acción

En esta sección se describe el tratamiento de la condición 3. En ella se evalúa el caso en que “*el estudiante intenta realizar alguna acción antes del tiempo de espera*”. Para este caso se tiene en cuenta la intención de acción del alumno generada en el EPP y su consiguiente validación por parte del SIT. Además, se controla el escenario en que el estudiante pueda necesitar o no alguna pista según su modelo de estudiante. En la Figura 5.5, se presenta un diagrama de secuencia en el que se indican los pasos para generar una respuesta para este caso en concreto.

Figura 5.5. Secuencia de acciones para el tratamiento del intento de acción

Explicación:

3. **Si** el estudiante intenta realizar alguna acción antes del tiempo de espera.

3.1: El módulo de tutoría pide información a los módulos: experto y mundo, sobre la acción.

3.2: **Si** la acción es correcta.

3.3: Se permite que el estudiante realice la acción.

3.4: El módulo de tutoría obtiene información del módulo de estudiante para decidir si es pedagógicamente adecuada una retroalimentación positiva.

3.5: El módulo de tutoría solicita información al módulo de estudiante para que se determine el nivel de pista para el estudiante de acuerdo con su estado actual de conocimientos.

3.6: El módulo de tutoría transmite al módulo de comunicación el nivel de pista para el estudiante.

3.7: El módulo de comunicación pide al SDT que proporcione una retroalimentación positiva.

3.8: El módulo de comunicación recibe la retroalimentación positiva y la retransmite al EEP.

3.9: **Caso contrario**

3.10: El módulo de tutoría obtiene información del módulo de estudiante para decidir si es pedagógicamente adecuada un mensaje de error.

3.11: El módulo de tutoría solicita información al módulo de estudiante para que se determine el nivel de pista para el estudiante de acuerdo con su estado actual de conocimientos.

3.12: El módulo de tutoría transmite al módulo de comunicación el nivel de pista para el estudiante.

3.13: El módulo de comunicación solicita al SDT que envíe un mensaje de error.

3.14: El módulo de comunicación recibe el mensaje de error y lo retransmite al EEP.

3.15: Se bloquea o impide la ejecución de la acción.

3.16: **Fin de Si**

3.17: **Si** el estudiante parece necesitar una pista según su modelo de estudiante.

- 3.18: El módulo de tutoría obtiene información del estudiante para decidir si necesita una pista.
- 3.19: El módulo de tutoría envía al módulo de comunicación el nivel de pista requerido para el estudiante.
- 3.20: El módulo de comunicación envía al SDT el contexto del usuario para la elaboración de la respuesta.
- 3.21: El SDT envía la pista/respuesta ajustada al estado actual de conocimientos al módulo de comunicación y éste reenvía la pista al EEP.
- 3.22: **Fin del Si**
- 3.23: **Fin del Si**

5.4.2 Tratamiento del enunciado del alumno

En esta sección se explica el tratamiento de la condición 4 de la Figura 5.4. En ella se evalúa el caso en que *“el estudiante dice algo antes del tiempo máximo de espera”*. Para este caso se tiene en cuenta el enunciado del alumno que se recibe desde el EEP mediante un canal de chat. Además, se distinguen los dos casos que se pueden presentar en la generación/construcción de respuestas cuando éstas necesitan o no la información del EEP que se encuentra en el módulo del mundo. La Figura 5.6 muestra un diagrama de secuencia en el que se indican los pasos para este caso en concreto.

Figura 5.6. Secuencia de acciones para el tratamiento del enunciado del alumno

Explicación:

- 4: **Si** el estudiante dice algo antes del tiempo máximo de espera.
- 4.1: El módulo de tutoría solicita información al módulo de estudiante para que se determine el nivel de pista para el estudiante de acuerdo con su estado actual de conocimientos.
- 4.2: El módulo de tutoría transmite al módulo de comunicación el nivel de pista para el estudiante.
- 4.3: El módulo de comunicación envía al SDT el enunciado del alumno y el contexto actualizado.
- 4.4: **Si** la respuesta necesita información de la ontología del mundo.
- 4.5: El SDT envía la intención y la entidad relacionadas con el enunciado, y el contexto actualizado al módulo de comunicación para que construya la respuesta tomando información de la ontología del mundo.
- 4.6: El módulo de comunicación solicita información al módulo del mundo para construir la respuesta.
- 4.7. El módulo de comunicación envía al EEP la respuesta.
- 4.8: **Caso contrario**
- 4.9: El SDT construye la respuesta y la envía al módulo de comunicación.
- 4.10: El módulo de comunicación reenvía al EEP la respuesta.
- 4.11: **Fin del Si**
- 4.12: **Fin del Si**

Debido a que uno de los tipos de ayudas más comunes que el alumno solicita está relacionada con la ubicación de objetos o salas/áreas del EEP, en la sección 5.7.2 presentamos un algoritmo que detalla la acción 4.6. Dicho algoritmo permite generar indicaciones en lenguaje natural en base a la información que se encuentra en la ontología del mundo. En este sentido, la indicación generada para ubicar un objeto no es siempre la misma, pues depende de aspectos perceptivos y espaciales como la ubicación del alumno en el EEP, su campo de visión y la saliencia de los objetos, que se guardan en dicha ontología.

En el caso de la ubicación de salas/áreas caben dos soluciones: 1) Sencilla: suponer que en el entorno virtual hay señalizaciones (p.e. flechas) que te indican el camino para llegar a una cierta sala/área, y 2) Complicada: definir un sistema de guiado que sea

capaz de dar instrucciones en lenguaje natural para indicar como llegar de un sitio a otro dentro de un entorno virtual 3D. Esta segunda solución está fuera del alcance de esta tesis, pero fue abordada en un proyecto de investigación del mismo grupo de investigación en el que se ha realizado esta tesis (de Antonio, 2010) (Gervás, de Antonio, & Amores, 2012).

5.4.3 Tratamiento de la inactividad del alumno

En esta sección se expone el tratamiento de la inactividad del alumno. En ella se evalúa el caso en que “*el estudiante no intenta ninguna acción ni dice nada, y expira el plazo de espera*”. En este caso se tiene en cuenta la información sobre el nivel de conocimientos del alumnos que necesita el módulo de tutoría para a la par con la información del contexto solicitar al SDT la pista requerida para el estudiante. En la Figura 5.7, se presenta un diagrama de secuencia en el que se describen los pasos para generar una respuesta para este caso.

Figura 5.7. Secuencia de acciones para el tratamiento de la inactividad del alumno

Explicación:

- 5: Si el estudiante no intenta ninguna acción ni dice nada y expira el plazo de espera.
- 5.1: El módulo de tutoría solicita información al módulo de estudiante para que se determine el nivel de pista para el estudiante de acuerdo con su estado actual de conocimientos.

- 5.2: El módulo de tutoría transmite al módulo de comunicación el nivel de pista para el estudiante.
- 5.3: El módulo de comunicación solicita al SDT que genere una pista para el evento de excesiva inactividad teniendo en cuenta el contexto actualizado.
- 5.4: El SDT envía al módulo de comunicación la pista/sugerencia ajustada al nivel de conocimiento del estudiante.
- 5.5: El módulo de comunicación reenvía al EEP la pista/sugerencia ajustada al estado actual de conocimientos del estudiante.

5.4: Fin del Si

Como hemos observado, la ayuda que se proporciona en las líneas 3.21 y 5.4 está basada en pistas o sugerencias ajustadas al estado actual de los conocimientos del alumno. Para ello, en general, el SDT ofrecerá N posibles pistas, de acuerdo con la estrategia de tutoría que considere más adecuada el módulo de tutoría; además, el criterio del módulo de tutoría también es contemplado para las ayudas de las líneas 3.4., 3.5., 3.6., 3.10., 3.11. y 3.12, ya que él es quien decide lo que es pedagógicamente más adecuado para el alumno en cada momento.

5.5. Estructura del Sistema de Diálogo Tutorial

A continuación, detallamos cada uno de los elementos que forman parte de la especificación de un SDT diseñado para ser utilizado en el SITDEP que se propone en esta tesis.

5.5.1. Elementos del Sistema de Diálogo

Para una mejor explicación de los elementos del SD, hemos tomado de referencia el procedimiento del EFPE, presentado en la sección 5.3 como ejemplo de un entorno virtual 3D que se ajustaría a los requisitos de la arquitectura propuesta. En base a ello, presentamos los siguientes elementos:

Intenciones

En un EEP, las intenciones que se precisarían guardan relación con la interacción, descripción y ubicación de objetos y/o salas/espacios dentro del mundo virtual. Los objetos representan los instrumentos, materiales, herramientas, maquinarias o contenedores con los que el alumno interactúa, mientras lleva a cabo una determinada tarea. Además, sería necesario disponer de intenciones para controlar diálogos generales/comunes con el alumno, y aquellos en los que el alumno utiliza pronombres neutros como: “eso”, “esto”, “aquello”, para referirse a algún objeto o a una acción de la que ha recibido indicaciones antes.

En la Tabla 5.1 mostramos algunos de ellos para el EFPE.

Tabla 5.1. Intenciones definidas para el EFPE

Categoría	Intenciones
Interacción	#aclaracion_objeto
	#aclaracion_herramienta
	#falla_coger_objeto
	#falla_soltar_objeto
	#falla_coger_equipamiento
	#falla_coger_herramienta
	#falla_soltar_herramienta
	#falla_coger_contenedor

	#falla_encender_maquinaria #mensaje_accion_siguiente
Descripción	#descripcion_contenedor #descripcion_objeto #descripcion_herramienta #descripcion_maquinaria #descripcion_neutro #descripcion_sala
Obtención	#obtención_objeto #obtención equipamiento #obtención_herramienta
Ubicación	#ubicacion_contenedor #ubicacion equipoproteccion #ubicacion_objeto #ubicacion_material #ubicacion_propiedad #ubicacion_sala
Generales	#animo #general_already_done #general_greetings #general_positive_feedback #general_ending #general_human_or_bot

A continuación, citamos algunos ejemplos de cómo las intenciones enumeradas en la Tabla 5.1 pueden ser definidas a partir de los enunciados del alumno.

Categoría Interacción

Intención: #falla_coger_objeto

Enunciado: “No puedo coger las pértigas de puesta a tierra”
“No me deja abrir el gabinete”

Intención: #mensaje_accion_siguiente

Enunciado: “No sé qué hacer”

“¿Qué hago ahora?”

Categoría Descripción

Intención: #descripcion_contenedor

Enunciado: “¿Cómo es el cuadro de control principal?”

“¿Cuál es el plano eléctrico del tablero?”

Categoría Ubicación

Intención: #ubicacion_objeto

Enunciado: “¿Y las pértigas?”

“¿Dónde está el equipo de protección?”

Intención: #ubicacion_sala

Enunciado: “Y la bodega”

“¿Dónde está la bodega de materiales?”

Categoría Generales

Intención: #general_greetings

Enunciado: “Hola”

“Hola, ¿puedes ayudarme?”

Entidades

Las entidades que se precisarían en un EEP están relacionadas con los nombres de los objetos que se representan en el entorno virtual 3D. Así, cada entidad se correspondería con un grupo de objetos con unas características comunes desde el punto de vista del EEP.

Como se puede observar en la Tabla 5.2, una entidad se define mediante uno o más valores, y a su vez, a estos valores se les pueden asignar sinónimos, a fin de procurar una mejor coincidencia con los enunciados de los alumnos. Además, encontraremos el pronombre “eso” como valor de algunas entidades, debido a que es común que el alumno lo utilice en algún enunciado. Este tipo de valor se desambigua usando el contexto a través del enunciado “siguiente acción”.

Tabla 5.2. Entidades definidas para el EFPE

Entidades	Valores	Sinónimos
@contenedor	Percha Vitrina de materiales Vitrina de equipo de protección eso	Repisa Anaquel Anaquel de equipo de protección
@materialguia	Protocolo	
@maquinaria	Plano eléctrico Gabinete eso	Centro de carga
@equipoproteccion	Equipo de protección Personal eso	EPP Protección Personal
@materiales	Pértiga de medición Pértiga de puesta a tierra Señalética Selectores de panel eso	Avisos de seguridad Selectores de tablón
@espacio	Área de materiales Área de trabajo exterior	

Árbol del Diálogo

El árbol del diálogo para un EEP debe estar integrado al menos por nodos que se correspondan con todas las acciones que el alumno debe llevar a cabo como parte del procedimiento asociado a la práctica. Hemos identificado varios tipos de nodos que explicaremos a continuación:

Tipos de nodos

Podemos diferenciar los siguientes tipos de nodos en el primer nivel del árbol: nodos de diálogo común, nodos de las acciones del procedimiento, nodos de frases relevantes en cualquier momento y nodos de frases irrelevantes.

Nodos de diálogo común: estos nodos se utilizan para responder frases de los alumnos que podrían aparecer en cualquier diálogo. Por tanto, en estos nodos no es necesario disponer de información acerca del procedimiento que se está llevando a cabo, lo cual facilita su reutilización de un dominio a otro de aplicación. Estos nodos son configurados para generar una respuesta directa para el estudiante, por lo tanto, no cuentan con nodos hijos en su definición. Para la generación de la respuesta, disponen de un conjunto finito de respuestas que son seleccionadas de forma aleatoria por el sistema. Ejemplos de estos nodos serían:

- Saludos
- ¿Quién eres?
- Ánimo

Nodos de las acciones del procedimiento: estos nodos hacen referencia a una parte del procedimiento, específicamente a la siguiente acción que debería realizar el alumno en ese momento, por lo tanto, representan frases previsibles por parte del alumno en el contexto actual de la práctica. Estos nodos tienen nodos hijos encargados de procesar las distintas intenciones relevantes en el contexto de la siguiente acción correcta que se espera que el alumno realice en la práctica. Además, cabe mencionar que de este tipo de nodo, existe una variante que contempla los nodos que controlan varias posibles acciones correctas que, de acuerdo con el procedimiento, no requieren llevar un orden específico de ejecución.

Nodos de preguntas relevantes en cualquier momento: estos nodos permiten gestionar el diálogo en situaciones en las que el alumno formula una pregunta pertinente en cualquier momento de la práctica. Por ejemplo, podría preguntar por la ubicación de un manual de instrucciones dentro del mundo virtual.

Nodos de frases fuera de contexto: estos nodos permitan gestionar el diálogo en situaciones en las que el alumno dice algo que no tiene sentido en el momento actual de la práctica o no se entiende. Por ejemplo:

- **“Intenciones fuera de lugar”:** este nodo se ejecuta cuando se detecta una intención que no tiene sentido dada la siguiente acción a realizar en la práctica.

- **“Mensaje no comprendido”**: este nodo se ejecuta cuando no se reconoce la pregunta, instando al estudiante a repetirla de otra manera.
- **“Frase que no requiere respuesta”**: a veces los alumnos dicen frases que no requieren una respuesta del tutor, pero son habituales en un diálogo entre humanos. Por ejemplo, “vale” o “ja ja”.

5.5.2. Variables de Contexto

Las variables de contexto son elementos favorecedores para elaborar una respuesta que permita mantener un diálogo lo más natural posible. A través de ellas, el módulo de comunicación podrá pasar información al SDT, y el SDT podrá actualizar esta información y regresarla al módulo de comunicación.

En la Tabla 5.3 mostramos las variables de contexto que consideramos que podrían ser útiles en el desarrollo de un EEP. Estas variables manejan información tanto de ida como de regreso entre el módulo de comunicación y el SDT.

Tabla 5.3. Variables para el contexto

Nombre	Variable	Función
Del SIT al SDT		
Acción siguiente	\$acc_sig	Para recordarle al alumno cuál es(son) la(s) acción(es) siguiente(s) que debe realizar.
Nivel de pista	\$nivel_pista	Se utiliza para construir una respuesta adecuada a su nivel de conocimientos.
Nombre del alumno	\$nom_alu	Se utiliza para elaborar respuestas con el nombre del alumno a fin de brindar un trato más cercano.
Mensaje acción siguiente	\$men_sig_acc	Para generar un mensaje sobre la siguiente acción que debe realizar el alumno.
Mensaje negativo (error)	\$men_error	Para generar un mensaje de error por un intento de acción detectado.

Mensaje positivo	\$men_pos	Para generar un mensaje que sirva de motivación para el alumno por el desempeño que ha tenido durante la práctica y al finalizarla.
Tiempo agotado	\$timeout	Para saber cuándo el alumno lleva demasiado tiempo sin realizar ninguna acción.

Del SDT al SIT

Desambiguar	\$desambiguado	Para distinguir la entidad deseada en el caso de que se produzcan coincidencias en la entrada del alumno con varias entidades que se utilizarían en distintos momentos de la práctica. Por ejemplo: pértiga de medición/pértigas de puesta a tierra (incluso el control de tildes).
Sustantivo Número	\$numero	Para diferenciar cuando se hace referencia a una entidad en plural o en singular. Esto permite que el SIT construya una respuesta que guarde la concordancia con la frase del alumno. Por ejemplo: pértiga/pértigas, señalética/señaléticas.

5.5.3. Definición del Flujo del Diálogo.

Los **nodos de diálogo común** se pueden incluir en cualquier aplicación, en tanto que los **nodos de acciones del procedimiento** son específicos del dominio. En la Figura 5.8 se puede apreciar cómo los nodos de diálogo común están destinados a dar la bienvenida, responder saludos o agradecimientos, animar a los usuarios cuando sea necesario, etc. En cambio, los nodos de acciones del procedimiento, en la Figura 5.8, tienen como nombre Acc_Siguiente “1” hasta Acc_Siguiente “n”, donde “1” representa la primera

acción que el alumno debe realizar como parte del procedimiento y “n” es el total de acciones que tiene el procedimiento.

Cabe destacar que todos los nodos de acciones del procedimiento tienen nodos hijos. A su vez, cada uno de estos nodos hijo se va a encargar de procesar cada una de las intenciones que tiene sentido considerar en el contexto de la acción del nodo padre.

Figura 5.8. Esquema del flujo de diálogo

En la Figura 5.8, podemos observar como en el nivel superior del flujo, el SD de izquierda a derecha intenta encontrar el primer nodo cuya condición se cumpla para el enunciado del usuario. Una vez que el SD encuentra el nodo coincidente, lo procesa considerando de arriba hacia abajo los nodos hijos que pudieran existir hasta que encuentre uno cuya condición se cumpla.

Las respuestas se generan para cada tipo de nodo, en el caso de los **nodos de diálogo común** se elaboran en el SD y las que corresponden a los **nodos de las acciones** se elaboran tanto en el SD como en el módulo de comunicación (ver sección 5.7). Para ambos tipos se utilizan variables de contexto que, como explicamos en la sección 5.5.2., servirán para elaborar una respuesta de acuerdo con la forma y especificidad contextual en la que el estudiante presenta su enunciado. Por ejemplo:

En el nodo “Bienvenida”, se procesa la intención #General_Greetings **para responder** a saludos. Para personalizar la respuesta se emplea la variable de contexto \$nom_alu, que se recibe del SIT, que permite elaborar la respuesta tomando el nombre del alumno a fin de brindarle un trato más cercano.

En el nodo “Acc_siguiente 2”, se evalúa el valor de la variable de contexto \$acc_sig proporcionada por el SIT que contiene una acción del procedimiento. Una vez que se establece la coincidencia con el nodo, se procesa el nodo hijo que contiene la intención reconocida por el SD como “#Ubicación_objeto” y finalmente se realiza la evaluación del nodo que aprovecha la intención y la entidad que el SD reconoció en el enunciado del alumno. El hecho de considerar tanto la intención como la entidad en un mismo nodo está basado en que algún alumno podría preguntar por alguna entidad (objeto/maquinaria/contenedor) que no sea necesaria para dicha acción.

Para la construcción de la respuesta, el SD envía al SIT la intención, las entidades y las variables de contexto \$desambiguado y \$número para que, accediendo a la información de la ontología del mundo se elabore una respuesta lo más real posible.

5.5.4. Definición de los Nodos de Acciones del Procedimiento

Como ya hemos explicado antes, todos los nodos que procesan las preguntas/enunciados relativos a las acciones del procedimiento que debe realizar el alumno, poseen nodos hijos para lograr un mejor tratamiento de la intención del usuario. Así, cada nodo hijo se encarga de procesar cada una de las intenciones que tiene sentido considerar en el contexto asociado a la acción ligada al nodo padre. Además, todos los nodos de cada acción tienen un nodo hijo en el que, como última opción, al no tener una comprensión clara de la intención expresada por el alumno realiza un salto a otro nodo, que hemos llamado “No comprendo”, que gestiona esta situación de confusión.

A continuación, mostramos cuatro ejemplos en los que detallamos el tratamiento proporcionado por los nodos hijos para diferentes situaciones del procedimiento del EFPE. En cada una de las figuras encontraremos nodos “resaltados” de color gris que corresponden al nodo principal (acción del procedimiento) y nodo hijo (coincidencia del enunciado) activo para la generación de la respuesta. Además, en dichas figuras podemos ver otros nodos hijos que “no han sido resaltados” porque no se activan para el enunciado del alumno en el ejemplo, pero podrían activarse con otros enunciados

relacionados con la acción asociada con el nodo principal, excepto si se trata del nodo “No comprendo”.

En la Figura 5.9 presentamos un ejemplo de un nodo relacionado con la línea 8 del procedimiento del EFPE, “Realiza el bloqueo manual del circuito en el que se trabaja”. Para este caso, suponemos que el alumno no conoce la siguiente acción del procedimiento, y por lo tanto, formula la pregunta “¿Qué hago ahora?”. Para ello, en el nodo hijo se evalúa la condición sobre la intención de “mensaje de acción siguiente” que identificó el SD. La respuesta que se entregaría al usuario va a depender de la variable de contexto “nivel de pista” que envíe el SIT. En este ejemplo, vamos a distinguir entre “G” para pista general y “E” para pista específica.

Figura 5.9. Funcionamiento de un nodo hijo de diálogo para una pista de acción siguiente

En la Figura 5.10 ejemplificamos el funcionamiento de un nodo de diálogo asociado a la acción del procedimiento del EFPE, concretamente de la línea 9, “Toma una prtiga de medicin”. Cuando el sistema est esperando que el alumno realice esta accin, suponemos que el alumno formula la pregunta “Dnde estn las prtigas?”. Para ello, en el nodo hijo se evala una condicin relativa a la intencin y la entidad que identific el SD a partir de la entrada del usuario. La respuesta que se entregara al usuario no se especifica, porque para su elaboracin se requiere de informacin del entorno virtual que se encuentra en la ontologa del mundo. La generacin de este tipo de respuesta ser detallada en la seccin 5.5.4.

Figura 5.10. Funcionamiento de un nodo de dilogo para buscar una herramienta

En la Figura 5.11 presentamos otro ejemplo que aunque pueda parecer poco usual, podra presentarse en cualquier entorno virtual de entrenamiento. Este ejemplo se basa

en la acción 2 del procedimiento del EFPE, “Colócate el EPP” (el EPP está constituido por varios elementos y es posible que el alumno se los coloque en forma no ordenada). Cuando el sistema está esperando que el alumno realice esta acción, suponemos que el alumno podría formular la siguiente pregunta “¿Dónde está el EPP?” o preguntar por cualquiera de los elementos de protección, como: el casco, los guantes, las gafas, protectores auditivos, etc. Por ejemplo: ¿Dónde está el casco?, Y los guantes dónde están, etc. Para este caso, implementamos un nodo padre que verifica no solo una acción siguiente, sino varias, de tal manera que el nodo pueda detectar una coincidencia con cualquiera de los elementos de protección a los que se pueda referir el alumno. Luego en el nodo hijo se evalúan las condiciones de forma individual y definen los comentarios que se puedan entregar al alumno.

Figura 5.11. Funcionamiento de un nodo padre que gestiona varios enunciados correctos para una misma acción

En este último ejemplo de la Figura 5.12 presentamos el caso en el que una intención no es reconocida o comprendida por el SD, o cuando surgen enunciados fuera de contexto, es decir, enunciados que no corresponden con la siguiente acción que el alumno debe realizar. Esta situación se maneja a través de un nodo hijo que se ubica al final de la lista de nodos definida para cada nodo principal asociado a una acción, con la finalidad de que se genere una mejor respuesta acorde al tipo y momento del enunciado del alumno. Ahora bien, en muchos casos es posible centralizar el tratamiento de este tipo de situaciones en un solo nodo principal llamado “En otras cosas”, por tanto desde el nodo hijo se deriva el tratamiento a este nodo principal.

Supongamos que el alumno dice “Y si no cojo ninguna” y el SD detecta que no es una entrada comprendida (véase la Figura 5.12). Por lo tanto se deriva el tratamiento a un nodo principal llamado “En otras cosas” en el que se controlan a través de nodos hijos tanto las intenciones “fuera de lugar” como las “no comprendida”. En este ejemplo, la respuesta que se entregaría al usuario se selecciona aleatoriamente entre una lista de respuestas preparadas, ya que en este caso no tiene sentido considerar el nivel de pista.

Figura 5.12. Funcionamiento de un nodo hijo de diálogo para una entrada no comprendida

5.6. Extensiones de la Ontología del Mundo para dar soporte al Sistema de Diálogo.

Para representar la información relativa al mundo virtual se ha utilizado la ontología descrita en la sección 2.2.3. La ontología *Miles.owl* perteneciente al proyecto ENVIRA sirvió de base para nuestro trabajo, ya que dicha ontología facilita la representación de la información geométrica y semántica relativa a un entorno virtual 3D que permite elaborar pistas/sugerencias en lenguaje natural.

Sin embargo, esta ontología presenta algunas limitaciones para construir enunciados en lenguaje natural, dar orientaciones basadas en la posición del avatar del alumno y para validar los intentos de acciones ejecutados por el alumno. Por ejemplo, si el alumno intenta coger un objeto que está siendo utilizado por otro alumno.

Para cubrir esas carencias, a la ontología *Miles.owl* se le adicionaron algunas clases y propiedades, como se explica a continuación.

Aparte de estas extensiones de propósito general, cada EEP requerirá una serie de extensiones específicas. Por ejemplo, en el caso del EFPE, será necesario añadir conceptos para los objetos/herramientas que componen el mundo virtual, es decir, el panel de control, el gabinete, el tablero principal, las señaléticas, las áreas de trabajo, etc. En este sentido, los objetos/herramientas/maquinarias del entorno de entrenamiento son subclases de la clase *ManipulableElement*. A partir de las clases definidas, se deben crear las instancias con la información específica de cada objeto del mundo virtual.

Asignación de objetos/herramientas a los alumnos.

Para controlar que un objeto esté disponible para un usuario o haya sido asignado a otros usuarios se creó la clase *LockableElement*, subclase de la clase *Device*. A partir de esta clase se han definido las instancias de los objetos que conforman el entorno virtual que pueden ser bloqueados y desbloqueados por los estudiantes. A las instancias de esta clase se le ha añadido un atributo *Owner* inicializado con el valor “Nadie”, que posteriormente tomará el nombre del estudiante que lo esté utilizando en cada momento.

Indicaciones en lenguaje natural

Para acceder fácilmente a la información registrada en la ontología para cada valor de cada entidad del SD, cada instancia contiene una propiedad de datos llamada *spanishName* que almacena su nombre en español.

Para la descripción de objetos se cuenta con dos propiedades *descriptionG* y *descriptionE* cuyos valores consisten en un texto en español que describe al objeto de forma general o específica, dependiendo del nivel de pista que requiera el estudiante. Esto podría variar en cada EEP dependiendo de los tipos de pistas que se quieran utilizar con los estudiantes atendiendo a su nivel de conocimientos.

Para la ubicación de los objetos/herramientas, se utilizan varias propiedades ya existentes para definir las relaciones espaciales, tales como: *nearOf*, *above*, *inFrontOf*, *below*, *behind*, *toTheRight*, *toTheLeft*, entre otras. Ahora bien, a cada una de estas propiedades le agregamos su traducción al español a su etiqueta predefinida *label* para facilitar la construcción de las frases que contengan cada relación espacial.

Otro aspecto importante para la generación de la pista en lenguaje natural es la incorporación de la propiedad *spanishSentence* que se utiliza para crear frases en las que se haga referencia a los objetos del entorno virtual. Con ella se puede controlar el/los “artículo(s)” y “verbo(s)” para facilitar el tratamiento del objeto/herramienta en singular o plural, de acuerdo con la petición del alumno.

5.7. Rol del Módulo de Comunicación en la Generación de la Respuesta en Lenguaje Natural

Como explicamos en la sección 5.2.2., el módulo de comunicación juega un papel esencial para la elaboración de respuestas que requieren información del entorno virtual.

Las respuestas que tienen esta característica se construyen en base a:

1. Información que se obtiene del SDT, esto es, la intención/es y entidad/es que el SDT haya identificado en el enunciado del alumno.
2. Información del entorno virtual que se ha definido en la ontología del mundo Miles.owl.

Una vez que el módulo de comunicación recibe del SDT la información correspondiente a la interpretación del enunciado del alumno (intenciones y entidades), éste accede a la ontología del mundo con dos finalidades:

1. Obtener información semántica y geométrica sobre los objetos que se encuentran en el entorno virtual.
2. Obtener los fragmentos de texto correspondientes que han de formar parte de la respuesta en lenguaje natural.

Para explicar cómo se elabora una respuesta lo más natural posible, se van a detallar los siguientes puntos:

- Generación de descripciones de objetos.
- Generación de indicaciones para ubicar objetos.

5.7.1. Generación de descripciones de objetos

Un dato esencial para la construcción de una respuesta es el valor de la entidad que envía el SDT al SIT. Este valor de la entidad representa un objeto en el mundo virtual y una instancia en la ontología a la que el alumno hace referencia en su enunciado.

Cuando el SIT accede a la ontología del mundo para construir una respuesta, usa la propiedad *spanishName* para identificar la instancia a la que ha hecho referencia el alumno en su enunciado.

Una vez que se obtiene el valor de la instancia por la que el alumno está preguntando su descripción, se accede a su propiedad *descriptionE* o *descriptionG* (estas propiedades

almacenan con distinto nivel de detalle las descripciones sobre los objetos) de acuerdo con el valor de la variable de contexto nivel de pista (\$niv_pis). El valor de esta variable la decide el SIT en función al desempeño que ha tenido el alumno. Por ejemplo:

Alumno: ¿Cuál es la pértiga de medición?

SIT envía al SD el enunciado del alumno

SD devuelve:

la intención #descripcion_objeto, y

la entidad @objeto = "pértiga de medición"

SIT indica:

el nivel de pista es General (\$niv_pis = "G")

Tutor: "La pértiga de medición es una vara de metal de 5 construida en fibra de vidrio con alma de poliuretano"

Otro aspecto importante para la generación de descripciones es el manejo del número del sustantivo, ya que se debe asegurar la concordancia entre la pregunta y la respuesta. Por lo tanto, para la generación del plural de cualquiera de los objetos por los que el alumno pueda preguntar, hemos optado por el siguiente algoritmo que distingue los distintos tipos de plurales:

- 1: Búsqueda del objeto en la ontología mundo utilizando su nombre en la ontología (*spanishName*)
- 2: **Si** tiene más de una palabra
- 3: Solo se hace plural la primera y se le aplica el paso 5
- 4: **Fin del Si**
- 5: **Si** tiene una palabra
- 6: **Si** la palabra termina en -l, -r, -n, -d, -z, -j
- 7: Se añade "-es" al final
- 8: **Fin del Si**
- 9: **Si** termina en "-s"
- 10: Se mantiene la palabra
- 11: **Caso contrario**
- 12: Se añade "-s" al final
- 13: **Fin del Si**
- 14: **Fin del Si**

5.7.2. Generación de indicaciones para ubicar objetos

El siguiente algoritmo detalla cómo se generan las indicaciones en lenguaje natural para localizar los objetos partiendo de las ideas presentadas en la Tesis Doctoral de Graciela Lara (Lara, 2016), que se resumieron en la sección 0. Este algoritmo considera los siguientes escenarios específicos:

- Indicaciones para objetos que están dentro del campo de visión del alumno.
- Indicaciones para objetos que no están dentro del mismo ambiente/sala del alumno.
- Indicaciones para objetos que a pesar de estar dentro del mismo ambiente/sala, no está dentro del campo de visión del alumno.

Aprovechamos este algoritmo para dar soporte a la acción de la línea 19 del algoritmo descrito en la sección 5.4.1, para el caso en que el alumno requiera ubicar un determinado objeto que necesite para llevar a cabo su tarea. Antes de presentar el algoritmo, citamos algunos ejemplos de lo que el alumno puede decir cuando esté buscando algo y la respuesta que se debe generar:

Ejemplo 1:

Supuestos con relación al objeto y al alumno:

- El alumno está en la misma sala en la que están los EPP.
- Objeto está sobre otro objeto.
- El objeto está dentro del campo de visión del alumno.

Alumno: ¿Dónde está el EPP?

SIT envía al SD el enunciado del alumno

SD devuelve:

la intención #ubicación_equipamiento, y

la entidad @objeto = "EPP"

SIT indica:

el nivel de pista es General (\$niv_pis = "E")

Tutor: "Alumno camina hacia el frente" +

"El EPP está dentro de la vitrina de EPP"

Ejemplo 2:**Supuestos con relación al objeto y al alumno:**

- *El alumno está en otra sala que no es la misma ubicación de las señaléticas*
- *Objeto está dentro de otro objeto*
- *El objeto no está dentro del campo de visión del alumno*

Alumno: ¿Dónde están las señaléticas?

SIT envía al SD el enunciado del alumno

SD devuelve:

la intención #ubicación_objeto, y

la entidad @objeto = "señaléticas"

SIT indica:

el nivel de pista es General (\$niv_pis = "G")

Tutor: "Alumno dirígete a la bodega de materiales" +

"Las señaléticas están dentro de la bodega de materiales"

Los pasos del algoritmo son los siguientes:

- 1: Encontrar la sala del entorno virtual en la que se encuentra el estudiante utilizando su posición
- 2: Búsqueda del objeto a ubicar en la ontología mundo utilizando su nombre en la ontología (*spanishName*)
- 3: De las n instancias encontradas para el objeto, filtrar las que se encuentren en la misma sala que el estudiante
- 4: Si no existen instancias en la misma sala
- 5: Si existen en otra sala:
- 6: Buscar la más cercana
- 7: Escribir "Dirígete a la sala -nombre sala- y vuélveme a preguntar"
- 8: Caso contrario
- 9: Escribir "-nombre objeto- es un objeto desconocido"
- 10: Fin del Si.
- 11: Fin del Si.
- 12: Si existen instancias:
- 13: De las instancias en la misma sala, buscar la más cercana al estudiante

- Utilizar la ubicación del estudiante en el momento en el que realizó la pregunta
 - Calcular distancia (estudiante - instancia) de todas las instancias
 - Escoger la instancia más cercana → objeto a localizar (OL)
- 14: Verificar si OL está dentro de otro objeto (*isInsideOf*)
- 15: Si se cumple: El contenedor se convierte en OL
- 16: Verificar si OL está en el campo de visión (*FoV*) del estudiante
- 17: Caso contrario
- Escribir una instrucción extra: “-nombre estudiante- date la vuelta”
 - Utilizar la orientación del estudiante como si se girara “x” grados.
- 18: Verificar si la distancia entre el estudiante y el OL es > 10m
- Escribir una instrucción extra: “-nombre estudiante- camina hacia al frente”
 - Utilizar la posición del estudiante como si ya se hubiese desplazado hacia al frente
 - Recalcular el punto de visión del estudiante
- 19: Seleccionar las instancias que forman el contexto
- 20: Escoger las instancias con las que OL mantiene alguna relación espacial
- 21: Si no tiene ninguna relación con ninguna:
- Ir al paso 29
- 22: Si tiene instancias relacionadas:
- Filtrar las que están dentro del campo de visión del estudiante
 - Añadir el OL al contexto
- 23: Calcular la saliencia contextual de todas las instancias que pertenecen al contexto
- 24: Calcular la saliencia contextual por color, tamaño y forma
- 25: Calcular la saliencia contextual total
- 26: Calcular la saliencia general (GS) de todas las instancias que pertenecen al contexto
- 27: Aplicar la formula $GS = 1/3 IS + 2/3 SoC$ para cada objeto
- Utilizar la saliencia individual (IS) tomada de la ontología del mundo
 - Utilizar la saliencia contextual (SoC) calculada anteriormente
- 28: Verificar si la saliencia general de la instancia escogida es > 0.6

- 29: Dar una instrucción intrínseca:
- (a) *"el -nombre objeto- está enfrente a tu posición"*
 - (b) *"y verás el -nombre objeto- enfrente tuyo"*
- 30: Caso contrario
- 31: De los otros objetos del contexto, escoger el que tenga mayor saliencia general → objeto de referencia OR
- 32: Dar una instrucción utilizando el objeto de referencia:
- (c) *"-nombre objeto- "relación espacial" del objeto de referencia"*
 - (d) *"y encontrarás el -nombre objeto- a la derecha del objeto de referencia"*
- 33: Fin del Si
- 34: Fin del Si

En el literal c) correspondiente a la línea 32 no se establece de forma precisa la "relación espacial" que existe entre el objeto a localizar y el objeto de referencia, porque esta debe ser establecida de acuerdo con la mejor relación entre ellos por si existiera más de una. Por lo tanto, la selección de la mejor relación está sujeta al algoritmo propuesto en la Tesis Doctoral de (Lara, 2016) que se presenta en la sección 2.6.3.

Para construir la frase que contiene una relación espacial, nos apoyamos en las etiquetas label que agregamos a las propiedades *nearOf*, *above*, *inFrontOf*, *below*, *behind*, *toTheRight*, *toTheLeft*. Por ejemplo: La propiedad *toTheRight* tiene la etiqueta label "a la derecha de".

La propiedad *spanishSentence* permite controlar el artículo(s) o el verbo de la respuesta en base al número con el que se haya reconocido la instancia del objeto (o valor de la entidad) en el enunciado del alumno, esto es, singular o plural.

Vamos a ver un par de ejemplos que ilustran el uso de estas propiedades al construir las respuestas para los alumnos.

Ejemplo: ¿Dónde está la señalética?

spanishName = "señalética"

spanishSentence = la/las | está/están

label de toTheRight = "a la derecha de"

Para la estructura en singular se utilizará "el" y "está".

Para la estructura en plural se utilizará “las” y “están”.

Quedando así “*La señalética está a la derecha de la mesa*”.

Ejemplo: ¿Dónde consigo los equipos de protección?

spanishName = “equipo de protección”

spanishSentence = hay un/los | /están

label de above = “encima de”

Para la estructura en singular se utilizará “hay un” y “”.

Para la estructura en plural se utilizará “los” y “están”

Quedando así “*Los equipos de protección están encima de la mesa*”.

5.8. Metodología para la Creación del Sistema de Diálogo Tutorial

Para crear un SDT que se ajuste a las características descritas en este capítulo, proponemos una metodología compuesta por 14 actividades agrupadas en cuatro fases que siguen un ciclo de vida iterativo e incremental, representada en la Figura 5.13. En cada una de las fases se incluyen varias actividades que permiten llegar a la obtención de una versión inicial del sistema tras cubrir por primera vez las cuatro fases.

Figura 5.13. Fases para la creación de un Sistema de Diálogo Tutorial

Esta metodología sigue un desarrollo iterativo e incremental por las facilidades que ofrece para introducir nuevos cambios y/o extensiones al sistema, si fuesen necesarios. Es decir, existe la posibilidad de seguir recopilando nuevos datos (diálogos) que permitan ampliar o caracterizar de mejor manera las interacciones entre el sistema y el usuario. Estos datos deben ser utilizados para ir evaluando y mejorando el sistema de forma iterativa. Esta modalidad de desarrollo está basada en la idea de “*system in the loop*”, que consiste en mantener el sistema en constante actualización, incorporando los nuevos componentes que vayamos desarrollando a partir de los datos capturados tan pronto como estos estén disponibles.

El proceso de construcción del SDT está integrado por las siguientes cuatro fases:

FASE 1: Especificación de los diálogos

- 1.1. Recopilación del *Corpus*
- 1.2. Clasificación de los enunciados de los usuarios
- 1.3. Asociación de los enunciados con las acciones del plan
- 1.4. Especificación de las respuestas para cada enunciado del alumno

FASE 2: Análisis de los diálogos

- 2.1. Identificación de las intenciones
- 2.2. Identificación de las entidades
- 2.3. Definición de los elementos para la ontología del mundo
- 2.4. Definición de las variables de contexto

FASE 3: Implementación del Sistema de Diálogo Tutorial

- 3.1. Implementación de las entidades, intenciones y variables de contexto
- 3.2. Definición del flujo de diálogo
- 3.3. Pruebas del SDT

FASE 4: Integración con el SIT

- 4.1. Implementación de las extensiones de la ontología del mundo
- 4.2. Implementación de las extensiones al módulo de comunicación
- 4.3. Integración de los subsistemas

A continuación, se van a especificar las actividades englobadas en cada fase.

5.8.1. FASE 1: Especificación de los diálogos

Esta fase comienza con la recopilación de los diálogos y el análisis de las características que presenta el *corpus* con el que se desarrollará el SDT. Para ello, una vez recopilado el *corpus* se propone una clasificación de los enunciados que se encuentren en el diálogo. Posterior a ello, se realiza una asociación de los enunciados con las acciones del procedimiento y los tipos de respuestas que generará el SDT.

1.1.) Recopilación del *Corpus*

El uso de un *corpus* es imprescindible a la hora de analizar datos lingüísticos más allá de la pura introspección. En ese sentido, esta primera actividad constituye una de las actividades vitales para la construcción del SDT.

Dada las características del sistema, sugerimos la utilización de la técnica del Mago de Oz para la educación de requisitos (Zapata & Carmona, 2007). Esta técnica permite recolectar una base de diálogos para estudiar el comportamiento de los usuarios frente al sistema sin necesidad de tenerlo implementado. Los diálogos se obtienen de usuarios reales que participan de una tutoría humano - computador. De esta manera, una persona (el Mago de Oz) actúa como sistema, caracterizando de la mejor manera posible al sistema que se desea construir. Además, esta técnica puede resultar muy útil para la captura de nuevos datos que permitan desarrollar o ajustar el sistema de reconocimiento y comprensión de lenguaje natural que serán necesarios para el sistema.

Al utilizar la técnica del Mago de Oz en esta propuesta que implica un entrenamiento procedimental que se lleva a cabo en un entorno virtual, es posible obtener diálogos en los que existan enunciados que estén encaminados a:

- El alumno pueda solicitar información referente:
 - Cuál es la acción siguiente por realizar.
 - Objetos que necesita para determinada tarea.
 - Encontrar algún objeto/equipamiento/maquinaria/herramienta/contenedor/espacio dentro del entorno virtual.
 - Reconocer algún objeto/equipamiento/maquinaria/herramienta/contenedor/espacio dentro del entorno virtual.
 - Confirmación/verificación de que la acción ha sido realizada.
- El alumno pueda notificar/demostrar:
 - Problemas de interacción con objeto/equipamiento/maquinaria/herramienta/maquinaria/espacio dentro del entorno virtual.
 - Incertidumbre en el desarrollo de alguna acción.
- El alumno pueda decir:
 - Saludos/despedidas.

- Comentarios sobre acciones realizadas (p.e. “me he saltado alguna acción”, “voy bien”, “he terminado”).
- Comentarios fuera de contexto.

Al analizar el *corpus*, se podrán utilizar a modo de plantilla o guía unos ciertos escenarios generales de actuación aplicables en muchos dominios de aplicación, que se describen mediante una secuencia de pasos. Por medio de estos escenarios, será posible identificar ciertos segmentos de diálogo en el *corpus*, que requerirán un tratamiento independiente por parte del SDT. Por ejemplo:

Escenario 1:

- a) El usuario solicita información sobre la **siguiente acción que debe realizar**.
- b) El sistema envía la respuesta y el usuario emprende la acción.
- c) Si la acción es realizada correctamente, el sistema le devuelve una retroalimentación positiva.
- d) Caso contrario, el sistema le devuelve un mensaje de error.

Escenario 2:

- a) El usuario pregunta por la **ubicación de algún objeto / herramienta / maquinaria / espacio** que necesita para llevar a cabo una tarea.
- b) El tutor envía una respuesta de tipo genérica y el usuario se dirige al lugar indicado en la respuesta.
- c) Si lo encuentra, continúa con la tarea.
- d) Caso contrario, el usuario **vuelve a preguntar por el objeto / herramienta / maquinaria / espacio** que necesita.
- e) El tutor envía una respuesta más específica con instrucciones más detalladas para localizar el objeto que necesita.

Tomando como referencia el escenario 2 y relacionándolo con los pasos 2, 6 y 9 del procedimiento del EFPE, descrito en la sección 5.3.2., podríamos identificar en el *corpus* los siguientes segmentos de diálogo:

Paso 2. Colócate el EPP (equipo de protección personal)

Usuario: ¿Dónde puedo conseguir un equipo de protección personal?

Tutor: El equipo de protección personal está en la vitrina de equipo de protección.

Usuario: No encuentro el equipo de protección personal.

Tutor: El equipo de protección personal está en la vitrina de equipo de protección que está dentro de la sala principal.

Usuario: Gracias tutor.

Paso 6. Dirígete al cuadro de control principal

Usuario: ¿Dónde está el cuadro de control principal?

Tutor: El cuadro de control principal está en la sala principal.

Usuario: Gracias tutor.

Paso 9. Toma una pértiga de medición.

Usuario: ¿Dónde está la pértiga de medición?

Tutor: La pértiga de medición está en la bodega de materiales.

Usuario: No encuentro la pértiga de medición.

Tutor: La pértiga de medición está en la bodega de materiales que está a la derecha del panel central.

1.2.) Clasificación de los enunciados de los usuarios

Una vez obtenido el *corpus* con los diálogos, se procede a realizar una categorización del tipo de oraciones/enunciados que son provistas durante los diálogos. Por lo general, muchas de las categorías que se utilizarán serán dependientes del dominio, si bien algunas de ellas podrán aparecer en distintos dominios. En consecuencia, las categorías más generales se podrán reutilizar en diferentes dominios. En la Tabla 5.4, presentamos las categorías de algunos de los enunciados que aparecerán en el *corpus* del EFPE.

Tabla 5.4. Categoría de enunciados

Enunciado	Categoría del enunciado
¿Qué debo hacer ahora?	Acción siguiente
Con qué hago el enclavamiento	Aclaración de objeto
Puedo coger cualquier pértiga	Aclaración de herramienta
¿Dónde están las señaléticas?	Ubicación objeto
¿Dónde consigo un EPP?	Ubicación de equipamiento
¿Dónde está el panel de control?	Ubicación de maquinaria
¿Dónde está la pértiga de puesta a tierra?	Ubicación de herramienta
No encuentro el gabinete	Ubicación de contenedor
¿Dónde está la bodega de materiales?	Ubicación de espacio (sala)
¿Dónde está eso?	Ubicación neutra
Dónde está mi señalética	Ubicación propiedad
¿Cómo obtengo una señalética?	Obtención de objeto
¿Cómo obtengo un equipo de protección?	Obtención de equipamiento
¿Cómo obtengo una pértiga de medición?	Obtención de herramienta
¿Cuál es la pértiga de medición?	Descripción de objeto
¿Cuál es mi equipo de protección?	Descripción de equipamiento
¿Cómo es el panel de control?	Descripción de maquinaria
¿Cómo es una pértiga de medición?	Descripción de herramienta
¿Cuál es el gabinete?	Descripción de contenedor
¿Cuál es la bodega de materiales?	Descripción de espacio (sala)
Qué es eso	Descripción neutra
No puedo agarrar las señaléticas	Falla coger objeto
No puedo soltar las señaléticas	Falla soltar objeto

No me deja coger mi EPP	Falla coger equipamiento
No puedo coger la pértiga de medición	Falla coger herramienta
No puedo soltar la pértiga de medición	Falla soltar herramienta
No puedo abrir el gabinete	Falla coger contenedor
No puedo mover el selector principal	Falla encender maquinaria
Tengo bien delimitada el área de trabajo	Listo/hecho
Hola, ¿quién eres?	Saludos/Despedida
¿Cuánto falta por terminar?	Ánimo
Cualquiera de las anteriores que no tiene que ver con la siguiente acción de acuerdo con el procedimiento.	Comentarios fuera de contexto

1.3.) Asociación de los enunciados con las acciones del plan

Una vez que se han clasificado los enunciados, se procede a relacionar los que no sean saludos/despedidas o comentarios sobre acciones realizadas con las acciones del procedimiento. Para cada una de las acciones debemos buscar un segmento de diálogo en el que el usuario pueda formular preguntas, manifestar inconvenientes con la utilización de los objetos, desconocimiento de la acción, etc. y el tutor le pueda brindar ayuda para la ejecución de la acción, si se considera pedagógicamente adecuado. De esta manera, vamos a empezar a definir el contexto de la tarea en el que el alumno puede emitir estos enunciados. Aparte de los enunciados del *corpus*, cabe la posibilidad de que los desarrolladores decidan añadir otros enunciados que, aunque todavía no haya utilizado ningún alumno, exista la posibilidad de que en el futuro los pueda plantear alguno.

A continuación, citamos algunos casos relacionados con los pasos 2, 6 y 9 del EFPE descrito en la sección 5.3.2.

Paso 2: Colócate el EPP (equipo de protección personal)

Acción	Categoría	Enunciado
Colócate el EPP (equipo de protección personal)	Ubicación de equipo de protección	¿Dónde está el EPP?
		Y el Equipo de Protección Personal
		El EPP dónde está
	Ubicación neutro	Dónde encuentro eso
	Ubicación de contenedor	¿Dónde está la percha?
	Obtención de equipo de protección	¿Cómo consigo un equipo de protección?
	Falla coger objeto	No puedo coger el EPP
		Ya cogí el EPP pero no lo encuentro
	Acción siguiente	Y ahora, ¿qué hago?

Paso 6: Dirígete al panel de control de la torre exterior y abre el gabinete

Acción	Categoría	Enunciado
Dirígete al panel de control de la torre exterior y abre el gabinete	Ubicación espacio/sala	¿Dónde está la torre exterior?
	Ubicación de contenedor	¿Dónde está el gabinete?
		Y el gabinete
	Descripción de contenedor	¿Cuál es el gabinete?
	Obtención de contenedor	¿Cómo consigo el gabinete?
	Falla coger contenedor	No puedo abrir el gabinete
		No se abre

Paso 9: Toma una pértiga de medición (en la bodega de materiales)

Acción	Categoría	Enunciado
Toma pértiga de medición	Ubicación espacio (sala)	¿Dónde está la bodega de materiales?
	Ubicación herramienta	¿Dónde están las pértigas?
		Y las pértigas
		¿Dónde está la pértiga de medición?
	Aclaración de herramienta	Puedo coger cualquier pértiga
	Falla coger herramienta	No puedo agarrar la pértiga de medición
	Acción siguiente	¿Qué hago ahora?

1.4.) Especificación de las respuestas para cada enunciado del alumno

Para responder a las preguntas o peticiones formuladas por los usuarios se contemplan dos tipos de respuestas:

- Respuestas automáticas
- Respuestas creadas con información tomada de la ontología mundo.

Las **respuestas automáticas** se generan en base a la información que posee el propio SD y es enviada al usuario. Cabe indicar que, aunque estas respuestas son parte del flujo de diálogo y contienen mensajes prefabricados, existe la posibilidad de definir un número finito de respuestas que se muestran de manera aleatoria al usuario para dar una sensación más natural en la conversación.

Las **respuestas creadas con información tomada de la ontología** son generadas por el SIT a través del módulo de comunicación en base a la información contextual, las intenciones y entidades provenientes del SD. Para ello, el SIT accede a la ontología del mundo para solicitar la información pertinente que ayude a estructurar la respuesta que

necesita el usuario. La elaboración de este tipo de respuesta se explica al detalle en la sección 5.7.

Es conveniente señalar que estos dos tipos de respuestas pueden variar dependiendo del desempeño del usuario. Por ejemplo, pueden ser de nivel general, si el alumno ha demostrado un mayor nivel de autonomía para avanzar en la práctica; o de nivel más específico, si el alumno ha demostrado necesitar un mayor nivel de asistencia por parte del tutor para poder progresar en la práctica.

En el bloque de diálogo generado para el paso 9 del EFPE, se puede observar el cambio de nivel de respuesta a través de dos formas en las que el usuario pregunta por la ubicación de un mismo objeto, entendiéndose que con la primera respuesta el usuario no logró el objetivo y por ende requiere de una respuesta más específica que le permita encontrar el objeto que está buscando.

Paso 9. Toma una pértiga de medición.

Usuario: ¿Dónde está la pértiga de medición?

Tutor: La pértiga de medición está en la bodega de materiales.

Usuario: No encuentro la pértiga de medición.

Tutor: La pértiga de medición está en la bodega de materiales que está a la derecha del panel central.

5.8.2. FASE 2: Análisis de los diálogos

Esta segunda fase incluye actividades delicadas de ejecutar debido a que, entre otras cosas, se trata de encontrar correspondencias entre distintos enunciados que muchas veces no obedecen a un esquema fijo. A pesar de que en la actividad 1.2 se clasificaron los enunciados de cara a identificar todos los elementos de los diálogos, en la fase 2 se va a realizar un análisis más profundo de los enunciados.

Una de las dificultades que se van a abordar en esta fase tiene que ver con que, por lo general, en una conversación informal la forma de expresar una determinada clase de enunciado es muy abierta, hasta el punto incluso de poder incluir incorrecciones ortográficas o sintácticas. En consecuencia, construir un patrón que se encuentre en

todas las realizaciones lingüísticas de dicho enunciado es imposible, más aún si se tiene en cuenta que solo algunas clases de oraciones tienen una marca ortográfica que las identifique. Así, las interrogativas directas van delimitadas por signos de interrogación (¿?); las exclamativas, por signos de exclamación (!), una interrogativa con coletilla termina en ¿verdad?, ¿no?, ¿eh? Pero distinguir una enunciativa de una interrogativa indirecta requiere una observación más detallada que preste atención al contexto y a la semántica. Por ejemplo: “Y ahora”, ¿me puede decir qué hago ahora?, ¿qué tengo que hacer?, “yo no entiendo”, “es eso”, etc.

En base a lo expresado, las actividades de esta fase están dirigidas a realizar un refinamiento manual de los datos obtenidos para estudiar las formas lingüísticas que se emplean en cada tipo de enunciado. Además, en estas actividades se tendrán en cuenta los elementos de la estructura del SDT mencionados en el apartado 0.

Como resultado de esta fase se obtiene un artefacto que consiste en una tabla con información sobre las intenciones y entidades del entorno virtual que sirve de punto de partida para la fase 3.

2.1.) Identificación de intenciones

En esta actividad se tendrán que definir las intenciones que se implementarán en el SDT. Estas intenciones se derivan de las categorías que se han identificado en el *corpus* de diálogo en la fase anterior. Ahora bien, en ciertos casos, varias categorías se podrán agrupar en una sola intención de tal forma que se utilizará la entidad presente en enunciado para poder distinguirlas al tratar el enunciado. Además, a las categorías definidas se podrían añadir otras de acuerdo con el procedimiento, que no se pueden derivar directamente del *corpus*, pero tenga sentido plantear.

2.2.) Identificación de las entidades

Al igual que en la actividad anterior, se recomienda identificar todas las entidades que se puedan detectar en los enunciados del *corpus*. Para este elemento del diálogo es necesario tener en cuenta todos los posibles sinónimos que pueda tener cada entidad. Esto se debe a que existe la posibilidad de que para cada enunciado los alumnos se refieran a un objeto de diferentes maneras. Por ejemplo:

Para la entidad “@equipoproteccion”, se tendría el valor “Equipo de Protección Personal”, y sus sinónimos aparte de los que se han citado, serían:

- “EPP”
- “Equipo de protección”

En la Tabla 5.2 se definieron varias entidades con sus posibles valores y respectivos sinónimos.

2.3.) Definición de los elementos para la ontología del mundo

En la ontología del mundo se deben definir las clases, instancias y propiedades de todos los espacios, las herramientas, las máquinas, etc. que representan el entorno virtual y son relevantes en la práctica. Muchas de estas clases se corresponderán con entidades identificadas en el *corpus*.

La existencia de esta información en la ontología es vital, no solo porque nos facilita la elaboración de respuestas en lenguaje natural basadas en el contexto en el que el alumno ejecuta su tarea, sino porque también hace posible brindar orientaciones para:

- Desplazarse de un sitio a otro en el entorno virtual con el fin de encontrar algún objeto o trasladarlo a su destino de acuerdo con el procedimiento;
- Ubicar un objeto determinado respecto a otros objetos salientes;
- Identificar un objeto, contenedor o maquinaria que esté utilizando o que podría tener a su disposición (disponible).

2.4.) Identificación de las variables de contexto

A través de los valores almacenados en las variables de contexto, el SIT puede proporcionarle al alumno una respuesta oportuna y personalizada.

Estas variables están sujetas a las características del entorno y el procedimiento que se lleve a cabo, por lo tanto, pueden aparecer otras variables aparte de las que se explicaron en la sección 5.5.2. Por ejemplo, si el procedimiento abarca varias fases de desarrollo, y en ellas existe la posibilidad de que el alumno tenga que hacer una acción similar a otra que ya realizó pero con otros objetos, se podría definir una variable de contexto llamada \$fase y con ella se podría verificar en los nodos si la utilización de dichos objetos corresponde a esa parte del entrenamiento.

En la Tabla 5.3 mostramos algunas variables de contexto que se ajustan a los requerimientos del EFPE y que podrían ser útiles también para otros EEPs.

5.8.3. FASE 3: Implementación del Sistema de Diálogo Tutorial

En esta fase se procede a elaborar la estructura del SDT en base a las intenciones y entidades que se han detectado en el *corpus* de diálogo. Para la construcción de la estructura del SDT se utiliza el editor o entorno de desarrollo que proporcione la plataforma para la creación de SDs que se esté utilizando. En ella se pueden definir las intenciones y entidades que se manejarán a lo largo del entrenamiento. Posteriormente se implementan los nodos de diálogo y se realizan las pruebas unitarias necesarias para comprobar la eficacia del sistema de diálogo.

3.1.) Implementación de las entidades, intenciones y variables de contexto

Para esta fase utilizamos el editor de la plataforma con el fin de implementar las intenciones y entidades identificadas en las actividades 2.1. y 2.2. de la presente metodología. Para ello, se procede a:

- 1) Crear las intenciones que se han identificado en la actividad 5 teniendo en cuenta que las intenciones van precedidas signo #.

Por cada intención se debe escribir el nombre de la intención y una descripción que es opcional. Adicional a ello, se deben añadir ejemplos de los que el usuario podría decir. Por ejemplo.

Nombre de intención: #falla_coger_objeto

Descripción (opcional): "identifica enunciados relacionados con los errores al coger un objeto del mundo virtual"

Ejemplos de Usuario: "No puedo coger la pértiga"

"No me deja coger las señaléticas"

"No puedo mover los selectores"

- 2) Crear las entidades que se han identificado en la actividad 6 teniendo en consideración que las entidades van precedidas por el signo @.

Por cada entidad debe escribir su nombre, los valores para cada entidad y sus sinónimos. Por ejemplo:

Nombre de entidad: @objeto

Valores: “pértiga”

“señalética”

“selector”

De esta manera se procede con todas las intenciones y entidades que se han definido en la fase anterior.

Las variables de contexto se definen en el nodo de “Bienvenida” del flujo de diálogo y pueden ser inicializados con valores predeterminados que el sistema requiere para su funcionamiento.

3.2.) Definición del flujo de diálogo

En esta actividad se construye el flujo de diálogo, en base a un árbol de nodos como el explicado en la sección 0.

Para la definición del flujo de diálogo, debemos identificar los nodos principales, que están clasificados en cuatro tipos de nodos:

- Diálogo común.
- Acciones del procedimiento.
- Preguntas relevantes en cualquier momento.
- Frases fuera de contexto.

En los **nodos de diálogo común** definimos las intenciones de diálogos de la categoría “Generales” (ver Tabla 5.1), los cuales no necesitan información de la práctica. En ellos se deben declarar varias frases, que serán elegidas de manera aleatoria por el SDT para responder directamente al usuario.

Los **nodos basados en las acciones del procedimiento** controlan las acciones que el alumno debe realizar durante la práctica. Estos nodos se configuran con base al orden en que el alumno tiene que realizar las acciones durante el procedimiento. Por lo tanto, existe un nodo para cada acción.

Todos los nodos principales procesan las preguntas o enunciados relativos a la *acción siguiente del plan*, y estos, a su vez, poseen nodos hijos. Además, algunos de estos nodos

contemplan la posibilidad de ejecutar ciertas acciones en un orden arbitrario. Por ejemplo, en el caso de colocarse el EPP, el EPP está compuesto por varias prendas, y da igual el orden en que el avatar de alumno se las coloque.

Los **nodos de preguntas relevantes en cualquier momento** son considerados para gestionar preguntas que los alumnos pueden formular en cualquier momento de la práctica.

Los **nodos de frases fuera de contexto** son utilizados para manejar preguntas del alumno que no son pertinentes dada la siguiente acción que debe ejecutar. Por ejemplo, si pregunta por la ubicación de un objeto que no va a necesitar para la siguiente acción.

3.3.) Pruebas del SDT

Para verificar el correcto funcionamiento del SD construido se deben realizar pruebas unitarias.

Estas pruebas se pueden realizar de forma interactiva, introduciendo un enunciado de prueba que, por lo general, es tomado del *corpus* de diálogo recogido en la primera fase de la metodología o elaborado como una variante cercana del algún enunciado del *corpus*. Este enunciado servirá para comprobar la efectividad del diálogo, es decir, si alguno de los nodos que integran el flujo de diálogo permite tratar dicho enunciado de manera satisfactoria. En esta etapa se pueden preestablecer valores para las variables de contexto, a fin de validar la dinámica de la navegación entre los nodos principales y las bifurcaciones que puedan existir entre los nodos hijos del diálogo.

Durante estas pruebas, es posible verificar el nivel de similitud que existe entre cada enunciado de prueba y la intención que se pretende utilizar para clasificar ese enunciado. De igual manera, se analiza el nivel de coincidencia de los valores de las entidades que integran los enunciados de prueba con las entidades que están definidas en el SD, a fin de resolver posibles ambigüedades que se puedan presentar.

Los resultados que surgen de estas pruebas sirven para realizar ajustes y cambios que conduzcan a la obtención de resultados satisfactorios. Estos cambios podrían implicar extender las definiciones de las entidades y/o las intenciones ya existentes, y/o la definición de nuevos casos a tratar en los nodos.

5.8.4. FASE 4: Integración con el SIT

Esta etapa comprende la adecuación de los detalles que requiera el SDT para ser controlado desde el SIT. Esta fase la integran tres actividades que consisten en precisar información en la ontología que contiene la información del mundo virtual; adecuar ciertas variables de contexto que se requieran para hacer que el diálogo sea lo más cercano al lenguaje natural; y las pruebas de integración que permiten obtener una visión precisa del comportamiento del SDT integrado al SIT.

4.1.) Implementación de las extensiones de la ontología del mundo

En la sección 5.2.2. indicamos la utilización de una ontología para representar la información relacionada con el mundo virtual, es decir, que en la ontología se deberán añadir todos los elementos específicos de acuerdo con el EEP que se utilice. Esto supone que se tengan que añadir nuevas clases, instancias y propiedades que se ajusten a las características del EEP.

Por ejemplo, para el EFPE de la sección 5.3.2., haría falta añadir las señaléticas, las pértigas, el gabinete, el panel de control, coordenadas de las salas, etc. Por tanto, en esta actividad habrá que añadir a la ontología ya sea a través de un editor de ontologías o de forma programática los elementos que requiera cada EEP, que ya se determinaron en la actividad 2.3.

4.2.) Implementación de las extensiones al Módulo de comunicación

Durante la integración del SDT con el SIT es posible que se requieran de algunas nuevas variables de contexto al momento de adaptar el SDT a la aplicación. Además de las que se citan en la Tabla 5.3, se podrán añadir otras variables de contexto que dependerán de las características del EEP y/o del procedimiento. La inclusión de nuevas variables de contexto, ya identificadas en la actividad 2.4, obligará a introducir cambios en el diseño del módulo de comunicación, de manera que estas variables reciban el tratamiento preciso.

4.3.) Integración de los subsistemas

Durante esta actividad se ensamblan los módulos independientes (entorno virtual, SIT y SDT) para dar forma a la aplicación completa y verificar su correcto funcionamiento.

El resultado de esta prueba garantizará que el prototipo de la aplicación pueda darse por finalizado o avanzar a la siguiente iteración para ser extendido.

Para comprobar la funcionalidad del sistema, partimos de la suposición de que el alumno dice algo dentro del EEP, y luego esta pregunta es recibida por el módulo de comunicación y es procesada como se explicó en la sección 5.2.

CAPÍTULO 6

6 VALIDACIÓN

En este capítulo presentamos los resultados de la utilización de la metodología para construir un Sistema de Diálogo Tutorial (SDT) para ser integrado con un laboratorio virtual 3D ya existente así como la posterior validación del SDT obtenido por medio de un experimento con un prototipo que incluye a dicho SDT. Así pues, este capítulo tiene dos objetivos: 1) verificar la utilidad de la metodología que hemos propuesto; y 2) validar la efectividad de la metodología por medio de un experimento en el que se evaluará la calidad de los diálogos proporcionados por el prototipo.

Para alcanzar el primer objetivo, utilizamos de referencia el Laboratorio Virtual de Biotecnología Agroforestal de la UPM que cumple con los requisitos para formar parte del sistema propuesto. Para ello utilizamos el *corpus* de diálogo de los *logs* de las conversaciones entre los alumnos y un tutor humano registrados en dicho laboratorio virtual durante los cursos 2017, 2018 y 2019.

Una vez que se logró construir el SDT como resultado del primer objetivo, fue posible lograr el segundo objetivo y obtener los resultados que se presentarán en la sección 6.5.

6.1. Laboratorio Virtual de Biotecnología Agroforestal

El Laboratorio Virtual de Biotecnología Agroforestal² es el resultado de un proyecto de innovación educativa de la Universidad Politécnica de Madrid (Riofrío-Luzcando, 2012). Está desarrollado sobre la plataforma OpenSimulator debido a que es un proyecto

² Se puede encontrar un video en http://youtu.be/mAFREZ5_iak

gratuito y de código libre. Además, al estar basada en Second Life, hereda su facilidad para la creación de mundos virtuales.

El entorno virtual representa un ambiente que tiene cinco habitaciones: hall, sala principal, sala de autoclaves, fitotrón y sala de cabinas de flujo laminar. Los estudiantes realizan la mayor parte del proceso en la sala principal, donde se encuentran la mayoría de los químicos y maquinaria (ver Figura 6.1).

En este entorno, los alumnos realizan una práctica que consiste en modificar genéticamente un árbol (chopo) para dotarlo de una mayor resistencia a enfermedades, especialmente las producidas por hongos. Es decir, los alumnos deben estudiar la función del gen que modifica a la proteína responsable de proteger a árboles del género *populus* contra enfermedades.

Figura 6.1. Laboratorio virtual de Biotecnología.

Este laboratorio fue desarrollado para acercar a los alumnos de la asignatura de Bioquímica y Biotecnología de la Escuela de Ingenieros de Montes de la UPM a una práctica de este tipo, pues normalmente no tienen acceso a un laboratorio real para llevar a cabo esta práctica. Esto se debe a varias razones:

- La inexperiencia de los alumnos con el consiguiente riesgo a tener accidentes;
- El tiempo que conlleva el desarrollo de la práctica; y

- El elevado coste de los materiales y maquinarias necesarios para realizar la práctica.

El laboratorio virtual supera estos obstáculos, acelerando el experimento tanto como sea necesario, eliminando cualquier coste derivado del uso de materiales de laboratorio y evitando los accidentes que se puedan ocasionar. De esta manera, aunque no es lo mismo que hacer la práctica en un laboratorio real, el laboratorio virtual les brinda a los alumnos la posibilidad de tener una primera impresión de cómo funciona un laboratorio de biotecnología real.

La práctica está estructurada en 3 fases y el alumno debe completar cada fase antes de pasar a la siguiente. Al final de cada fase, el alumno recibe una lista de los errores que ha cometido, si los hubiere. Asimismo, las acciones que realizan los alumnos en este laboratorio son registradas para su posterior análisis por el profesor o el equipo de desarrollo del laboratorio.

6.1.1. Protocolo de la práctica

La práctica tiene un diseño que se estructura como un problema bien definido (*well-defined*), es decir, es un ejercicio con un proceso cerrado con un único resultado correcto. Para ello, los alumnos deben seguir un protocolo preestablecido, aunque en algunas etapas de la práctica tienen la libertad para realizar acciones en diferente orden, por ejemplo, cuando tienen que tomar productos químicos de diferentes lugares para mezclarlos.

El protocolo contempla 116 acciones que tienen que realizar los estudiantes para la correcta finalización de la práctica; adicionalmente, por motivos pedagógicos, se han definido también acciones incorrectas y acciones intrascendentes, dando como resultado 176 acciones posibles en el protocolo completo.

El proceso de aprendizaje ha sido preparado cuidadosamente, a tal punto, que combina acciones poco y altamente estructuradas. En las acciones altamente estructuradas, se le indica al alumno la acción que debe realizar a continuación, y sólo se le permite cometer errores irrelevantes. En las acciones poco estructuradas de la práctica, al alumno no se le da ninguna pista o se le da una indicación general en lugar de presentarle un mensaje específico sobre la acción que debe realizar a continuación. Por

ejemplo, para preparar una mezcla de componentes químicos, se le dice al alumno que prepare una mezcla, pero no qué químicos necesita para elaborarla.

6.1.2. Tutor Automático

El laboratorio virtual cuenta con un tutor automático que valida los intentos de acción del usuario y proporciona ayuda sobre la siguiente acción que se debe ejecutar o sobre un error si se ha cometido alguno. Este tutor está implementado como un script programado en el lenguaje de programación propio de OpenSim y no se encarna en un avatar dentro del entorno. Para sacarle mayor partido al tutor automático, fue rediseñado y reprogramado en C# utilizando el *framework* Mono a fin de que pueda ser utilizado más fácilmente en futuros entornos virtuales (Dotor Jara, 2015).

El tutor asiste al usuario a través de mensajes que indican las siguientes acciones que debe realizar en la práctica (véase la Figura 6.2). Los mensajes de tutoría, así como la definición de la secuencia de pasos que integran el protocolo de la práctica, se configuran en tiempo de diseño en un archivo cuyo contenido es fácilmente comprensible. La secuencia configurada en este archivo describe el protocolo de la práctica en términos de dependencias e incompatibilidades entre acciones. Es decir, se definen las acciones que deben haber sido realizadas antes y las que no pueden ser ejecutadas después, respectivamente.

Figura 6.2. Alumnos (avatares) recibiendo mensajes del tutor.

La Figura 6.3 muestra un diagrama de dependencias de una parte del protocolo de la práctica utilizado en el laboratorio virtual de Biotecnología.

En esta sección de la práctica, el alumno tiene que preparar una mezcla con tres elementos químicos en un tubo, los cuales se mantienen refrigerados. Primero, el estudiante debe tomar una bandeja de hielo (acción a), luego, debe obtener estas sustancias químicas del refrigerador (acciones b, c y d) y llevarlas en la bandeja de hielo a su mesa de trabajo también llamada poyata (acción e) donde se preparará la mezcla. Después, el alumno necesita usar una micropipeta con una punta (acciones f y g) para agregar cada producto químico a la mezcla (acciones h.a, h.b e i). Finalmente, el alumno lleva el tubo con la mezcla (acción j) a otro espacio del laboratorio.

Figura 6.3. Ejemplo de acciones y sus dependencias

Como puede deducirse de las dependencias descritas en la Figura 6.3, existe más de una secuencia de acciones correcta posible. Por razones pedagógicas, el sistema también

debe permitir que el estudiante a veces pueda realizar acciones incorrectas tales como agregar el producto químico 4 a la mezcla (acción y) (Riofrío-Luzcando, 2017).

6.1.3. Comunicación entre objetos

En mundos virtuales creados en OpenSim, todos los objetos se comunican entre sí a través del intercambio de mensajes. La Figura 6.4 muestra un esquema del intercambio de mensajes entre los objetos del laboratorio virtual, incluyendo al avatar que representa al alumno.

Cada una de las acciones ejecutadas por el usuario (avatar) son validadas por el objeto Tutor. Tras la validación de las acciones, el tutor puede emitir tres tipos de respuestas: Válido, Fallo o Fallo pero seguir. Las respuestas “fallo” y “fallo pero seguir” están asociadas a acciones incorrectas que haya realizado el alumno; la diferencia entre ellas es que la primera no permite la ejecución de la acción, en cambio, la segunda le permite al alumno ejecutar la acción y continuar con la práctica, pese a haber cometido un error.

Figura 6.4. Ejemplo de secuencia de mensajes intercambiados entre el avatar y algunos objetos involucrados en la práctica.

6.2. Diseño del Prototipo

Este apartado consta de dos secciones. En la sección 6.2.1 se va a explicar cómo se ha integrado el laboratorio virtual de biotecnología con el SDT en el prototipo. Seguidamente, en la sección 6.2.2 se va a explicar paso a paso cómo se ha aplicado la metodología propuesta para construir el SDT del prototipo.

6.2.1. Integración del Sistema de Diálogo Tutorial con el Laboratorio virtual de Biotecnología

En esta sección describimos cómo se ha particularizado la arquitectura propuesta en la sección 5.2. para poder dar cabida al laboratorio virtual de biotecnología con sus características específicas.

Para construir el SDT que permita que un alumno mantenga un diálogo con un SITDEP durante un entrenamiento, sin perder la manera natural en que se comunican los seres humanos, seleccionamos una de las soluciones conversacionales explicadas en la sección 2.5.2.

La solución que elegimos fue la existente en el IBM Cloud, el servicio cognitivo llamado “Watson Assistant”. La elección fue motivada por varias razones: 1) en base a la comparativa sobre Plataformas Conversacionales realizada por Koplowitz et al., (2018) en el que posiciona a la de IBM como una de las más completas del mercado. 2) por la madurez que presentaba al momento de gestionar el diálogo mediante sus APIs de desarrollo, y 3) porque la UPM disponía de licencias gratuitas que facilitaban una mejor explotación del servicio.

Como hemos comentado en la sección 2.5.3., Watson Assistant dispone de dos versiones para desplegar sus SDs, cada una de ellas brindan beneficios específicos y útiles para los desarrolladores. En este caso utilizaremos la API v2.

Seguidamente, explicaremos brevemente cada uno de los componentes del SIT del prototipo:

En el **módulo del estudiante** cada vez que el estudiante realiza una acción o comete un error, se guarda la información en la traza del estudiante mantenida en esta ontología.

En el **módulo de tutoría**, dado que el laboratorio virtual de biotecnología ya cuenta con un tutor automático que se encarga de proporcionar pistas proactivamente y validar

los intentos de acciones del alumno generando las respuestas necesarias para el alumno, no es necesario que este módulo se encargue de ello. Por tanto, se puede afirmar que parte de las responsabilidades del módulo de tutoría de la arquitectura propuesta, las asumirá el tutor automático que ya está integrado en el laboratorio virtual de biotecnología. Por otra parte, sí que fue necesario añadir a este módulo una estrategia de tutoría para manejar dos niveles de pista para las respuestas a las preguntas de los alumnos: uno general y otro específico. Por lo general, todo alumno iniciará la práctica con el nivel de pista “general”, y el cambio de nivel de pista depende del desempeño del alumno, de manera que cuando el alumno cometa el primer error grave, se pasa del nivel de pista general al específico, ya que se asume que el alumno necesitará un mayor nivel de asistencia en el resto de la práctica.

En el **módulo del mundo** se trabajó con una versión extendida de la ontología *Miles.owl*. En esta ontología se representó toda la información de los objetos que integran el laboratorio virtual de biotecnología. Además, se tuvo que almacenar la información geométrica de dichos objetos, que fue tomada directamente de la base de datos de dicho laboratorio en OpenSim. Todo esto con el fin de dar soporte a la generación de las indicaciones en lenguaje natural.

En el **módulo del experto** se incluyó la lectura de las acciones del procedimiento de la práctica. Para ello, se crearon dos nuevos archivos de texto: *Actions.txt* y *NoPlanActions.txt*. En el primero se encuentran las acciones de la práctica ordenadas según el procedimiento, sean bloqueantes (bloquean el uso de un objeto temporalmente para los demás estudiantes), desbloqueantes o normales. Cada línea hace referencia a una o varias acciones (si hay más de una acción válida para el siguiente paso) y tiene el formato *acción | tipo* para cada acción. En el segundo se colocan las acciones que no son relevantes para la práctica desde el punto de vista pedagógico, pero van a ser enviadas por el entorno virtual durante la práctica, como explicaremos luego.

En la Figura 6.5 presentamos la arquitectura del **módulo de comunicación** en la que se especifican sus componentes y cómo estos se relacionan entre sí para proveer la respuesta correcta al entorno de entrenamiento procedimental.

Figura 6.5. Arquitectura del módulo de comunicación.

A continuación, explicaremos brevemente cada uno de los componentes principales que integran el módulo de comunicación:

El **Servidor Web** implementa tres puntos de accesos para los tres tipos de eventos que se pueden producir en el laboratorio virtual:

1) Chat: recibe los enunciados de los estudiantes y los transmitirá al proceso que conecta con la API IBM-Watson.

2) Inactividad: recibe una alarma cuando el alumno alcance un tiempo máximo sin realizar ninguna acción ni decir nada. Como respuesta, se elaborará un mensaje con el contexto correspondiente y se lo enviará al SDT para que éste genere una respuesta que será transferida al alumno con la finalidad de motivarlo a continuar con sus tareas e invitarle a que plantee las dudas que le impiden hacerlo.

3) Acción/Error: recibe las acciones finalizadas por los estudiantes. Si la acción es bloqueante o desbloqueante, se indica el identificador en la ontología del mundo (y en OpenSim) del objeto afectado. Asimismo, se reciben también los errores por acción u

omisión cometidos por el alumno. Este punto de acceso no se conecta con la API de IBM-Watson; pero actualiza el estado interno del modelo del estudiante.

Con el fin de que el laboratorio virtual pueda mandar los eventos al SIT, fue necesario extender el código del tutor automático para que comunique dichos eventos por medio de servicios web al módulo de comunicación.

El **Gestor general de eventos** se encarga de distribuir los mensajes, considerando la interfaz adecuada según la naturaleza de éstos. También, si es necesario, incluye información adicional sobre el desempeño del alumno, antes de transferir el mensaje al gestor de diálogo. En el caso de respuestas recibidas del SDT, el gestor general de eventos decidirá si se ha de enviar la respuesta directamente al entorno o si ha de ser construida a partir de la información de la ontología del mundo.

La **API - IBM Watson** se encarga de traducir el mensaje recibido a un objeto válido para la API de Watson, indicando también el contexto que corresponde al alumno. Posteriormente enviará el objeto a través de esta API y esperará la respuesta del SDT.

La **API - Jena** proporciona el acceso a la ontología del mundo y a la ontología del estudiante.

El componente **Construcción de textos en lenguaje natural (español)** recibirá como entrada la respuesta de la consulta a la API de Jena y la información proporcionada por el SDT. Con ella generará el texto de respuesta que se enviará al estudiante.

6.2.2. Aplicación de la metodología paso a paso

En esta sección mostramos la construcción del SDT siguiendo paso a paso la metodología que definimos en la sección 5.8. El SDT se construirá en base a las acciones de la primera fase del protocolo de la práctica del laboratorio virtual de biotecnología, debido a que el protocolo completo contiene un número elevado de acciones y no se disponía de los suficientes recursos para abordar todo el protocolo. No obstante, según nuestra experiencia, la mayor parte de las preguntas de los alumnos se formulan en la primera fase, ya que es al principio de la práctica cuando los alumnos están más desorientados y necesitan más ayuda.

En cada actividad no presentaremos todos los escenarios de diálogo del laboratorio, sino solamente algunos casos para ejemplificar la aplicación de la metodología al laboratorio de biotecnología. Además, en el Anexo A incluimos la tabla que se obtuvo del procesamiento de la fase 2 y que se indicó en la sección 5.8.2.

Antes de abordar la metodología, presentamos las acciones que son parte de la primera fase del entrenamiento procedimental:

1. Entra a la sala principal y toca la percha a un lado para ponerte una bata de tu sexo.
2. Ponte la bata que se encuentra en tu inventario pinchando dos veces sobre ella y siéntate en la silla de un puesto de trabajo (mesas/poyata) para que te sea asignado
3. Puedes leer el libro con los fundamentos de la práctica disponible en la web (opcional y posible en cualquier momento de la práctica).
4. También puedes leer el protocolo disponible en la web (opcional y posible en cualquier momento de la práctica).
5. Lávate las manos, para esto toca uno de los lavamanos.
6. Toca la caja de guantes de látex de tu poyata para obtener unos.
7. Ponte los guantes que se encuentra en la carpeta de ropa de tu inventario haciendo doble click sobre ellos.
8. Toca la puerta de la vitrina de instrumentos para que obtengas un vaso.
9. Toma el vaso que se encuentra en la carpeta de objetos de tu inventario haciendo doble click sobre él, después llévalo cerca de un fregadero y suéltalo ahí.
10. Toca el grifo de agua destilada para llenar de agua el vaso.
11. Lleva el vaso cerca de un agitador y suéltalo ahí.
12. Toca el agitador para encenderlo.
13. Toca la puerta de la vitrina de químicos para agregar ingredientes a la mezcla.
Añade murashige & skoog y sacarosa a la mezcla (da igual el orden).
14. Comprueba el pH con el pHmetro.
15. Añade agar a la mezcla.
16. Apaga el agitador.
17. Si no la tienes aún, obtén una botella para autoclavar tocando la puerta de la vitrina de instrumentos.

18. Toma la botella del inventario, después llévala cerca del agitador y suéltala ahí.
19. Toca la botella para pasar la mezcla desde el vaso, y espera a que se llene.
20. Cuando se llene la botella y la tengas en tu mano la puedes llevar a autoclavar, para esto suéltala en un autoclave de la sala de autoclaves.
21. Toca el autoclave para autoclavar la botella.
22. Ve a encender una cabina de flujo laminar y toma la botella cuando ya esté autoclavada (da igual el orden).
23. Lleva la botella cerca de la cabina y suéltala ahí. Tienes 15 minutos antes de que el medio se solidifique.
24. Espera a que la botella se atempere, ten cuidado de que no se enfríe mucho.
25. Espera el tiempo necesario para que se esterilice el aire.
26. Agrega ácido indolacético del frigorífico a la botella.
27. Consigue una bandeja con botes de la sala de autoclaves o de la vitrina de instrumentos.
28. Toma la bandeja de tu inventario y suéltala en la cabina.
29. Toca la bandeja para verter el contenido de la botella en los botes.
30. Toca el esterilizador para esterilizar el instrumental.
31. Ve al fitotrón y trae un bote con un árbol crecido.
32. Toma el bote con la planta que se encuentra en la carpeta de objetos de tu inventario haciendo doble click sobre ella, después llévala cerca de la cabina de flujo y suéltala ahí.
33. Toca la bandeja con botes para cortar los tallos y generar explantos.
34. Toca la bandeja para adjuntarla a tu mano.
35. Apaga la cabina.
36. Lleva la bandeja al Fitotrón y suéltala para colocarla en una de las repisas.
37. Sal de la cámara y vuelve a entrar, habrá pasado una semana...observa de cerca tus plantas micropropagadas.
38. Vuelve a entrar y salir las veces necesarias para que termine de crecer la planta. Cada vez que entres representa aproximadamente una semana de crecimiento en el mundo real.

FASE 1: Especificación de los diálogos

1.1. Recopilación del Corpus

El *corpus* de diálogo fue recopilado a través de tres experimentos que se hicieron durante los años 2017, 2018 y 2019 bajo la técnica del Mago de Oz. Estos experimentos se llevaron a cabo, mientras un total de 55 alumnos en los tres cursos realizaban sus prácticas en el laboratorio virtual. Durante todas las prácticas obtuvimos alrededor de 960 enunciados a través del canal del chat que los alumnos utilizan para comunicarse con el tutor que hace las veces de Mago de Oz. De los cuales el 60% correspondían a enunciados de la primera fase. Es importante señalar que hubo muchos alumnos que hacían preguntas, porque requerían ayuda y unos pocos que hacían la práctica sin preguntar nada. Los enunciados fueron analizados y depurados a fin de obtener enunciados únicos y de calidad. El análisis nos llevó a determinar que, en general, los enunciados guardaban relación con las siguientes situaciones:

- La acción que deben realizar a continuación.
- Preguntas por los objetos que necesita para determinada tarea.
- Búsqueda de algún objeto/contenedor/maquinaria/sala dentro del entorno virtual.
- Identificación de algún objeto/contenedor/maquinaria/sala dentro del entorno virtual.
- Confirmación/verificación de la acción que ha realizado.

Además, los enunciados a veces referían:

- Problemas en la interacción con los objetos que representan el entorno virtual.
- Inseguridad en el desarrollo de alguna acción.

También, se encontraron enunciados que hacían alusión a:

- Saludos/despedidas.
- Comentarios respecto a las acciones que habían realizado.
- Comentarios que no eran parte del dominio de la práctica.

A continuación, mostramos algunos segmentos de diálogo relacionados con las acciones de los pasos 6, 13, 20 y 26 del protocolo.

Paso 6. Toca la caja de guantes de látex de tu poyata para obtener unos.

Usuario: ¿Dónde están los guantes?

Tutor: Los guantes están sobre la mesa/poyata.

Usuario: No encuentro los guantes.

Tutor: Los guantes están dentro de una caja blanca que está sobre tu mesa/poyata.

Usuario: Gracias tutor.

Paso 13. Toca la puerta de la vitrina de químicos para agregar ingredientes a la mezcla. Añade murashige & skoog y sacarosa a la mezcla (da igual el orden).

Usuario: ¿Cuántos ingredientes necesito para la mezcla?

Tutor: Revisa el protocolo de la práctica.

Usuario: ¿Dónde está el protocolo?

Tutor: Accede al protocolo en <http://tinyurl.com/mhyjal8>

Usuario: No me deja tocar la puerta de la vitrina de químicos

Tutor: Acércate más a la vitrina de químicos

Paso 20. Cuando se llene la botella y la tengas en tu mano la puedes llevar a autoclavar, para esto suéltala en un autoclave de la sala de autoclaves.

Usuario: ¿Cuál es el autoclave?

Tutor: El autoclave es una maquinaria con forma de olla de presión del tamaño de una lavadora.

Usuario: ¿Dónde está la sala de autoclave?

Tutor: La sala de autoclave es otra sala del edificio. Sal de la sala principal y sigue las flechas.

Usuario: Gracias tutor.

Paso 26. Agrega el ácido indolacético del frigorífico a la botella.

Usuario: Y el frigorífico

Tutor: El frigorífico está al lado derecho de la vitrina de vasos.

Usuario: ¿Dónde está el ácido indolacético?

Tutor: El ácido indolacético está dentro de la vitrina de químicos.

1.2. Clasificación de los enunciados de los usuarios

En esta fase realizamos la clasificación de los enunciados que obtuvimos a través del *corpus* de diálogo. La Tabla 6.1 presenta una muestra representativa de los enunciados tomados del *corpus*. Dado el elevado número de enunciados recopilados, en algunas categorías pudimos agrupar varios enunciados. Además, por la naturaleza de la práctica, debimos agregar las categorías “ubicación de químicos” y “mezcla de químicos”.

Tabla 6.1. Clasificación de enunciados del laboratorio virtual de biotecnología

Enunciado	Categoría del enunciado
¿Qué debo hacer ahora? Y ahora, ¿qué hago? Qué tengo que hacer, me he perdido ¿Qué me toca hacer?	Acción siguiente
¿Puedo coger cualquier vaso?	Aclaración de objeto
¿Puedo utilizar cualquier vitrina? ¿Da igual la mesa? ¿Se puede utilizar cualquier percha?	Aclaración de contenedor
Puedo utilizar cualquier pHmetro Con este esterilizador es suficiente	Aclaración de maquinaria
¿Es el que dice agitador?	Confirmación maquinaria
¿Dónde está la bata? ¿Dónde están los vasos? ¿Y la botella? Los guantes dónde están	Ubicación objeto
No encuentro la percha Y las vitrinas ¿Dónde está el frigorífico?	Ubicación de contenedor

¿Dónde están los protocolos? ¿Y los fundamentos? ¿Dónde puedo leer los fundamentos?	Ubicación de documentos
¿Dónde está la máquina de hielo? ¿Dónde está el grifo?	Ubicación de maquinaria
¿Dónde está eso? Y eso, dónde lo consigo	Ubicación neutra
¿Dónde está mi poyata? ¿Dónde está mi pHmetro?	Ubicación propiedad
¿Dónde están los químicos? ¿Dónde está el agar? Y la caseína	Ubicación de químicos
¿Dónde está la sala de autoclave? Es posible encontrar la sala de autoclave	Ubicación de sala
¿Cómo obtengo un vaso? ¿Cómo cojo una bata?	Obtención de objeto
Cómo cojo los químicos ¿Cómo obtengo la caseína? Y la sacarosa cómo la consigo	Obtención de químicos
¿Cuál es la bandeja con vasos? ¿Cuál es la bandeja?	Descripción de objeto
¿Cómo es la PCR? ¿Cuál es autoclave?	Descripción de maquinaria
¿Cuál es el grifo? ¿Cuál es el lavamanos?	Descripción de contenedor
¿Cuál es la sala de autoclave?	Descripción de sala
Qué es eso	Descripción neutra
¿Cómo enciendo el agitador? ¿Cómo se enciende el autoclave?	Encender maquinaria

¿Cómo se apaga el agitador? ¿Cómo apago el autoclave?	Apagar maquinaria
No puedo coger el vaso No me deja coger los guantes Los guantes no se ponen No puedo ponerme la bata	Falla coger objeto
El vaso no se suelta No puedo soltar el vaso Cómo me quito la bata Es imposible soltar el vaso	Falla soltar objeto
No puedo abrir el PCR La percha no se abre	Falla coger contenedor
El autoclave no me enciende	Falla encender maquinaria
¿Qué químicos debo utilizar? ¿Qué químicos hay que coger?	Mezcla de químicos
Tengo bien hecha la mezcla Ya he cogido el vaso	Listo/hecho
Hola, ¿quién eres? Gracias tutor	Saludos/Despedida
Me quiero ir Quiero acabar pronto No puedo más Estoy bloqueado	Animo
Cualquier otro enunciado que no sea parte de la práctica o no se relacione con la acción que le toca realizar	Comentarios fuera de contexto

1.3. Asociación de los enunciados con las acciones del plan

Como lo indica la metodología, aquí debemos tomar cada una de las acciones del plan y relacionarlas con los enunciados que se identificaron en la actividad anterior. Para esta

actividad, al igual que en la anterior, citamos algunos ejemplos relacionados con los pasos 6, 13, 20 y 26 del protocolo de práctica.

Paso 6. Toca la caja de guantes de látex de tu poyata para obtener unos.

Acción	Categoría	Enunciado
entregarguantes	Ubicación de objeto	¿Dónde están los guantes?
		Y los guantes
		No encuentro los guantes
		Las guantes dónde están
	Ubicación neutro	Dónde encuentro eso
	Ubicación de contenedor	¿Dónde está la mesa?
	Obtención de objeto	¿Cómo consigo unos guantes?
	Falla coger objeto	No puedo coger los guantes
		No me deja coger los guantes
	Acción siguiente	Y ahora, ¿qué hago?
		¿Cuál es la siguiente acción?
		No sé qué hacer

Paso 13. Toca la puerta de la vitrina de químicos para agregar ingredientes a la mezcla. Añade murashige & skoog y sacarosa a la mezcla (da igual el orden).

Acción	Categoría	Enunciado
agregarmys agregarsacarosa	Ubicación de químico	¿Dónde están los químicos?
		¿Dónde está el agar?

agregarmys/sacarosa		No encuentro al agar
	Ubicación contenedor	¿En qué vitrina están los químicos?
		¿Dónde está la vitrina de químicos?
	Mezcla de químicos	¿Qué químicos debo coger?
	Ubicación neutro	Dónde encuentro eso
	Acción siguiente	¿Qué hago?
		¿Cuál es la siguiente acción?
		No sé qué hacer

Paso 20. Cuando se llene la botella y la tengas en tu mano la puedes llevar a autoclavar, para esto suéltala en un autoclave de la sala de autoclaves.

Acción	Categoría	Enunciado
insertarbotellaenautoclave	Ubicación de sala	¿Dónde está la sala de autoclave?
	Ubicación neutro	Dónde encuentro eso
	Ubicación de maquinaria	¿Dónde está el autoclave?
		Y el autoclave
	Obtención de objeto	¿Cómo consigo una bata?
	Descripción de maquinaria	¿Cuál es el autoclave?
	Acción siguiente	Y ahora, ¿qué hago?
		¿Cuál es la siguiente acción?
		No sé qué hacer

Paso 26. Agrega el ácido indolacético del frigorífico a la botella.

Acción	Categoría	Enunciado
entregaracidoindolacetico	Ubicación de químico	¿Dónde está el ácido indolacético?
		Y el ácido indolacético
	Ubicación neutro	Dónde encuentro eso
	Ubicación de contenedor	¿Dónde está el frigorífico?
		¿Y el frigorífico?
	Descripción de contenedor	¿Cuál es el frigorífico?
	Acción siguiente	Y ahora, ¿qué hago?
		¿Cuál es la siguiente acción?
		No sé qué hacer

1.4. Especificación de las respuestas para cada enunciado del alumno

Al igual que en la metodología, utilizaremos los dos tipos de respuestas que el tutor será capaz de brindar a los alumnos. Por lo tanto, mostramos algunos ejemplos para cada caso, tomando de referencia el paso de la práctica:

Respuestas automáticas del SDT

Paso 5. Lávate las manos, para esto toca uno de los lavamanos.

Usuario: ¿Qué debo hacer ahora?

Tutor: Tienes que lavarte las manos, pero no te confundas con el fregadero

Paso 8. Toca la puerta de la vitrina de instrumentos para que obtengas un vaso.

Usuario: ¿No puedo coger el vaso?

Tutor: El vaso está en el inventario de objetos

Paso 13. Toca la puerta de la vitrina de químicos para agregar ingredientes a la mezcla. Añade murashige & skoog y sacarosa a la mezcla (da igual el orden).

Usuario: ¿Qué químicos debo coger?

Tutor: Los químicos que se te indican en el protocolo

Usuario: ¿Dónde está el protocolo?

Tutor: Accede al protocolo en: <http://tinyurl.com/mhyja8>

Respuestas creadas con información tomada de la ontología del mundo

Paso 9. Toma el vaso que se encuentra en la carpeta de objetos de tu inventario haciendo doble click sobre él, después llévalo cerca de un fregadero y suéltalo ahí.

Usuario: ¿Dónde está el fregadero?

Tutor: Si entras por la puerta de la sala principal, hay un fregadero al final de cada mesa central.

Paso 13. Toca la puerta de la vitrina de químicos para agregar ingredientes a la mezcla. Añade murashige & skoog y sacarosa a la mezcla (da igual el orden).

Usuario: ¿Dónde están los químicos?

Tutor: Los químicos están dentro de la vitrina de químicos

Usuario: ¿Dónde está la vitrina de químicos?

Tutor: Si entras por la puerta de la sala principal, la vitrina de químicos está junto a la pared izquierda de la sala.

Paso 30. Toca el esterilizador para esterilizar el instrumental.

Usuario: ¿Cuál es el esterilizador?

Tutor: El esterilizador es una cabina que está en la sala de cabina de flujo.

Usuario: No encuentro el esterilizador

Tutor: Tienes que salir de la sala principal, y con las señaléticas dirígete a la sala de cabina de flujo

FASE 2: Análisis de los diálogos

2.1. Identificación de las intenciones

Las intenciones que se muestran en la Tabla 6.2 son derivadas de las categorías de la fase anterior.

Tabla 6.2. Intenciones definidas para el laboratorio virtual de biotecnología

Categoría	Intenciones
Interacción	#aclaracion_herramienta #falla_coger_objeto #falla_soltar_objeto #falla_encender_maquinaria #apagar_maquinaria #encender_maquinaria #mensaje_accion_siguiete
Descripción	#descripcion_contenedor #descripcion_objeto #descripcion_maquinaria #descripcion_neutro #descripcion_sala
Aclaración	#aclaración_contenedor
Confirmación	#confirmar_maquinaria
Obtención	#obtención_objeto #obtención_contenedor #obtención_químico
Ubicación	#ubicacion_contenedor #ubicacion_documento #ubicacion_maquinaria #ubicación_neutro #ubicacion_objeto #ubicacion_propiedad #ubicacion_químico

	#ubicacion_sala
Generales	#animo #general_already_done #general_greetings #general_positive_feedback #general_ending #general_human_or_bot #ignore

2.2. Identificación de las entidades

Las entidades identificadas en la práctica del laboratorio virtual de biotecnología se muestran en la Tabla 6.3.

Tabla 6.3. Entidades definidas para el laboratorio virtual de biotecnología

Entidades	Valores	Sinónimos
@contenedor	eso fregadero lavamanos mesa nevera nevera cabina percha poyata vitrina vitrina de instrumentos vitrina de químicos vitrina de vasos	Fueron completados con palabras que contenían errores de escritura. Por ejemplo: Fregdero Msa Perch Poyta
@docuemento	fundamento protocolo	
@maquinaria	agitador autoclave cabina de flujo	Fueron completados con palabras que contenían

	<p>eso</p> <p>esterilizador</p> <p>grifo</p> <p>máquina de autoclave</p> <p>máquina de flujo</p> <p>máquina de hielo</p> <p>PCR</p> <p>pHmetro</p> <p>termobloque</p>	<p>errores de escritura y plurales, Por ejemplo,</p> <p>agitadores</p> <p>autoclaves</p> <p>maq de hielo</p> <p>pcr, pcrs</p> <p>ph</p>
@objeto	<p>bandeja</p> <p>bandeja con botes</p> <p>bandeja de crecimiento</p> <p>bata</p> <p>bote con árbol crecido</p> <p>botella</p> <p>eso</p> <p>guantes</p> <p>vaso</p>	<p>Fueron completados con palabras que contenían errores de escritura y plurales, Por ejemplo,</p> <p>bandejas</p> <p>batas</p> <p>guants</p> <p>vasos</p>
@quimico	<p>Ácido indolacético</p> <p>Agar</p> <p>caseína</p> <p>eso</p> <p>murashige & skoog</p> <p>químico</p> <p>sacarosa</p>	<p>Fueron completados con palabras que contenían errores de escritura y plurales, Por ejemplo,</p> <p>ácido indolac</p> <p>casina</p> <p>mys</p>
@sala	<p>Sala principal</p> <p>Sala de autoclave</p> <p>Sala de fitotrón</p> <p>Sala de cabina de flujo</p>	<p>Fueron completados con palabras que contenían errores de escritura. Por ej.</p> <p>sala de fottotron</p>

2.3. Definición de los elementos para la ontología del mundo

En base a las características del entorno virtual, definimos los elementos que en forma de subclases debería existir en la ontología del mundo. Esto es, la identificación de los objetos (instancias) que representan el entorno virtual, información de su posición, características. Además, se definieron las propiedades para las instancias que facilitarán su acceso e interpretación de la información.

Algunas de las subclases que se crearon son: químicos, dispositivos, dispositivos bloqueables, muebles. Estas subclases se crearon como parte de la clase “Elemento manipulable” (*ManipulableElement*). En la Figura 6.6. se observan las subclases: Chemical, Devices (BlueTipBox, Sterilizer), LockableDevices (Autoclave, Phmetro, Flow Cabin, Stirrer, Sink), Furniture (CabinFridge, Chair, Fridge, IceMachine, Rack, Table), Locker (Showcase), Objects(Glass, Glass_Tray, GlassWithGrownTree), etc.

Figura 6.6. Estructura jerárquica de clases de la ontología

Una vez definidas las clases, creamos nuevos individuos o instancias para cada una de las clases. En la Figura 6.7 se observan algunas de ellas, como: Agitador_3, Agitador_4, Autoclave_1, etc., y los valores para las propiedades de Autoclave_1.

Figura 6.7. Instancias para el laboratorio virtual de biotecnología

2.4. Definición de las variables de contexto

Como se indicó en la definición de la metodología, estas variables están sujetas a las características del entorno y procedimiento que se lleve a cabo. En el caso de este laboratorio virtual no consideramos las variables \$men_sig_acc, \$men_error y \$men_pos porque estas variables se corresponden con situaciones controladas directamente por el tutor automático del laboratorio virtual. En la Tabla 6.4 presentamos las variables de contexto que sí que hemos considerado.

Tabla 6.4. Variables para el contexto del laboratorio virtual de biotecnología

Nombre	Variable	Función
Del SIT al SDT		
Acción siguiente	\$acc_sig	Para recordarle al alumno cuál es la(s) acción(es) siguiente(s) que debe realizar.
Nivel de pista	\$nivel_pista	Se utiliza para construir una respuesta adecuada a su nivel de conocimientos.
Nombre del alumno	\$nom_alu	Se utiliza para elaborar respuestas con el nombre del alumno a fin de brindar un trato más cercano.
Tiempo agotado	\$timeout	Para saber cuándo el alumno lleva demasiado tiempo sin realizar ninguna acción.
Del SDT al SIT		
Desambiguar	\$desambiguado	Para distinguir la entidad deseada en el caso de que se produzcan coincidencias en la entrada del alumno con varias entidades que se utilizarían en distintos momentos de la práctica. Por ejemplo: vitrina de vasos/vitrina de químicos (incluso el control de tildes).
Sustantivo Número	\$numero	Para diferenciar cuando se hace referencia a una entidad en plural o en singular. Esto permite que el SIT construya una respuesta que guarde la concordancia con la frase del alumno. Por ejemplo: vaso/vasos, autoclave/autoclaves

FASE 3: Implementación del Sistema de Diálogo Tutorial

3.1. Implementación de las entidades, intenciones y variables de contexto

Para esta actividad utilizamos la interfaz web de Watson Assistant para crear la habilidad de diálogo e implementar las intenciones y entidades que se han definido en las actividades 2.1. y 2.2.

En las figuras que mostramos a continuación presentamos algunas pantallas del entorno de Watson Assistant en cuanto a la configuración de los elementos requeridos para la gestión del diálogo.

Primero se debe crear el asistente, para el caso del laboratorio se le ha dado el nombre de “LabBiotechUPM”, después se debe crear la habilidad de diálogo, como se muestra en la Figura 6.8.

Figura 6.8. Creación de la habilidad de diálogo para el laboratorio virtual de biotecnología

Una vez que se ha creado la habilidad se definen las intenciones y entidades que utilizará el sistema para gestionar el diálogo. La Figura 6.9 y Figura 6.10 muestran tanto las intenciones como las entidades que se definieron para el laboratorio virtual.

Intents (30) ↑	Description	Modified ↑↓	Examples ↑↓
#ACLARACION_CONTENEDOR	Se aclara qué contenedor usar	an hour ago	37
#Ánimo	Animar al alumno	an hour ago	16
#APAGAR_MAQUINARIA	Apagar maquinaria	an hour ago	28
#CONFIRMACION_MAQUINARIA	Confirma al alumno que se refiere a maquinaria	an hour ago	10
#DESCRIPCION_CONTENEDOR	Describe un contenedor	an hour ago	23
#DESCRIPCION_MAQUINARIA	Descripción de una máquina	an hour ago	22
#DESCRIPCION_NEUTRO	Preguntas que se refieren al objeto como "eso"	an hour ago	1
#ENCENDER_MAQUINARIA	Encendido de maquinaria	an hour ago	20
#FALLA_APAGAR_MAQUINARIA	Fallo al apagar una máquina	an hour ago	1
#FALLA_COGER_OBJETO	Fallo al coger un objeto	an hour ago	33
#FALLA_ENCENDER_MAQUINARIA	Se falla al encender una máquina	an hour ago	44

Figura 6.9. Creación de las intenciones de diálogo para el laboratorio virtual de biotecnología

Entity (6) ↑	Values	Modified ↑↓
@contenedor	lavamanos, poyata, vitrina, vitrina de vasos, vitrina de químicos, percha, ...	a minute ago
@documento	protocolo, fundamento	a minute ago
@maquinaria	esterilizador, grifo, maquina de autoclave, maquina de flujo, maquina de ...	a minute ago
@objeto	vaso, guantes, botella, bata, bote con arbol crecido, bandeja, bandeja de ...	a minute ago
@quimico	murashige & skoog, acido indolacetico, sacarosa, quimico, agar, caseina	a minute ago
@sala	sala de cabina de flujo, sala principal, sala de autoclave, sala de fitotron	a minute ago

Showing 1–6 of 6 entities

1 of 1 pages

Figura 6.10. Creación de las entidades de diálogo para el laboratorio virtual de biotecnología

Luego en la categoría “Diálogo”, antes de implementar los nodos que controlarán las acciones del procedimiento, se definen las variables de contexto en el nodo de “Bienvenido” o “Inicio de Conversación”. En la Figura 6.11. podemos ver las variables que se definieron para el SDT.

Figura 6.11. Creación de las variables de contexto para el laboratorio virtual de biotecnología

3.2. Definición del flujo de diálogo

Como se indica en la definición de la metodología, esta actividad está relacionada con la creación de los nodos de diálogos en base a las características que describimos en la sección 5.5.3. En las siguientes figuras mostramos ejemplos de los nodos de diálogo para cada uno de los tipos descritos en la sección 5.5.3.

Nodo de diálogo común

En la Figura 6.12 se muestra la definición del nodo asociado a la intención #General_Greetings y como podemos ver las respuestas se generan automáticamente y utilizan el nombre del alumno para brindar una respuesta personalizada.

Figura 6.12. Nodo común que procesa un saludo

Nodo de acciones de procedimiento

Para ejemplificar este nodo mostramos en la Figura 6.13 la definición del nodo llamado “Autoclavar botella” asociado a la acción del paso 9: “Toca el autoclave para autoclavar la botella. Mientras esperas, ve a encender una cabina de flujo laminar” del protocolo. El nodo con esta acción se ha controlado con la variable de contexto \$acc_sig y en sus nodos hijos controla otras intenciones como: #falla_coger_objeto, #ubicacion_sala y otras, que son importantes para sostener un diálogo más natural.

Figura 6.13. Nodo que procesa una acción del procedimiento

En la Figura 6.14 mostramos otro nodo que procesa una acción del procedimiento relacionado con la acción 13: *“Toca la puerta de la vitrina de químicos para agregar ingredientes a la mezcla. Al terminar apaga el agitador”*. En este caso el nodo controla varias situaciones que se puedan presentar, porque los ingredientes para la mezcla en este paso son dos, y el orden en el que los pongan en la mezcla es indistinto, es decir, que el alumno pueda colocar uno u otro químico que sea necesario para cumplir con dicha acción.

Figura 6.14. Nodo que procesa una acción del procedimiento

Nodo de preguntas relevantes

En la Figura 6.15 presentamos el control de una pregunta relevante, en la que el alumno pregunta por la *siguiente acción que debe realizar*. Este nodo está basado en la acción del paso 33: *“Apaga la cabina y lleva la bandeja al Fitotrón y suéltala para colocarla en una de las repisas”*. En este nodo hijo podemos ver que las respuestas que se le dan al alumno están basadas en un nivel de pista.

Figura 6.15. Nodo que procesa una pregunta relevante

Nodo de frases fuera de contexto

La Figura 6.16 muestra un nodo "Intenciones fuera de lugar" al que se salta desde todos los nodos que representan las acciones del procedimiento, cuando se detecta que el alumno pregunta por algún elemento objeto/maquinaria/contenedor que no necesita para la acción asociada al nodo.

Figura 6.16. Nodo que procesa una frase fuera de contexto

3.3. Pruebas del SDT

En esta actividad realizamos las pruebas en la interfaz web de Watson Assistant, que consistieron en validar la eficacia de los nodos a través de enunciados recogidos del *corpus*. Antes de iniciar la prueba interactiva, se deben establecer los valores iniciales de las variables de contexto por medio de la interfaz web de Watson Assistant.

En la Figura 6.17 vemos que el alumno tiene que realizar la acción del paso 21: “Toca el autoclave para autoclavar la botella”, y realiza la pregunta ¿Qué debo hacer ahora? y el sistema le responde en base a lo que requiere para ese momento. Previamente, se ha inicializado la variable de contexto \$sig_acc con valor “autoclavar”.

Figura 6.17. Prueba de un nodo del SD

FASE 4: Integración con el SIT

4.1. Implementación de las extensiones de la ontología del mundo

En esta sección, implementamos las extensiones de la ontología del mundo, aquellas que se definieron en la actividad 2.3. Para ello, llevamos a cabo varios procesos:

1. Se creó un archivo JSON con la información sobre las clases y sus respectivos individuos que se debían crear en la ontología del mundo. El contenido de este archivo se encuentra el Anexo B.

2. Se creó un script para poder insertar automáticamente las nuevas clases y los nuevos individuos en la ontología del mundo antes de que se inicie la práctica. Este script debe leer la información desde el archivo JSON y acceder a la base de datos de OpenSim para obtener la información geométrica (posición, orientación y escala) de los objetos. Este script junto con el formato del archivo JSON se diseñaron de manera que se pudieran reutilizar con otros entornos virtuales.
3. Se añadieron manualmente los individuos de las salas y las coordenadas de sus esquinas utilizando el editor Protégé³.

4.2. Implementación de las extensiones al módulo de comunicación

En esta actividad se implementó el tratamiento de las variables de contexto que se citaron en la Tabla 6.4. Esta actividad, en realidad, ya se explicó en el apartado 6.2.1.

4.3. Integración de los subsistemas

En esta actividad realizamos la integración de los subsistemas, y sus respectivas pruebas que implicaban las validaciones de los tres servicios web: chat, inactividad y evento; debido a que el tutor automático del laboratorio virtual tiene integradas las llamadas a dichos servicios web. Por un lado, se verificaba que se recibieran adecuadamente los mensajes por la vía adecuada, y luego que su procesamiento sea acorde a lo esperado.

A continuación, mostramos dos escenarios de prueba del prototipo.

Escenario 1:

En la Figura 6.18 se observa que el usuario debe realizar la acción 9 del procedimiento que dice: *“Toma el vaso que se encuentra en la carpeta de objetos de tu inventario haciendo doble click sobre él, después llévalo cerca de un fregadero y suéltalo ahí.”*, y para dicha acción se genera el siguiente diálogo.

³ <https://protege.stanford.edu/>

Usuario: que hago

Tutor: acércate a cualquier fregadero y para soltar el vaso entra en el inventario y pulsa “Soltar”

Usuario: donde está eso

Tutor: gira a tu derecha, encontrarás el fregadero enfrente de tu posición.

Figura 6.18. Usuario recibe pista para encontrar un fregadero

Escenario 2:

En la Figura 6.19 se observa que el usuario debe realizar la acción 20 del procedimiento que dice: “Cuando se llene la botella y la tengas en tu mano la puedes llevar a autoclavar, para esto suéltala en un autoclave de la sala de autoclaves”, y para dicha acción se genera el siguiente diálogo.

Usuario: dónde está eso

Tutor: El autoclave no se encuentra en esta sala, por favor ve a la sala de autoclaves

Usuario: donde está la sala

Tutor: la sala de autoclaves es otra del edificio. Sal de la sala principal y sigue las flechas que se encuentran en el pasillo.

Figura 6.19. Usuario recibe pista para llegar a otra sala

6.3. Hipótesis del Experimento

El experimento que realizamos tuvo como finalidad verificar la siguiente hipótesis:

Un prototipo basado en la arquitectura propuesta puede interactuar satisfactoriamente con los alumnos en lenguaje natural durante una práctica de entrenamiento procedimental.

6.4. Procedimiento de la Evaluación

El prototipo fue evaluado en mayo del 2019 en su primera versión. En esa fecha, realizamos un experimento en el que 23 alumnos del curso de Bioquímica y Biotecnología del segundo semestre del Grado de Ingeniería Forestal de la UPM realizaron las mismas tareas de la práctica que otros estudiantes hicieron en los siete años anteriores, pero en esta ocasión el SDT reemplazó en un 20% de la práctica al avatar controlado por el humano que en años anteriores se encargaba de responder a los alumnos. Los alumnos fueron distribuidos entre 3 y 4 alumnos por sesión, ya que el laboratorio virtual está diseñado para que trabajen hasta 5 alumnos por sesión.

Estos participantes fueron oportunamente capacitados en el uso del entorno virtual por medio de un tutorial que consistió en “preparar una taza con café”, con la finalidad de que logren cierto nivel de familiaridad en la interacción con los objetos del entorno virtual.

Cada alumno debía completar tres fases que integran la práctica en el Laboratorio Virtual de Biotecnología que consistía en modificar genéticamente un árbol (chopo) para hacerlo resistente a ciertas enfermedades. Cabe resaltar que todos los alumnos lograron completar toda la parte de la práctica cubierta por el prototipo, pero cada uno de ellos con un nivel diferente de ayuda por parte del SDT.

Durante el experimento se registraron todos los diálogos para su posterior análisis. De esta manera, pudimos evaluar la calidad de las respuestas del prototipo manualmente.

Básicamente, esta evaluación consistió en revisar todos los diálogos para identificar las respuestas correctas e incorrectas proporcionadas por el prototipo. A su vez, procedimos a clasificar las respuestas incorrectas en los siguientes seis tipos de errores, según su causa:

1. **Falta de algún sinónimo en la definición de una entidad.**
2. **Falta de algún ejemplo en la definición de una intención:** ocasionalmente los estudiantes utilizan oraciones que otros estudiantes de cursos anteriores no emplearon para el mismo propósito. Por lo tanto, estas oraciones no estaban en el *corpus* utilizado para diseñar el SDT y, por ende, el SDT no puede reconocer sus intenciones.
3. **Pregunta inesperada sobre un objeto que es necesario para la siguiente acción:** en algunas acciones, por ejemplo, el alumno tiene que dejar caer un objeto sobre otro o introducir un objeto dentro de otro. Sin embargo, por error de diseño, el SDT no está listo para responder preguntas sobre el primer objeto, sino solo sobre el segundo, porque en el *corpus* las preguntas nunca fueron formuladas incluyendo una referencia al primero. Este tipo de error es particularmente confuso para el alumno, ya que si se le pregunta al SDT sobre un objeto que cree que no es necesario para la siguiente acción, responderá incorrectamente que el alumno no necesita ese objeto en este momento.
4. **Incapacidad para ignorar las expresiones de algunos estudiantes fuera de contexto:** en ocasiones los estudiantes envían mensajes que no requieren una respuesta del SDT, pero el SDT responde indicando que no comprende la intención del estudiante. Por ejemplo, cuando los estudiantes dicen, “ja, ja”, “estoy empezando a divertirme”, etc.
5. **Incapacidad para ignorar las conversaciones entre estudiantes:** a veces los estudiantes hablan entre ellos en el canal público del chat y el SDT no puede darse cuenta de que las frases de los estudiantes no van dirigidas a él. En tales situaciones, normalmente responde que no comprende la intención del estudiante.
6. **Falta de alguna intención de “cómo hacer”:** en algunas acciones, el SDT no está listo para responder a la pregunta sobre cómo realizar una cierta acción en el entorno virtual.

Con lo antes expuesto, podemos afirmar que las causas identificadas de estos errores están relacionadas con el proceso de comprensión del lenguaje natural y no en la generación de las respuestas. Esto se debe principalmente a dos razones: en primer

lugar, salvo las indicaciones a las posiciones de los objetos, el resto de las respuestas están predefinidas en los nodos de Watson Assistant o en la ontología del mundo, por lo que es poco probable que contengan errores importantes; y en segundo lugar, los errores leves en las respuestas, tales como errores tipográficos en el texto, no se han considerado errores en este estudio.

6.5. Análisis de los Resultados

En la Tabla 3.1, mostramos los resultados de la evaluación al sistema en base a la clasificación de los errores.

Tabla 6.5. Evaluación de las respuestas del SDT

Evaluación de la respuesta	Nivel de error	Proporción de respuestas
Correctas	N.A.	62,5%
Error tipo 1	Leve	5%
Error tipo 2	Leve	3,75%
Error tipo 3	Grave	11,25%
Error tipo 4	Leve	3,75%
Error tipo 5	Leve	10%
Error tipo 6	Leve	3,75%

Como se puede observar en la Tabla 6.5 , el 62,5% de las respuestas fueron clasificadas como correctas, por representar respuestas perfectas. Por otro lado, el 37,5% fueron calificadas como respuestas incorrectas, porque no brindan la respuesta esperada. Dentro del grupo de las respuestas incorrectas, distinguimos dos subgrupos teniendo en cuenta el nivel de influencia en el desarrollo de la práctica de la tarea:

- Error leve: este tipo de errores provocan respuestas en las que el SDT responde a los alumnos que no los puede entender y les pide que reformulen sus preguntas.

- Error grave: este tipo de errores provocan respuesta que transmiten a los alumnos un conocimiento erróneo de la práctica de la tarea.

Según los resultados de la Tabla 6.5, solo el 11,5% de las respuestas pueden considerarse el resultado de errores graves en el SDT.

La mayoría de los errores (tipo 1, 2, 3 y 6) detectados en este experimento piloto son el resultado de un *corpus* incompleto. Es decir, estos errores surgieron debido a que los nuevos estudiantes emplearon oraciones diferentes a las que emplearon otros estudiantes en la misma situación en el pasado. En algunos casos, además de las oraciones existentes en el *corpus*, en el diseño del SDT consideramos algunas formas alternativas de expresar las mismas intenciones, pero esta conjetura no fue suficiente para cubrir todas las expresiones entrantes que aparecieron en este experimento.

Los errores de tipo 4 son el resultado de que, en este primer prototipo nos enfocamos en considerar solo los aspectos pedagógicos de los diálogos y por lo tanto subestimamos los enunciados de algunos estudiantes que no están relacionados con el proceso de aprendizaje. Adicionalmente, cabe señalar que, en general, no es fácil decidir si el enunciado de un alumno requiere una respuesta del SDT o no. Por una parte, si el SDT respondiera a todo, podría parecer demasiado intrusivo. Por otra parte, si el SDT no respondiera a las declaraciones de algunos estudiantes, podría estar perdiendo la oportunidad de animar a los estudiantes cuando ello podría ser positivo para ellos.

6.6. Conclusiones

La incorporación del SD al laboratorio virtual de biotecnología establece un punto de partida especial para la comunicación humano-ordenador con fines académicos. Es un pequeño avance que se traducirá en grandes beneficios con relación a las largas horas que dedican los tutores humanos a atender a los alumnos en entornos virtuales como el laboratorio virtual de biotecnología, cuando en realidad este proceso podría ser supervisado por un sistema como el propuesto en multitud de ocasiones.

La versión actual del prototipo ha sido modificada para dar respuestas correctas a todos los enunciados de los alumnos que provocaron los errores de tipo 1, 2, 3, 4 y 6. Sin embargo, los errores de tipo 5 requieren una solución más compleja, porque, en general, no es fácil determinar si los estudiantes están conversando entre ellos o no. Una solución

simple sería obligarlos a usar un canal privado para conversar con el tutor, pero preferimos abordar este desafiante problema como trabajo futuro.

Como sucede con cualquier SD, cuanto mayor sea el *corpus*, mejores resultados proporcionará. Por tanto, si en el futuro se mejora el prototipo teniendo en cuenta los errores detectados en cada nuevo curso, cabe esperar que la calidad de las respuestas mejorará progresivamente.

6.7. Limitaciones del Experimento

En primer lugar cabe destacar el reducido número de alumnos (23) que participaron en el experimento. Otro aspecto reseñable fue que un número significativo de alumnos apenas dialogaron con el tutor, ya que fueron capaces de avanzar en la práctica con las ayudas que el propio laboratorio virtual ofrece sin necesidad de preguntar al tutor. Este es un aspecto del EEP que debería ser considerado desde el principio en el diseño del mismo, en la medida de que si el propio EEP ofrece de entrada muchas indicaciones a los alumnos, esto no favorecerá la formulación de preguntas por parte de los alumnos y por tanto no facilitará la validación del SDT.

Por otro lado, el prototipo que se ha validado no cubre en su totalidad la práctica a realizar en el laboratorio virtual. Esto supone un inconveniente en el sentido de que no se puede utilizar un cuestionario al final de la práctica para recabar las impresiones de los alumnos sobre el SDT, puesto que en la primera parte de la práctica les habrá respondido el SDT y en el resto un tutor humano. Por otra parte, cabe señalar que en todos los cursos académicos anteriores en los que todavía no estaba integrado el SDT, sí que se han pasado este tipo de cuestionarios a los alumnos con resultados satisfactorios. En consecuencia, esto deja la puerta abierta para que en el futuro se puedan comparar los resultados de estos cuestionarios, en los que se utilizaba únicamente un tutor humano, con los resultados de los cuestionarios que rellenen los alumnos en el futuro, cuando el SDT pueda asistir a los alumnos en toda la práctica.

Otra consecuencia de que no se haya cubierto la práctica en su totalidad podría ser que existan situaciones durante el entrenamiento procedimental que todavía no se hayan dado para las cuales la metodología no proporcione una solución adecuada. Por ejemplo, cabe la posibilidad de que el alumno plantee preguntas relativas a acciones ya realizadas

o relativas a acciones que tendrá que realizar posteriormente en la práctica. En esos casos, el SDT, al contrario que un tutor humano, no entenderá que a qué se refiere el alumno y le pedirá al alumno que reformule su pregunta.

CAPÍTULO 7

CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

En este capítulo valoramos las conclusiones obtenidas de la presente investigación, así como las oportunidades de continuar la investigación en nuevas direcciones. Con motivo de la realización de la presente Tesis Doctoral, se ha completado un profundo y exhaustivo análisis sobre los SITs con capacidad de diálogo, y se ha propuesto una solución para que los diálogos puedan ser integrados en SITs que llevan a cabo procesos de tutoría en entornos virtuales de entrenamiento procedimental.

7.1. Conclusiones

En esencia, esta Tesis Doctoral fue encaminada para desarrollar un SDT que pueda ser integrado en un SIT para facilitar la tutoría con el alumno en un entorno virtual. Este SDT debería ser capaz de generar un diálogo en lenguaje natural basado en el contexto.

Analizamos los distintos SITs con capacidad de diálogo que se han desarrollado durante las dos últimas décadas, a fin de conocer entre otros aspectos, qué áreas, qué técnicas de CLN han utilizado para interpretar el enunciado del alumno y las evaluaciones empíricas a las que han sido sometidos dichos SITs.

Además, analizamos las alternativas que existen en torno a las soluciones que las plataformas en la nube actualmente brindan para el desarrollo de un SD, para averiguar qué mecanismos utilizan para gestionar el diálogo así como las facilidades que ofrecen

tanto para manejar el contexto del diálogo como para integrar los SDs con diversas aplicaciones.

Estos dos análisis nos permitieron identificar ciertas carencias en el estado del arte, que nos sirvieron para motivar y definir los objetivos de la investigación, lo cual nos llevó a proponer una arquitectura de referencia para un sistema que reúna las características que mostramos en el capítulo 5.

Nuestro SDT está diseñado para integrarse con un entorno virtual 2D/3D para entrenamiento procedimental, y de forma que se pueda mantener un diálogo con los alumnos adaptado al contexto. Nuestra noción de contexto comprende: las características específicas del alumno; su progreso en el desarrollo de la tarea; y el entorno virtual donde se realiza el entrenamiento (incluido el avatar del alumno). Por tanto, la retroalimentación de la tutoría y las respuestas, sugerencias/pistas que se generan como parte de la tutoría son el resultado de un diálogo adaptado al contexto.

Como contribuciones de esta Tesis Doctoral mostramos a continuación los resultados que se lograron:

- El diseño de una arquitectura de referencia que integra un entorno de aprendizaje procedimental, un SIT y un SDT. Para lograrlo, modelamos el “contexto de diálogo” que íbamos a manejar para alcanzar el éxito deseado.

A fin de obtener un eficiente desempeño en el proceso tutorial, definimos un algoritmo que incorporaba el diálogo al proceso de tutoría propio del entrenamiento procedimental.

Adaptamos una ontología ya existente, la ontología del mundo, para, por un lado, representar y obtener información sobre el entorno virtual, y por otro, dar soporte a la generación del lenguaje natural.

Se diseñaron los mecanismos necesarios para la generación de respuestas que se construyen con información tomada de la ontología del mundo. Para afinar la generación de las respuestas respecto a la ubicación de objetos en un entorno virtual nos apoyamos en la propuesta presentada en otra Tesis Doctoral, como se explicó en el capítulo 5.

- La definición de una metodología para el desarrollo del SDT que se ajuste a la arquitectura propuesta. Esta metodología sigue un desarrollo iterativo e

incremental por las facilidades que ofrece para manejar nuevos cambios o extensiones al sistema. Esta metodología está compuesta por 14 actividades agrupadas en 4 fases, y en ella encontramos mucha flexibilidad en sus fases y actividades, por lo que puede ser utilizada para cualquier EEP que tenga las características requeridas en esta Tesis Doctoral.

Para demostrar la utilidad de esta metodología, explicamos cómo se aplicó para implementar un prototipo que incorporó un laboratorio virtual de biotecnología ya existente partiendo del *corpus* de diálogos recogido en las prácticas que realizaron los estudiantes en dicho laboratorio virtual durante los años 2017, 2018 y 2019. Este prototipo proporciona retroalimentación de tutoría, genera pistas/sugerencias y responde a preguntas de los alumnos con un considerable nivel de precisión.

Cabe señalar que esta experiencia nos sirvió para constatar la importancia de disponer de un buen *corpus* en el diseño del SDT.

- La validación del prototipo mencionado anteriormente, que se llevó a cabo en el año 2019, en la que participaron 23 alumnos de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Montes de la UPM. En dicha validación, el prototipo reemplazó en un 20% de la práctica al tutor humano y se identificaron las respuestas correctas e incorrectas que proporcionó el prototipo. Los resultados de dicha validación revelaron que se obtuvieron un 62,5% de respuestas correctas y un 37,5% de respuestas incorrectas. Estos resultados son explicados con mayor detalle en el capítulo 6.

Con base en lo expuesto, se puede concluir que se han alcanzado satisfactoriamente los objetivos propuestos al inicio del trabajo: se ha diseñado una arquitectura de referencia para integrar el SIT y un SDT; se ha definido una metodología para la construcción de un SDT con la características propuestas en la arquitectura; y se ha validado la utilidad y la efectividad de la metodología por medio de un experimento con un prototipo en el que se integró un SDT creado para un laboratorio virtual ya existente.

En conclusión, la presente Tesis Doctoral ha cumplido con los objetivos planteados inicialmente, y por ello, representa un aporte significativo al estado del arte que se analizó en la RSL del capítulo 3.

7.2. Trabajos Futuros

A partir de los resultados que se han obtenido en este trabajo de investigación, ha sido posible identificar varias líneas de acción para ampliar nuevos horizontes o posibilidades con relación al desarrollo y utilización de un SDT junto con un SIT creado para un entorno virtual de aprendizaje procedimental. A continuación, describimos estas líneas de acción:

Con relación a la mejora/ampliación de la generación de respuestas:

- Extender la metodología de creación del SDTs de forma que proporcione un mejor tratamiento para los siguientes tipos de enunciados:
 - a) Enunciados que son considerados como “fuera de contexto”;
 - b) Enunciados que refieren conversaciones que suceden entre los alumnos y que están relacionados con el error tipo 5 que explicamos en el capítulo 6 para que el alumno perciba una comunicación más cercana a la humana durante los diálogos tutoriales;
 - c) Enunciados que se refieren a acciones ya realizadas; y
 - d) Enunciados que se refieren a acciones que el alumno tendrá que realizar más tarde en la práctica.
- Incorporar un algoritmo para indicar al alumno como llegar de un punto a otro del entorno virtual paso a paso. Para esta ampliación se podría considerar la utilización de la ontología Miles.owl que ya cuenta con conceptos y relaciones para modelar la estructura del entorno virtual.
- Considerar la posibilidad de generar respuestas o pistas con base en el estado emocional y las actitudes que el alumno está mostrando durante el desarrollo de sus tareas.

Con relación a las mejoras en la estrategia de tutoría:

- Mejorar el algoritmo que define la estrategia de tutoría para el caso en el que se detecte una excesiva inactividad. Consideramos que este exceso de inactividad podría estar relacionado con el estado emocional y la actitud del alumno, por lo tanto, se podrían generar mejores respuestas teniendo en cuenta un modelo del estado emocional y actitudinal del alumno integrado en el modelo del estudiante.
- En el prototipo validado en esta tesis hemos considerado el cambio de nivel de respuesta entre general y específica en base al primer error que cometa el alumno durante la práctica que realiza. Ahora bien, sería conveniente implementar otros niveles de respuestas que podrían estar basados en los establecidos en la Tesis Doctoral de Diego Riofrío (Riofrío-Luzcando, 2017) para el manejo de una retroalimentación y generación de respuestas más dinámicas acorde a los conocimientos del alumno y al contexto del entorno virtual. Por ejemplo, que en algún momento de la práctica el alumno vuelva a recibir una respuesta general después de que haya demostrado un mejor desempeño que al principio de la práctica.

Con relación a la validación de la solución propuesta:

- Aunque los resultados obtenidos a través de la primera validación del SDT han sido bastante alentadores, aún debe dedicarse cierto esfuerzo para optimizar la generación de las respuestas a partir del mecanismo que se ha utilizado. Por lo tanto, consideramos conveniente realizar una segunda validación del prototipo para el laboratorio virtual de biotecnología de la UPM que cubra un mayor porcentaje de la práctica y nos permita validar las mejoras introducidas tras el primer experimento.
- Implementar SDTs para otros entornos virtuales de aprendizaje a fin de medir su adaptabilidad y su rendimiento en la generación de diálogos tutoriales en otros de dominios de entrenamiento procedimental. Estos entornos podrían ser diseñados de manera que fomenten más los diálogos que el laboratorio virtual de biotecnología, y por tanto constituyan un banco de pruebas más rico que dicho laboratorio.

BIBLIOGRAFÍA

- Albacete, P., Jordan, P., & Katz, S. (2015). Is a dialogue-based tutoring system that emulates helpful co-constructed relations during human tutoring effective? In C. Conati, N. Heffernan, A. Mitrovic, & M. F. Verdejo (Eds.), *Artificial Intelligence in Education* (pp. 3–12). Cham: Springer International Publishing.
- Aleven, V., Ogan, A., Popescu, O., Torrey, C., & Koedinger, K. (2004). Evaluating the effectiveness of a tutorial dialogue system for self-explanation. In J. C. Lester, R. M. Vicari, & F. Paraguaçu (Eds.), *Int. Conf. on Intelligent Tutoring Systems* (pp. 443–454). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Aljameel, S. S., O'Shea, J. D., Crockett, K. A., Latham, A., & Kaleem, M. (2017). Development of an arabic conversational intelligent tutoring system for education of children with ASD. In *IEEE Inter. Conf. on Comp. Intell. and Virtual Envir. for Measurement Systems and Applications (CIVEMSA)* (pp. 24–29). <https://doi.org/10.1109/CIVEMSA.2017.7995296>
- Allen, J., Byron, D., Dzikovska, M., Ferguson, G., Galescu, L., & Stent, A. (2001). Towards Conversational Human-Computer Interaction. *AI Magazine*, 22(4), 27–37.
- Allen, J., Manshadi, M., Dzikovska, M., & Swift, M. (2007). Deep linguistic processing for spoken dialogue systems. In *Proc. Workshop on Deep Linguistic Processing* (pp. 49–56). Stroudsburg, PA, USA: Association for Computational Linguistics. Retrieved from <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1608912.1608922>
- Alobaidi, O. G., Crockett, K. A., O'Shea, J. D., & Jarad, T. M. (2015). The application of learning theories into Abdullah: An intelligent arabic conversational agent tutor. In *Int. Conf. on Agents and Artificial Intelligence* (pp. 361–369).
- Anderson, L. W., Krathwohl, D. R., & Bloom, B. S. (2001). *A taxonomy for learning, teaching, and assessing: A revision of Bloom's taxonomy of educational objectives*. Longman.
- Arnott, E., Hastings, P., & Allbritton, D. (2008). Research Methods Tutor: Evaluation of a dialogue-based tutoring system in the classroom. *Behavior Research Methods*, 40(3), 694–698. <https://doi.org/10.3758/BRM.40.3.694>
- Atkins, C. (2009). Virtual Experience: Observations on Second Life. In M. Purvis & B. T. R. Savarimuthu (Eds.), *Computer-Mediated Social Networking* (pp. 7–17). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

- Aust, H., Oerder, M., Seide, F., & Steinbiss, V. (1995). The Philips automatic train timetable information system. *Speech Communication*, 17(3), 249–262. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0167-6393\(95\)00028-M](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0167-6393(95)00028-M)
- Baldridge, J., & Kruijff, G.-J. M. (2003). Multi-modal combinatory categorial grammar. In *Proc. of the Tenth Conf. on European Chapter of the ACL - Vol. 1* (pp. 211–218). Stroudsburg, PA, USA: Association for Computational Linguistics. <https://doi.org/10.3115/1067807.1067836>
- Bartle, R. (2003). *Designing virtual worlds*. New Riders Games.
- Benzmüller, C., Horacek, H., Kruijff-Korbayová, I., Pinkal, M., Siekmann, J., & Wolska, M. (2007). Natural language dialog with a tutor system for mathematical proofs. In R. Lu, J. H. Siekmann, & C. Ullrich (Eds.), *Cognitive Systems* (pp. 1–14). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Blaylock, N., Allen, J., & Ferguson, G. (2003). Managing Communicative Intentions with Collaborative Problem Solving. In J. van Kuppevelt & R. W. Smith (Eds.), *Current and New Directions in Discourse and Dialogue* (pp. 63–84). Dordrecht: Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-010-0019-2_4
- Bloom, B. S. . (1984). The 2 sigma problem: The search for methods of group instruction as effective as one-to-one tutoring. *Educational Researcher*, 13(6), 4–16. <https://doi.org/10.3102/0013189X013006004>
- Bulitko, V. V., & Wilkins, D. C. (1999). Automated instructor assistant for ship damage control. In *Proc. of American Association for Artificial Intelligence*.
- Cai, Z., Graesser, A. C., Forsyth, C., Burkett, C., Millis, K., Wallace, P., ... Butler, H. (2011). Trialog in ARIES: User input assessment in an intelligent tutoring system. In W. Chen & S. Li (Eds.), *Proc. of the 3rd IEEE Int. Conf. on Computing and Intelligent Systems* (pp. 429–433). Guangzhou: IEEE Press.
- Carbonell, J. R. (1970). AI in CAI: An artificial-intelligence approach to computer-assisted instruction. *IEEE Trans. on Man-Machine Systems*, 11(4), 190–202.
- Cassell, J. (2001). Embodied conversational agents: Representation and intelligence in user interfaces. *AI Mag.*, 22(4), 67–83.
- Chi, M. T. H., Siler, S. A., Jeong, H., Yamauchi, T., & Hausmann, R. G. (2001). Learning from human tutoring. *Cognitive Science*, 25(4), 471–533. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0364-0213\(01\)00044-1](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0364-0213(01)00044-1)
- Choungourian, A. (1968). Color Preferences and Cultural Variation. *Perceptual and Motor Skills*, 26(3_suppl), 1203–1206. <https://doi.org/10.2466/pms.1968.26.3c.1203>

- Clemente, J. (2010). *Una Propuesta de Modelado del Estudiante Basada en Ontologías y Diagnóstico Pedagógico-Cognitivo no Monótono*. PhD Tesis, Universidad Politécnica de Madrid.
- Cohen, J. (1988). *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences* (2º Edition). New York, NY. <https://doi.org/https://doi.org/10.4324/9780203771587>
- Conati, C., Gertner, A., & VanLehn, K. (2002). Using Bayesian networks to manage uncertainty in student modeling. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, 12(4), 371–417.
- Craig, S. D., Hu, X., Graesser, A. C., Bargagliotti, A. E., Sterbinsky, A., Cheney, K. R., & Okwumabua, T. (2013). The impact of a technology-based mathematics after-school program using ALEKS on student's knowledge and behaviors. *Computers & Education*, 68, 495–504. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.compedu.2013.06.010>
- D'Mello, S., & Graesser, A. (2012). AutoTutor and Affective Autotutor: Learning by talking with cognitively and emotionally intelligent computers that talk back. *ACM Transaction Interactive Intelligent System*, 2, 1–39.
- D'Mello, S., & Graesser, A. (2013). Design of dialog-based intelligent tutoring systems to simulate human-to-human tutoring. In A. Neustein & J. A. Markowitz (Eds.), *Where Humans Meet Machines: Innovative Solutions for Knotty Natural-Language Problems* (pp. 233–269). New York, NY: Springer New York.
- D'Mello, S., Olney, A., Williams, C., & Hays, P. (2012). Gaze tutor: A gaze-reactive intelligent tutoring system. *International Journal of Human-Computer Studies*, 70(5), 377–398.
- Dalgarno, B. (2002). The potential of 3D virtual learning Environments: A constructivist analysis. *Electronic Journal of Instructional Science and Technology*, 5(2), 1–19.
- Dalgarno, B., & Lee, M. J. W. (2010). What are the learning affordances of 3-D virtual environments? *British Journal of Educational Technology*, 41, 10–32. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8535.2009.01038.x>
- de Antonio, A. (2006). *Entornos Virtuales Inteligentes para el Aprendizaje (ENVIRA)*.
- de Antonio, A. (2010). *Modelos de Interacción centrados en Lenguaje, Espacio y Semántica computacional (MILES)*. Proyecto MILES - Financiamiento: Ministerio de Ciencia e Innovación. UCM, UPM, US.
- de Antonio, A., Ramírez, J., Imbert, R., & Méndez, G. (2005). Intelligent Virtual Environments for Training: An Agent-Based Approach. In M. Pěchouček, P. Petta,

- & L. Z. Varga (Eds.), *Multi-Agent Systems and Applications IV* (pp. 82–91). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Dotor Jara, D. (2015). *Rediseño del tutor automático de un laboratorio virtual*. TFG, ETSII, UPM.
- Dowding, J., Gawron, J. M., Appelt, D., Bear, J., Cherny, L., Moore, R., & Moran, D. (1993). Gemini: A natural language system for spoken-language understanding. In *Proc. 31st Annual Meeting on Association for Computational Linguistics* (pp. 54–61). Stroudsburg, PA, USA: Association for Computational Linguistics. <https://doi.org/10.3115/981574.981582>
- Dzikovska, M. O., Farrow, E., & Moore, J. D. (2013). Combining semantic interpretation and statistical classification for improved explanation processing in a tutorial dialogue system. In H. C. Lane, K. Yacef, J. Mostow, & P. Pavlik (Eds.), *Proc. Int. Conf. on Artif. Intell. Educ. (AIED)* (pp. 279–288).
- Dzikovska, M. O., Moore, J. D., Steinhauser, N., & Campbell, G. (2010). The impact of interpretation problems on tutorial dialogue. In *Proceedings of the ACL 2010 Conference Short Papers* (pp. 43–48). USA: Association for Computational Linguistics.
- Dzikovska, M. O., Moore, J. D., Steinhauser, N., Campbell, G., Farrow, E., & Callaway, C. (2010). BEETLE II: A system for tutoring and computational linguistics experimentation. In *Proceedings of the ACL 2010 System Demonstrations* (pp. 13–18).
- Dzikovska, M. O., Steinhauser, N. B., Moore, J. D., Campbell, G. E., Harrison, K. M., & Taylor, L. S. (2010). Content, social, and metacognitive statements: An empirical study comparing human-human and human-computer tutorial dialogue. In M. Wolpers, P. A. Kirschner, M. Scheffel, S. Lindstaedt, & V. Dimitrova (Eds.), *Sustaining TEL: From Innovation to Learning and Practice* (pp. 93–108). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Dzikovska, M., Steinhauser, N., Farrow, E., Moore, J., & Campbell, G. (2014). BEETLE II: Deep natural language understanding and automatic feedback generation for intelligent tutoring in basic Electricity and Electronics. *Inter. J. Artif. Intell. Educ.*, 24(3), 284–332.
- El Saadawi, G. M., Tseytlin, E., Legowski, E., Jukic, D., Castine, M., Fine, J., ... Crowley, R. S. (2008). A natural language intelligent tutoring system for training pathologists: Implementation and evaluation. *Advances in Health Sciences Education*, 13(5), 709–722. <https://doi.org/10.1007/s10459-007-9081-3>

- Eseryel, D., Guo, Y., & Law, V. (2012). Interactivity3 Design and Assessment Framework for Educational Games to Promote Motivation and Complex Problem-Solving Skills. In *Assessment in Game-Based Learning* (pp. 257–285). https://doi.org/10.1007/978-1-4614-3546-4_14
- Esteve, F., & Gisbert, M. (2013). Competencia digital en la educación superior: instrumentos de evaluación y nuevos entornos. *Enl@ce: Revista Venezolana de Información, Tecnología y Conocimiento*, 10, 29–43.
- Evers, M., & Nijholt, A. (2000). Jacob - An animated instruction agent in virtual reality. In T. Tan, Y. Shi, & W. Gao (Eds.), *Advances in Multimodal Interfaces - ICMI 2000* (pp. 526–533). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Facebook, M. (2015). Wit.ai. Retrieved February 17, 2017, from <https://wit.ai/docs/recipes>
- Fournier-Viger, P., Nkambou, R., & Mayer, A. (2008). Evaluating Spatial Representations and Skills in a Simulator-Based Tutoring System. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 1(1), 63–74.
- Fraser, N. (1997). Assessment of interactive systems. In D. Gibbon, R. Moore, & R. Winski (Eds.), *Handbook of standards and resources for spoken language systems* (pp. 564–615). Berlin: Mouton de Gruyter.
- Freedman, R., Rosé, C. P., Ringenber, M. A., & VanLehn, K. (2000). ITS tools for natural language dialogue: A domain-independent parser and planner. In G. Gauthier, C. Frasson, & K. VanLehn (Eds.), *Int. Conf. on Intelligent Tutoring Systems* (pp. 433–442). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Gertner, A. S., & VanLehn, K. (2000). Andes: A coached problem solving environment for Physics. In G. Gauthier, C. Frasson, & K. VanLehn (Eds.), *Proc. 5th Inter. Conf. Intelligent Tutoring System* (pp. 133–142). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/3-540-45108-0_17
- Gervás, P., de Antonio, A., & Amores, J. G. (2012). MILES (Modelos de Interacción centrados en Lenguaje, Espacio y Semántica computacional). *SEPLN*, 197–200.
- Glass, M. (2001). Processing language input in the CIRCSIM-Tutor intelligent tutoring system. In J. D. M. et Al (Ed.), *Proc. Artif. Intell. in Educ.* (pp. 210–221). San Antonio: IOS Press.
- Gonzalez, S. (2004). Sistemas Inteligentes en la Educación: Una revisión de las líneas de investigación y aplicaciones actuales. *RELIEVE*, 10(1), 3–22.
- Google. (2016). Api.ai. Retrieved June 20, 2016, from <https://wit.ai/>

- Google. (2017). Dialogflow. Retrieved July 20, 2016, from <https://dialogflow.com/docs/intents>
- Graesser, A. C. (2016). Conversations with AutoTutor help students learn. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 26(1), 124-132. <https://doi.org/10.1007/s40593-015-0086-4>
- Graesser, A. C., Conley, M. W., & Olney, A. (2012). Intelligent tutoring systems. In *APA educational psychology handbook, Vol 3: Application to learning and teaching*. (pp. 451-473). Washington, DC, US: American Psychological Association. <https://doi.org/10.1037/13275-018>
- Graesser, A. C., Hu, X., Nye, B. D., VanLehn, K., Kumar, R., Heffernan, C., ... Baer, W. (2018). ElectronixTutor: An intelligent tutoring system with multiple learning resources for electronics. *International Journal of STEM Education*, 5(1), 15. <https://doi.org/10.1186/s40594-018-0110-y>
- Graesser, A. C., Jackson, G. T., Mathews, E. C., Mitchell, H. H., Olney, A. M., Ventura, M., ... Group, T. R. (2003). Why/ AutoTutor: A test of learning gains from a Physics Tutor with natural language dialog. In *25th Annual Conf. of the Cognitive Science Society* (pp. 1-6).
- Graesser, A. C., Lu, S., Jackson, G. T., Mitchell, H. H., Ventura, M., Olney, A., & Louwerse, M. M. (2004). AutoTutor: A tutor with dialogue in natural language. In *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers* (Vol. 36, pp. 180-192).
- Graesser, A. C., Moreno, K. N., Marineau, J. C., Adcock, A. B., Olney, A. M., & Person, N. K. (2003). AutoTutor improves deep learning of Computer Literacy: Is it the dialog or the talking head? In U. Hoppe, F. Verdejo, & J. Kay (Eds.), *Proc. Artificial Intelligence in Education* (pp. 47-54). Amsterdam, The Netherlands: IOS Press.
- Graesser, A. C., & Person, N. K. (1994). Question asking during tutoring. *American Educational Research Journal*, 31(1), 104-137.
- Graesser, A. C., Person, N. K., & Magliano, J. P. (1995). Collaborative dialogue patterns in naturalistic one-to-one tutoring. *Applied Cognitive Psychology*, 9(6), 495-522.
- Graesser, A. C., Wiemer-Hastings, K., Wiemer-Hastings, P., & Kreuz, R. (1999). AutoTutor: A simulation of a human tutor. *Cognitive Systems Research*, 1(1), 35-51. [https://doi.org/10.1016/S1389-0417\(99\)00005-4](https://doi.org/10.1016/S1389-0417(99)00005-4)
- Graesser, A. C., Wiemer-Hastings, P., Wiemer-Hastings, K., Harter, D., Tutoring Research, G., & Person, N. (2000). Using Latent Semantic Analysis to evaluate the contributions of students in Autotutor. *Interactive Learning Environments*, 8(2), 129-

147. [https://doi.org/10.1076/1049-4820\(200008\)8:2;1-B;FT129](https://doi.org/10.1076/1049-4820(200008)8:2;1-B;FT129)
- Graesser, A., Chipman, P., Haynes, B., & Olney, A. (2005). AutoTutor: An Intelligent Tutoring System With Mixed-Initiative Dialogue. *IEEE Transactions on Education*, 48(4), 612–618. <https://doi.org/10.1109/TE.2005.856149>
- Graesser, A., Olney, A., Ventura, M., & Jackson, G. T. (2005). AutoTutor's coverage of expectations during tutorial dialogue. *FLAIRS Conference*. Retrieved from <http://www.aaai.org/Papers/FLAIRS/2005/Flairs05-085.pdf>
- Graesser, A., Penumatsa, P., Ventura, M., Cai, Z., & Hu, X. (2007). Using LSA in AutoTutor: Learning through mixed-initiative dialogue in natural language. In T. K. Landauer, D. S. McNamara, S. Dennis, & W. Kintsch (Eds.), *Handbook of Latent Semantic Analysis* (pp. 243–262).
- Gruber, T. R. (1995). Toward principles for the design of ontologies used for knowledge sharing? *International Journal of Human-Computer Studies*, 43(5), 907–928. <https://doi.org/https://doi.org/10.1006/ijhc.1995.1081>
- Heeman, P., & Allen, J. (1995). *The TRAINS 93 dialogues*. New York.
- Heffernan, N. T., Koedinger, K. R., & Razzaq, L. (2008). Expanding the model-tracing architecture: A 3rd generation intelligent tutor for Algebra Symbolization. *Int. J. Artif. Intell. Ed.*, 18(2), 153–178. Retrieved from <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1454082.1454086>
- Hemphill, C. T., Godfrey, J. J., & Doddington, G. R. (1990). The ATIS Spoken Language Systems Pilot Corpus. In *Proceedings of the Workshop on Speech and Natural Language* (pp. 96–101). USA: Association for Computational Linguistics. <https://doi.org/10.3115/116580.116613>
- IBM. (2018a). Watson Assistant. Retrieved October 3, 2018, from <https://console.bluemix.net/docs/services/assistant/getting-started.html#getting-started>
- IBM. (2018b). Watson Assistant. Retrieved May 20, 2019, from <https://www.ibm.com/cloud/watson-assistant/>
- Jackson, G. T., Olney, A., Graesser, A. C., & Kim, H.-J. J. (2006). AutoTutor 3-D simulations: Analyzing users' actions and learning trends. In *Proc. Annual Meeting of the Cognitive Science Society* (Vol. 28, pp. 1557–1562).
- Jackson, G. T., Ventura, M., Chewle, P., & Graesser, A. (2004). The impact of Why/AutoTutor on learning and retention of conceptual Physics. In J. C. Lester, R. M. Vicari, & F. Paraguaçu (Eds.), *Proc. Intelligent Tutoring Systems* (pp. 501–510).

- Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Johnson, W. L. (2010). Serious Use of a Serious Game for Language Learning. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 20(2), 175–195.
- Johnson, W. L., Rickel, J. W., & Lester, J. C. (2000). Animated Pedagogical Agents: Face-to-Face Interaction in Interactive Learning Environments. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 11(1), 47–78.
- Jordan, P., Makatchev, M., Pappuswamy, U., VanLehn, K., & Albacete, P. (2006). A natural language tutorial dialogue system for Physics. In *Proc. 19th Int. FLAIRS Conf.*
- Jordan, P. W., Hall, B., Ringenberg, M., Cue, Y., & Rosé, C. (2007). Tools for authoring a dialogue agent that participates in learning studies. In *Proc. Conf. on Artif. Intell. Educ.: Building Techn. Rich Learn. Contexts That Work* (pp. 43–50). Amsterdam, The Netherlands, The Netherlands: IOS Press. Retrieved from <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1563601.1563614>
- Jordan, P. W., Makatchev, M., & VanLehn, K. (2004). Combining competing language understanding approaches in an intelligent tutoring system. In J. C. Lester, R. M. Vicari, & F. Paraguaçu (Eds.), *Proc. Int. Conf. on Intelligent Tutoring Systems* (pp. 346–357). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Katz, S., O'Donnel, G., & Kay, H. (2000). An approach to analyzing the role and structure of reflective dialogue. *Int. J. of Artificial Intelligence in Education*, 11(3), 320–343.
- Kelleher, J. D., & Costello, F. J. (2009). Applying Computational Models of Spatial Prepositions to Visually Situated Dialog. *Comput. Linguist.*, 35(2), 271–306. <https://doi.org/10.1162/coli.06-78-prep14>
- Kitchenham, B., & Charters, S. (2007). Guidelines for performing systematic literature reviews in Software Engineering. UK: Keele University.
- Klavans, J., & Resnik, P. (1996). *The balancing act: Combining symbolic and statistical approaches to language* (MIT press).
- Koedinger, K. R., Anderson, J. R., Hadley, W. H., & Mark, M. A. (1997). Intelligent tutoring goes to school in the Big City. *International Journal of Artificial Intelligence in Education (IJAIED)*, 8(1), 30–43. Retrieved from <https://telearn.archives-ouvertes.fr/hal-00197383>
- Koplowitz, R., Facemire, M., Mines, C., Sjoblom, S., Lynch, D., & Harrison, P. (2018). *The Forrester New Wave™: Conversational Computing Platforms*, Q2 2018.
- Lajoie, S. P., & Azevedo, R. (2006). Teaching and Learning in Technology-Rich

- Environments. In *Handbook of Educational Psychology* (pp. 803–821).
- Lajoie, S. P., & Naismith, L. (2012). Computer-Based Learning Environments. In N. M. Seel (Ed.), *Encyclopedia of the Sciences of Learning* (pp. 716–718). Boston, MA: Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-1428-6_512
- Lane, H. C., & VanLehn, K. (2005). Teaching the tacit knowledge of programming to novices with natural language tutoring. *Computer Science Education*, 15(3), 183–201.
- Lara, G. (2016). *Modelo computacional para la Generación de Indicaciones en la Localización de Objetos en Entornos Virtuales: Aspectos espaciales y perceptivos*. PhD thesis, ETSII, UPM.
- Larsson, S., & Traum, D. (2000). Information State and Dialogue Management in the TRINDI Dialogue Move Engine Toolkit. *Natural Language Engineering*, 6(3–4), 323–340.
- Latham, A., Crockett, K., & McLean, D. (2014). An adaptation algorithm for an intelligent natural language tutoring system. *Computers & Education*, 71, 97–110. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.compedu.2013.09.014>
- Lin, D., & Pantel, P. (2001). Discovery of inference rules for question-answering. *Natural Language Engineering*, 7(4), 343–360. <https://doi.org/10.1017/S1351324901002765>
- Lippert, A., Shubeck, K., Morgan, B., Hampton, A., & Graesser, A. (2020). Multiple Agent Designs in Conversational Intelligent Tutoring Systems. *Technology, Knowledge and Learning*, 25(3), 443–463. <https://doi.org/10.1007/s10758-019-09431-8>
- Litman, D. J., & Forbes-Riley, K. (2006). Recognizing student emotions and attitudes on the basis of utterances in spoken tutoring dialogues with both human and computer tutors. *Speech Communication*, 48(5), 559–590. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167639305002189>
- Ma, W., Adesope, O., Nesbit, J., & Qing, L. (2014). Intelligent tutoring systems and learning outcomes: A meta-analysis. *Journal of Education Psychology*, 106(4), 901–918.
- Makatchev, M., Jordan, P. W., & VanLehn, K. (2004). Abductive theorem proving for analyzing student explanations to guide feedback in intelligent tutoring systems. *Journal of Automated Reasoning*, 32(3), 187–226. <https://doi.org/10.1023/B:JARS.0000044823.50442.cd>
- Makatchev, M., & VanLehn, K. (2005). Analyzing completeness and correctness of utterances using an ATMS. In *Proc. Conf. on Artif. Intell. Educ: Supporting Learning Through Intelligent and Socially Informed Technology* (pp. 403–410). Amsterdam, The Netherlands, The Netherlands: IOS Press. Retrieved from

- <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1562524.1562581>
- McCallum, A., & Nigam, K. (1998). A comparison of event models for naive bayes text classification. In *Proc. AAAI/ICML-98 Workshop on Learning for Text Categorization*. AAAI Press.
- McTear, M. F. (2002). Spoken Dialogue Technology: Enabling the Conversation User Interface. *ACM Computing Surveys*, 34(1), 90-169.
- Microsoft. (2016). Learn about Language Understanding Intelligent Service (LUIS). Retrieved February 15, 2017, from <https://docs.microsoft.com/en-us/azure/cognitive-services/LUIS/Home>
- Millis, K., Forsyth, C., Butler, H., Wallace, P., Graesser, A., & Halpern, D. (2011). Operation ARIES!: A serious game for teaching scientific inquiry. In M. Ma, A. Oikonomou, & L. C. Jain (Eds.), *Serious Games and Edutainment Applications* (pp. 169-195). London: Springer London. https://doi.org/10.1007/978-1-4471-2161-9_10
- Mills, B., Evens, M., & Freedman, R. (2004). Implementing directed lines of reasoning in an intelligent tutoring system using the atlas planning environment. In *Proc. Int. Conf. on Information Technology: Coding and Computing*. (pp. 729-733).
- Mitrovic, A. (2005). The effect of explaining on learning: A case study with a Data Normalization Tutor. In *Int. Conf. on Artificial Intelligence in Education (AIED)* (pp. 499-506). Amsterdam, The Netherlands, The Netherlands: IOS Press. Retrieved from <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1562524.1562593>
- Mitrovic, A., Martin, B., & Suraweera, P. (2007). Intelligent tutors for all: Constraint-based modeling methodology, systems and authoring. *IEEE Intelligent Systems*, 22(4), 38-45.
- Mitrovic, A., & Ohlsson, S. (1999). Evaluation of a constraint-based tutor for a database language. *Int. J. of Artificial Intelligence in Education*, 10(3-4), 238-256.
- Moreno, R., & Mayer, R. (2007). Interactive Multimodal Learning Environments. *Educational Psychology Review*, 19(3), 309-326. <https://doi.org/10.1007/s10648-007-9047-2>
- Morrison, D. M., Nye, B., & Hu, X. (2014). Where in the data stream are we?: Analyzing the flow of text in dialogue-based systems for learning. In R. A. Sottolare, A. C. Graesser, X. Hu, & B. S. Goldberg (Eds.), *Design Recommendations for ITS - Vol. 2: Instructional Management* (pp. 237-247).
- Nye, B. D. (2013). Integrating GIFT and AutoTutor with sharable knowledge objects (SKO). In A. Sottolare & H. K. Holden (Eds.), *Artif. Intell. Educ. (AIED) Workshop on*

- the Generalized Intelligent Framework for Tutoring (GIFT)* (pp. 54–61).
- Nye, B. D., Graesser, A. C., & Hu, X. (2014). AutoTutor and family: A review of 17 years of natural language tutoring. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 24(4), 427–469. <https://doi.org/10.1007/s40593-014-0029-5>
- Nye, B. D., Pavlik, P. I., Windsor, A., Olney, A. M., Hajeer, M., & Hu, X. (2018). SKOPE-IT (Shareable Knowledge Objects as Portable Intelligent Tutors): Overlaying natural language tutoring on an adaptive learning system for mathematics. *International Journal of STEM Education*, 5(1), 12. <https://doi.org/10.1186/s40594-018-0109-4>
- O'Shea, J., Bandar, Z., & Crockett, K. (2011). Systems engineering and conversational agents. In A. Tolc & L. C. Jain (Eds.), *Intelligence-Based Systems Engineering* (pp. 201–232). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-17931-0_8
- Olasoji, R., & Henderson-Begg, S. (2010). Summative Assessment in Second Life: A Case Study. *Journal For Virtual Worlds Research*, 3. <https://doi.org/10.4101/jvwr.v3i3.1460>
- Olney, A. M., D'Mello, S., Person, N., Cade, W., Hays, P., Williams, C., ... Graesser, A. (2012). Guru: A computer tutor that models expert human tutors. In S. A. Cerri, W. J. Clancey, G. Papadourakis, & K. Panourgia (Eds.), *Int. Conf. on Intelligent Tutoring Systems* (pp. 256–261). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Olney, A. M., Graesser, A. C., & Person, N. K. (2010). Tutorial dialog in natural language. In R. Nkambou, J. Bourdeau, & R. Mizoguchi (Eds.), *Advances in Intelligent Tutoring Systems* (pp. 181–206). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Olney, A. M., Person, N. K., & Graesser, A. C. (2012). Guru: Designing a conversational expert intelligent tutoring system. In C. Boonthum-Denecke, P. M. McCarthy, & T. A. Lamkin (Eds.), *Cross-Disciplinary Advances in Applied Natural Language Processing: Issues and Approaches* (pp. 156–171). Hershey, PA: IGI Global. <https://doi.org/10.4018/978-1-61350-447-5.ch011>
- Oviatt, S. (2003). Flexible and robust multimodal interfaces for universal access. *Universal Access in the Information Society*, 2(2), 91–95. <https://doi.org/10.1007/s10209-002-0041-7>
- Owda, M., Bandar, Z., & Crockett, K. (2011). Information extraction for SQL query generation in the conversation-based interfaces to relational databases (C-BIRD). In J. O'Shea, N. T. Nguyen, K. Crockett, R. J. Howlett, & L. C. Jain (Eds.), *Agent and*

- Multi-Agent Systems: Technologies and Applications* (pp. 44-53). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Papadopoulos, L., Pentzou, A.-E., Louloudiadis, K., & Tsiatsos, T.-K. (2013). Design and evaluation of a simulation for pediatric dentistry in virtual worlds. *Journal of Medical Internet Research*, 15(11), e240–e240. <https://doi.org/10.2196/jmir.2651>
- Pedraza-Jimenez, R., Codina, L., & Rovira, C. (2007). Web semántica y ontologías en el procesamiento de la información documental. *El Profesional de La Información*, 16(6), 569–578. <https://doi.org/https://doi.org/10.3145/epi.2007.nov.04>
- Person, N. K., Graesser, A. C., Harter, D., Mathews, E., & Tutoring Research Group. (2000). Dialog move generation and conversation management in AutoTutor. In C. P. Rosé & R. Freedman (Eds.), *Proc. of the AAAI Fall Symposium on building dialogue systems for tutorial applications* (pp. 87–94). Menlo Park, CA: AAAI Press.
- Person, N. K., Graesser, A. C., Kreuz, R. J., Pomeroy, V., & Group, T. R. (2001). Simulating human tutor dialog moves in AutoTutor. *Internacional Journal of Artificial Intelligence in Education*, 12, 23–39.
- Pon-Barry, H., Clark, B., Owen Bratt, E., Schultz, K., & Peters, S. (2004). Evaluating the effectiveness of SCoT: A spoken conversational tutor. In *Proc. ITS 2004 Workshop on Dialogue-based Intelligent* (pp. 23–32).
- Razzaq, L., Heffernan, N. T., Feng, M., & Pardos, Z. A. (2007). Developing Fine-Grained Transfer Models in the ASSISTment System. *Journal of Technology, Instruction, Cognition and Learning*, 5(3), 289–304.
- Rich, C., Sidner, C. L., & Lesh, N. (2001). Collagen: Applying collaborative discourse theory to human-computer interaction. *AI Magazine*, 22(4), 15. <https://doi.org/10.1609/aimag.v22i4.1589>
- Rickel, J., Lesh, N., Rich, C., Sidner, C., & Gertner, A. (2002). Collaborative discourse theory as a foundation for tutorial dialogue. In *Proc. 6th Int. Conf. on Intelligent Tutoring Systems* (pp. 542–551). Springer-Verlang.
- Rieser, V., Kruijff-Korbayová, I., & Lemon, O. (2005). A corpus collection and annotation framework for learning multimodal clarification strategies. In *Proc. 6th SIGdial Workshop on Discourse and Dialogue*.
- Riofrío-Luzcando, D. (2012). *Diseño e implementación de un laboratorio virtual de Biotecnología*. M.S. thesis, ETSII, UPM.
- Riofrío-Luzcando, D. (2017). *Propuesta de un modelo de comportamiento colectivo de estudiantes para un Sistema Inteligente de Tutoría dirigido al entrenamiento procedimental*.

PhD thesis, ETSII, UPM.

- Ritter, S., Anderson, J. R., Koedinger, K. R., & Corbett, A. (2007). Cognitive Tutor: Applied research in mathematics education. *Psychonomic Bulletin & Review*, 14(2), 249–255. <https://doi.org/10.3758/BF03194060>
- Rosé, C. P. (2000). A framework for robust semantic interpretation. In *Proc. 1st North American Chapter of the Association for Computational Linguistics Conference* (pp. 311–318). Stroudsburg, PA, USA: Association for Computational Linguistics. Retrieved from <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=974305.974346>
- Rosé, C. P., Jordan, P., Ringenberg, M., Siler, S., VanLehn, K., & Weinstein, A. (2001). Interactive Conceptual Tutoring in Atlas-Andes. In J. D. Moore (Ed.), *Artificial Intelligence in Education* (pp. 256–266). IOS Press.
- Rus, V., Banjade, R., Lintean, M., Niraula, N., & Stefanescu, D. (2013). SEMILAR: A semantic similarity toolkit for assessing students' natural language inputs. In S. K. D'Mello, R. A. Calvo, & A. Olney (Eds.), *Proc. of Educational Data Mining* (pp. 402–403).
- Rus, V., D'Mello, S., Hu, X., & Graesser, A. C. (2013). Recent advances in conversational intelligent tutoring systems. *AI Magazine*, 42–54.
- Rus, V., Stefanescu, D., Baggett, W., Niraula, N., Franceschetti, D., & Graesser, A. C. (2014). Macro-adaptation in conversational intelligent tutoring matters. In S. Trausan-Matu, K. E. Boyer, M. Crosby, & K. Panourgia (Eds.), *Proc. Intelligent Tutoring Systems* (pp. 242–247). Cham: Springer International Publishing.
- Saračević, M. (2014). Concept and Types of Virtual Environments: Research about positive impact on teaching and learning. *University Journal of Information Technology and Economics*, 1.
- Self, J. (1990). Bypassing the intractable problem of student modelling. In *Intelligent tutoring systems: At the crossroads of artificial intelligence and education* (pp. 107–123).
- Shubeck, K. T., Craig, S. D., & Hu, X. (2016). Live-action mass-casualty training and virtual world training: A comparison. In *Proc. of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting* (pp. 2103–2107).
- Sleeman, D., & Brown, J. S. (1982). *Intelligent Tutoring Systems*. New York: Academic Press.
- Studer, R., Benjamins, V. R., & Fensel, D. (1998). Knowledge engineering: Principles and methods. *Data & Knowledge Engineering*, 25(1), 161–197. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0169-023X\(97\)00056-6](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0169-023X(97)00056-6)

- Sullins, J., Craig, S., & Hu, X. (2015). Exploring the effectiveness of a novel feedback mechanism within an intelligent tutoring system. *Int. J. of Learning Technology*, 10(3), 220–236.
- Traum, D. R., & Larsson, S. (2003). The Information State Approach to Dialogue Management. In J. van Kuppevelt & R. W. Smith (Eds.), *Current and New Directions in Discourse and Dialogue* (pp. 325–353). Dordrecht: Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-010-0019-2_15
- Uschold, M., & Gruninger, M. (1996). Ontologies: Principles, Methods and Applications. *Knowledge Engineering Review*, 11(2).
- VanLehn, K. (2011). The relative effectiveness of human tutoring, intelligent tutoring systems, and other tutoring systems. *Educational Psychologist*, 46(4), 197–221.
- VanLehn, K., Graesser, A. C., Jackson, G. T., Jordan, P., Olney, A., & Rosé, C. P. (2007). When are tutorial dialogues more effective than reading? *Cognitive Science*, 31(1), 3–62.
- VanLehn, K., Jordan, P. W., Rosé, C. P., Bhembé, D., Böttner, M., Gaydos, A., ... Srivastava, R. (2002). The architecture of Why2-Atlas: A coach for qualitative Physics essay writing. In S. A. Cerri, G. Gouardères, & F. Paraguaçu (Eds.), *Inter. Conf. on Intelligent Tutoring Systems* (pp. 158–167). Springer Berlin Heidelberg.
- Viinikkala, M. (2004). *Ontology in Information Systems*.
- Wahlster, W. (2000). *Verbmobil: Foundations of Speech-to-Speech Translation*. Germany: Springer Berlin.
- Ward, W., Cole, R., Bolaños, D., Buchenroth-Martin, C., Svirsky, E., Sarel Van, V., ... Becker, L. (2011). My Science Tutor: A conversational multimedia virtual tutor for elementary school Science. *ACM Trans. Speech Lang. Process.*, 7(4), 18:1-18:29.
- Ward, W., & Pellon, B. (1999). The CU Communicator system. In *Proc. of the IEEE Automatic Speech Recognition and Understanding Workshop*.
- Weerasinghe, A., & Mitrovic, A. (2006a). Facilitating deep learning through self-explanation in an open-ended domain. *Int. J. Know.-Based Intell. Eng. Syst.*, 10(1), 3–19. Retrieved from <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1239598.1239599>
- Weerasinghe, A., & Mitrovic, A. (2006b). Individualizing self-explanation support for ill-defined tasks in constraint-based Tutors. In V. Aleven, K. Ashley, C. Lynch, & N. Pinkwart (Eds.), *Proceedings of the 2006 Workshop on ITS for Ill-defined Domains* (pp. 56–64). Jhongli, Taiwan.
- Weerasinghe, A., Mitrovic, A., Van Zijl, M., & Martin, B. (2010). Evaluating the

- effectiveness of adaptive tutorial dialogues in EER-Tutor. In S. L. Wong, S. C. Kong, & F.-Y. Yu (Eds.), *Proc. 18th Inter. Conf. on Computers in Education*. (pp. 33–40). Putrajaya, Malaysia.
- Wenger, E. (1987). *Artificial intelligence and tutoring systems: computational and cognitive approaches to the communication of knowledge*. Morgan Kaufmann.
- Wilson, K., Bedwell, W., Lazzara, E., Salas, E., Burke, S., Estock, J., ... Conkey, C. (2008). Relationships Between Game Attributes and Learning Outcomes: Review and Research Proposals. *Simulation & Gaming - Simulat Gaming*, 40, 217–266. <https://doi.org/10.1177/1046878108321866>
- Wohlin, C., Runeson, P., Host, M., Ohlsson, M. C., Regnell, B., & Wesslén, A. (2012). *Experimentation in Software Engineering*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Wolfe, C. R., Reyna, V. F., Widmer, C. L., Cedillos-Whynott, E. M., Brust-Renck, P. G., Weil, A. M., & Hu, X. (2016). Understanding genetic breast cancer risk: Processing loci of the BRCA Gist intelligent tutoring system. *Learning and Individual Differences*, 49, 178–189. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.lindif.2016.06.009>
- Woo, C. W., Evens, M. W., Freedman, R., Glass, M., Shim, L. S., Zhang, Y., ... Michael, J. (2006). An intelligent tutoring system that generates a natural language dialogue using dynamic multi-level planning. *Artificial Intelligence in Medicine*, 38(1), 25–46. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.artmed.2005.10.004>
- Zapata, C., & Carmona, N. (2007). El experimento Mago de Oz y sus aplicaciones: Una mirada retrospectiva. *DYNA*, 74(151), 125–135.

9 ANEXOS

Anexo A

Tabla resultante de la fase 2 de la aplicación de la metodología para construir SD.

ACCIÓN	COD-ACCION	INTENCION	ENTIDADES		PREGUNTAS_ ALUMNOS	RESPUESTA A PREGUNTAS DE LOS ALUMNOS		ORIGEN RESP.
			ENTIDAD	VALOR		PISTA_NIVEL 1 (general)	PISTA_NIVEL 2 (específica)	
Entra a la sala principal y toca la percha a un lado para ponerte una bata de tu sexo.	entregarbata	UBICACION_SALA	sala	principal	¿Dónde está la sala principal?	La sala principal está siguiendo por el pasillo a la izquierda.	La sala de principal está siguiendo por el pasillo a la izquierda. Durante el camino, encontrarás indicaciones para llegar a la sala principal.	Ontología del mundo
	entregarbata	UBICACION_OBJETO	objeto	bata	¿Dónde están las batas? / Y las batas? / Y la bata?	La bata está en la percha.	La bata está en la percha. Si entras por la puerta de la sala principal, las perchas están junto a la pared izquierda de la sala.	Ontología del mundo
	entregarbata	OBTENCION_OBJETO	objeto	bata	¿Cómo obtengo una bata?	Debes ir a la percha para obtenerla	Debes ir a la percha para obtenerlo. Si entras por la puerta de la sala principal, la percha de los vasos está junto a la pared izquierda de la sala.	Nodo de diálogo
	entregarbata	FALLA_COGER_OBJETO	objeto	bata	No puedo coger la bata	La bata está en el inventario de objetos.	En la carpeta de inventario de objetos está añadida la bata, debes dar	Nodo de diálogo

ACCIÓN	COD-ACCION	INTENCION	ENTIDADES		PREGUNTAS_ALUMNOS	RESPUESTA A PREGUNTAS DE LOS ALUMNOS		ORIGEN RESP.
			ENTIDAD	VALOR		PISTA_NIVEL 1 (general)	PISTA_NIVEL 2 (específica)	
							doble clic para ponértela.	
	entregarbata	MENSAJE_ACCION_SIGUIENTE			¿Qué hago ahora? / No sé qué hacer / ¿Siguiente acción?	Tienes que ponerte una bata de tu sexo en la sala principal.	Tienes que ponerte una bata de tu sexo en la sala principal.	Nodo de diálogo
Ponte la bata que se encuentra en tu inventario pinchando dos veces sobre ella y siéntate en la silla de un puesto de trabajo para que te sea asignado	bloquearpoyata							
Si sitúas el puntero del ratón en la parte superior de la pizarra aparecerá una barra de acciones. Pulsa sobre la lupa para ajustar la visión de la pizarra.	leerfundamentos	UBICACION_OBJETO	objeto	bata	¿Dónde están las batas? / Y las batas? / Y la bata?	La bata está dentro de la percha	La bata está está en la percha. Si entras por la puerta de la sala principal, la percha está junto a la pared izquierda de la sala.	Ontología del mundo
	leerfundamentos	OBTENCION_OBJETO	objeto	bata	¿Cómo obtengo una bata?	Debes ir a la percha para obtenerla	Debes ir a la percha para obtenerlo. Si entras por la puerta de la sala principal, la percha de los	Ontología del mundo

ACCIÓN	COD-ACCION	INTENCION	ENTIDADES		PREGUNTAS_ALUMNOS	RESPUESTA A PREGUNTAS DE LOS ALUMNOS		ORIGEN RESP.
			ENTIDAD	VALOR		PISTA_NIVEL 1 (general)	PISTA_NIVEL 2 (específica)	
							vasos está junto a la pared izquierda de la sala.	
	leerfundamentos	FALLA_COGER_OBJETO	objeto	bata	No puedo coger la bata	La bata está en el inventario de objetos.	En la carpeta de inventario de objetos está añadida la bata, debes dar doble clic para ponértela.	Nodo del diálogo
	leerfundamentos	UBICACION_DOCUMENTO/ MENSAJE_ACCION_SIGUIENTE	documento	fundamento	¿Dónde están los fundamentos? / ¿Qué hago ahora?	Accede a los fundamentos en: http://tinyurl.com/lro96zp	Accede a los fundamentos en: http://tinyurl.com/lro96zp	Nodo del diálogo
También puedes leer el protocolo tocando su libro.	leerprotocolo	UBICACION_DOCUMENTO/ MENSAJE_ACCION_SIGUIENTE	documento	protocolo	¿Dónde está el protocolo? / ¿Qué hago ahora?	Accede al protocolo en: http://tinyurl.com/mhyjal8	Accede al protocolo en: http://tinyurl.com/mhyjal8	Nodo del diálogo
Cuando finalices de leer el protocolo puedes comenzar la práctica lavándote las manos, para esto	releerfundamentos	UBICACION_DOCUMENTO/ MENSAJE_ACCION_SIGUIENTE	documento	fundamento	¿Dónde están los fundamentos? / ¿Qué hago ahora?	Accede a los fundamentos en: http://tinyurl.com/lro96zp	Accede a los fundamentos en: http://tinyurl.com/lro96zp	Nodo del diálogo
	releerprotocolo	UBICACION_DOCUMENTO/ MENSAJE_ACCION_SIGUIENTE	documento	protocolo	¿Dónde está el protocolo? / ¿Qué hago ahora?	Accede al protocolo en: http://tinyurl.com/mhyjal8	Accede al protocolo en: http://tinyurl.com/mhyjal8	Nodo del diálogo

ACCIÓN	COD-ACCION	INTENCION	ENTIDADES		PREGUNTAS_ALUMNOS	RESPUESTA A PREGUNTAS DE LOS ALUMNOS		ORIGEN RESP.
			ENTIDAD	VALOR		PISTA_NIVEL 1 (general)	PISTA_NIVEL 2 (específica)	
toca uno de los lavamanos.	lavarsemanos	UBICACION_CONTENEDOR	contenedor	lavamanos	¿Dónde está el lavamanos? / No encuentro el lavamanos	Si entras por la puerta de la sala principal, el lavamanos está junto a la pared derecha de la sala.	Si entras por la puerta de la sala principal, el lavamanos está junto a la pared derecha de la sala.	Ontología del mundo
	lavarsemanos	DESCRIPCION_CONTENEDOR	contenedor	lavamanos	¿Cuál es el lavamanos?	El lavamanos es como un lavabo situado junto a la pared derecha, no te confundas con los fregaderos.	El lavamanos es como un lavabo situado junto a la pared derecha, no te confundas con los fregaderos.	Ontología del mundo
	lavarsemanos	MENSAJE_ACCION_SIGUIENTE			¿Qué hago ahora? / No sé qué hacer / ¿Siguiente acción?	Tienes que lavarte las manos, pero no te confundas con el fregadero.	Lávate las manos, pero no en el fregadero	Nodo de diálogo
Toca la caja de guantes de latex de tu poyata para obtener unos.	entregarguantes	UBICACION_OBJETO	objeto	guantes	¿Dónde están los guantes? / Y los guantes?	Los guantes están dentro de una caja de color azul sobre tu poyata.	Los guantes están dentro de una caja de color azul sobre la poyata que escogiste.	Ontología del mundo
	entregarguantes	OBTENCION_OBJETO	objeto	guantes	¿Cómo obtengo los guantes?	Toca la caja de guantes que está sobre tu poyata para obtener uno.	Toca la caja de guantes que está sobre tu poyata para obtener uno.	Nodo de diálogo
	entregarguantes	FALLA_COGER_OBJETO	objeto	guantes	No puedo coger los guantes	Los guantes están en el inventario de objetos.	En la carpeta de inventario de objetos están	Nodo del diálogo

ACCIÓN	COD-ACCION	INTENCION	ENTIDADES		PREGUNTAS_ALUMNOS	RESPUESTA A PREGUNTAS DE LOS ALUMNOS		ORIGEN RESP.
			ENTIDAD	VALOR		PISTA_NIVEL 1 (general)	PISTA_NIVEL 2 (específica)	
							añadidos los guantes, debes dar doble clic para ponértelos.	
	entregarguantes	MENSAJE_ACCION_SIGUIENTE			¿Qué hago ahora? / No sé qué hacer / ¿Siguiente acción?	Tienes que ponerte un par de guantes de tu poyata	Tienes que ponerte un par de guantes de tu poyata	Nodo del diálogo
Ponte los guantes que se encuentra en la carpeta de ropa de tu inventario haciendo doble click sobre ellos. Toca la puerta de la vitrina de instrumentos para que obtengas un vaso.	entregarvaso	UBICACION_CONTENEDOR	contenedor	vitrina de vasos (desambiguado en contexto)	¿Dónde está la vitrina?/ No encuentro la vitrina	Si entras por la puerta de la sala principal, la vitrina de los vasos está junto a la pared izquierda de la sala.	Si entras por la puerta de la sala principal, la vitrina de los vasos está junto a la pared izquierda de la sala. La vitrina de los vasos es un mueble con puertas de cristal en el que se pueden ver los vasos.	Ontología del mundo
	entregarvaso	DESCRIPCION_CONTENEDOR	contenedor	vitrina de vasos (desambiguado en contexto)	¿Cuál es la vitrina?	La vitrina de los vasos es un mueble con puertas de cristal en el que se pueden ver los vasos.	La vitrina de los vasos es un mueble con puertas de cristal en el que se pueden ver los vasos.	Ontología del mundo

ACCIÓN	COD-ACCION	INTENCION	ENTIDADES		PREGUNTAS_ALUMNOS	RESPUESTA A PREGUNTAS DE LOS ALUMNOS		ORIGEN RESP.
			ENTIDAD	VALOR		PISTA_NIVEL 1 (general)	PISTA_NIVEL 2 (específica)	
	entregarvaso	UBICACION_OBJETO	objeto	vaso	¿Dónde están los vasos? / Y los vasos? / Y el vaso?	Los vasos están en la vitrina de vasos.	Los vasos están en la vitrina de vasos. SI entras por la puerta de la sala principal, la vitrina de los vasos está junto a la pared izquierda de la sala.	Ontología del mundo
	entregarvaso	OBTENCION_OBJETO	objeto	vaso	¿Cómo obtengo un vaso?	Debes ir a la vitrina de vasos para obtenerlo.	Debes ir a la vitrina de vasos para obtenerlo. SI entras por la puerta de la sala principal, la vitrina de los vasos está junto a la pared izquierda de la sala.	Nodo del diálogo
	entregarvaso	FALLA_COGER_OBJETO	objeto	vaso	No puedo coger el vaso	El vaso está en el inventario de objetos.	En la carpeta de inventario de objetos está añadido el vaso, debes dar doble clic para adjuntarlo a la mano.	Nodo del diálogo
	entregarvaso	MENSAJE_ACCION_SIGUIENTE			¿Qué hago ahora? / No sé qué hacer / ¿Siguiente acción?	Ve a la vitrina y obtén un vaso.	Ve a la vitrina que está junto a la pared izquierda de la sala (si miras desde la puerta) y obtén un vaso.	Nodo del diálogo

ACCIÓN	COD-ACCION	INTENCION	ENTIDADES		PREGUNTAS_ALUMNOS	RESPUESTA A PREGUNTAS DE LOS ALUMNOS		ORIGEN RESP.
			ENTIDAD	VALOR		PISTA_NIVEL 1 (general)	PISTA_NIVEL 2 (específica)	
Toma el vaso que se encuentra en la carpeta de objetos de tu inventario haciendo doble click sobre él, después llévalo cerca de un fregadero y suéltalo ahí.	soltarvasofregadero	UBICACION_CONTENEDOR	contenedor	fregadero	¿Dónde está el fregadero? / Y el fregadero	Si entras por la puerta de la sala principal, hay un fregadero al final de cada mesa central.	Si entras por la puerta de la sala principal, hay un fregadero al final de cada mesa central. El fregadero tiene un grifo de aula destilada.	Ontología del mundo
	soltarvasofregadero	DESCRIPCION_CONTENEDOR	contenedor	fregadero	¿Cuál es el fregadero?	El fregadero tiene un grifo de aula destilada.	El fregadero tiene un grifo de aula destilada.	Ontología del mundo
	soltarvasofregadero	FALLA_SOLTAR_OBJETO	objeto	vaso	No puedo soltar el vaso	Intenta presionando el botón "Soltar".	Ubícate más cerca del fregadero y presiona el botón "Soltar"	Nodo del diálogo
	soltarvasofregadero	MENSAJE_ACCION_SIGUIENTE			¿Qué hago ahora? / No sé qué hacer / ¿Siguiente acción?	Ve a cualquier fregadero y suelta el vaso.	Acércate a cualquier fregadero y para soltar el vaso, entra en el inventario y pulsa "Soltar".	Nodo del diálogo
	releerfundamentos	UBICACION_DOCUMENTO/ MENSAJE_ACCION_SIGUIENTE	documento	fundamento	¿Dónde están los fundamentos? / ¿Qué hago ahora?	Accede a los fundamentos en: http://tinyurl.com/lro96zp	Accede a los fundamentos en: http://tinyurl.com/lro96zp	Nodo del diálogo
	releerprotocolo	UBICACION_DOCUMENTO/ MENSAJE_ACCION_SIGUIENTE	documento	protocolo	¿Dónde está el protocolo? / ¿Qué hago ahora?	Accede al protocolo en: http://tinyurl.com/mhyjal8	Accede al protocolo en: http://tinyurl.com/mhyjal8	Nodo del diálogo

ACCIÓN	COD-ACCION	INTENCION	ENTIDADES		PREGUNTAS_ALUMNOS	RESPUESTA A PREGUNTAS DE LOS ALUMNOS		ORIGEN RESP.
			ENTIDAD	VALOR		PISTA_NIVEL 1 (general)	PISTA_NIVEL 2 (específica)	
Toca el grifo de agua destilada para llenar de agua el vaso.	bloquearfregadero	UBICACION_MAQUINARIA	maquinaria	grifo	¿Dónde está el grifo?	El grifo está encima del fregadero.	El grifo está encima del fregadero. EL grifo tiene la etiqueta "Grifo de Agua Destilada".	Ontología del mundo
	bloquearfregadero	CONFIRMACION_MAQUINARIA	maquinaria	grifo	¿Es el que dice grifo?	Si, ese es el objeto que buscas.	Si, ese es el objeto que buscas.	Nodo del diálogo
	llenarvasoconagua	DESCRIPCION_MAQUINARIA	maquinaria	grifo	¿Cuál es el grifo?	El grifo tiene la etiqueta "Grifo de Agua Destilada".	EL grifo tiene la etiqueta "Grifo de Agua Destilada".	Ontología del mundo
	llenarvasoconagua	MENSAJE_ACCION_SIGUIENTE			¿Qué hago ahora? / No sé qué hacer / ¿Siguiente acción?	Tienes que tocar el grifo para continuar.	Para continuar tienes que tocar el grifo situado encima del fregadero.	Nodo del diálogo
Lleva el vaso cerca de un agitador y suéltalo ahí.	desbloquearfregadero	UBICACION_MAQUINARIA	maquinaria	agitador	¿Dónde está el agitador?	Si entras por la puerta de la sala principal, hay un agitador encima de cada mesa del fondo.	Si entras por la puerta de la sala principal, hay un agitador encima de cada mesa del fondo. El agitador tiene un disco giratorio en la parte superior.	Ontología del mundo
	desbloquearfregadero	DESCRIPCION_MAQUINARIA	maquinaria	agitador	¿Cuál es el agitador?	El agitador tiene un disco giratorio en la parte superior y tiene la	El agitador tiene un disco giratorio en la parte superior y tiene la etiqueta	Ontología del mundo

ACCIÓN	COD-ACCION	INTENCION	ENTIDADES		PREGUNTAS_ALUMNOS	RESPUESTA A PREGUNTAS DE LOS ALUMNOS		ORIGEN RESP.
			ENTIDAD	VALOR		PISTA_NIVEL 1 (general)	PISTA_NIVEL 2 (específica)	
						etiqueta "Grifo de Agua Destilada"	"Grifo de Agua Destilada".	
	desbloquearfregadero	MENSAJE_ACCION_SIGUIENTE			¿Qué hago ahora? / No sé qué hacer / ¿Siguiente acción?	Tienes que llevar el vaso al agitador (encima de cualquier mesa del fondo) y soltarlo ahí.	Tienes que llevar el vaso al agitador (encima de cualquier mesa del fondo con un disco giratorio encima) y soltarlo ahí.	Nodo del diálogo
	soltarvasoagitador							
Toca el agitador para encenderlo. Revisa la composición del medio en el PROTOCOLO.	bloquearagitador	UBICACION_DOCUMENTO/ MENSAJE_ACCION_SIGUIENTE	-	-	¿Dónde está el protocolo? / ¿Qué hago ahora?	Accede al protocolo en: http://tinyurl.com/mhyjal8	Accede al protocolo en: http://tinyurl.com/mhyjal8	Nodo del diálogo
Acuérdate de ajustar el ph antes de añadir el agar	bloquearphmetro	ENCENDER_MAQUINARIA	maquinaria	agitador	¿Cómo enciendo el agitador?	Toca el agitador para encenderlo.	Acércate más y toca el agitador para encenderlo.	Nodo del diálogo
	bloquearphmetro	FALLA_ENCENDER_MAQUINARIA	maquinaria	agitador	No puedo encender agitador	El agitador ya está encendido	El agitador ya está encendido, en la etiqueta aparece tu nombre	Nodo del diálogo
Toca la puerta de la vitrina de químicos para agregar ingredientes a la	encenderagitador	UBICACION_QUIMICO	quimico	quimicos	¿Dónde están los químicos?	Los químicos están dentro de la vitrina de químicos.	Los químicos están dentro de la vitrina de químicos. Si entras por la puerta de la sala principal,	Ontología del mundo

ACCIÓN	COD-ACCION	INTENCION	ENTIDADES		PREGUNTAS_ALUMNOS	RESPUESTA A PREGUNTAS DE LOS ALUMNOS		ORIGEN RESP.
			ENTIDAD	VALOR		PISTA_NIVEL 1 (general)	PISTA_NIVEL 2 (específica)	
mezcla. Al terminar apaga el agitador.							la vitrina de químicos está junto a la pared derecha de la sala.	
	encenderagitador	UBICACION_QUIMICO	quimico	agar	¿Dónde está el agar?/No encuentro el agar	El agar está dentro de la vitrina de químicos.	El agar está dentro de la vitrina de químicos. Si entras por la puerta de la sala principal, la vitrina de químicos está junto a la pared derecha de la sala.	Ontología del mundo
	encenderagitador	UBICACION_MAQUINARIA	maquinaria	ph-metro	¿Dónde está el ph? / No encuentro el ph/ ¿Dónde está el Ph-metro	El pH-metro está a la derecha del agitador.	El pH-metro está a la derecha del agitador. EL ph-metro tiene la etiqueta "pH-metro".	Ontología del mundo
	encenderagitador	UBICACION_CONTENEDOR	contenedor	vitrina de quimicos (desambiguado en contexto)	¿En qué vitrina están los químicos?/Dónde está la vitrina de químicos?	Si entras por la puerta de la sala principal, la vitrina de los químicos está junto a la pared derecha de la sala.	Si entras por la puerta de la sala principal, la vitrina de los químicos está junto a la pared derecha de la sala. La vitrina de los químicos es un mueble con puertas de cristal en el que se pueden ver los químicos.	Ontología del mundo

ACCIÓN	COD-ACCION	INTENCION	ENTIDADES		PREGUNTAS_ALUMNOS	RESPUESTA A PREGUNTAS DE LOS ALUMNOS		ORIGEN RESP.
			ENTIDAD	VALOR		PISTA_NIVEL 1 (general)	PISTA_NIVEL 2 (específica)	
	encenderagitador	QUIMICOS_MEZCLA			¿Qué químicos debo coger?	Los químicos que se te indican en el protocolo (http://tinyurl.com/mhyja18).	Los químicos que se te indican en el protocolo (http://tinyurl.com/mhyja18).	Nodo del diálogo
	encenderagitador	MENSAJE_ACCION_SIGUIENTE			¿Qué hago ahora? / No sé qué hacer / ¿Siguiente acción?	Tienes que encender el agitador.	Tienes que encender el agitador.	Nodo del diálogo
	agregarmys agregarsacarosa agregarmys/agregarsacarosa	QUIMICOS_MEZCLA			¿Qué químicos debo coger?	Los químicos que se te indican en el protocolo (http://tinyurl.com/mhyja18).	Los químicos que se te indican en el protocolo (http://tinyurl.com/mhyja18).	Nodo del diálogo
	agregarmys agregarsacarosa agregarmys/agregarsacarosa	UBICACION_QUIMICO	quimico	quimicos/ sacarosa/ mys	¿Dónde están los químicos?	Los químicos están dentro de la vitrina de químicos.	Los químicos están dentro de la vitrina de químicos. Si entras por la puerta de la sala principal, la vitrina de químicos está junto a la pared derecha de la sala.	Ontología del mundo
	agregarmys	MENSAJE_ACCION_SIGUIENTE			¿Qué hago ahora? / No sé qué hacer / ¿Siguiente acción?	Tienes que agregarsacarosa	Tienes que agregarsacarosa	Nodo de diálogo

ACCIÓN	COD-ACCION	INTENCION	ENTIDADES		PREGUNTAS_ALUMNOS	RESPUESTA A PREGUNTAS DE LOS ALUMNOS		ORIGEN RESP.
			ENTIDAD	VALOR		PISTA_NIVEL 1 (general)	PISTA_NIVEL 2 (específica)	
	agregarsacarosa	MENSAJE_ACCION_SIGUIENTE			¿Qué hago ahora? / No sé qué hacer / ¿Siguiente acción?	Tienes que agregarmys	Tienes que agregarmys	Nodo de diálogo
	agregarmys/agregarsacarosa	MENSAJE_ACCION_SIGUIENTE			¿Qué hago ahora? / No sé qué hacer / ¿Siguiente acción?	Tienes que agregarsacarosa o agregarmys	Tienes que agregarsacarosa o agregarmys	Nodo de diálogo
	ajustarph	UBICACION_QUIMICO	quimico	quimicos	¿Dónde están los químicos?	Los químicos están dentro de la vitrina de químicos.	Los químicos están dentro de la vitrina de químicos. Si entras por la puerta de la sala principal, la vitrina de químicos está junto a la pared derecha de la sala.	Ontología del mundo
	ajustarph	MENSAJE_ACCION_SIGUIENTE			¿Qué hago ahora? / No sé qué hacer / ¿Siguiente acción?	Tienes que ajustar el ph.	Tienes que ajustar el ph.	Nodo de diálogo
	desbloquearphmetro							

ACCIÓN	COD-ACCION	INTENCION	ENTIDADES		PREGUNTAS_ALUMNOS	RESPUESTA A PREGUNTAS DE LOS ALUMNOS		ORIGEN RESP.
			ENTIDAD	VALOR		PISTA_NIVEL 1 (general)	PISTA_NIVEL 2 (específica)	
	agregaragar	UBICACION_QUIMICO	quimico	quimicos/agar	¿Dónde están los químicos? / ¿Dónde está el agar?	Los químicos están dentro de la vitrina de químicos.	Los químicos están dentro de la vitrina de químicos. Si entras por la puerta de la sala principal, la vitrina de químicos está junto a la pared derecha de la sala.	Ontología del mundo
	agregaragar	MENSAJE_ACCION_SIGUIENTE			¿Qué hago ahora? / No sé qué hacer / ¿Siguiente acción?	Tienes que agregar el agar.	Tienes que agregar el agar.	Nodo de diálogo
	agregarbisacrilamida							
	agregarcaseina							
	agregaretilenglicol							
	apagaragitador	APAGAR_MAQUINARIA	maquinaria	agitador	¿Cómo apago el agitador?	Para apagar el agitador debes tocarlo.	Para apagar el agitador debes tocarlo.	Nodo del diálogo
	apagaragitador				No se ha completado la mezcla			Nodo de diálogo
	apagaragitador	MENSAJE_ACCION_SIGUIENTE			¿Qué hago ahora? / No sé qué hacer / ¿Siguiente acción?	Debes apagar el agitador.	Debes apagar el agitador.	Nodo de diálogo

ACCIÓN	COD-ACCION	INTENCION	ENTIDADES		PREGUNTAS_ALUMNOS	RESPUESTA A PREGUNTAS DE LOS ALUMNOS		ORIGEN RESP.
			ENTIDAD	VALOR		PISTA_NIVEL 1 (general)	PISTA_NIVEL 2 (específica)	
	apagaragitador	UBICACION_OBJETO	objeto	botella	¿Dónde consigo una botella? / ¿Y la botella dónde la encuentro?	La botella está en la vitrina de vasos.	La botella está en la vitrina de vasos. SI entras por la puerta de la sala principal, la vitrina de los vasos está al costado izquierdo de la sala.	Ontología del mundo
Si no la tienes aún, obtén una botella para autoclavar tocando la puerta de la vitrina de instrumentos.	entregarbotella	ACLARACION_CONTENEDOR	contenedor	vitrina/vitrina de vasos	¿Puedo utilizar cualquier vitrina?	Debes elegir la vitrina que contiene los vasos.	Para el proceso que estás realizando necesitas la vitrina de los vasos.	Nodo de diálogo
	entregarbotella	MENSAJE_ACCION_SIGUIENTE			¿Qué hago ahora? / No sé qué hacer / ¿Siguiente acción?	Debes coger una botella	Debes coger una botella de la vitrina de vasos	Nodo de diálogo
	entregarbotella	FALLA_COGER_OBJETO	objeto	botella	No me deja coger la botella	La botella está en el inventario de objetos.	En la carpeta de inventario de objetos está añadida la botella, debes dar doble clic para adjuntarlo a la mano.	Nodo de diálogo
Toma la botella del inventario, después llévala cerca del agitador y suéltala ahí.	soltarbotellaagitador	MENSAJE_ACCION_SIGUIENTE			¿Qué hago ahora? / No sé qué hacer / ¿Siguiente acción?	Debes soltar la botella en el agitador	Debes soltar la botella en el agitador	Nodo de diálogo

ACCIÓN	COD-ACCION	INTENCION	ENTIDADES		PREGUNTAS_ALUMNOS	RESPUESTA A PREGUNTAS DE LOS ALUMNOS		ORIGEN RESP.
			ENTIDAD	VALOR		PISTA_NIVEL 1 (general)	PISTA_NIVEL 2 (específica)	
Toca la botella para pasar la mezcla desde el vaso, y espera a que se llene.	movermezclaabotella	MENSAJE_ACCION_SIGUIENTE			¿Qué hago ahora? / No sé qué hacer / ¿Siguiente acción?	Debes pasar el contenido del vaso a la botella tocando la botella	Debes pasar el contenido del vaso a la botella tocando la botella	Nodo de diálogo
Cuando se llene la botella y la tengas en tu mano la puedes llevar a autoclavar, para esto suéltala en un autoclave de la sala de autoclaves.	desbloquearagitador	UBICACION_MAQUINARIA	maquinaria	autoclave	¿Dónde está el autoclave? / Y el autoclave	Si entras por la puerta de la sala de autoclaves, el autoclave está al lado de la pared izquierda.	Si entras por la puerta de la sala de autoclaves, el autoclave está al lado de la pared izquierda. El autoclave es una maquinaria con forma de olla de presión del tamaño de una lavadora.	Ontología del mundo
Busca el AUTOCLAVE en otra sala, éste es como una olla a presión con tamaño de una lavadora	insetarbotellaenautoclave	MENSAJE_ACCION_SIGUIENTE			¿Qué hago ahora? / No sé qué hacer / ¿Siguiente acción?	Debes autoclavar la botella	Debes autoclavar la botella introduciéndola en un autoclave	Nodo de diálogo
	insetarbotellaenautoclave	DESCRIPCION_MAQUINARIA	maquinaria	autoclave	¿Cuál es el autoclave?	El autoclave es una maquinaria con forma de olla de presión del tamaño de una lavadora.	El autoclave es una maquinaria con forma de olla de presión del tamaño de una lavadora.	Ontología del mundo

ACCIÓN	COD-ACCION	INTENCION	ENTIDADES		PREGUNTAS_ALUMNOS	RESPUESTA A PREGUNTAS DE LOS ALUMNOS		ORIGEN RESP.
			ENTIDAD	VALOR		PISTA_NIVEL 1 (general)	PISTA_NIVEL 2 (específica)	
	insetarbotellaenautoclave	UBICACION_SALA	sala	sala de autoclave	¿Dónde está la sala de autoclaves?	La sala de autoclave es otra sala del edificio. Sal de la sala principal y sigue las flechas.	La sala de autoclave es otra sala del edificio. Sal de la sala principal, gira la izquierda, sigue el pasillo, gira otra vez a la izquierda, sigue el pasillo y gira a la derecha. Durante el camino, encontrarás indicaciones para llegar a la sala de autoclaves.	Ontología del mundo
	bloquearautoclave							
Toca el autoclave para autoclavar la botella. Mientras esperas, ve a encender una cabina de flujo laminar.	autoclavar	MENSAJE_ACCION_SIGUIENTE			¿Qué hago ahora? / No sé qué hacer / ¿Siguiente acción?	Toca el autoclave para iniciar el autoclavado de la botella y espera	Toca el autoclave para iniciar el autoclavado de la botella y espera	Nodo de diálogo
	autoclavar	FALLA_COGER_OBJETO	objeto	botella	No puedo coger la botella / No me deja coger la botella	La botella está en el inventario de objetos.	En la carpeta de inventario de objetos está añadida la botella, debes dar doble clic para adjuntarlo a la mano.	Nodo de diálogo
	autoclavar	DESCRIPCION_MAQUINARIA	maquinaria	Cabina de flujo	¿Cuál es la cabina?	La cabina es una maquinaria con	La cabina es una maquinaria con	Ontología del mundo

ACCIÓN	COD-ACCION	INTENCION	ENTIDADES		PREGUNTAS_ALUMNOS	RESPUESTA A PREGUNTAS DE LOS ALUMNOS		ORIGEN RESP.
			ENTIDAD	VALOR		PISTA_NIVEL 1 (general)	PISTA_NIVEL 2 (específica)	
						aspecto de estación de trabajo.	aspecto de estación de trabajo.	
	autoclavar	UBICACION_MAQUINARIA	maquinaria	Cabina de flujo	Y las cabinas? / ¿Dónde están las cabinas?	La cabina de flujo está en el centro de la sala de cabinas de flujo.	Si entras por la puerta de la sala cabina de flujo, la cabina está en el centro de la sala de cabina de flujo.	Ontología del mundo
	autoclavar	UBICACION_SALA	sala	sala de cabina de flujo	¿Dónde está la sala de cabinas?	La sala de cabinas de flujo es otra sala del edificio. Sal de la sala en la que te encuentras y sigue las flechas.	La sala de cabinas de flujo es otra sala del edificio. Sal de la sala principal y sigue las flechas.	Ontología del mundo
Ve a encender una cabina de flujo laminar y toma la botella cuando ya esté autoclavada (da igual el orden)	encendercabina	MENSAJE_ACCION_SIGUIENTE			¿Qué hago ahora? / No sé qué hacer / ¿Siguiente acción?	Tienes que encender la cabina de flujo.	Tienes que encender la cabina de flujo.	Nodo de diálogo
	encendercabina	DESCRIPCION_MAQUINARIA	maquinaria	Cabina de flujo	¿Cuál es la cabina?	La cabina es una maquinaria con aspecto de estación de trabajo.	La cabina es una maquinaria con aspecto de estación de trabajo.	Ontología del mundo
	encendercabina	UBICACION_MAQUINARIA	maquinaria	Cabina de flujo	Y las cabinas? / ¿Dónde están las cabinas?	La cabina de flujo está en el centro de la sala de cabinas de flujo.	Si entras por la puerta de la sala cabina de flujo, la cabina está en el	Ontología del mundo

ACCIÓN	COD-ACCION	INTENCION	ENTIDADES		PREGUNTAS_ALUMNOS	RESPUESTA A PREGUNTAS DE LOS ALUMNOS		ORIGEN RESP.
			ENTIDAD	VALOR		PISTA_NIVEL 1 (general)	PISTA_NIVEL 2 (específica)	
							centro de la sala de cabina de flujo.	
	encendercabina	ENCENDER_MAQUINARIA	maquinaria	Cabina de flujo	¿Cómo enciendo la cabina de flujo?	Toca el botón de encendido para encender la cabina.	Acércate más y toca el botón verde para encender la cabina de flujo.	Nodo de diálogo
	encendercabina	FALLA_ENCENDER_MAQUINARIA	maquinaria	Cabina de flujo	No puedo encender la cabina de flujo	La cabina ya está encendida	La cabina ya está encendida, en la etiqueta aparece tu nombre	Nodo de diálogo
	entregarbotellaautoclavada	MENSAJE_ACCION_SIGUIENTE			¿Qué hago ahora? / No sé qué hacer / ¿Siguiente acción?	Toca el autoclave para recuperar la botella ya autoclavada	Toca el autoclave para recuperar la botella ya autoclavada	Nodo de diálogo
	entregarbotellaautoclavada	UBICACION_SALA	sala	sala de cabina de flujo	¿Dónde está la sala de cabinas?	La sala de cabinas de flujo es otra sala del edificio. Sal de la sala en la que te encuentras y sigue las flechas.	La sala de cabinas de flujo es otra sala del edificio. Sal de la sala en la que te encuentras y sigue las flechas.	Ontología del mundo
	entregarbotellaautoclavada	DESCRIPCION_MAQUINARIA	maquinaria	Cabina de flujo	¿Cuál es la cabina?	La cabina es una maquinaria con aspecto de estación de trabajo.	La cabina es una maquinaria con aspecto de estación de trabajo.	Ontología del mundo

ACCIÓN	COD-ACCION	INTENCION	ENTIDADES		PREGUNTAS_ALUMNOS	RESPUESTA A PREGUNTAS DE LOS ALUMNOS		ORIGEN RESP.
			ENTIDAD	VALOR		PISTA_NIVEL 1 (general)	PISTA_NIVEL 2 (específica)	
	entregarbotellaautoc lavada	UBICACION_MAQUINARIA	maquinaria	Cabina de flujo	Y las cabinas? / ¿Dónde están las cabinas?	La cabina de flujo está en el centro de la sala de cabinas de flujo.	Si entras por la puerta de la sala cabina de flujo, la cabina está en el centro de la sala de cabina de flujo.	Ontología del mundo
Lleva la botella cerca de la cabina y suéltala ahí. Tienes 15 minutos antes de que el medio se solidifique.	enfriarbotella	MENSAJE_ACCION_SIGUIENTE			¿Qué hago ahora? / No sé qué hacer / ¿Siguiente acción?	Lleva la botella cerca de la cabina y suéltala ahí. Tienes 15 minutos antes de que el medio se solidifique.	Lleva la botella cerca de la cabina y suéltala ahí. Tienes 15 minutos antes de que el medio se solidifique.	Nodo de diálogo
	enfriarbotella	DESCRIPCION_MAQUINARIA	maquinaria	Cabina de flujo	¿Cuál es la cabina?	La cabina es una maquinaria con aspecto de estación de trabajo.	Si entras por la puerta de la sala de cabina de flujo, las cabina es una maquinaria con aspecto de estación de trabajo.	Ontología del mundo
	enfriarbotella	UBICACION_MAQUINARIA	maquinaria	Cabina de flujo	Y las cabinas? / ¿Dónde están las cabinas?	La cabina de flujo está en el centro de la sala de cabinas de flujo.	Si entras por la puerta de la sala cabina de flujo, la cabina está en el centro de la sala de cabina de flujo.	Ontología del mundo
	enfriarbotella				¿Después de encender la	Si	Revisa en el chat la última instrucción del procedimiento.	Nodo del diálogo

ACCIÓN	COD-ACCION	INTENCION	ENTIDADES		PREGUNTAS_ ALUMNOS	RESPUESTA A PREGUNTAS DE LOS ALUMNOS		ORIGEN RESP.
			ENTIDAD	VALOR		PISTA_NIVEL 1 (general)	PISTA_NIVEL 2 (específica)	
					cabina, tengo que ir por la botella?			
	soltarbotellacabina	MENSAJE_ACCION_SIGUIENTE			¿Qué hago ahora? / No sé qué hacer / ¿Siguiente acción?	Suelta la botella en la cabina.	Suelta la botella en la cabina.	Nodo de diálogo
	soltarbotellacabina	FALLA_SOLTAR_OBJETO	objeto	botella	No puedo soltar la botella	Intenta presionando el botón "Soltar".	Ubícate más cerca de la cabina de flujo y presiona el botón "Soltar"	Nodo de diálogo
Espera el tiempo necesario para que se esterilice el aire.	contartiem pocabina	MENSAJE_ACCION_SIGUIENTE			¿Qué hago ahora? / No sé qué hacer / ¿Siguiente acción?	Espera el tiempo necesario para que se esterilice el aire.	Espera el tiempo necesario para que se esterilice el aire.	Nodo de diálogo
Agrega ácido indolacético del frigorífico.	agregariaa	MENSAJE_ACCION_SIGUIENTE			¿Qué hago ahora? / No sé qué hacer / ¿Siguiente acción?	Agrega ácido indolacético del frigorífico.	Agrega ácido indolacético del frigorífico.	Nodo de diálogo
	agregariaa	UBICACION_CONTENEDOR	contenedor	frigorífico	¿Dónde está el frigorífico? / Y el frigorífico	El frigorífico está al lado derecho de la vitrina.	El frigorífico está al lado derecho de la vitrina.	Ontología del mundo
	agregariaa	DESCRIPCION_CONTENEDOR	contenedor	frigorífico	¿Cuál es el frigorífico?	EL frigorífico es la parte de debajo de la nevera	EL frigorífico es la parte de debajo de la nevera	Ontología del mundo

ACCIÓN	COD-ACCION	INTENCION	ENTIDADES		PREGUNTAS_ALUMNOS	RESPUESTA A PREGUNTAS DE LOS ALUMNOS		ORIGEN RESP.
			ENTIDAD	VALOR		PISTA_NIVEL 1 (general)	PISTA_NIVEL 2 (específica)	
	agregariaa	UBICACION_QUIMICO	químico	ácido indolacético	¿Dónde está el ácido indolacético?	El ácido indolacético está en la vitrina de químicos.	El ácido indolacético está en la vitrina de químicos.	Ontología del mundo
Si no la tienes aún consigue una bandeja con botes de la sala de autoclaves o de la vitrina de instrumentos.	entregarbandeja	MENSAJE_ACCION_SIGUIENTE			¿Qué hago ahora? / No sé qué hacer / ¿Siguiente acción?	Si no la tienes aún consigue una bandeja con botes de la sala de autoclaves o de la vitrina de instrumentos.	Si no la tienes aún consigue una bandeja con botes de la sala de autoclaves o de la vitrina de instrumentos.	Nodo de diálogo
	entregarbandeja	UBICACION_OBJETO	objeto	bandeja con botes	¿Dónde consigo una bandeja con vasos? / ¿Y la bandeja con vasos dónde la encuentro?	La bandeja con botes está dentro de la vitrina de instrumentos.	La bandeja con botes está dentro de la vitrina de instrumentos de la sala principal.	Ontología del mundo
	entregarbandeja	UBICACION_CONTENEDOR	contenedor	vitrina de instrumentos	¿Dónde está la vitrina de instrumentos? / Y la vitrina de instrumentos	La vitrina de químicos está a la izquierda del mueble amarillo.	La vitrina de químicos está a la izquierda del mueble amarillo.	Ontología del mundo
	entregarbandeja	DESCRIPCION_CONTENEDOR	contenedor	vitrina de instrumentos	¿Cuál es la vitrina de instrumentos?	La vitrina de instrumentos es un mueble con puertas de cristal en el que se pueden ver la bandeja con botes	La vitrina de instrumentos es un mueble con puertas de cristal en el que se pueden ver la bandeja con botes	Ontología del mundo

ACCIÓN	COD-ACCION	INTENCION	ENTIDADES		PREGUNTAS_ALUMNOS	RESPUESTA A PREGUNTAS DE LOS ALUMNOS		ORIGEN RESP.
			ENTIDAD	VALOR		PISTA_NIVEL 1 (general)	PISTA_NIVEL 2 (específica)	
Toma la bandeja de tu inventario y suéltala en la cabina.	soltarbandeja	MENSAJE_ACCION_SIGUIENTE			¿Qué hago ahora? / No sé qué hacer / ¿Siguiente acción?	Toma la bandeja de tu inventario y suéltala en la cabina.	Toma la bandeja de tu inventario y suéltala en la cabina.	Nodo del diálogo
	soltarbandeja	FALLA_SOLTAR_OBJETO	objeto	bandeja con botes	No puedo soltar la bandeja	Intenta presionando el botón "Soltar".	Ubícate más cerca de la cabina de flujo y presiona el botón "Soltar"	Nodo del diálogo
Toca la bandeja para verter el contenido de la botella en los botes.	llenarbotes	MENSAJE_ACCION_SIGUIENTE			¿Qué hago ahora? / No sé qué hacer / ¿Siguiente acción?	Toca la bandeja para verter el contenido de la botella en los botes.	Toca la bandeja para verter el contenido de la botella en los botes.	Nodo del diálogo
Toca el esterilizador para esterilizar el instrumental.	esterilizar	MENSAJE_ACCION_SIGUIENTE			¿Qué hago ahora? / No sé qué hacer / ¿Siguiente acción?	Toca el esterilizador para esterilizar el instrumental.	Toca el esterilizador para esterilizar el instrumental.	Nodo del diálogo
	esterilizar	DESCRIPCION_MAQUINARIA	objeto	esterilizador	¿Cuál es el esterilizador?	El esterilizador es una caja blanca	El esterilizador es una caja blanca que está detrás de la caja de punta azul	Ontología del mundo
Si no lo tienes aún, ve al fitotrón y trae un bote con un árbol crecido.	entregarchopo	MENSAJE_ACCION_SIGUIENTE			¿Qué hago ahora? / No sé qué hacer / ¿Siguiente acción?	Si no lo tienes aún, ve al fitotrón y trae un bote con un árbol crecido.	Si no lo tienes aún, ve al fitotrón y trae un bote con un árbol crecido.	Nodo del diálogo

ACCIÓN	COD-ACCION	INTENCION	ENTIDADES		PREGUNTAS_ALUMNOS	RESPUESTA A PREGUNTAS DE LOS ALUMNOS		ORIGEN RESP.
			ENTIDAD	VALOR		PISTA_NIVEL 1 (general)	PISTA_NIVEL 2 (específica)	
	entregarchopo	UBICACION_SALA	sala	sala de fitotrón	¿Dónde está la sala de fitotrón?	La sala de fitotrón es otra sala del edificio. Sal de la sala en la que te encuentras y sigue las flechas.	La sala de fitotrón es otra sala del edificio. Sal de la sala en la que te encuentras y sigue las flechas.	Ontología del mundo
	entregarchopo	UBICACION_OBJETO	objeto	bote con árbol crecido	¿Dónde consigo un bote con árbol crecido? / ¿Y el bote con árbol crecido dónde la encuentro?	El bote con árbol está sobre las estantería.	El bote con árbol está sobre las estantería de la sala de fitotrón.	Ontología del mundo
Toma el bote con la planta que se encuentra en la carpeta de objetos de tu inventario haciendo doble click sobre ella, después llévala cerca de la cabina de flujo y suéltala ahí.	soltarchopocabina	MENSAJE_ACCION_SIGUIENTE			¿Qué hago ahora? / No sé qué hacer / ¿Siguiente acción?	Suelta el bote con la planta en la cabina de flujo.	Toma el bote con la planta que se encuentra en la carpeta de objetos de tu inventario haciendo doble click sobre ella, después llévala cerca de la cabina de flujo y suéltala ahí.	Nodo de diálogo
	soltarchopocabina	FALLA_SOLTAR_OBJETO	objeto	bote con arbol crecido	No puedo soltar el bote	Intenta presionando el botón "Soltar".	Ubícate más cerca de la cabina y presiona el botón "Soltar"	Nodo de diálogo

ACCIÓN	COD-ACCION	INTENCION	ENTIDADES		PREGUNTAS_ALUMNOS	RESPUESTA A PREGUNTAS DE LOS ALUMNOS		ORIGEN RESP.
			ENTIDAD	VALOR		PISTA_NIVEL 1 (general)	PISTA_NIVEL 2 (específica)	
Toca la bandeja con botes para cortar los tallos y generar explantos. Observa su aspecto haciendo zoom.	cortarplanta	MENSAJE_ACCION_SIGUIENTE			¿Qué hago ahora? / No sé qué hacer / ¿Siguiente acción?	Toca la bandeja con botes para cortar los tallos y generar explantos. Observa su aspecto haciendo zoom.	Toca la bandeja con botes para cortar los tallos y generar explantos. Observa su aspecto haciendo zoom.	Nodo de diálogo
Toca la bandeja para adjuntarla a tu mano.	adjuntarbandeja	MENSAJE_ACCION_SIGUIENTE			¿Qué hago ahora? / No sé qué hacer / ¿Siguiente acción?	Toca la bandeja para adjuntarla a tu mano.	Toca la bandeja para adjuntarla a tu mano.	Nodo de diálogo
Apaga la cabina y lleva la bandeja al Fitotrón y suéltala para colocarla en una de las repisas.	apagarcabina							
	soltarbandejacrecimiento	MENSAJE_ACCION_SIGUIENTE			¿Qué hago ahora? / No sé qué hacer / ¿Siguiente acción?	Lleva la bandeja al Fitotrón y suéltala para colocarla en una de las repisas.	Lleva la bandeja al Fitotrón y suéltala para colocarla en una de las repisas.	Nodo de diálogo
	soltarbandejacrecimiento	FALLA_SOLTAR_OBJETO	objeto	bandeja de crecimiento	No puedo soltar la bandeja	Intenta presionando el botón "Soltar".	Ubícate más cerca de una repisa y presiona el botón "Soltar"	Nodo de diálogo
Sal de la cámara y vuelve a entrar,	bloquearbasefitotro							

ACCIÓN	COD-ACCION	INTENCION	ENTIDADES		PREGUNTAS_ALUMNOS	RESPUESTA A PREGUNTAS DE LOS ALUMNOS		ORIGEN RESP.
			ENTIDAD	VALOR		PISTA_NIVEL 1 (general)	PISTA_NIVEL 2 (específica)	
habrá pasado una semana...observa de cerca tus plantas micropropagadas	crecerchopo	MENSAJE_ACCION_SIGUIENTE			¿Qué hago ahora? / No sé qué hacer / ¿Siguiente acción?	Sal de la cámara y vuelve a entrar, habrá pasado una semana...observa de cerca tus plantas micropropagadas.	Sal de la cámara y vuelve a entrar, habrá pasado una semana...observa de cerca tus plantas micropropagadas.	Nodo de diálogo
Vuelve a entrar y salir las veces necesarias para que termine de crecer la planta. Cada vez que entres representa aproximadamente a una semana de crecimiento.	fincrecimiento	MENSAJE_ACCION_SIGUIENTE			¿Qué hago ahora? / No sé qué hacer / ¿Siguiente acción?	Vuelve a entrar y salir las veces necesarias para que termine de crecer la planta. Cada vez que entres representa aproximadamente a una semana de crecimiento.	Vuelve a entrar y salir las veces necesarias para que termine de crecer la planta. Cada vez que entres representa aproximadamente a una semana de crecimiento.	Nodo de diálogo

Acciones bloqueantes/desbloqueantes (de objetos) que pueden generar o no preguntas por parte de los alumnos

Anexo B

Código fuente del archivo “elements.json” que contiene información sobre las clases e individuos que se crearon en el ontología del mundo para representar el laboratorio virtual de biotecnología.

```
[
  {
    "id": "Fridge",
    "commonData": {
      "ontologyClass": "Fridge",
      "spanishSentence": "la/ | está/",
      "spanishName": "nevera",
      "colorSalience": 0,
      "shapeSalience": 0
    },
    "instances": [
      {
        "instanceName": "Fridge_1",
        "uuid": "0524bd84-2178-43de-bdda-871b53b7f781"
      }
    ]
  },
  {
    "id": "Handwash",
    "commonData": {
      "ontologyClass": "Handwash",
      "spanishSentence": "el/los | está/están",
      "spanishName": "lavamanos",
      "colorSalience": 0.3,
      "shapeSalience": 1
    },
    "instances": [
      {
        "instanceName": "Handwash_1",
        "uuid": "e40394b2-a89d-4467-9811-8af3ea8d160c",
        "objectProperties": [
          {
            "name": "toTheRight",
            "value": "Fridge_1"
          }
        ]
      },
      {
        "instanceName": "Handwash_2",
        "uuid": "bd38e3f3-b492-4816-863c-32ca05bd6dca",
        "objectProperties": [
          {
            "name": "toTheRight",
            "value": "Fridge_1"
          }
        ]
      },
      {
        "instanceName": "Handwash_3",
        "uuid": "de652a72-8d98-4b77-ba52-3b9c3a8b1f80",
        "objectProperties": [
          {
            "name": "toTheRight",
            "value": "Fridge_1"
          }
        ]
      }
    ]
  },
  {
    "id": "Warning_Rack",
    "commonData": {
      "ontologyClass": "Rack",
      "spanishSentence": "el/los | está/están",
      "spanishName": "mueble amarillo",
      "colorSalience": 1,
      "shapeSalience": 0
    },
    "instances": [
      {
        "instanceName": "Warning_Rack_1",
        "uuid": "06d1b61f-5ddf-4aeb-ad2d-961db3adb195"
      },
      {
        "instanceName": "Warning_Rack_2",
        "uuid": "e72d5c41-6529-469a-8a0d-2ceb6e93fcc6"
      },
      {
        "instanceName": "Warning_Rack_3",
        "uuid": "3885b06a-0559-4625-842b-34631279db56"
      },
      {
        "instanceName": "Warning_Rack_4",
        "uuid": "39eac369-7054-4a5f-93e8-d962f823a617"
      }
    ]
  }
]
```

```

    }
  ],
  {
    "id": "Chemicals_Showcase",
    "commonData": {
      "ontologyClass": "Showcase",
      "descriptionG": "La vitrina de los
químicos es un mueble con puertas de
cristal en el que se pueden ver los
químicos.",
      "descriptionE": "La vitrina de los
químicos es un mueble con puertas de
cristal en el que se pueden ver los
químicos.",
      "spanishSentence": "la/ | está/",
      "spanishName": "vitrina de quimicos",
      "colorSalience": 0.5,
      "shapeSalience": 0
    },
    "instances": [
      {
        "instanceName":
"Chemicals_Showcase_1",
        "uuid": "4b1ba50e-e34a-4b61-8d70-
c248cd16c5b4",
        "objectProperties": [
          {
            "name": "toTheLeft",
            "value": "Warning_Rack_2"
          }
        ]
      },
      {
        "instanceName":
"Chemicals_Showcase_2",
        "uuid": "24c410fb-2f21-442d-ae49-
1bf69ccd763c",
        "objectProperties": [
          {
            "name": "toTheRight",
            "value": "Warning_Rack_3"
          },
          {
            "name": "below",
            "value": "Red_Box"
          }
        ]
      }
    ]
  },
  {
    "id": "Chemicals",
    "commonData": {
      "ontologyClass": "Chemical",
      "descriptionG": "Es un químico.",

```

```

      "descriptionE": "Es un químico."
    },
    "instances": [
      {
        "instanceName": "Chemicals_1",
        "uuid": "c624bb7d-784d-47da-84ff-
8f500f0ec89c",
        "spanishSentence": "el/los | está/están",
        "spanishName": "quimico",
        "objectProperties": [
          {
            "name": "isInsideOf",
            "value": "Chemicals_Showcase_1"
          }
        ]
      },
      {
        "instanceName": "Chemicals_2",
        "uuid": "b07d911b-f197-4035-aa99-
e75cad233559",
        "spanishSentence": "el/los | está/están",
        "spanishName": "quimico",
        "objectProperties": [
          {
            "name": "isInsideOf",
            "value": "Chemicals_Showcase_2"
          }
        ]
      },
      {
        "instanceName": "Agar_1",
        "uuid": "c624bb7d-784d-47da-84ff-
8f500f0ec89c",
        "spanishSentence": "el/ | está/",
        "spanishName": "agar",
        "objectProperties": [
          {
            "name": "isInsideOf",
            "value": "Chemicals_Showcase_1"
          }
        ]
      },
      {
        "instanceName": "Agar_2",
        "uuid": "b07d911b-f197-4035-aa99-
e75cad233559",
        "spanishSentence": "el/ | está/",
        "spanishName": "agar",
        "objectProperties": [
          {
            "name": "isInsideOf",
            "value": "Chemicals_Showcase_2"
          }
        ]
      }
    ]
  },
  {

```



```

      "instanceName": "Bisacrilamida_1",
      "uuid": "c624bb7d-784d-47da-84ff-8f500f0ec89c",
      "spanishSentence": "la/ | está/",
      "spanishName": "bisacrilamida",
      "objectProperties": [
        {
          "name": "isInsideOf",
          "value": "Chemicals_Showcase_1"
        }
      ]
    },
    {
      "instanceName": "Bisacrilamida_2",
      "uuid": "b07d911b-f197-4035-aa99-e75cad233559",
      "spanishSentence": "la/ | está/",
      "spanishName": "bisacrilamida",
      "objectProperties": [
        {
          "name": "isInsideOf",
          "value": "Chemicals_Showcase_2"
        }
      ]
    },
    {
      "instanceName": "Caseina_1",
      "uuid": "c624bb7d-784d-47da-84ff-8f500f0ec89c",
      "spanishSentence": "la/ | está/",
      "spanishName": "caseina",
      "objectProperties": [
        {
          "name": "isInsideOf",
          "value": "Chemicals_Showcase_1"
        }
      ]
    },
    {
      "instanceName": "Caseina_2",
      "uuid": "b07d911b-f197-4035-aa99-e75cad233559",
      "spanishSentence": "la/ | está/",
      "spanishName": "caseina",
      "objectProperties": [
        {
          "name": "isInsideOf",
          "value": "Chemicals_Showcase_2"
        }
      ]
    },
    {
      "instanceName":
"Murashige_y_skoog_1",
      "uuid": "c624bb7d-784d-47da-84ff-8f500f0ec89c",

```

```

      "spanishSentence": "el/ | está/",
      "spanishName": "murashige y skoog",
      "objectProperties": [
        {
          "name": "isInsideOf",
          "value": "Chemicals_Showcase_1"
        }
      ]
    },
    {
      "instanceName":
"Murashige_y_skoog_2",
      "uuid": "b07d911b-f197-4035-aa99-e75cad233559",
      "spanishSentence": "el/ | está/",
      "spanishName": "murashige y skoog",
      "objectProperties": [
        {
          "name": "isInsideOf",
          "value": "Chemicals_Showcase_2"
        }
      ]
    },
    {
      "instanceName": "Sucrose_1",
      "uuid": "c624bb7d-784d-47da-84ff-8f500f0ec89c",
      "spanishSentence": "la/ | está/",
      "spanishName": "sacarosa",
      "objectProperties": [
        {
          "name": "isInsideOf",
          "value": "Chemicals_Showcase_1"
        }
      ]
    },
    {
      "instanceName": "Sucrose_2",
      "uuid": "b07d911b-f197-4035-aa99-e75cad233559",
      "spanishSentence": "la/ | está/",
      "spanishName": "sacarosa",
      "objectProperties": [
        {
          "name": "isInsideOf",
          "value": "Chemicals_Showcase_2"
        }
      ]
    },
    {
      "id": "Ice_Machine",
      "commonData": {
        "ontologyClass": "IceMachine",
        "spanishSentence": "la/ | está/",

```

```

    "spanishName": "máquina de hielos",
    "colorSaliency": 0,
    "shapeSaliency": 0.5
  },
  "instances": [
    {
      "instanceName": "IceMachine_1",
      "uuid": "b04ec725-19d2-4429-a842-50dfc5cd36db"
    },
    {
      "instanceName": "IceMachine_2",
      "uuid": "eaa751b6-3fb1-4cd1-b560-9192348755cf"
    }
  ],
  {
    "id": "Stirrer_Table",
    "commonData": {
      "ontologyClass": "Table",
      "spanishSentence": "la/ | la/",
      "spanishName": "mesa del fondo",
      "colorSaliency": 0,
      "shapeSaliency": 0
    },
    "instances": [
      {
        "instanceName": "Stirrer_Table_1",
        "uuid": "681c75b3-72a6-4b9a-acb0-6f581e86d933"
      },
      {
        "instanceName": "Stirrer_Table_2",
        "uuid": "dfb1632a-c832-4a98-9b45-976169a07d04"
      },
      {
        "instanceName": "Stirrer_Table_3",
        "uuid": "1c0c585f-bd32-4650-8418-9b588c8bd7c4"
      },
      {
        "instanceName": "Stirrer_Table_4",
        "uuid": "1aace5a4-ce02-4144-8c6f-9df605558fee"
      }
    ]
  },
  {
    "id": "Stirrer",
    "commonData": {
      "ontologyClass": "Stirrer",
      "descriptionG": "El agitador tiene un disco giratorio en la parte superior.",

```

```

      "descriptionE": "El agitador tiene un disco giratorio en la parte superior.",
      "spanishSentence":
        "el/los | está/están | ningún | alguno",
      "spanishName": "agitador",
      "colorSaliency": 1,
      "shapeSaliency": 1,
      "owner": "Nadie"
    },
    "instances": [
      {
        "instanceName": "Agitador_1",
        "uuid": "9cf4e056-3498-4b1f-82db-1377107bd61e",
        "objectProperties": [
          {
            "name": "above",
            "value": "Stirrer_Table_1"
          },
          {
            "name": "toTheLeft",
            "value": "pHimetro_1"
          },
          {
            "name": "toTheLeft",
            "value": "IceMachine_1"
          }
        ]
      },
      {
        "instanceName": "Agitador_2",
        "uuid": "929140ca-6ab8-4a24-aa1c-90157437efa3",
        "objectProperties": [
          {
            "name": "above",
            "value": "Stirrer_Table_2"
          },
          {
            "name": "toTheLeft",
            "value": "pHimetro_2"
          },
          {
            "name": "toTheLeft",
            "value": "IceMachine_1"
          }
        ]
      },
      {
        "instanceName": "Agitador_3",
        "uuid": "a8f5f474-1af9-4bde-b9e6-b9278c89df0a",
        "objectProperties": [
          {
            "name": "above",
            "value": "Stirrer_Table_3"

```

```

    },
    {
      "name": "toTheLeft",
      "value": "pHimetro_3"
    },
    {
      "name": "toTheRight",
      "value": "IceMachine_2"
    }
  ]
},
{
  "instanceName": "Agitador_4",
  "uuid": "2894a53a-0715-4750-9d00-a2195954a721",
  "objectProperties": [
    {
      "name": "above",
      "value": "Stirrer_Table_4"
    },
    {
      "name": "toTheLeft",
      "value": "pHimetro_4"
    },
    {
      "name": "toTheRight",
      "value": "IceMachine_2"
    }
  ]
}
],
{
  "id": "pHimetro",
  "commonData": {
    "ontologyClass": "PHMetro",
    "descriptionG": "El ph-metro tiene la etiqueta \"pH-metro\"",
    "descriptionE": "El ph-metro tiene la etiqueta \"pH-metro\"",
    "spanishSentence": "el/ | está/ | ningún | alguno",
    "spanishName": "ph-metro",
    "colorSalience": 1,
    "shapeSalience": 1,
    "owner": "Nadie"
  },
  "instances": [
    {
      "instanceName": "pHimetro_1",
      "uuid": "8cb48f44-ab58-4e1e-994b-c7c36b13213c",
      "objectProperties": [
        {
          "name": "above",
          "value": "Stirrer_Table_1"
        },
        {
          "name": "toTheLeft",
          "value": "pHimetro_3"
        },
        {
          "name": "toTheRight",
          "value": "IceMachine_2"
        }
      ]
    },
    {
      "instanceName": "pHimetro_2",
      "uuid": "cea5b8fd-6551-4878-b84a-3880590b8edb",
      "objectProperties": [
        {
          "name": "above",
          "value": "Stirrer_Table_2"
        },
        {
          "name": "toTheRight",
          "value": "Agitador_2"
        }
      ]
    },
    {
      "instanceName": "pHimetro_3",
      "uuid": "5c804d3d-9d2a-4668-8983-09dfe42166af",
      "objectProperties": [
        {
          "name": "above",
          "value": "Stirrer_Table_3"
        },
        {
          "name": "toTheRight",
          "value": "Agitador_3"
        }
      ]
    },
    {
      "instanceName": "pHimetro_4",
      "uuid": "9923ac5a-d90f-4214-a51b-1704d6d49ef8",
      "objectProperties": [
        {
          "name": "above",
          "value": "Stirrer_Table_4"
        },
        {
          "name": "toTheRight",
          "value": "Agitador_4"
        }
      ]
    }
  ]
},
{
  "id": "Glasses_Showcase",

```

```

    "commonData": {
      "ontologyClass": "Showcase",
      "descriptionG": "La vitrina de los vasos
es un mueble con puertas de cristal en el
que se pueden ver los vasos.",
      "descriptionE": "La vitrina de los vasos
es un mueble con puertas de cristal en el
que se pueden ver los vasos.",
      "spanishSentence": "la/las | está/están",
      "spanishName": "vitrina de vasos",
      "colorSalience": 0.5,
      "shapeSalience": 0
    },
    "instances": [
      {
        "instanceName":
"Glasses_Showcase_1",
        "uuid": "240441ff-44e3-4c72-9c05-
6a80c4ce9f34"
      },
      {
        "instanceName":
"Glasses_Showcase_2",
        "uuid": "a6b3b9c1-3fe5-4904-b71a-
0ecb3b0ac012"
      },
      {
        "instanceName":
"Glasses_Showcase_3",
        "uuid": "00717381-5142-4e71-b55b-
176ca1f06961"
      }
    ],
    {
      "id": "Glass",
      "commonData": {
        "ontologyClass": "Glass",
        "spanishSentence": "el/los | está/están",
        "spanishName": "vaso"
      },
      "instances": [
        {
          "instanceName": "Glass_1",
          "uuid": "e3cc8c3b-c221-4154-9a6d-
fde5aca9de93",
          "objectProperties": [
            {
              "name": "isInsideOf",
              "value": "Glasses_Showcase_1"
            }
          ]
        },
        {
          "instanceName": "Glass_2",

```

```

        "uuid": "43ed144b-fdd1-435b-bdf7-
60fe820b9a44",
        "objectProperties": [
          {
            "name": "isInsideOf",
            "value": "Glasses_Showcase_2"
          }
        ]
      },
      {
        "instanceName": "Glass_3",
        "uuid": "23632db2-0847-48a6-ab47-
1353153b6645",
        "objectProperties": [
          {
            "name": "isInsideOf",
            "value": "Glasses_Showcase_3"
          }
        ]
      }
    ],
    {
      "id": "Bottle",
      "commonData": {
        "ontologyClass": "Objects",
        "spanishSentence": "la/las | está/están",
        "spanishName": "botella"
      },
      "instances": [
        {
          "instanceName": "Bottle_1",
          "uuid": "e3cc8c3b-c221-4154-9a6d-
fde5aca9de93",
          "objectProperties": [
            {
              "name": "isInsideOf",
              "value": "Glasses_Showcase_1"
            }
          ]
        },
        {
          "instanceName": "Bottle_2",
          "uuid": "43ed144b-fdd1-435b-bdf7-
60fe820b9a44",
          "objectProperties": [
            {
              "name": "isInsideOf",
              "value": "Glasses_Showcase_2"
            }
          ]
        },
        {
          "instanceName": "Bottle_3",
          "uuid": "23632db2-0847-48a6-ab47-
1353153b6645",

```

```

      "objectProperties": [
        {
          "name": "isInsideOf",
          "value": "Glasses_Showcase_3"
        }
      ]
    },
    {
      "id": "ValvulaFregadero",
      "commonData": {
        "ontologyClass": "Sink",
        "spanishSentence":
"el/los | está/están | ningún | alguno",
        "spanishName": "fregadero",
        "colorSalience": 0.5,
        "shapeSalience": 0.5,
        "owner": "Nadie"
      },
      "instances": [
        {
          "instanceName":
"ValvulaFregadero_2",
          "uuid": "1167846b-d2d2-4546-aebd-
f4924fd06e94",
          "objectProperties": [
            {
              "name": "atOneEndOf",
              "value": "Work_Table_1"
            }
          ]
        },
        {
          "instanceName":
"ValvulaFregadero_1",
          "uuid": "6c668ad2-88fd-4e7a-8bc7-
fec886ef07e3",
          "objectProperties": [
            {
              "name": "atOneEndOf",
              "value": "Work_Table_2"
            }
          ]
        }
      ],
      {
        "id": "Tap",
        "commonData": {
          "ontologyClass": "Tap",
          "spanishSentence": "el/los | está/están",
          "descriptionG": "El grifo tiene la etiqueta
\"Grifo de Agua Destilada\"",
          "descriptionE": "El grifo tiene la etiqueta
\"Grifo de Agua Destilada\"",
          "spanishName": "grifo",
          "colorSalience": 0.2,
          "shapeSalience": 1
        },
        "instances": [
          {
            "instanceName": "Tap_2",
            "uuid": "afd4ac8b-aa3d-4247-aeac-
bad8d2b57946",
            "objectProperties": [
              {
                "name": "above",
                "value": "ValvulaFregadero_2"
              }
            ]
          },
          {
            "instanceName": "Tap_1",
            "uuid": "d10a9453-731c-4fd3-8b25-
b8235419a8d3",
            "objectProperties": [
              {
                "name": "above",
                "value": "ValvulaFregadero_1"
              }
            ]
          }
        ],
        {
          "id": "Work_Table",
          "commonData": {
            "ontologyClass": "Table",
            "spanishSentence": "la/ | la/",
            "spanishName": "mesa central",
            "colorSalience": 0,
            "shapeSalience": 0
          },
          "instances": [
            {
              "instanceName": "Work_Table_1",
              "scale": {
                "Item1": 6.8893,
                "Item2": 0.800,
                "Item3": 2.000
              },
              "position": {
                "Item1": 106.8725,
                "Item2": 93.56381,
                "Item3": 23.25030
              },
              "orientation": {
                "Item1": 0.00,
                "Item2": 0.00,
                "Item3": 90.00
              }
            }
          ]
        }
      ]
    }
  ]
}

```

```

    },
    {
      "instanceName": "Work_Table_2",
      "scale": {
        "Item1": 2.0,
        "Item2": 6.8893,
        "Item3": 0.8000
      },
      "position": {
        "Item1": 106.8725,
        "Item2": 98.36636,
        "Item3": 23.25030
      },
      "orientation": {
        "Item1": 0.00,
        "Item2": 0.00,
        "Item3": 90.00
      }
    }
  ],
  {
    "id": "Bata",
    "commonData": {
      "ontologyClass": "Objects",
      "spanishSentence": "la/ | está/",
      "spanishName": "bata",
      "colorSalience": 0,
      "shapeSalience": 0.5
    },
    "instances": [
      {
        "instanceName": "Bata",
        "uuid": "37f68e13-ac9d-4b67-9aac-f4a3c7111361"
      }
    ]
  },
  {
    "id": "Red_Box",
    "commonData": {
      "ontologyClass": "Objects",
      "spanishSentence": "la/ | está/",
      "spanishName": "caja roja",
      "colorSalience": 1,
      "shapeSalience": 0
    },
    "instances": [
      {
        "instanceName": "Red_Box",
        "uuid": "03cefa8d-a6ba-4aba-aa18-3fed61ef8db7"
      }
    ]
  },
  {
    "id": "Autoclave",
    "commonData": {
      "ontologyClass": "Autoclave",
      "spanishSentence": "el/los | está/están | ningún | alguno",
      "spanishName": "autoclave",
      "descriptionG": "El autoclave es una maquinaria con forma de olla de presión del tamaño de una lavadora",
      "descriptionE": "El autoclave es una maquinaria con forma de olla de presión del tamaño de una lavadora",
      "colorSalience": 1,
      "shapeSalience": 0.5,
      "owner": "Nadie"
    },
    "instances": [
      {
        "instanceName": "Autoclave_1",
        "uuid": "f47324f3-db38-4a90-9a52-5516298a51b2"
      },
      {
        "instanceName": "Autoclave_2",
        "uuid": "c89189fe-d6bf-4439-a9aa-3f5cb946a399"
      },
      {
        "instanceName": "Autoclave_3",
        "uuid": "457d862e-a213-4347-9f3f-e4abd4fdb67a"
      },
      {
        "instanceName": "Autoclave_4",
        "uuid": "b0ff0058-10f3-4621-909a-6c0e2c25cd6b"
      },
      {
        "instanceName": "Autoclave_5",
        "uuid": "020afe34-9ab7-4169-b52c-d728d4b492d0"
      }
    ]
  },
  {
    "id": "Cabina_de_flujo",
    "commonData": {
      "ontologyClass": "FlowCabin",
      "spanishSentence": "la/las | está/están | ninguna | alguna",
      "spanishName": "cabina de flujo",
      "descriptionG": "La cabina es una maquinaria con aspecto de estación de trabajo.",

```

```

    "descriptionE": "La cabina es una
maquinaria con aspecto de estación de
trabajo.",
    "colorSalience": 0.5,
    "shapeSalience": 1,
    "owner": "Nadie"
  },
  "instances": [
    {
      "instanceName": "CabinaFlujo_1",
      "uuid": "45f9c3ba-39b8-4318-b973-
d924414ea53d"
    },
    {
      "instanceName": "CabinaFlujo_2",
      "uuid": "9bc24799-8d67-462a-9182-
d43b3db7232a"
    },
    {
      "instanceName": "CabinaFlujo_3",
      "uuid": "647f30a6-d373-4f9f-93bd-
a8c73c4e8fc4"
    },
    {
      "instanceName": "CabinaFlujo_4",
      "uuid": "1e867d5a-595a-42e3-9003-
25b8d2448667"
    },
    {
      "instanceName": "CabinaFlujo_5",
      "uuid": "67ab4890-f78e-4439-8f3b-
753e5dd58b4b"
    },
    {
      "instanceName": "CabinaFlujo_6",
      "uuid": "7f5dc72a-5c2d-49d0-98d8-
946f782f7e76"
    },
    {
      "instanceName": "CabinaFlujo_7",
      "uuid": "b170a7a3-054f-4034-aee5-
90b5abea79de"
    },
    {
      "instanceName": "CabinaFlujo_8",
      "uuid": "7fee7572-8e5d-4b64-bfbf-
464932352430"
    },
    {
      "instanceName": "CabinaFlujo_9",
      "uuid": "3eb79748-bfd8-41d9-ad9a-
71df4ec9fd3a"
    },
    {
      "instanceName": "CabinaFlujo_10",

```

```

    "uuid": "ccfa38c2-50cc-41eb-b6bd-
402a21696a42"
  },
  {
    "instanceName": "CabinaFlujo_11",
    "uuid": "f626f634-fb64-42c6-87a1-
41ab3c49ba1b"
  },
  {
    "instanceName": "CabinaFlujo_12",
    "uuid": "878f045f-0b65-41a6-a1ca-
6d01f3fe5b68"
  },
  {
    "instanceName": "CabinaFlujo_13",
    "uuid": "e67fc42b-7c94-47af-b4e0-
6bd01fcf18b1"
  },
  {
    "instanceName": "CabinaFlujo_14",
    "uuid": "a455dbb0-054d-4ba1-b6a0-
95a5ef358afe"
  },
  {
    "instanceName": "CabinaFlujo_15",
    "uuid": "52699972-1279-45fd-aa03-
37f525c89d59"
  },
  {
    "instanceName": "CabinaFlujo_16",
    "uuid": "f0778dc8-d7ee-4acc-9297-
e3ca9de46ecc"
  }
],
{
  "id": "Instrument_Showcase",
  "commonData": {
    "ontologyClass": "InstrumentShowcase",
    "descriptionG": "La vitrina de
instrumentos es un mueble con puertas de
crystal en el que se pueden ver la bandeja
con botes.",
    "descriptionE": "La vitrina de
instrumentos es un mueble con puertas de
crystal en el que se pueden ver la bandeja
con botes.",
    "spanishSentence": "la/las | está/están",
    "spanishName": "vitrina de
instrumentos",
    "colorSalience": 0.5,
    "shapeSalience": 0
  },
  "instances": [
    {

```

```

      "instanceName":
"Instrument_Showcase_1",
      "uuid": "240441ff-44e3-4c72-9c05-
6a80c4ce9f34"
    },
    {
      "instanceName":
"Instrument_Showcase_2",
      "uuid": "a6b3b9c1-3fe5-4904-b71a-
0ecb3b0ac012"
    },
    {
      "instanceName":
"Instrument_Showcase_3",
      "uuid": "00717381-5142-4e71-b55b-
176ca1f06961"
    },
    {
      "instanceName":
"Instrument_Showcase_4",
      "uuid": "db7ded00-c659-4e7c-869d-
eccb3b9d9a2f"
    }
  ],
  {
    "id": "Bandeja_con_botes",
    "commonData": {
      "ontologyClass": "GlassesTray",
      "spanishSentence": "la/las | está/están",
      "spanishName": "bandeja con botes"
    },
    "instances": [
      {
        "instanceName":
"Bandeja_con_botes_1",
        "uuid": "e87f1b36-3111-43ee-a080-
87ca8215403c",
        "objectProperties": [
          {
            "name": "isInsideOf",
            "value": "Instrument_Showcase_1"
          }
        ]
      },
      {
        "instanceName":
"Bandeja_con_botes_2",
        "uuid": "1face9c9-6bd2-4942-9619-
558e1773a682",
        "objectProperties": [
          {
            "name": "isInsideOf",
            "value": "Instrument_Showcase_2"
          }
        ]
      }
    ]
  }

```

```

    },
    {
      "instanceName":
"Bandeja_con_botes_3",
      "uuid": "075c2cf4-a6ba-4b47-9192-
2beea316631e",
      "objectProperties": [
        {
          "name": "isInsideOf",
          "value": "Instrument_Showcase_3"
        }
      ]
    },
    {
      "instanceName":
"Bandeja_con_botes_4",
      "uuid": "d2198a34-ea74-465c-9baa-
d73c6afc51d2",
      "objectProperties": [
        {
          "name": "isInsideOf",
          "value": "Instrument_Showcase_4"
        }
      ]
    }
  ],
  {
    "id": "Bote_con_arbol_crecido",
    "commonData": {
      "ontologyClass":
"GlassWithGrownTree",
      "spanishSentence": "el/los | está/están",
      "spanishName": "bote con arbol crecido"
    },
    "instances": [
      {
        "instanceName":
"Bote_con_arbol_crecido_1",
        "uuid": "1e92e1d3-1f8e-42ec-a48e-
1222bd4c93c0"
      }
    ],
    {
      "id": "Cabin_Fridge",
      "commonData": {
        "ontologyClass": "CabinFridge",
        "descriptionG": "El frigorífico es la parte
de abajo de la nevera.",
        "descriptionE": "El frigorífico es la parte
de abajo de la nevera.",
        "spanishSentence": "el/los | está/están",
        "spanishName": "frigorifico",
        "colorSalience": 0,
        "shapeSalience": 0
      }
    }
  }

```



```

    },
    "instances": [
      {
        "instanceName": "Cabin_Fridge_1",
        "uuid": "c48a2703-bf84-4677-b4bf-86d74e4b38af"
      },
      {
        "instanceName": "Cabin_Fridge_2",
        "uuid": "c5851927-4b7c-4412-8d54-21da21804471"
      }
    ],
    {
      "id": "Sterilizer",
      "commonData": {
        "ontologyClass": "Sterilizer",
        "descriptionG": "El esterilizador es una caja blanca.",
        "descriptionE": "El esterilizador es una caja blanca.",
        "spanishSentence": "el/los | está/están",
        "spanishName": "esterilizador",
        "colorSalience": 0,
        "shapeSalience": 0
      },
      "instances": [
        {
          "instanceName": "Sterilizer_1",
          "uuid": "8f360389-487f-43d2-b108-fcdb686228a0",
          "objectProperties": [
            {
              "name": "behind",
              "value": "blue_tip_box_1"
            }
          ]
        },
        {
          "instanceName": "Sterilizer_2",
          "uuid": "e384aa09-7824-4d8b-bb26-87ca6c70f914",
          "objectProperties": [
            {
              "name": "toTheRight",
              "value": "black_box_2"
            },
            {
              "name": "behind",
              "value": "blue_tip_box_2"
            }
          ]
        },
        {
          "instanceName": "Sterilizer_3",
          "uuid": "f9f39d1f-246b-4ae7-9c29-3f3bd97925cc",
          "objectProperties": [
            {
              "name": "behind",
              "value": "blue_tip_box_3"
            }
          ]
        },
        {
          "instanceName": "Sterilizer_4",
          "uuid": "6cf91bbc-0494-41d9-a1c3-304dd9d33fbe",
          "objectProperties": [
            {
              "name": "behind",
              "value": "blue_tip_box_4"
            }
          ]
        },
        {
          "instanceName": "Sterilizer_5",
          "uuid": "d6c6b937-3ad5-4c98-af52-d5c6cb3237ae",
          "objectProperties": [
            {
              "name": "behind",
              "value": "blue_tip_box_5"
            }
          ]
        },
        {
          "instanceName": "Sterilizer_6",
          "uuid": "8564ae76-3b30-46fc-b8b6-a155a93003bf",
          "objectProperties": [
            {
              "name": "behind",
              "value": "blue_tip_box_6"
            }
          ]
        },
        {
          "instanceName": "Sterilizer_7",
          "uuid": "0c65f1fc-a436-4b56-b159-d35c52a0c59a",
          "objectProperties": [
            {
              "name": "behind",
              "value": "blue_tip_box_7"
            }
          ]
        },
        {
          "instanceName": "Sterilizer_8",

```

```

    "uuid": "0499c309-8b12-4e1d-82f1-
f27d05a79ad9",
    "objectProperties": [
      {
        "name": "behind",
        "value": "blue_tip_box_8"
      }
    ]
  },
  {
    "instanceName": "Sterilizer_9",
    "uuid": "c2ba7a5a-80d3-4c02-b329-
1ff2175de856",
    "objectProperties": [
      {
        "name": "behind",
        "value": "blue_tip_box_9"
      }
    ]
  },
  {
    "instanceName": "Sterilizer_10",
    "uuid": "522005a9-99de-4422-a863-
545118332d07",
    "objectProperties": [
      {
        "name": "behind",
        "value": "blue_tip_box_10"
      }
    ]
  },
  {
    "instanceName": "Sterilizer_11",
    "uuid": "92a04c04-50a0-4caf-882d-
4b9e249d858e",
    "objectProperties": [
      {
        "name": "behind",
        "value": "blue_tip_box_11"
      }
    ]
  },
  {
    "instanceName": "Sterilizer_12",
    "uuid": "190dde0-e39e-4034-b42f-
f953639c9247",
    "objectProperties": [
      {
        "name": "behind",
        "value": "blue_tip_box_12"
      }
    ]
  },
  {
    "instanceName": "Sterilizer_13",

```

```

    "uuid": "f2f57fd7-02ae-48d3-84ee-
617d5fc0b343",
    "objectProperties": [
      {
        "name": "behind",
        "value": "blue_tip_box_13"
      }
    ]
  },
  {
    "instanceName": "Sterilizer_14",
    "uuid": "097dd95c-5408-4a37-b63f-
6c0573930930",
    "objectProperties": [
      {
        "name": "behind",
        "value": "blue_tip_box_14"
      }
    ]
  },
  {
    "instanceName": "Sterilizer_15",
    "uuid": "003cd804-3e36-42c6-b281-
cecdf61b9c65",
    "objectProperties": [
      {
        "name": "behind",
        "value": "blue_tip_box_15"
      }
    ]
  },
  {
    "instanceName": "Sterilizer_16",
    "uuid": "c4c64a37-5d8a-4f67-b88d-
d22841dc1119",
    "objectProperties": [
      {
        "name": "behind",
        "value": "blue_tip_box_16"
      }
    ]
  },
  {
    "id": "Black_Box",
    "commonData": {
      "ontologyClass": "BlackBox",
      "spanishSentence": "la / | está /",
      "spanishName": "caja negra",
      "colorSalience": 1,
      "shapeSalience": 0
    },
    "instances": [
      {
        "instanceName": "black_box_2",

```

```

      "uuid": "e384aa09-7824-4d8b-bb26-
87ca6c70f914"
    }
  ],
  {
    "id": "blue_tip_box",
    "commonData": {
      "ontologyClass": "BlueTipBox",
      "descriptionG": "La caja de puntas
azules es una caja azul.",
      "descriptionE": "La caja de puntas azules
es una caja azul.",
      "spanishSentence": "la / | está /",
      "spanishName": "caja de puntas azules",
      "colorSalience": 0.75,
      "shapeSalience": 0
    },
    "instances": [
      {
        "instanceName": "blue_tip_box_1",
        "uuid": "c777cea0-1f10-4081-a4b8-
ed27a23da55d",
        "objectProperties": [
          {
            "name": "inFrontOf",
            "value": "Sterilizer_1"
          }
        ]
      },
      {
        "instanceName": "blue_tip_box_2",
        "uuid": "c1559aba-452e-426b-ade8-
e6b8af0cac5f",
        "objectProperties": [
          {
            "name": "inFrontOf",
            "value": "Sterilizer_2"
          }
        ]
      },
      {
        "instanceName": "blue_tip_box_3",
        "uuid": "104eef18-1637-4294-8ff4-
cacbed50ac37",
        "objectProperties": [
          {
            "name": "inFrontOf",
            "value": "Sterilizer_3"
          }
        ]
      },
      {
        "instanceName": "blue_tip_box_4",
        "uuid": "f4da147b-2c2f-4a06-86c2-
4f6bcbb0b285",

```

```

      "objectProperties": [
        {
          "name": "inFrontOf",
          "value": "Sterilizer_4"
        }
      ],
      {
        "instanceName": "blue_tip_box_5",
        "uuid": "3fb2f187-98eb-42f4-938b-
8f9f0b2d85fd",
        "objectProperties": [
          {
            "name": "inFrontOf",
            "value": "Sterilizer_5"
          }
        ]
      },
      {
        "instanceName": "blue_tip_box_6",
        "uuid": "c7e96df5-d20f-440b-8198-
f39876dfd228",
        "objectProperties": [
          {
            "name": "inFrontOf",
            "value": "Sterilizer_6"
          }
        ]
      },
      {
        "instanceName": "blue_tip_box_7",
        "uuid": "429e823a-f04c-4407-8cec-
8af132116592",
        "objectProperties": [
          {
            "name": "inFrontOf",
            "value": "Sterilizer_7"
          }
        ]
      },
      {
        "instanceName": "blue_tip_box_8",
        "uuid": "9dcead2e-a9ff-426e-93f0-
e62664b97f1c",
        "objectProperties": [
          {
            "name": "inFrontOf",
            "value": "Sterilizer_8"
          }
        ]
      },
      {
        "instanceName": "blue_tip_box_9",
        "uuid": "d9c97651-2968-408d-a211-
70715937f517",
        "objectProperties": [

```

```

        {
            "name": "inFrontOf",
            "value": "Sterilizer_9"
        }
    ],
    {
        "instanceName": "blue_tip_box_10",
        "uuid": "41b945ec-d552-4243-bf92-f4f8d8bad999",
        "objectProperties": [
            {
                "name": "inFrontOf",
                "value": "Sterilizer_10"
            }
        ]
    },
    {
        "instanceName": "blue_tip_box_11",
        "uuid": "9037e49b-84ea-4d25-a426-235adf9d30e3",
        "objectProperties": [
            {
                "name": "inFrontOf",
                "value": "Sterilizer_11"
            }
        ]
    },
    {
        "instanceName": "blue_tip_box_12",
        "uuid": "e81efd03-02cb-4def-917b-61ed7cffe2c",
        "objectProperties": [
            {
                "name": "inFrontOf",
                "value": "Sterilizer_12"
            }
        ]
    },
    {
        "instanceName": "blue_tip_box_13",
        "uuid": "375ade9b-fc78-4dd9-932a-bb7697ebfbc3",
        "objectProperties": [
            {
                "name": "inFrontOf",
                "value": "Sterilizer_13"
            }
        ]
    },
    {
        "instanceName": "blue_tip_box_14",
        "uuid": "81e0b488-e340-4f40-a69f-4f12d4cc1385",
        "objectProperties": [
            {
                "name": "inFrontOf",
                "value": "Sterilizer_14"
            }
        ]
    },
    {
        "instanceName": "blue_tip_box_15",
        "uuid": "95607587-eaa9-4ac3-bca8-eca759810547",
        "objectProperties": [
            {
                "name": "inFrontOf",
                "value": "Sterilizer_15"
            }
        ]
    },
    {
        "instanceName": "blue_tip_box_16",
        "uuid": "1d43a677-8afd-42cf-92ec-f8c2cd7c51f2",
        "objectProperties": [
            {
                "name": "inFrontOf",
                "value": "Sterilizer_16"
            }
        ]
    }
]

```