

RESULTADOS REVEAL

Editor de Entornos Virtuales para Entrenamiento de Algoritmos de
Visión Artificial

En Gijón , a 31 de Diciembre de 2018

1. MEMORIA TÉCNICA

Introducción

El proyecto REVEAL (Editor de Entornos Virtuales para Entrenamiento de Algoritmos de Visión) ha sido ejecutado por Fundación CTIC – Centro Tecnológico entre el 1 de enero de 2018 y el 31 de diciembre de 2018. Por tanto, esta memoria resume la ejecución de todos los trabajos del proyecto.

El proyecto REVEAL plantea el desarrollo de una herramienta que permita aprovechar las ventajas que ofrecen las actuales tecnologías de Realidad Virtual para la creación de simulaciones basadas en escenarios industriales, que se grabarán en formato de secuencias de imágenes automáticamente etiquetadas y preparadas para el entrenamiento de algoritmos de visión artificial.

La ventaja que proporciona el proyecto al utilizar entornos de simulación virtuales, se fundamenta en posibilitar la toma de imágenes desde cualquier punto de vista posible, mientras se mantiene el total conocimiento y control de lo que sucede en la escena en cada momento. Así, se obtendrán vídeos cuyo contenido será consumido por algoritmos de aprendizaje automático (deep learning) a aplicar posteriormente sobre el escenario real. También se podrán utilizar para validar que su funcionamiento es el adecuado.

REVEAL además ofrece la posibilidad de configurar los escenarios y simulaciones para cada caso particular, pudiendo simular incluso instalaciones que aún no existan. Esto se traduce en una optimización de costes en tiempos e infraestructuras, al aportar grandes baterías de datos con diferentes condiciones como punto de partida, así como en un incremento de la calidad de los resultados obtenidos.

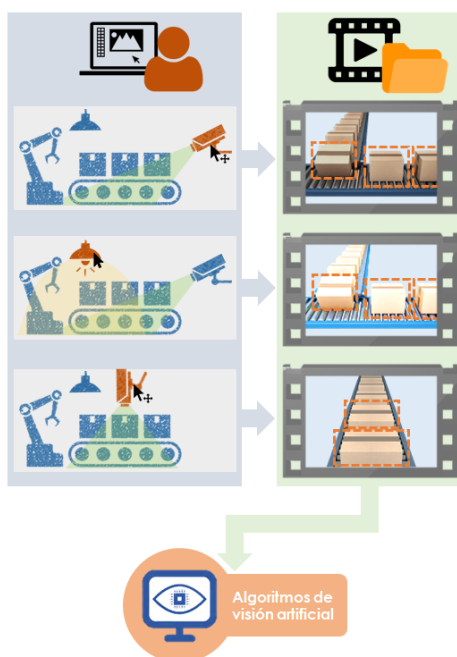


Figura 1 – Esquema conceptual de la herramienta REVEAL.

La ejecución del proyecto REVEAL se ha dividido en cinco Hitos o paquetes de trabajo, que se estructuran en tres fases según se indica a continuación:

- Fase 1: Diseño
 - Hito 1: Análisis del problema y diseño de la solución.
- Fase 2: Desarrollo:
 - Hito 2: Repositorio de objetos 3D.
 - Hito 3: Framework para la creación de entornos virtuales configurables.
 - Hito 4: Módulo para registro de vídeos con contenidos etiquetados.
- Fase 3: Validación:
 - Hito 5: Plan de pruebas y validación.

A continuación, se describen las tareas realizadas en cada uno de los hitos de trabajo mencionados anteriormente y los resultados conseguidos.

Hito 1: Análisis del problema y diseño de la solución

El objetivo de este hito consiste en realizar un estudio inicial de diversos casos reales del ámbito industrial para los que sea necesario desarrollar algoritmos de visión artificial que tengan que estar alimentados por un conjunto de datos extenso. Este hito se ha desarrollado a través de 3 tareas:

- T1.1: Análisis del problema y definición de caso de uso.
- T1.2: Catálogo de requisitos.
- T1.3: Arquitectura de la solución.

T1.1: Análisis del problema y definición de caso de uso

El sector industrial siempre está demandando avances y mejoras que sirvan para aumentar su competitividad en un ámbito en el que cualquier paso por delante de la competencia puede ser crítico para la supervivencia de una empresa. La Visión Artificial ha tenido un papel importantísimo en la industria de fabricación desde hace años, y su versatilidad la hace idónea para el control de procesos de todo tipo; desde la detección de incidencias de seguridad para los trabajadores hasta el control de calidad de los productos.

Generalmente, existen soluciones diseñadas para casos específicos y ya estandarizados, como es el conteo objetos en una cinta transportadora, la lectura de etiquetas o la detección de niveles de llenado, por poner varios ejemplos. Es entonces cuando se observa que, si se quisiera realizar el control de un escenario para el que no hay una solución existente en el mercado o esta tiene un coste prohibitivo para una determinada empresa, se evidencia la necesidad de una herramienta que permita desarrollar soluciones concretas y personalizadas para problemáticas específicas.

En el mercado existen diferentes *frameworks* para el entrenamiento de sistemas Visión Artificial, los cuales partiendo de un gran número de imágenes correctamente etiquetadas pueden llegar a generar modelos que permitan reconocer en nuevas imágenes aquello para lo que fueron entrenados, utilizando

técnicas de *machine learning* o *deep learning*. El problema al tratar de aplicar este proceso a los entornos industriales radica en que es muy difícil encontrar conjuntos de imágenes etiquetados convenientemente o bien realizar esta captura de imágenes (cumpliendo ciertos criterios necesarios para poder ser utilizadas con el objeto de un entrenamiento) de forma segura y sin detener líneas de producción que puedan acarrear un coste a la empresa.

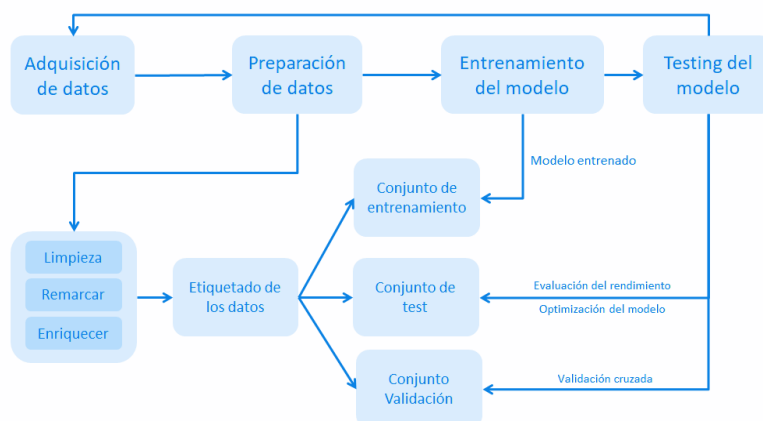


Figura 2 – Flujo de trabajo típico del aprendizaje automático

Así, el desarrollo y la aplicación de técnicas de Visión Artificial resultan costosos, especialmente a medida que los requerimientos se vuelven más complejos, ya se trate del procesamiento de un gran volumen de imágenes, la urgencia de obtener resultados en tiempo real, o bien la exigencia de obtención de tasas de error mínimas; requisitos, por lo general, muy deseables en el ámbito de los procesos industriales. Automoción, farmacia y alimentación son algunos de los ejemplos más relevantes del uso, cada vez más extendido, de este tipo de soluciones donde la fiabilidad y la precisión son claves; ya que un error en el control de calidad de los productos que estas industrias fabrican puede tener una repercusión crítica en la seguridad o salud del consumidor.

Los datasets para entrenamiento de algoritmos de Visión Artificial.

En la aproximación de sistemas de Visión Artificial mediante *deep learning* existe una correlación directa entre la cantidad de datos usada para el entrenamiento y el rendimiento obtenido, por lo que para obtener el adecuado nivel de calidad en las respuestas obtenidas se hace imprescindible recopilar la mayor cantidad de imágenes posible para el entrenamiento de los algoritmos. Esta batería de imágenes debe recoger con exhaustividad no sólo el comportamiento habitual de la instalación a monitorizar; sino también todo el abanico de posibles condiciones a los que el entorno podría verse sometido, con el fin de proporcionar resultados fiables bajo cualquier circunstancia potencial. La adquisición de imágenes de la instalación durante estados excepcionales puede ser, según el condicionante particular, complicada, peligrosa o, incluso, directamente imposible. Otra gran dificultad de la recopilación de estas baterías de imágenes radica en la necesidad de introducirlas al sistema debidamente etiquetadas según su contenido; lo que requiere de gran cantidad de operaciones manuales en las cuales se ha de invertir una gran cantidad de tiempo (y por tanto, de dinero) que será mayor conforme la batería de entrenamiento

aumente en volumen, lo cual favorecerá la calidad de los resultados obtenidos por los algoritmos.

Teniendo esto en cuenta, y sabiendo que las imágenes a consumir para el entrenamiento deben estar correctamente anotadas y etiquetadas, podemos hacernos una idea del esfuerzo económico que supone generar estos conjuntos de datos mediante el ejemplo del *dataset* “Cityscapes”¹, usado para entrenar coches autónomos. El etiquetado de una sola imagen de este conjunto requiere una media de hora y media de trabajo de una persona. Conociendo que el total de imágenes del conjunto es de aproximadamente 5.000, se puede calcular que son necesarias unas 7.500 horas de trabajo para preparar el *dataset* completo. Si consideramos cada hora con un coste de 7 euros (aplicando el salario mínimo interprofesional), correspondería un gasto mínimo de 52.500 euros únicamente para el preprocesamiento de los datos con los que se entrenará el sistema de Visión Artificial. Un dato revelador a este respecto es que la mayoría de compañías que trabajan en la fabricación de coches autónomos tienen en plantilla cientos e incluso miles de trabajadores encargados de etiquetar imágenes².

Se concluye de esta forma que los *datasets* de entrenamiento de gran calidad para *machine learning* y *deep learning* son, normalmente, difíciles y costosos de producir debido a la gran cantidad de tiempo necesario para etiquetar los datos. Es por ello que se evidencia la necesidad de encontrar una alternativa que permita llevar a cabo el proceso de una forma más inmediata y asequible; tal como se desprende del análisis de los siguientes casos planteados en el ámbito industrial.

Datasets para el control de calidad por Visión Artificial.

El control de calidad en fabricación permite asegurar que el producto final llega a los consumidores libre de defectos y en perfecto estado para cumplir sus necesidades, cumpliendo con los estándares de la industria. Si este proceso falla, no solo se disminuirá la productividad de las instalaciones, generando mayores pérdidas de material y aumentando los costes, sino que se puede llegar a poner al consumidor en peligro. Ya se ha visto que, siendo una parte tan crítica del proceso de producción, está ampliamente extendido el uso de la Visión Artificial para estas labores por sus numerosas ventajas, de modo que será necesario elaborar *datasets* de entrenamiento de los algoritmos para la puesta a punto del sistema de control de calidad.

Poniendo como ejemplo representativo una industria de automoción en la que se fabriquen piezas para vehículos; si se quisiera desarrollar un algoritmo de Visión destinado al control de calidad de estos componentes, se necesitaría elaborar un gran *dataset* de imágenes etiquetadas con precisión, sabiendo que, a mayor volumen, mejor calidad de los resultados. En el caso de iniciar la manufactura de un nuevo modelo de pieza se quisiera incluir en el sistema, se requeriría primero de la fabricación de un conjunto de unidades iniciales (las cuales ya podrían estar presentando defectos de calidad en sí) para poder realizar la adquisición de imágenes y su posterior procesamiento y etiquetado manual, con su consiguiente coste asociado. Cada vez que existiese una pieza o componente nuevo a fabricar en estas

¹ <https://www.cityscapes-dataset.com/>

² Financial Times, “Self-driving cars prove to be labour-intensive for humans”

instalaciones, sería necesario llevar a cabo este lento y costoso proceso.

Para empezar a concretar la alternativa buscada, se podría plantear el generar todas estas imágenes de entrenamiento de forma sintética, utilizando entornos virtuales y sacando provecho al modelo CAD 3D que, con seguridad, se habrá desarrollado para definir el diseño de la nueva pieza. De esta forma se podría generar el *dataset* de entrenamiento de antemano, de forma más rápida y generando un menor coste de despliegue, que permitiría monitorizar el control de calidad desde las primeras unidades producidas.

Datasets para el control de stock por Visión Artificial.

Los materiales inteligentes y el seguimiento y manejo de productos en la era de la Visión Artificial supondrán las bases de los sistemas de gestión de inventario del futuro, a medida que las cámaras y sensores de imagen se vuelven más potentes mientras que incorporan cada vez más capacidades de procesamiento. Las cámaras de gran resolución proporcionan imágenes detalladas de los materiales y productos, así como de su etiquetado, lo que junto con los algoritmos de Visión permite automatizar los sistemas de control de *stock* e inventariado. De esta forma se sustituye la gestión manual del conteo de los productos disponibles, todavía presente en muchas industrias a día de hoy, en la que normalmente intervienen albaranes e informes de operación en los que se registran los nuevos componentes fabricados y los que han sido enviados, dependiendo de su introducción posterior en un sistema informático y siempre bajo riesgo de error humano.

El control de *stock* es una labor a realizar en cualquier industria de fabricación, por lo que la inclusión de la Visión Artificial supondría una mejora aplicable prácticamente en cualquier instalación; pudiendo recuperar como ejemplo el caso de la industria de automoción. Un algoritmo adecuadamente entrenado de Visión podría automatizar el conteo de cada tipo de componente colocando una cámara en la zona de recepción de piezas que acaban de fabricarse, mientras que una cámara en la zona de salida podría detectar las unidades a descontar porque ya han sido preparadas para envío, registrándose todo esto en tiempo real en el sistema de gestión. De forma análoga al caso anterior, el sistema debería entrenarse para reconocer cada nuevo tipo de pieza que se vaya a producir, generando de nuevo la necesidad de elaborar los *datasets* apropiados y presentando las mismas dificultades descritas en el caso anterior.

Solución propuesta por REVEAL.

Dada la dificultad para obtener conjuntos de imágenes de entrenamiento para estos sectores, vemos la necesidad de una herramienta que facilite la creación de estas imágenes de forma sintética y rápida, que además proporcione el etiquetado adecuado de elementos de forma automática, ahorrando los elevados costes de tiempo de trabajo manual. Se propone como solución el desarrollo de una herramienta que permita crear de forma sencilla entornos virtuales realistas gracias a repositorios de modelos 3D de calidad, con el fin de representar las instalaciones reales del proceso de fabricación, su comportamiento y condiciones de iluminación para obtener imágenes generadas por computador que sirvan de *dataset* de entrenamiento para los algoritmos de Visión Artificial a integrar en el entorno real. Esta herramienta permitirá colocar de forma dinámica las cámaras en aquellas ubicaciones que desee el usuario, simulando la existencia de cámaras reales a partir de las cuales se generarán secuencias de

imágenes con su contenido etiquetado de forma automática, listas para usarse como conjunto de entrenamiento.

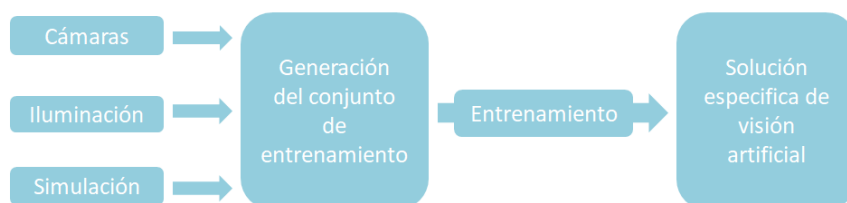


Figura 3 – Flujo de ejecución del sistema REVEAL

Gracias a esta capacidad de ubicar al momento el número de cámaras deseado, también será posible probar distintas disposiciones con el fin de buscar aquella más optimizada, sin tener que intervenir en el entorno real, ahorrando en gastos y riesgos materiales y de seguridad. Además, se posibilitará la detección de caídas de material, niveles críticos, inclinaciones peligrosas y demás situaciones excepcionales de riesgo, gracias a las simulaciones del entorno virtual. Para entrenar el algoritmo de Visión de forma que pueda localizar estos casos se necesitarían, precisamente, imágenes en las que se viera representado el problema y esto (en la mayoría de los casos) es muy difícil o bien imposible de reproducir por medios reales sin riesgos materiales o de integridad de las estructuras.

Escenario y caso de uso.

Se ha definido un caso de uso ubicado en un escenario industrial representativo a partir del cual se generará el piloto demostrativo para la posterior validación del desarrollo. Buscando encontrar un entorno típico y extrapolable, el escenario planteado para el proyecto REVEAL cuenta con las siguientes características.

Característica	Descripción
Tipo de empresa	Suministros para el sector de bienes industriales
Industria	Siderurgia
Productos	Un amplio abanico de productos en acero y sus aleaciones para fines constructivos
Materiales y componentes almacenados	• Materias primas metálicas, no metálicas, semielaborados (forjados, fundidos, etc.) y productos químicos) • Materiales auxiliares • Piezas prismáticas y cilíndricas; kits de piezas • Protecciones superficiales • Equipos y componentes para soldadura
Almacén	La empresa dispone de varios almacenes distribuidos por sus instalaciones y divididos según el área de negocio al que dan soporte, siendo posible encontrar en un mismo almacén materias primas y productos acabados de componentes o equipos para un mismo propósito.

Tabla 1 – Descripción del escenario para el caso de uso

Este almacén cuenta con instalaciones en proceso de modernización en el que los productos están

ordenados en secciones con estanterías separadas por pasillos. Por estos pasillos transitan operarios con carritos y toros mecánicos, seleccionando la mercancía para un pedido de cliente. Estos pedidos son paletizados y depositados en una zona de almacenaje auxiliar para su envío mediante transportista. Para evitar una acumulación de pedidos en dicha zona, los transportistas deberían ser avisados lo antes posible de que hay material disponible para su entrega y actualizar el *stock* cuando abandone la mercancía la zona.



Figura 4 – Layout del escenario para el caso de uso

La operativa en este almacén se lleva a cabo siguiendo el siguiente protocolo para control del inventario:

- 1) Registro de forma manual del pedido del cliente.
- 2) Preparación del pedido, controlando de forma manual la recogida de cada uno de los componentes registrados en el albarán.
- 3) Paletizado y depósito en la zona auxiliar de almacenaje. En caso de sobrepasar la capacidad máxima de la zona auxiliar, se deja en las inmediaciones (con el consiguiente caos de encontrar el palé correspondiente a un transportista).
- 4) Registro de forma manual de la salida de transportista con el pedido.

Debido al constante flujo de personal y carretillas elevadoras a través de la zona auxiliar, las soluciones tipo barrera infrarroja no son válidas para contabilizar las entradas y salidas. Una solución manual, en la que el operario indique mediante un interfaz cuando está extrayendo o depositando mercancía también se descartaría debido a la baja fiabilidad, dados los potenciales olvidos o errores humanos. Así, este escenario es propicio para introducir la solución propuesta por REVEAL para controlar el stock y las entradas y salidas de mercancía utilizando algoritmos de Visión Artificial entrenados mediante imágenes sintéticas. La selección de este contexto de almacén se justifica por ser lo suficientemente genérico para que sea potencialmente aplicable a cualquier tipo de industria, sirviendo en un primer momento como piloto para testear los resultados del desarrollo; contando con que la solución será diseñada para ser escalable, pudiendo crecer en el futuro de forma que dé cobertura a casos más específicos.

De esta forma, el desarrollo se enfocará en el diseño y creación de una herramienta que permita la edición ágil y visual de entornos virtuales de ámbito industrial, tal que pueda particularizarse para representar el escenario descrito. La generación de imágenes sintéticas con esta herramienta permitirá

la creación de un sistema de Visión Artificial que sea capaz de controlar de forma autónoma el espacio del área auxiliar, tratando de que este no se vea comprometido y contabilizando el número de paletizados que se encuentran a la espera de ser recogidos.

Siendo, entonces, el objetivo último de este proyecto la creación de soluciones de Visión Artificial a partir de un entorno virtual generado mediante componentes gráficos del ámbito industrial, se procederá a implementar el caso de uso que se describe a continuación.

Caso de uso	Casuística	Problema
REVEAL_CU	Mantenimiento del stock de envíos paletizados preparados para su despacho a cliente.	- Carencia de un sistema de lectura de etiquetas. - Tráfico de personas y maquinaria en la zona de paso de mercancía.

Tabla 2 – Resumen del caso de uso

T1.2: Catálogo de requisitos

A continuación, se enumeran los requisitos generales que debería cumplir la herramienta REVEAL para cubrir las necesidades derivadas de los objetivos del proyecto. Se describirán los requisitos funcionales, así como los no funcionales o de calidad; estableciendo una base para el desarrollo de los módulos que integrarán el sistema final, indicando también el grado de prioridad asociado a cada tarea. Gracias a esta identificación de requisitos se podrá, en la última fase del desarrollo, validar la consecución de los objetivos para los que se diseñó la solución.

Requisitos funcionales.

ID	Descripción	Prioridad
OE1	Creación de un repositorio de modelos 3D para la generación de entornos virtuales	
RF_1	El repositorio contendrá modelos 3D en un formato compatible con los entornos virtuales.	Alta
RF_2	El repositorio implementa una jerarquía de elementos para facilitar la búsqueda.	Alta
RF_3	El repositorio puede ser consultado para usar su contenido por las aplicaciones de generación de entornos.	Alta
RF_4	El repositorio permite añadir nuevo contenido	Alta
RF_5	El repositorio permite eliminar contenido existente.	Alta
RF_6	El repositorio permite editar la jerarquía para modificar la estructura en la que se categorizan los elementos 3D.	Media
RF_7	El repositorio permite editar la categoría de un modelo 3D.	Baja
OE2	Desarrollo de una herramienta que permita la generación de entornos virtuales de tipo industrial configurables	
RF_8	La herramienta puede comunicarse con el repositorio.	Alta

RF_9	La herramienta es compatible con los modelos del repositorio.	Alta
RF_10	La herramienta permite el despliegue de al menos un modelo del repositorio.	Alta
RF_11	La herramienta permite situar el modelo en la ubicación deseada del entorno virtual.	Alta
RF_12	La herramienta permite rotar el modelo con respecto a sus ejes.	Alta
RF_13	La herramienta permite borrar los modelos desplegados en el escenario virtual.	Alta
RF_14	El material de los modelos 3D puede ser modificado desde la herramienta.	Media
OE3	Desarrollo de componentes para la configuración y reproducción de una simulación	
RF_15	Al menos dos componentes de comportamiento deben estar disponibles en la herramienta.	Alta
RF_16	La herramienta permite asignar al menos un módulo de comportamiento a un modelo 3D.	Alta
RF_17	La herramienta permite descartar los módulos de comportamiento vinculados a un modelo 3D.	Alta
RF_18	Los componentes contarán, si es necesario, al menos con un parámetro de configuración.	Media
OE4	Desarrollo de componentes para la configuración de los puntos de vista a grabar y de las condiciones ambientales	
RF_19	La herramienta ofrecerá un componente tipo cámara que se podrá desplegar en el escenario para obtener imágenes del escenario virtual.	Alta
RF_20	Se podrá mover el objeto cámara y ubicarlo en la posición deseada por el usuario.	Alta
RF_21	Se podrá eliminar el objeto cámara del escenario.	Alta
RF_22	Existirá en la herramienta al menos un descriptor de tipo de comportamiento ambiental para las cámaras.	Media
RF_23	La herramienta permitirá vincular al menos un descriptor de comportamiento ambiental a las cámaras.	Media
OE5	Desarrollo de un módulo para la grabación de vídeos con contenido etiquetado	
RF_24	Los vídeos se guardarán a disco en un formato que permita su uso sencillo como <i>dataset</i> de entrenamiento.	Alta
RF_25	Se ha definido un módulo de etiquetado sobre las imágenes obtenidas desde el punto de vista de la cámara en la escena.	Alta
RF_26	El módulo de etiquetado segmentará el contenido de las imágenes.	Alta
RF_27	Cada imagen etiquetada por el módulo estará asociada a algún descriptor del contenido.	Alta
RF_28	Cada cámara generará vídeo que será etiquetado independientemente por el módulo para registro de imágenes.	Alta

RF_29	La herramienta tendrá un modo simulación en el que no se capturará video para poder testar el entorno y la disposición de los modelos.	Media
OE6	Creación de un prototipo para la demostración del valor del simulador de estaciones de proceso para obtención de imágenes de entrenamiento	
RF_30	El prototipo contendrá al menos dos tipos de modelos 3D distintos.	Alta
RF_31	Al menos un modelo en la escena tendrá vinculado un comportamiento.	Alta
RF_32	El prototipo contendrá en la escena al menos una cámara para la captura de imágenes.	Alta
RF_33	Al menos una de las cámaras desplegadas en el prototipo tendrá vinculado algún comportamiento ambiental.	Media

Tabla 3 – Catálogo de requisitos funcionales

Requisitos no funcionales.

ID	Descripción	Atributo de calidad	Prioridad
OE1	Creación de un repositorio de modelos 3D para la generación de entornos virtuales		
RNF_1	El diseño del repositorio permitirá añadir fácilmente nuevos contenidos.	Extensibilidad	Alta
RNF_2	El diseño del repositorio facilita su mantenimiento.	Mantenibilidad	Alta
RNF_3	El repositorio facilitará el acceso a su contenido.	Interoperabilidad	Alta
RNF_4	El contenido del repositorio cubrirá un abanico genérico de elementos industriales.	Rendimiento	Media
RNF_5	Debe incluirse documentación sobre la estructura del contenido del repositorio.	Mantenibilidad	Media
OE2	Desarrollo de una herramienta que permita la generación de entornos virtuales de tipo industrial configurables		
RNF_6	El uso de la herramienta debe ser sencillo mediante una interfaz clara.	Usabilidad	Alta
RNF_7	La herramienta debe incluir un manual de usuario.	Mantenibilidad	Alta
RNF_8	La herramienta debe facilitar la comunicación con el repositorio.	Interoperabilidad	Alta
RNF_9	La herramienta debe ser robusta ante un uso intensivo.	Calidad	Alta
RNF_10	La herramienta debe responder en tiempo real ante los cambios del usuario.	Rendimiento	Media
RNF_11	En caso de error, la herramienta proporcionará <i>feedback</i> adecuado al usuario.	Usabilidad	Media
OE3	Desarrollo de componentes para la configuración y reproducción de una simulación		
RNF_12	Añadir comportamientos a los componentes debe ser sencillo	Usabilidad	Alta

	para el usuario.		
RNF_13	La herramienta deberá soportar, al menos, la adición de 2 comportamientos de forma simultánea.	Rendimiento	Alta
RNF_14	Los parámetros de los componentes deben ser fácilmente configurables	Usabilidad	Media
OE4	Desarrollo de componentes para la configuración de los puntos de vista a grabar y de las condiciones ambientales		
RNF_15	Las cámaras deben de poder desplegarse con facilidad en el entorno.	Usabilidad	Alta
RNF_16	La configuración del comportamiento de una cámara deberá ser intuitiva.	Usabilidad	Alta
RNF_17	El sistema deberá ser robusto ante el despliegue de, al menos, 2 cámaras simultáneas en un mismo entorno.	Calidad	Alta
RNF_18	Las cámaras deben permitir la previsualización de su punto de vista.	Usabilidad	Media
RNF_19	La herramienta debe mantener un rendimiento adecuado ante la adición de, al menos, 2 comportamientos ambientales en una escena.	Rendimiento	Media
OE5	Desarrollo de un módulo para la grabación de vídeos con contenido etiquetado		
RNF_20	Las imágenes generadas deben guardar una calidad suficiente para su uso como conjunto de entrenamiento.	Calidad	Alta
RNF_21	El proceso de etiquetado debe requerir poca o nula intervención humana.	Rendimiento	Alta
RNF_22	Las etiquetas deben identificar de manera inequívoca a un objeto de la escena.	Calidad	Alta
RNF_23	La herramienta en modo simulación debe comportarse de manera fluida.	Rendimiento	Baja
OE6	Creación de un prototipo para la demostración del valor del simulador de estaciones de proceso para obtención de imágenes de entrenamiento		
RNF_24	La consecución del <i>layout</i> de componentes deseado para el prototipo debe ser sencilla.	Usabilidad	Alta
RNF_25	La aplicación debe proporcionar <i>feedback</i> al usuario de su estado en cada momento.	Usabilidad	Alta
RNF_26	El tiempo empleado para generar un <i>dataset</i> con la herramienta debe ser menor al empleado sin la herramienta.	Complejidad	Alta

Tabla 4 – Catálogo de requisitos no funcionales

T1.3: Arquitectura de la solución

El objetivo final de esta herramienta es la de suministrar, modelando previamente un escenario 3D, un conjunto de imágenes sintéticas listo para servir como *dataset* de entrenamiento para un algoritmo de Visión Artificial con el fin de realizar detecciones en un entorno industrial. Para que un algoritmo de Visión Artificial pueda entrenarse de manera efectiva se necesita que el conjunto de imágenes sea lo más realista y variado posible, y que la información que contiene esté descrita y preparada para ser consumida por los métodos existentes de entrenamiento de algoritmos. Así, la herramienta deberá, primero, facilitar la creación del entorno virtual industrial y simular los procesos que se quieren monitorizar. Posteriormente, deberá etiquetar y segmentar la información contenida en las imágenes tomadas de forma automática, ya que es uno de los procesos que mayor número de horas requiere cuando se realiza esta tarea tan crítica de forma manual.

Con estas premisas, la descripción funcional de la arquitectura se puede separar en los diferentes componentes que se describen a continuación.

Componente	Descripción
Repositorio de modelos 3D	Almacén escalable y jerarquizado de contenidos compatibles con la creación de entornos virtuales listos para su despliegue en la herramienta.
Editor de escenas virtuales	Herramienta de creación de entornos virtuales industriales a partir del repositorio de modelos. Sirve de marco para la toma de imágenes de entrenamiento de algoritmos de Visión Artificial.
Módulos de comportamiento	Componentes que describen el comportamiento a simular para cada elemento de la escena.
Capturador de imágenes	Componente que habilita la captura de imágenes de la escena desde el punto de vista de una cámara.
Etiquetador de imágenes	Componente encargado de preparar las imágenes para ser usadas en entrenamientos de algoritmos de visión artificial segmentando su contenido y generando un archivo descriptor.

Tabla 5 – Descripción funcional de la arquitectura por componentes

Repositorio de modelos 3D.

Para la creación de un entorno virtual representativo de uno real, es necesario contar con todos aquellos elementos que intervienen en él, modelados en un formato CAD 3D. En el caso general de entornos industriales, y concretamente, de acuerdo al caso de uso propuesto, un almacén, existirá gran cantidad de estructuras, mobiliario y equipamiento del tipo de instalaciones de fabricación que será imprescindible introducir en el entorno 3D para poder desplegar una escena lo más similar y realista posible.

Estos modelos deben cumplir unos requerimientos de calidad y ser contruidos correctamente para una adecuada visualización sin errores de renderizado, y exportados en un formato compatible con la visualización en tiempo real del entorno virtual. Es importante, en términos de rendimiento, que los modelos sean lo más ligeros en cuanto a poligonización que sea posible, sin comprometer el nivel de

detalle. Este nivel de detalle, cuando más alto sea, mayor fidelidad representará respecto a su equivalente real.

Editor de escenas virtuales.

Para la generación del entorno virtual se necesita de una herramienta visual y de fácil uso que permita la creación de un escenario en el que ubicar todos los componentes necesarios para representar las instalaciones reales, seleccionando los contenidos del repositorio descrito anteriormente. Este editor debe, por tanto, comunicarse con el repositorio, permitiendo la importación de los modelos preparados para su despliegue. Una vez importados los modelos, el usuario podrá moverlos por el escenario para colocarlos en la posición adecuada o, en caso necesario, borrarlos. La actualización constante del estado del escenario de forma visual es muy importante, dado que el usuario necesita tener constancia de dónde está colocando un objeto de forma precisa.

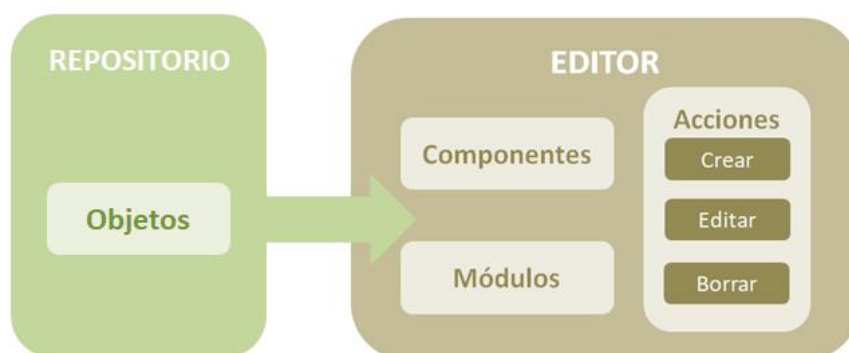


Figura 5 – Descripción funcional del editor

En el escenario también se podrán gestionar las fuentes de luz, tanto para controlar la componente ambiental como para añadir luces focales; con las que se buscará reproducir el ambiente de iluminación del entorno real. Esta simulación de las luces debe imitar en lo posible el comportamiento de los objetos físicos, reflejando la luz y dando una respuesta visual realista.

Módulos de comportamiento.

Una vez construido el entorno virtual será necesario simular el movimiento de los distintos objetos por la escena para representar el proceso industrial correspondiente. Para esto, los modelos tendrán que tener asociado algún tipo de comportamiento que, una vez comience la simulación, aporte la información necesaria a la herramienta para llevar a cabo la traslación de los modelos por el escenario a lo largo del tiempo. Los comportamientos inicialmente propuestos para incluir en la herramienta son los siguientes:

- **Traslación:** dados dos puntos, el componente al que se le asigne este comportamiento, se trasladará de un punto a otro a una velocidad determinada.
- **Rotación:** este comportamiento provocará que el componente rote a una determinada velocidad angular en un eje determinado.

- **Arrastre:** este comportamiento permitirá a un objeto en escena desplazar a otros objetos de un punto a otro (ej.: cinta transportadora).

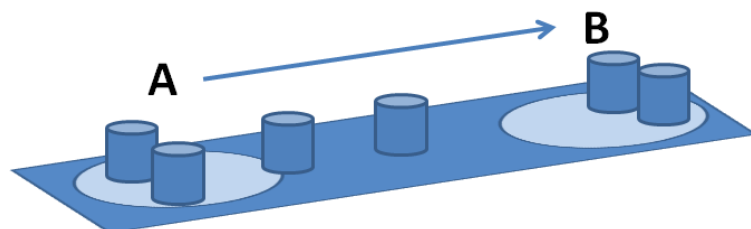


Figura 6 – Arrastre de objetos del punto A al punto B

Mediante la concatenación de estos comportamientos se podrá recrear el desplazamiento de los modelos por el escenario imitando la actividad del entorno real.

Capturador de imágenes.

Para obtener imágenes de la escena que emulen el punto de vista de las cámaras correspondientes en el entorno real, los componentes de tipo cámara podrán colocarse en cualquier lugar del escenario. De esta manera, podrán testarse todas aquellas configuraciones o topologías del sistema de visión de forma virtual tanto para conseguir imágenes sintéticas de entrenamiento como para usarse como banco de pruebas para validación de algoritmos de Visión. La versatilidad de este módulo reside en que permitirá testar no solo algoritmos desarrollados con las imágenes obtenidas por medio de la herramienta desarrollada en este proyecto, sino sea cual sea su origen.



Figura 7 – Descripción funcional del componente cámara

Las cámaras tendrán la posibilidad de modificar su campo de visión mediante parámetro, ya que esta característica es de gran importancia; hay que tener en cuenta la función o necesidad que vaya a cubrir el algoritmo que posteriormente se entrene con las imágenes generadas.

Etiquetador de imágenes.

El objetivo de este módulo es el de preparar el conjunto de entrenamiento mediante la segmentación y etiquetado de la información que se encuentra en cada una de las imágenes sintéticas obtenidas con el capturador.

Segmentación.

Consiste en definir de forma concreta cada uno de los contenidos de una imagen, para luego tratar aquellos de interés, y no la totalidad del contenido.

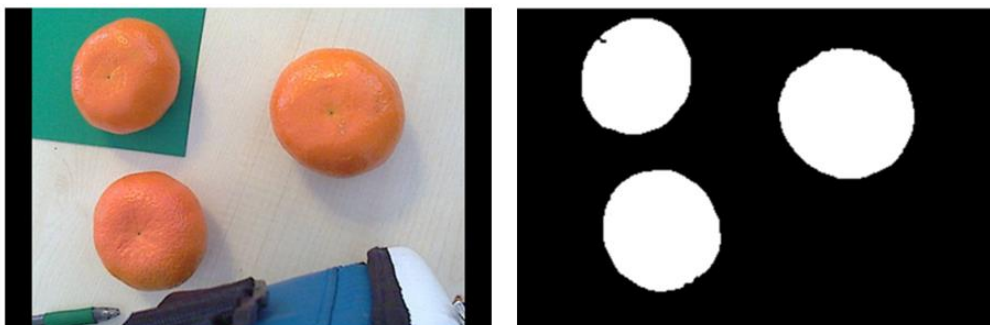


Figura 8 – Segmentación de objetos mediante máscaras

Etiquetado.

El etiquetado de una imagen se realiza normalmente mediante la identificación de cada píxel y el objeto al que pertenece. Gracias a diferentes técnicas, como la de asignación por vecindad o probabilísticamente, se etiquetan todos los píxeles pertenecientes a una región con el mismo identificador, dando lugar a la identificación de un objeto relevante. Este proceso se realiza, habitualmente, de modo manual.

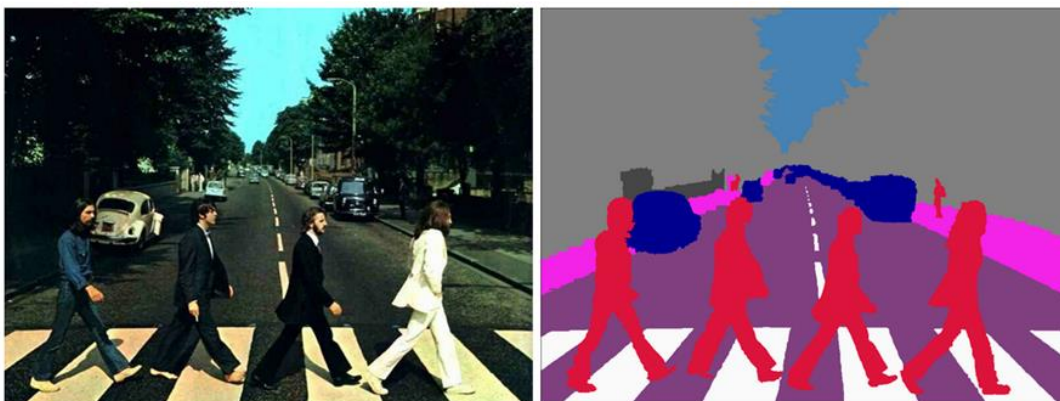


Figura 9 – Etiquetado según tipo de objeto detectado (personas, pavimento, cielo, coches...)

En nuestro caso, este proceso será automático, realizándose de una forma distinta a la de los algoritmos de etiquetado tradicionales. Ya que en un entorno virtual es posible conocer dónde se encuentran los objetos, así como su proyección sobre la imagen de cámara (lo que se va a obtener con el captador), la herramienta puede etiquetar automáticamente con precisión las regiones de píxeles que forma cada uno de los objetos presentes en el escenario.

Una vez los objetos hayan sido segmentados y etiquetados, esta información irá codificada en un fichero con las máscaras que representan la superficie de cada objeto y una leyenda correlacionando cada objeto con un color.

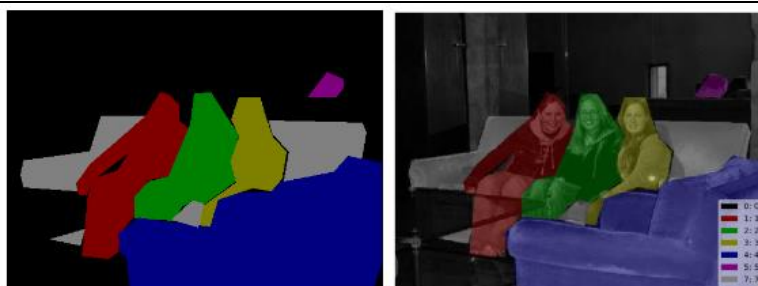


Figura 10 – Segmentación y etiquetado mediante máscaras de colores

Gracias a que el sistema tiene un conocimiento total de la escena, como ya se ha mencionado, la generación automática de máscaras que definen en una imagen cada objeto presente, tendrá una precisión del 100% sin necesidad de supervisión o intervención manual.

Arquitectura final.

Por último, todos los módulos de la arquitectura propuesta descritos se han de relacionar entre sí para dar lugar a la solución final: un generador de conjuntos de imágenes sintéticas de entrenamiento para sistemas de Visión Artificial en entornos industriales.



Figura 11 – Arquitectura final del sistema

Contando con un repositorio de modelos 3D correctamente contruidos y preparados, estos podrán desplegarse en un escenario gracias al editor de entornos virtuales. Gracias a una iluminación realista, la herramienta podrá generar una simulación en la que las cámaras, ubicadas en puntos estratégicos, capturarán las secuencias de imágenes necesarias. Estas imágenes sintéticas, serán registradas y etiquetadas preparando un conjunto de entrenamiento preparado para el desarrollo de un sistema de Visión Artificial. En la imagen anterior se observa el flujo del sistema, desde el repositorio de modelos 3D hasta el conjunto final de imágenes de entrenamiento, así como la interrelación de los componentes de la arquitectura.

Catálogo de tecnologías seleccionadas para el desarrollo.

A la hora de iniciar el desarrollo de una aplicación que permita gestionar entornos virtuales, hay que distinguir los distintos componentes *software* necesarios durante las distintas fases de su implementación. Así, se encuentran:

- *Software* para el diseño y modelado 3D, en caso de necesitar llevar a cabo el desarrollo los

modelos de los objetos a incluir en el repositorio

- *Software* para la aplicación de transformaciones necesarias para adaptar los modelos 3D a formatos apropiados para entornos virtuales, si fuese necesario.
- *Framework* para la creación de la aplicación editora de entornos virtuales.



Figura 12 – Herramientas necesarias para la creación del editor de entornos

Tras analizar en profundidad las diferentes herramientas y tecnologías aplicables para cada fase de la implementación, se concluye que las más apropiadas son las que se recogen en la siguiente tabla.

Herramienta	Objetivo en el proyecto	Requerimientos o restricciones de uso
Framework de creación de aplicaciones Unity	Entorno para desarrollo de la aplicación de edición de entornos virtuales, motor gráfico interactivo.	➤ Windows 7 o superior ➤ Mac OS X 10.8 o superior • Tarjeta gráfica con DirectX 9 u 11
IDE Microsoft Visual Studio Community 2015	Entorno para implementación del código de los <i>scripts</i> (lenguaje C#) que definen el comportamiento de los elementos a integrar en la escena virtual de Unity.	• Windows 7 o superior • Procesador de 1.6 GHz o más rápido • 1 GB de RAM • 4 GB de disco • Tarjeta gráfica con DirectX 9
Programa de modelado Blender	Herramienta para creación, modificación y conversión de formatos de modelos 3D de los elementos a incluir en la escena virtual de Unity.	➤ Windows Vista o superior ➤ Mac OS X 10.6 o superior ➤ Linux • Compatibilidad con OpenGL 2.1 o superior • 2 GB de RAM

Tabla 6 – Resumen de tecnologías seleccionadas para el desarrollo

Hito 2: Repositorio de objetos 3D

Este hito se ha centrado en el análisis de distintas técnicas para la generación de un repositorio de modelos 3D en el que los objetos estén vinculados entre sí por relaciones semánticas. Los trabajos se han desarrollado a través de dos tareas:

- T2.1: Diseño de la estructura del repositorio.
- T2.2: Creación y etiquetado de modelos 3D para el repositorio.

T2.1: Diseño de la estructura del repositorio

Para facilitar la navegación por los contenidos del repositorio de componentes gráficos desde la herramienta de edición de entornos virtuales es necesario establecer una estructura jerárquica que los ordene; sobre todo teniendo en cuenta que será ampliable y escalable, de forma que cada vez ofrezca

una mayor variedad de elementos para las potenciales aplicaciones con las que se vaya a integrar, teniendo además en cuenta que el *framework* de desarrollo seleccionado es Unity.

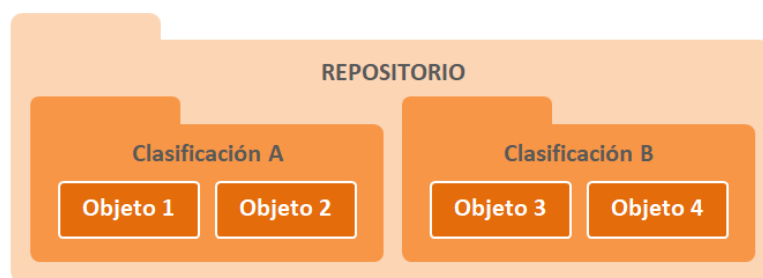


Figura 13 – Esquema del repositorio clasificado por carpetas

Repositorio clasificado por carpetas	
Ventajas	• Sencillo de acceder desde las aplicaciones a desarrollar • Fácilmente mantenible y escalable • Muy flexible
Inconvenientes	• Control limitado del contenido al no estar indexado

Tabla 7 – Valoración de la opción de repositorio clasificado por carpetas

Tras analizar la posibilidad de realizar la estructura jerárquica por carpetas frente al uso de una clasificación indexada mediante archivo descriptor, se optó por emplear el sistema de directorios, por su sencillez a la hora de gestionar y mantener los contenidos almacenados, en comparación con su alternativa. Así, el contenido incluido en el repositorio se dividirá por categorías, a cada una de las cuales se le asignará una subcarpeta, existiendo la posibilidad de crear subcategorías para cada una de ellas.



Figura 14 – Alternativa: esquema del repositorio indexado

Repositorio indexado	
Ventajas	• Mayor control sobre el contenido
Inconvenientes	• Gestión más difícil, menos flexible • Peor mantenibilidad • Acceso más complejo

Tabla 8 – Alternativa: valoración de la opción de repositorio indexado

Formato de los contenidos del repositorio.

El repositorio estará constituido por contenido de distinta naturaleza: modelos 3D, texturas, materiales, imágenes, etc., cada uno de los cuales se lee e interpreta de una manera diferente. *Unity*, el framework empleado en el desarrollo de la herramienta REVEAL, tiene la capacidad de procesar estos tipos de ficheros de manera independiente, aunque pueden surgir dificultades que den lugar a errores durante el proceso, resultando en alteraciones indeseadas del contenido. Este inconveniente, aunado al tiempo de espera que conlleva el proceso de importación del contenido, pudiendo llegar hasta minutos en la carga de algunos casos, hace necesaria la búsqueda de un formato alternativo para los contenidos del repositorio.

Para cargar contenidos externos de forma rápida y sin errores *Unity* cuenta con un formato de archivos propio, los denominados *AssetBundles*. Un *AssetBundle* es un archivo contenedor carente de extensión que permite agrupar contenido de distinto tipo dentro de un único paquete o *bundle*. Estos ficheros se generan desde el propio editor de *Unity*, lo que implica una preparación previa de los contenidos a empaquetar.

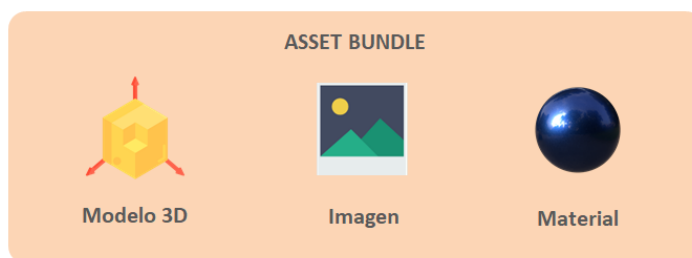


Figura 15 – Esquema de contenidos de un AssetBundle de Unity

Contenidos de un AssetBundle	
Prefab	Se trata del <i>prefab</i> resultante al final del proceso de adecuación del modelo 3D. No requiere de ninguna nomenclatura especial.
Imagen	Cada Modelo 3D va acompañado de una imagen de 256x256 píxeles, que se empleará como imagen de previsualización en el menú de la herramienta REVEAL. Dicha imagen deberá llevar como sufijo de su nombre la cadena <i>_thumbnail</i> , para su posterior interpretación por parte de la aplicación.
Material	Un modelo 3D puede contener un componente cuyo material sea editable desde la aplicación. De esta manera, es posible incluir múltiples materiales para dicho componente que también irán ligados al modelo3D. Todos los materiales editables deberán usar el sufijo <i>_editmaterial</i> , de modo que la aplicación los pueda identificar.

Tabla 9 – Descripción de contenidos de un AssetBundle

T2.2: Creación y etiquetado de modelos 3D para el repositorio

El caso de uso diseñado en la tarea T1.1 para validar este desarrollo se ubica en el contexto de un

almacén industrial donde se pretende realizar una monitorización del stock de envíos paletizados que se ubican en una zona determinada, preparados para su transporte. Así, el repositorio de contenidos tendrá que ofrecer, por lo menos, los objetos necesarios para representar este escenario.

Para poder construir un escenario que cumpla con lo especificado en el caso de uso, se han incluido inicialmente en el repositorio siete modelos 3D de equipos y productos comúnmente empleados en la infraestructura de un almacén industrial. Entre esos siete modelos se encuentran dos cintas transportadoras de distinta anchura, un contenedor, una caja de madera, un bidón y dos pallets con cajas de madera y cartón respectivamente.

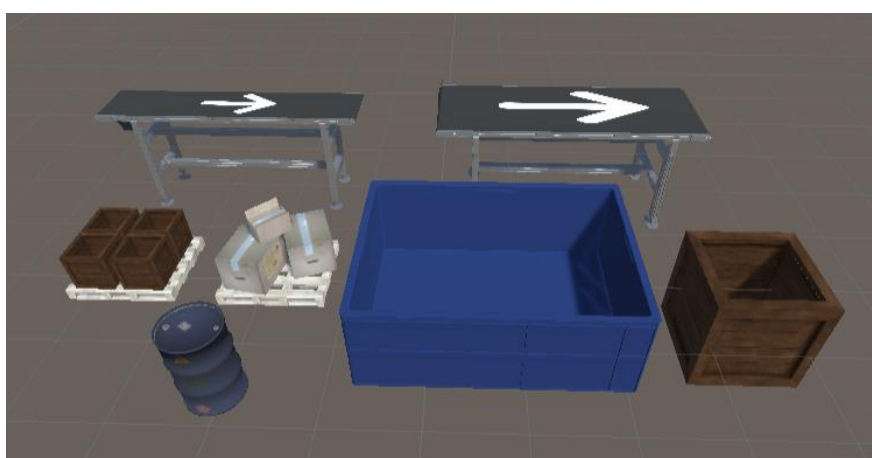


Figura 16 – Contenidos iniciales incluidos en el repositorio

Contenidos del repositorio	
Cintas transportadoras	• Cinta de 1.5m • Cinta de 3m
Contenedores	• Contenedor de plástico
Productos	• Bidón metálico • Caja de madera • Pallet con cajas de cartón • Pallet con cajas de madera

Tabla 10 – Índice de contenidos del repositorio

Además, la herramienta REVEAL cuenta con un escenario industrial “tipo” precargado de inicio. Dicho escenario, vacío inicialmente, puede emplearse como almacén industrial, cumpliendo de esta manera con el escenario planteado en el caso de uso. Si se desea ampliar la infraestructura base, existe la posibilidad de añadir nuevo contenido al repositorio, en una categoría reservada para elementos del escenario.

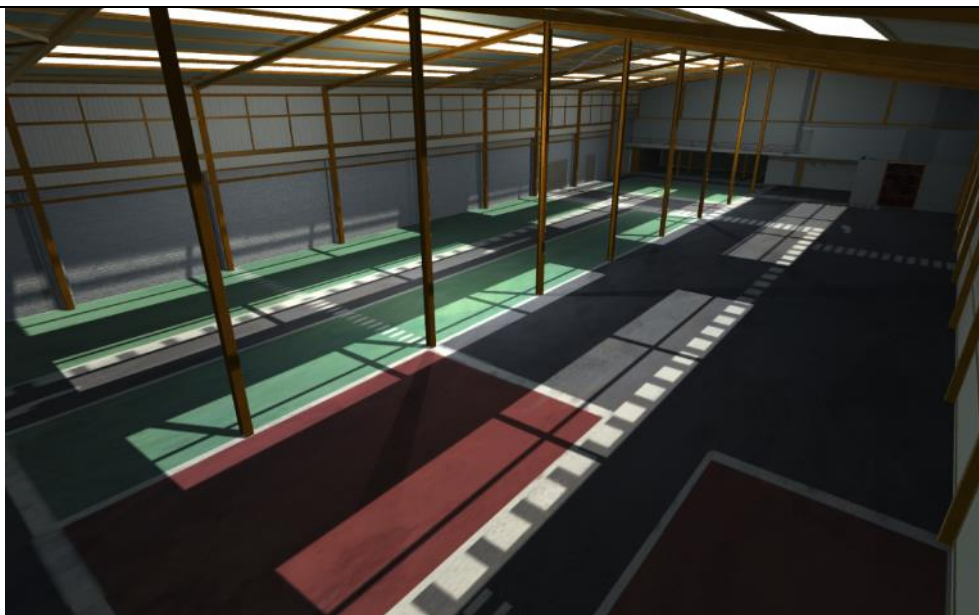


Figura 17 – Escenario base del almacén

La inclusión en la escena de los elementos anteriormente citados, dotados de los comportamientos adecuados, permitirá recrear la actividad de un almacén industrial, pudiendo de esta manera realizar las simulaciones descritas en el caso de uso para la generación de secuencias de imágenes válidas para el entrenamiento de algoritmos de visión.

Hito 3: Framework para la creación de entornos virtuales configurables

El objetivo de este hito ha consistido en diseñar e implementar la aplicación de escritorio que permita la edición de los entornos virtuales a través de la adición de objetos 3D predefinidos en un repositorio. Los trabajos se han desarrollado a lo largo de cinco tareas:

- T3.1: Creación de la interfaz base para la creación y edición de escenas.
- T3.2: Componentes para la integración del repositorio de objetos 3D.
- T3.3: Componentes para la edición de escenas.
- T3.4: Componentes para simulación de comportamientos.
- T3.5: Componentes para simulación de condiciones ambientales.

T3.1: Creación de la interfaz base para la creación y edición de escenas

Para poder recrear un escenario virtual y simular procedimientos sobre el mismo a partir de los objetos del repositorio, es necesario disponer de un paquete de herramientas que permitan su manipulación en la escena. Este está contenido en la aplicación de edición de escenas REVEAL.

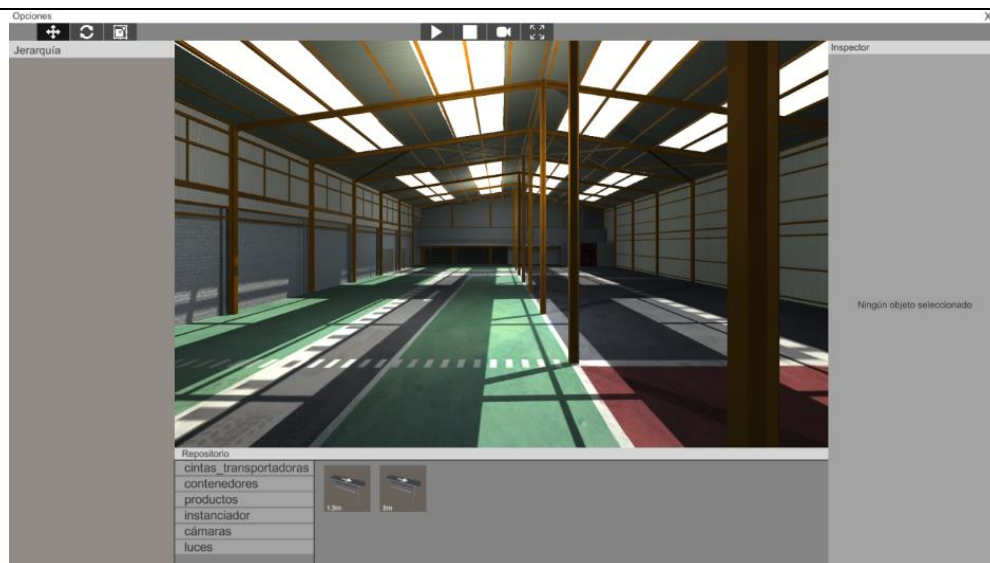


Figura 18 – Vista general de la interfaz de la herramienta REVEAL

La interfaz de esta aplicación se puede separar en diferentes componentes básicos principales.

Barra de menú.

Barra horizontal situada en la parte superior de la aplicación que cuenta con dos botones: cierre de la herramienta y *Opciones*. El primero de ellos finaliza todos los procesos que se estén ejecutando dentro de la aplicación y la cierra. El botón de *Opciones*, por su parte, abre una ventana emergente desde la que es posible configurar algunos parámetros de la aplicación, tales como la ruta del repositorio, la ruta de almacenamiento de los resultados, la escala del tiempo del modo *Simulación* y la duración de captura en el modo *Grabación*.

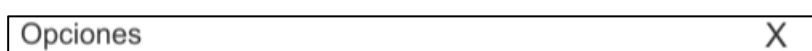


Figura 19 – Barra de menú

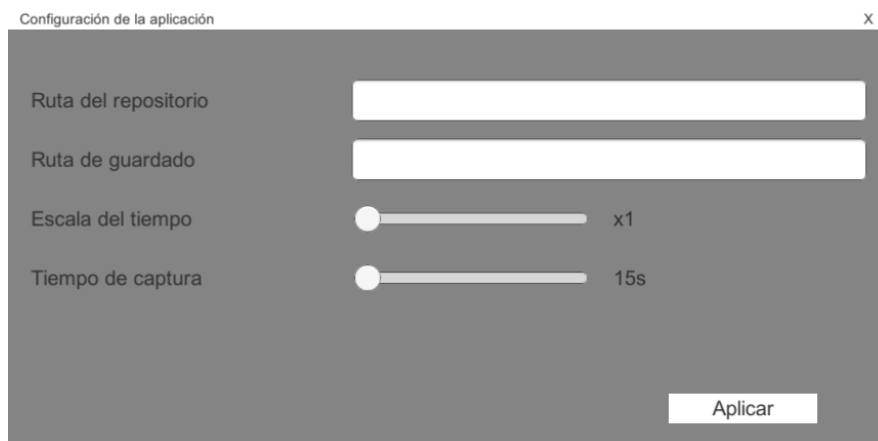


Figura 20 – Ventana de opciones de la aplicación

Barra de herramientas.

Ubicada justo bajo la barra de menús se encuentra la barra de herramientas. En ella se incluyen dos bloques de botones: selección de modo de edición y control del modo de funcionamiento de la aplicación.

El bloque de botones de selección del modo de edición permite alternar entre los modos desplazamiento, rotación y escalado de los distintos objetos que se encuentren situados en la escena.



Figura 21 – Bloque de botones de control del modo de edición

Por su parte, el bloque de control del estado de la aplicación permite alternar entre los modos *Edición*, *Simulación* y *Grabación*. También ofrece la posibilidad de maximizar la vista de la escena.



Figura 22 – Bloque de botones de control del modo de funcionamiento de la aplicación

Vista de escena.

Es la sección de la interfaz que permite al usuario llevar a cabo todas las tareas de edición del escenario, así como visualizar los resultados de las simulaciones realizadas.



Figura 23 – Vista de la escena de la herramienta REVEAL

Panel de repositorio de contenidos.

El panel del repositorio se sitúa en la parte inferior de la interfaz y muestra todos los contenidos que componen el repositorio. Consta de dos partes: la lista de categorías y la lista de objetos, que muestra los elementos que forman parte de la categoría seleccionada. Desde este panel el usuario podrá

seleccionar los objetos a añadir en el escenario.



Figura 24 – Aspecto del panel del repositorio

Panel de jerarquía.

Muestra un listado con todos los objetos presentes en la escena, permitiendo seleccionarlos pulsando con el ratón sobre el elemento deseado.

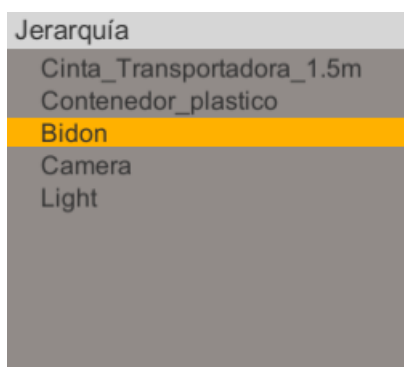


Figura 25 – Aspecto del panel de jerarquía

Panel de inspección.

Muestra información sobre el objeto seleccionado en la escena, permitiendo a su vez modificar algunas de sus propiedades. Existen tres configuraciones distintas de este panel, dependiendo de la naturaleza del objeto seleccionado: modelo 3D, luz y cámara.

En caso de haber seleccionado en la escena un modelo 3D, el panel *Inspector* mostrará por un lado la información relativa a su posición, rotación y escala. Incluirá también un apartado para la edición de materiales, y una última sección para la gestión de los comportamientos que se le hayan asignado. Además, cuenta en su cabecera con una *checkbox* que permitirá marcar al objeto como elemento de interés para tomarlo en cuenta en el modo de Grabación.



Figura 26 – Aspecto del Inspector de un modelo 3D

En el caso de los objetos de tipo luz, el Inspector permite ajustar parámetros como la intensidad (particular para el objeto seleccionado y general de la escena), la apertura y el rango (distancia focal), así como su color. También muestra los datos referentes a su posición, rotación y escala en la escena.

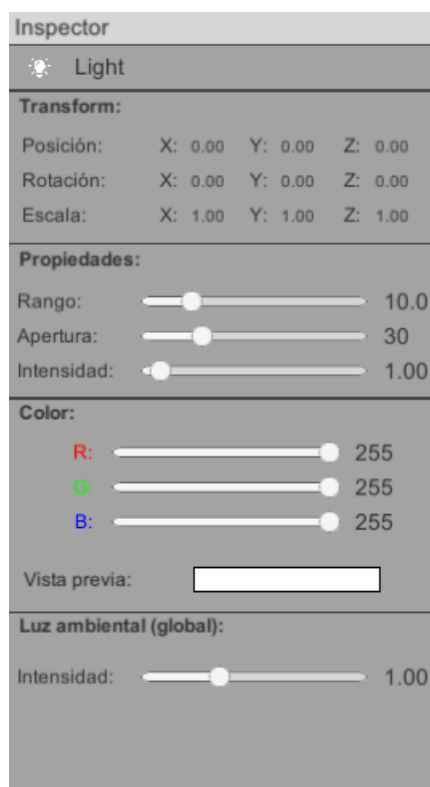


Figura 27 – Aspecto del Inspector de un objeto de tipo luz

Finalmente, el Inspector de un objeto de tipo cámara permitirá ajustar el campo de visión de la misma, así como añadir efectos ambientales tales como suciedad, polvo y humo. Todas estas modificaciones se podrán apreciar en una ventana de previsualización, también incorporada en el panel. Al igual que en los dos casos anteriores, también muestra la información asociada a su posición, rotación y escala.

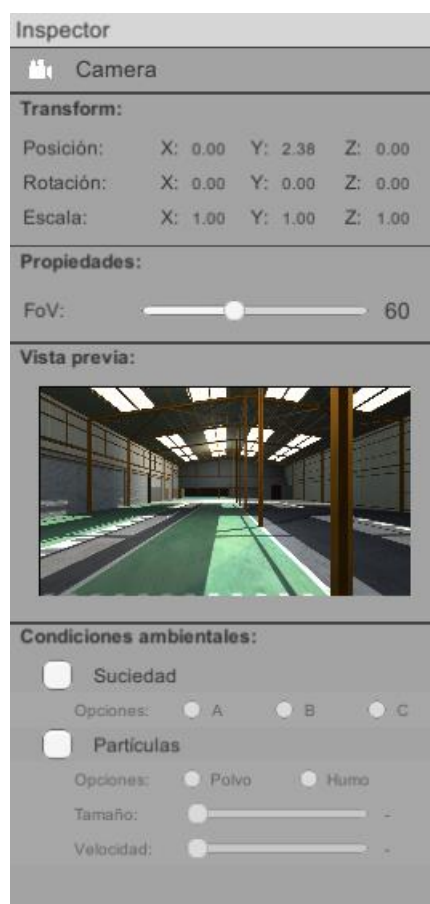


Figura 28 – Aspecto del Inspector de un objeto de tipo cámara

T3.2: Componentes para la integración del repositorio de objetos 3D

Para integrar los contenidos en la aplicación es necesario indicarle a esta última la ruta en la que el repositorio ha sido desplegado. Pulsando el botón *Opciones* se abrirá el panel desde el que es posible realizar este ajuste. Una vez introducida la ruta, presionar el botón *Aplicar* para guardar los cambios y la propia aplicación se encargará de realizar la gestión necesaria para cargar los componentes. Si la ruta es correcta, se mostrarán los contenidos en el panel del repositorio, mostrando por un lado la lista de categorías y, por otra, la lista de objetos pertenecientes a la categoría seleccionada. En caso de que la ruta no exista o no sea válida, se mostrará un mensaje de error.

Además de los elementos externos que conforman el repositorio, es importante destacar tres elementos adicionales que se añadirán al panel de contenidos y que están precargados en la aplicación. Se trata del elemento instanciador, la cámara y la luz, cada uno de los cuales se engloba dentro de su propia categoría, siguiendo la jerarquía establecida para el repositorio.

Categorías precargadas en la aplicación	
Instanciador	Categoría que engloba al elemento instanciador de objetos. Se trata de un objeto que incorpora modelos 3D a la escena de forma periódica. Útil para combinar con cintas transportadoras.
Cámaras	Categoría dentro de la cual se encuentra el objeto cámara que se empleará en el modo <i>Grabación</i> .
Luces	En ella se ubica el objeto de tipo luz que podrá añadirse a la escena para conseguir diferentes efectos de iluminación.

Tabla 11 – Resumen de las categorías base de la aplicación

T3.3: Componentes para la edición de escenas

Se trata de las herramientas básicas de las que dispone la aplicación para la edición de escenas, entre las que se incluyen el control de la cámara y la adición y emplazamiento de objetos en la escena.

Navegación de la cámara.

El control de la cámara del editor permite al usuario navegar por el escenario, pudiendo observarlo desde múltiples puntos de vista. De esta manera, es posible centrarse sobre el área de la escena sobre la que se esté trabajando. Con este fin, son cuatro las acciones posibles: rotación, *pan* o desplazamiento, *zoom* y centrado.

Navegación de la cámara en la escena	
Rotación	Giro de la cámara sobre su eje de rotación. Botón derecho del ratón ( .
Pan	Desplazamiento de la cámara sobre el plano de vista. Botón central del ratón ( .
Zoom	Acerca o aleja la vista de la escena. Rueda de <i>scroll</i> del ratón ( .
Centrado	Centra la cámara en el objeto seleccionado ( .

Tabla 12 – Resumen de los controles de la cámara del editor

Adición, eliminación y selección de objetos en la escena.

La aplicación cuenta con una nave industrial vacía como escenario base del que partir, sobre el que se

añadirán los distintos objetos que conformen el escenario final.

Para añadir un objeto a la escena, basta con buscarlo en el panel del repositorio de contenidos y pulsar con el ratón sobre su icono. Automáticamente, el objeto aparecerá en la escena, ubicado en el origen de coordenadas. Asimismo, aparecerá una referencia a dicho objeto en el panel de jerarquía situado en la parte izquierda de la pantalla.

Para seleccionar cualquiera de los objetos dispersos por la escena, basta con pulsar sobre el propio objeto, o bien buscar su referencia en el panel de jerarquía y marcarlo. Para deseleccionar el objeto actualmente seleccionado basta con pulsar en cualquier punto de la escena o sobre otro objeto, que pasará a ser el elemento seleccionado.

Por último, para eliminar un objeto basta con seleccionarlo en la escena y pulsar la tecla *Suprimir* del teclado.

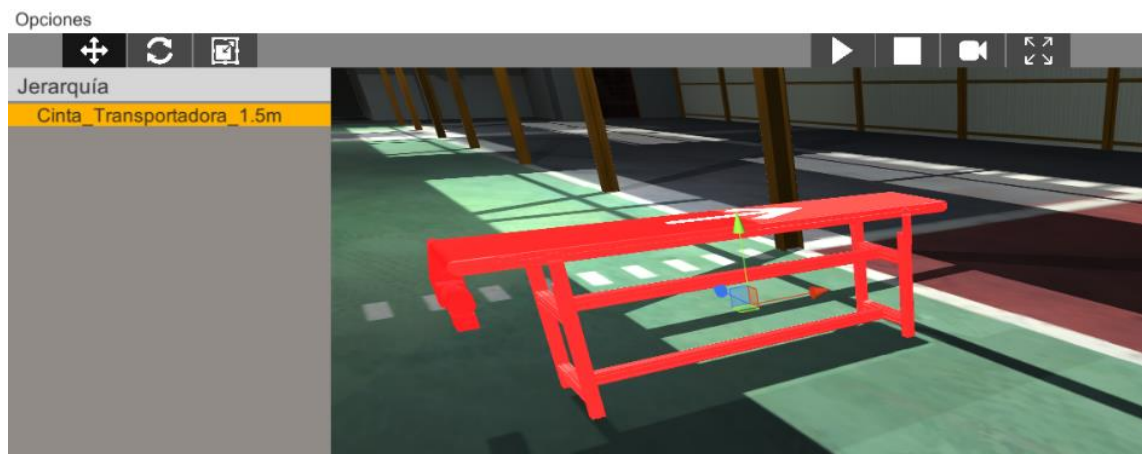


Figura 29 – Ejemplo de objeto añadido y seleccionado sobre la escena

Manipulación de objetos en la escena.

Para poder completar la edición de la escena con los objetos añadidos sobre ella, la aplicación ofrece un paquete de herramientas para manipular su posición, rotación y escala. Estas acciones se aplican sobre el objeto seleccionado y son independientes de su naturaleza (modelo 3D, luz o cámara).

Desplazamiento.

Para desplazar el objeto seleccionado dentro de la escena, es necesario activar la opción *Desplazamiento* a través del botón *Desplazar* de la barra de herramientas, o bien de la tecla W del teclado. Una vez hecho esto, aparecerá sobre el objeto un icono tridimensional (*gizmo*) con forma de flechas, indicando los ejes X, Y y Z. Este *gizmo de Desplazamiento* permite desplazar el objeto a lo largo de los ejes indicados, así como en los planos existentes entre ellos, haciendo uso de los pequeños recuadros ubicados en torno al centro del mismo. Para ello, basta con pulsar con el cursor cualquiera de las flechas o recuadros y mover el ratón en la dirección deseada.



Figura 30 – Botón Desplazar seleccionado

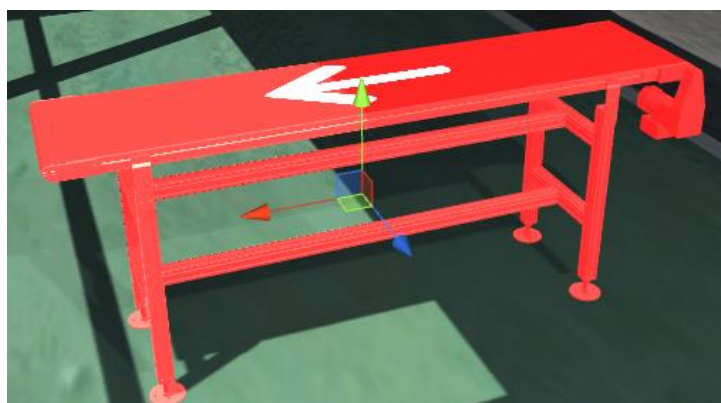


Figura 31 – Ejemplo de objeto seleccionado en modo Desplazamiento

Rotación.

El modo *Rotación* permite rotar el objeto seleccionado en torno a sus ejes X, Y y Z. Este modo se activa por medio del botón *Rotar* de la barra de herramientas y también a través de la tecla E del teclado. Una vez activo, aparecerá sobre el objeto el *gizmo de Rotación*, con forma de esfera sobre la que se remarcará una circunferencia indicando los tres ejes principales de rotación. Pulsando sobre cualquiera de dichas circunferencias se rotará al objeto en el eje correspondiente. En caso de presionar sobre cualquier otra zona de la esfera, se entrará en modo de rotación libre.



Figura 32 – Botón Rotar seleccionado

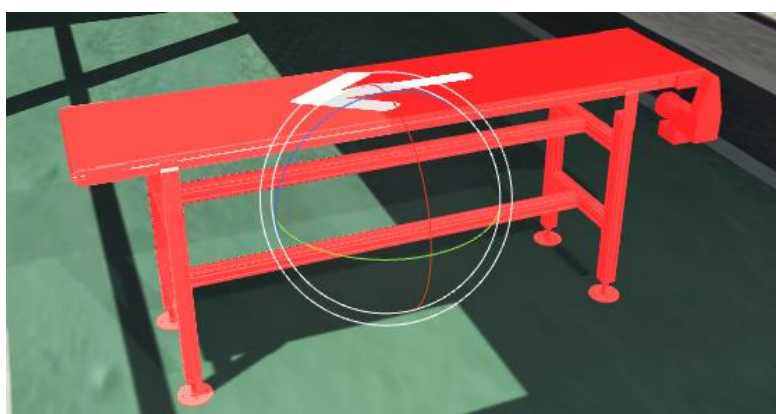


Figura 33 – Ejemplo de objeto seleccionado en modo Rotación

Escalado.

El modo *Escalado* permite modificar el tamaño del objeto seleccionado, tanto de manera global como de forma particular en alguno de sus ejes. De esta manera es posible agrandarlo, encogerlo, alargarlo o

estrecharlo, etc. Su uso está restringido a los objetos de tipo modelo 3D y, al igual que para los otros dos modos, se activa desde el botón *Escalar* ubicado en la barra de herramientas, aunque también puede hacerse mediante la tecla R del teclado. Al entrar en este modo se habilitará el *gizmo de Escalado*, similar al *gizmo de Desplazamiento*, sustituyendo las puntas de las flechas por pequeños cuadrados que permitirán escalar el objeto en el eje indicado. Para escalar el objeto de manera global, se hará uso del cubo situado justo en el centro del *gizmo*.



Figura 34 – Botón Escalar seleccionado

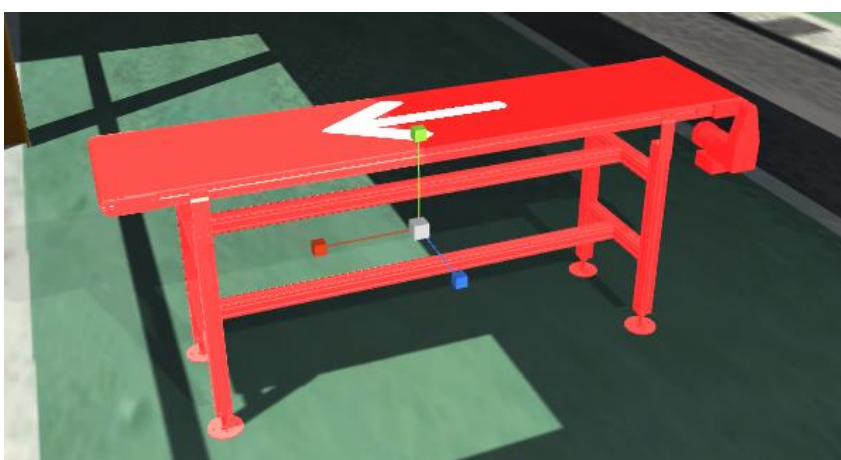


Figura 35 – Ejemplo de objeto seleccionado en modo Escalado

Edición de material.

Se permite cambiar el material de aquellos objetos que dispongan de más de una opción. La lista de materiales se muestra en un menú desplegable, aplicándose sobre el objeto la opción seleccionada.

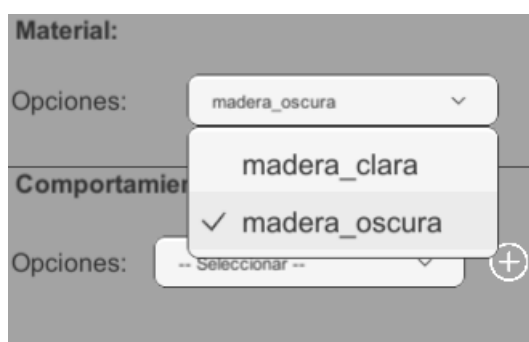


Figura 36 – Listado de materiales disponibles para un objeto de la escena

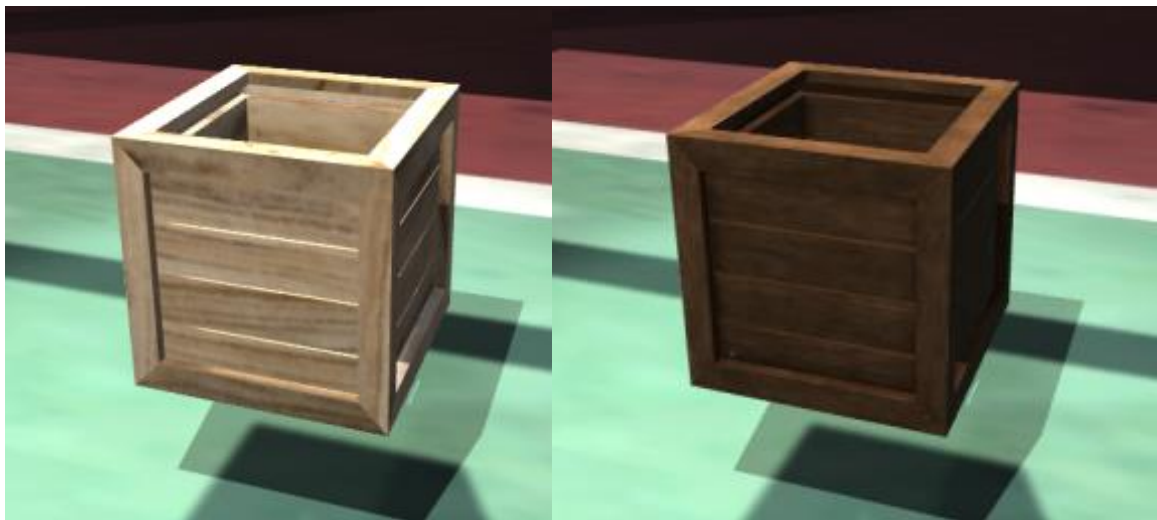


Figura 37 – Ejemplo de objeto con distintos materiales

Manipulación de luces en la escena.

Las luces son elementos que pueden ser empleados a modo de foco dentro del escenario virtual, con el objetivo de iluminar zonas sombrías a las que no llegue la luz ambiental. En el panel de inspección se pueden configurar sus parámetros, como el rango o distancia focal, su apertura y su intensidad; así como el color.

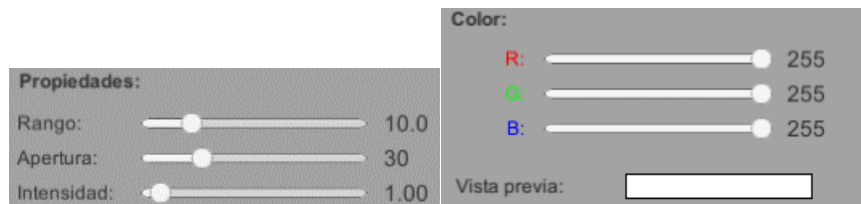


Figura 38 – Opciones de configuración de las luces

Manipulación de cámaras en la escena.

Los objetos de tipo cámara son los encargados de capturar las imágenes y generar las máscaras de los procesos simulados en la escena y los objetos que en ellos intervienen. Dichas imágenes se emplearán posteriormente para el entrenamiento de algoritmos de Visión Artificial. En el panel de inspección se permite ajustar el campo de visión (*Field of View*) de la cámara por medio de una slider, añadir comportamientos ambientales y previsualizar su punto de vista.



Figura 39 – Opciones de configuración de las cámaras

Modos de ejecución de la herramienta.

La herramienta REVEAL cuenta con tres modos de funcionamiento: *Edición*, *Simulación* y *Grabación*. Para alternar entre estos modos se usará el bloque de botones ubicado en el centro de la barra de herramientas.

Modo Edición.

Modo por defecto de la aplicación. Permite editar el escenario mediante las herramientas descritas anteriormente.

Modo Simulación.

El modo *Simulación* permite al usuario validar que el proceso industrial recreado funciona de la forma esperada, permitiendo volver al modo de *Edición* para realizar los ajustes necesarios sobre el escenario.

Para acceder a este modo, basta con pulsar el botón *Play* de la barra de herramientas. Esta acción ajustará la escala de tiempo al valor indicado en la ventana de opciones de la aplicación y los comportamientos agregados a los objetos comenzarán a aplicarse. Una vez revisada la simulación, es posible volver al modo *Edición* pulsando en el botón *Stop* ubicado justo a la derecha del botón *Play*, pausando el tiempo de la aplicación y reseteando todos los comportamientos activos en la escena.

Por su parte, si durante una simulación se pulsa el botón *Capturar* ubicado a la derecha del botón *Stop*, la aplicación pasará al modo *Grabación*.

Modo Grabación.

El modo *Grabación* es el encargado de generar las secuencias de imágenes de las simulaciones realizadas que, junto con sus respectivas máscaras, servirán para el entrenamiento de algoritmos de Visión Artificial.

Para entrar en este modo hay que pulsar el botón *Captura* situado en la barra de herramientas. Este gesto ajustará la escala de tiempo, forzando que las simulaciones se ejecuten en tiempo real, y activará a su vez la función de grabación de cada una de las cámaras de la escena. Una vez finalizado el tiempo de grabación establecido, las imágenes capturadas y sus máscaras se almacenarán en disco, en conjunto

con una serie de ficheros JSON descriptores de las propiedades de las cámaras y de cada una de las máscaras generadas.

Las propiedades del modo *Grabación* se ajustan en la ventana de *Opciones* de la aplicación. Desde allí es posible asignar tanto la ruta de almacenamiento de los resultados como la duración del periodo de grabación, que puede variar entre 15 y 180 segundos. Es importante destacar que sólo se puede entrar en el modo *Grabación* si existen cámaras en la escena.

T3.4: Componentes para simulación de comportamientos

Desde la sección correspondiente del panel de inspección al seleccionar un objeto se le pueden añadir comportamientos para la simulación. La lista de comportamientos disponible se muestra en un menú desplegable. Para añadir un comportamiento de la lista, hay que seleccionarlo en dicho menú y presionar el botón *Añadir* ubicado justo a su derecha. Los comportamientos añadidos sobre el objeto se listarán justo debajo del desplegable de selección, dando la opción de eliminarlos o editarlos desde la ventana de ajustes correspondiente.

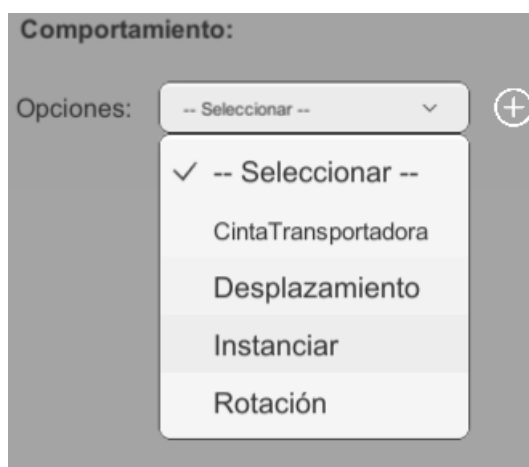


Figura 40 – Listado de comportamientos disponibles para un objeto de la escena

A continuación, se describen los diferentes comportamientos disponibles en la aplicación, así como los parámetros ajustables para cada uno de ellos.

Comportamiento de rotación.

Hace girar al objeto respecto a uno de sus ejes a una velocidad angular determinada. Desde la ventana de edición de este comportamiento se pueden modificar tanto el eje de rotación como la velocidad de giro.

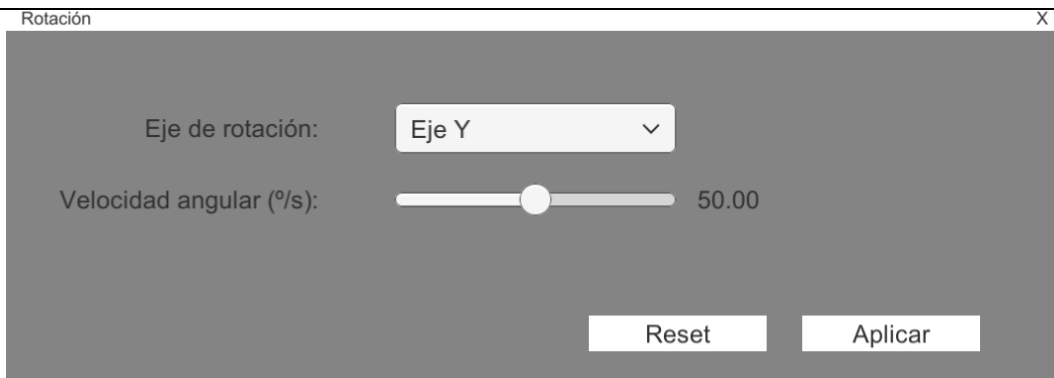


Figura 41 – Ventana de edición del comportamiento Rotación

Comportamiento de desplazamiento.

Comportamiento encargado de mover al objeto desde su posición actual hasta un punto del escenario seleccionado por el usuario. Dicho punto final, así como la velocidad del desplazamiento se modifican desde la ventana de edición del comportamiento *Desplazamiento*. Para seleccionar el punto de destino, pulsar en el botón *Seleccionar*. Una vez hecho esto, la ventana de ajustes desaparecerá, volviendo de nuevo a la escena, donde se dibujará una esfera blanca en el punto marcado con el cursor del ratón. Dicha esfera determina el punto final del desplazamiento del objeto. Tras marcar el punto deseado con el botón izquierdo del ratón, la ventana de edición volverá a aparecer en la escena.

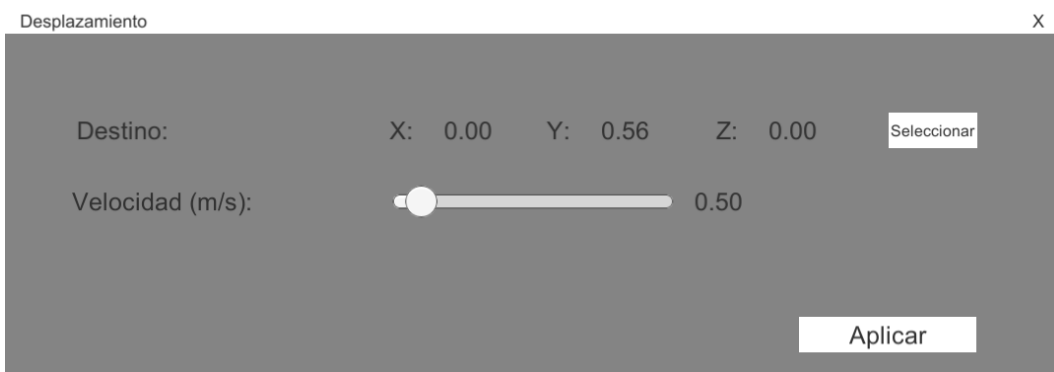


Figura 42 – Ventana de edición del comportamiento Desplazamiento

Comportamiento de cinta transportadora (arrastre).

Es el encargado de simular el comportamiento de una cinta transportadora, arrastrando los objetos que se coloquen sobre ella hasta el final de la misma. En este caso, el único parámetro ajustable es la velocidad de la cinta.

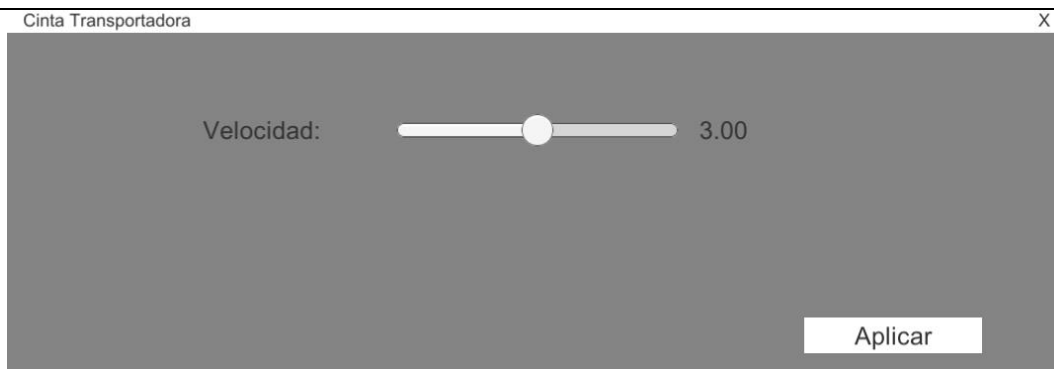


Figura 43 – Ventana de edición del comportamiento Cinta Transportadora

Comportamiento de instanciar.

Se trata del comportamiento ligado al objeto instanciador del repositorio. Su función es añadir objetos a la escena de forma periódica. Está pensado para ser combinado con una cinta transportadora, de modo que los objetos instanciados sean transportados por esta hasta el destino. La ventana de edición de este comportamiento permite escoger tanto el objeto a instanciar como la frecuencia de instanciación.

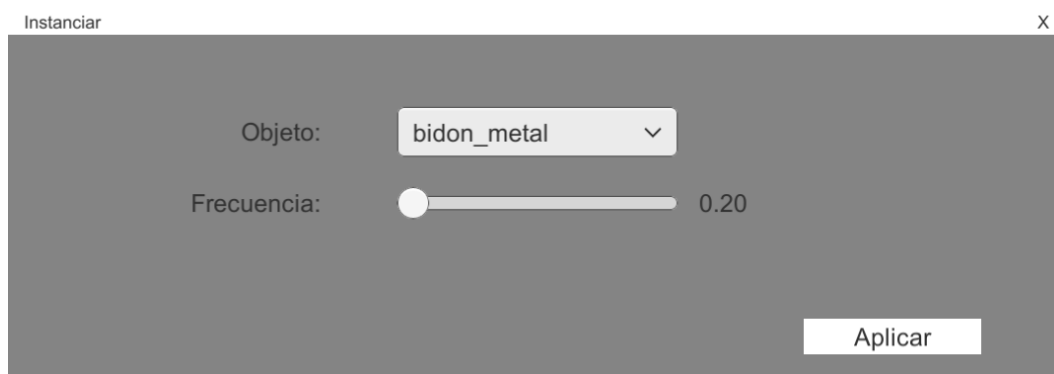


Figura 44 – Ventana de edición del comportamiento Instanciar

T3.5: Componentes para simulación de condiciones ambientales

En el panel de inspección de los componentes de cámara es posible añadir efectos ambientales típicos de los entornos industriales, con el fin de aumentar el realismo y la dificultad en la captura de imágenes. Dichos efectos sólo se aplican sobre la cámara seleccionada.

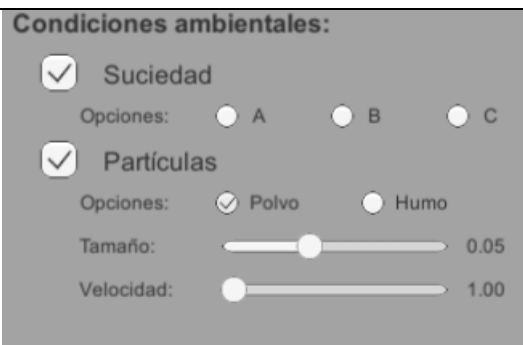


Figura 45 – Módulo de edición de condiciones ambientales

Filtros de suciedad.

Se trata de una serie de filtros que simulan suciedad en la lente de la cámara. Se pueden combinar entre sí para conseguir diferentes resultados.

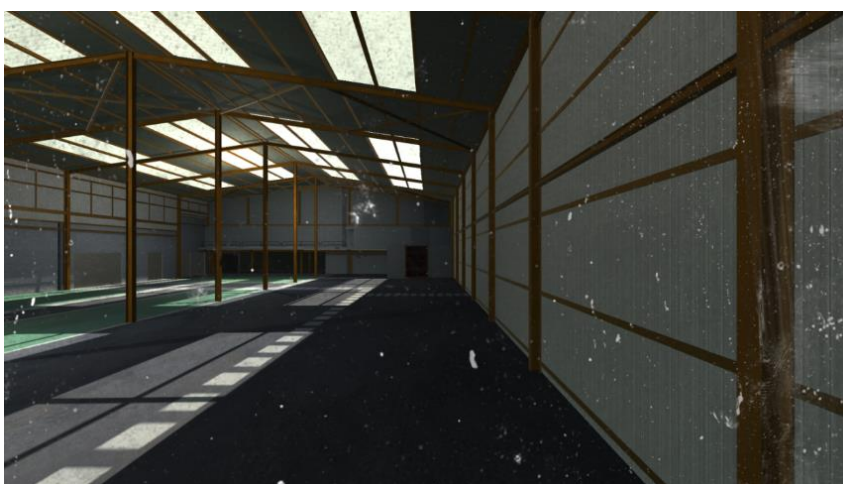


Figura 46 – Ejemplo de filtro de suciedad

Partículas en suspensión.

Simulan la existencia de partículas en el aire, siendo posible ajustar su tamaño y la velocidad con la que éstas se mueven mediante los *sliders* situados en la parte inferior del módulo. Los dos efectos incluidos son polvo y humo.

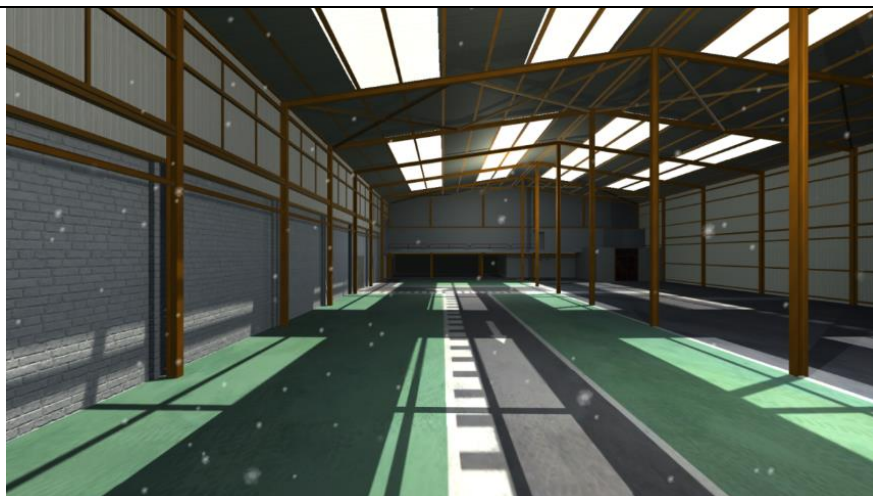


Figura 47 – Ejemplo de efecto de polvo en suspensión

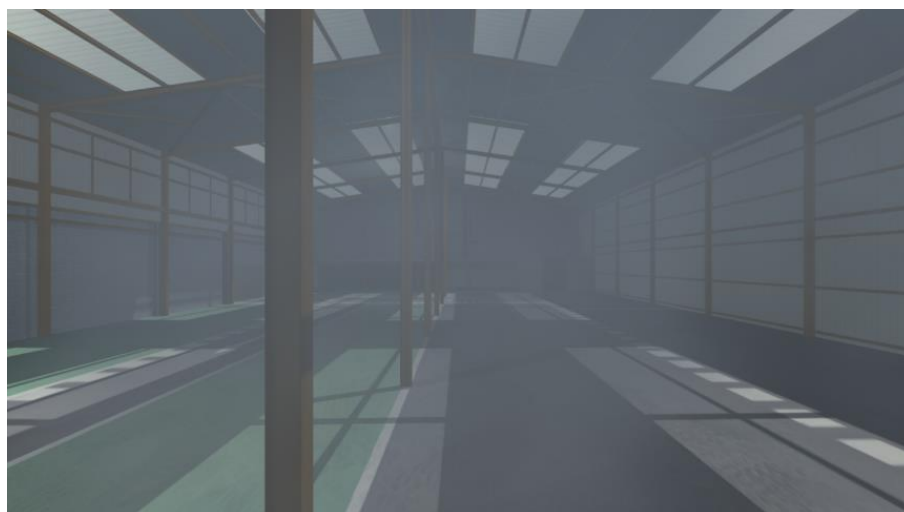


Figura 48 – Ejemplo de efecto de humo

Hito 4: Módulo para el registro de vídeos con contenido etiquetado

El Hito 4 se ha centrado en el desarrollo del módulo capaz de capturar y etiquetar las secuencias de imágenes generadas en las correspondientes simulaciones. Los trabajos se han desarrollado a través de tres tareas:

- T4.1: Módulo para la reproducción de secuencias.
- T4.2: Componentes para el etiquetado de fotogramas.
- T4.3: Módulo para la grabación etiquetada de secuencias de vídeo.

T4.1: Módulo para la reproducción de secuencias

En busca de la mayor flexibilidad a la hora de generar secuencias y poder iterar hasta alcanzar una

disposición de la escena óptima sin realizar cálculos computacionalmente costosos de forma innecesaria, se ha diseñado un módulo encargado de aplicar los comportamientos de simulación hasta el momento en el que sea necesario realizar las operaciones con mayor carga de trabajo, como es renderizar el contenido de todas las cámaras y guardar las capturas en disco. El módulo está diseñado para funcionar en el contexto de la aplicación en tres estados principales, que se exponen a continuación.

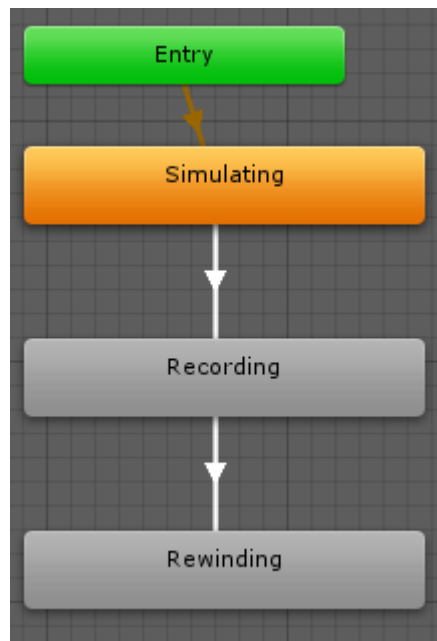


Figura 49 – Estados del módulo de reproducción de secuencias

El estado de simulación es un estado desde el que depurar la disposición de objetos en la escena y sus comportamientos. Una vez que el usuario haya editado la escena, se podría ejecutar la simulación para comprobar que esta se está ejecutando acorde a su diseño. Desde este estado se puede retornar de nuevo al de edición para reconfigurar parámetros, y así iterar hasta alcanzar el modelo óptimo de la simulación sin la necesidad de generar archivos innecesarios o sobrecargar el consumo de procesamiento de la aplicación.

Por otro lado, este estado sirve también para llevar el proceso a un punto de régimen continuo. Por ejemplo, si la escena cuenta con elementos que instancien objetos al comienzo de una línea de producción, puede resultar interesante para el usuario que se comience a generar una grabación de la escena únicamente cuando el primer objeto se encuentre en la fase final y la línea de producción esté completamente poblada. Una vez el usuario esté satisfecho con la simulación que se está ejecutando, podrá pasar al siguiente estado para generar una grabación de la secuencia.

T4.2: Componentes para el etiquetado de fotogramas

Con este módulo, a cada cámara se le asigna un componente que le permite generar, para el mismo

instante de tiempo, una imagen que contiene las etiquetas para cada objeto de interés visible desde su punto de vista.

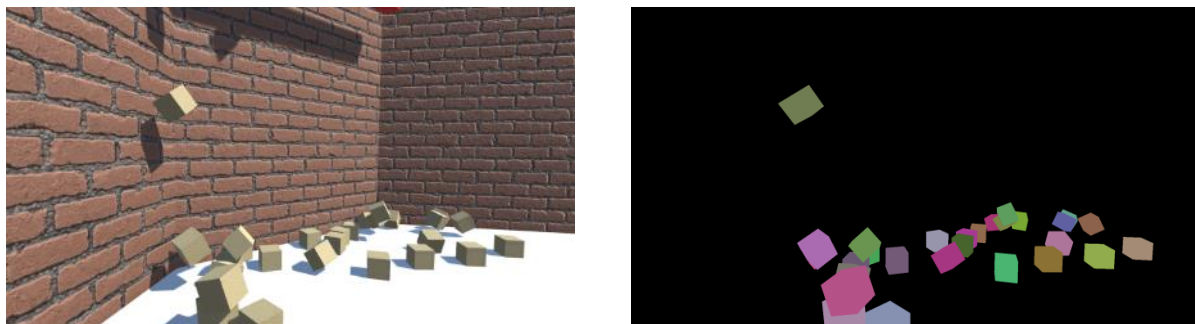


Figura 50 – Captura de una escena de ejemplo y las máscaras correspondientes

Por cada imagen generada de la escena se creará otra para el mismo instante de tiempo y mismas condiciones de la cámara. Esta imagen contendrá información sobre los objetos mediante máscaras de colores únicos, manejados por un componente gestor, para definir la región precisa que ocupa cada uno, es decir, para segmentar la imagen. En este sistema de codificación, cada color representa una instancia de un tipo de objeto de forma única.

Asimismo, se genera un archivo que recoge la relación entre el color de un objeto y su etiqueta identificadora correspondiente. De esta forma, mediante el valor de color de un píxel en la imagen de máscaras, se puede saber a qué objeto pertenece en la imagen de la captura de la escena. La información que relaciona máscaras de color y etiquetas se exporta en el archivo *annotations.json*. Además, para cada cámara configurada en la simulación se creará una carpeta con su identificador, donde se guardarán las salidas correspondientes a cada una.

Cada cámara genera también un archivo *CameraInfo.json* donde se especifican los parámetros de configuración, y contiene una carpeta para las capturas de pantalla y otra para sus correspondientes máscaras. Las imágenes van numeradas en formato de número entero sin signo de 3 dígitos, comenzando por el “000” hasta el “999” (siendo el número máximo de capturas un parámetro configurable).

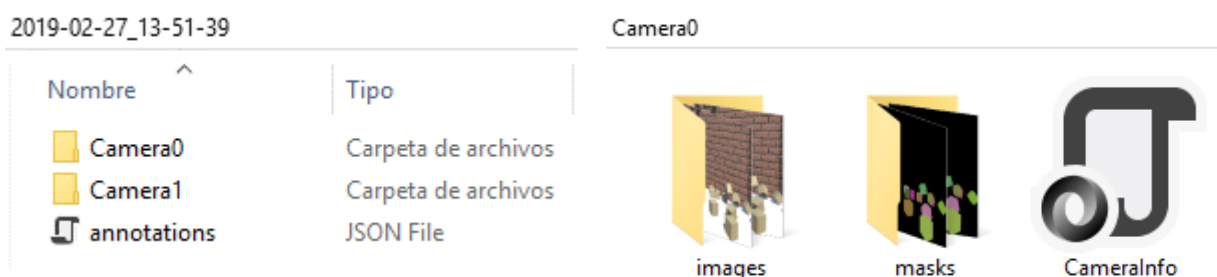


Figura 51 – Sistema de carpetas para los archivos de salida de la aplicación

Archivo de etiquetas.

El componente gestor, a partir del mapeado único entre instancias y colores, genera el archivo de etiquetas “*annotations.json*” exportado en formato JSON, en el que se recogen y relacionan todos los objetos de la escena y sus correspondientes colores en las imágenes de máscaras; que será usado posteriormente para entrenar los algoritmos de Visión Artificial. La estructura de este archivo consta de una lista de elementos con los campos de etiqueta (*label*) y los valores RGB del color asociado (en formato de entero sin signo de 8 bits).

```
{
  "list": [
    {
      "label": "Crate",
      "R": 210,
      "G": 184,
      "B": 205
    },
    {
      "label": "Ball",
      "R": 197,
      "G": 75,
      "B": 174
    },
    {
      "label": "Crate",
      "R": 167,
      "G": 57,
      "B": 149
    }
  ]
}
```

Figura 52 – Ejemplo de archivo de etiquetas

T4.3: Módulo para la grabación etiquetada de secuencias de vídeo

Al cambiar el módulo al estado de grabación de secuencia, la edición ya está completamente bloqueada y se comienzan a registrar las posiciones de todos los objetos de la escena. Estableciendo un límite máximo de *frames* o tiempo de simulación, los objetos de la escena continúan con el comportamiento previo, pero esta vez guardan su posición y orientación para poder recuperar una ubicación pasada en cualquier momento. De esta forma, se mantiene un registro de la posición de cada objeto en un espacio de tiempo preestablecido, generando un histórico que se podrá recorrer posteriormente para realizar las acciones que sean requeridas, como se explica en el siguiente apartado.

Al alcanzar el estado final de escritura de secuencia, se realizan las últimas comprobaciones de la correcta simulación y se permite generar los archivos de captura y etiquetas. La simulación es estática en este estado, y se puede escoger a qué punto del histórico se quiere acceder para observar la situación de todos los componentes en cada instante de la simulación. Una vez que se esté conforme con dicha secuencia, se procede a su captura y almacenamiento en disco.

El control de la captura de imágenes se lleva a cabo gracias al componente *CameraController* contenido en la carpeta, que debe asociarse a las cámaras que recogerán el contenido de la escena. Este componente contiene la funcionalidad de captura de vista, así como la configuración de los parámetros de grabación (resolución y tasa de capturas por segundo).

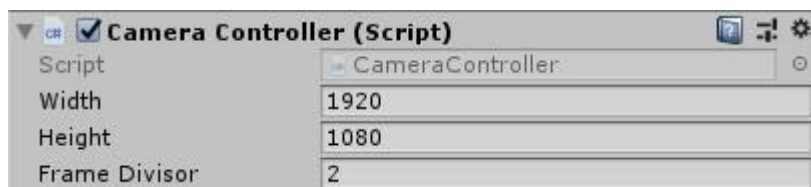


Figura 53 – Componente de captura de imágenes en Unity

El módulo completo que gestiona la reproducción de secuencias, el etiquetado y la exportación de imágenes se ha desarrollado como un paquete de Unity independiente, *Reveal_CameraModule.unitypackage*, que puede ser importado en cualquier proyecto para hacer uso de su funcionalidad; tal como se ha hecho en la aplicación de edición de entornos virtuales, adaptando ligeramente su funcionalidad para ajustarlo a las necesidades del caso concreto.

Hito 5: Plan de pruebas y validación

El último hito del proyecto ha tenido como objetivo desarrollar una escena virtual que simule el entorno industrial planteado en el caso de uso definido al inicio del proyecto. Sobre esa escena se validarán todos los desarrollos de la herramienta REVEAL. Los trabajos de validación se han estructurado en cuatro tareas:

- T5.1: Creación de la escena para el caso de uso.
- T5.2: Desarrollo de los algoritmos de VA para el caso de uso.
- T5.3: Definición del plan de pruebas.
- T5.4: Validación de la solución.

T5.1: Creación de la escena para el caso de uso

Tras haber desarrollado tanto el repositorio de contenidos como la aplicación de edición de escenas virtuales industriales, se hará uso de ambos componentes para desplegar un escenario que represente el caso de uso planteado para llevar a cabo el entrenamiento de algoritmos de Visión Artificial y validar posteriormente el sistema.

Este caso de uso consiste en la creación de un entorno virtual del ámbito industrial con el objetivo de generar los datos necesarios para el desarrollo de algoritmos de Visión Artificial. En concreto, los algoritmos desarrollados servirán para el mantenimiento del *stock* de envíos paletizados preparados para su despacho a cliente en un almacén.

Utilizando la herramienta de edición desarrollada, se ha generado el entorno virtual de un almacén en el

cual se simula la entrada y salida de cajas paletizadas. La vista general de esta escena se muestra en la *Figura 54*.

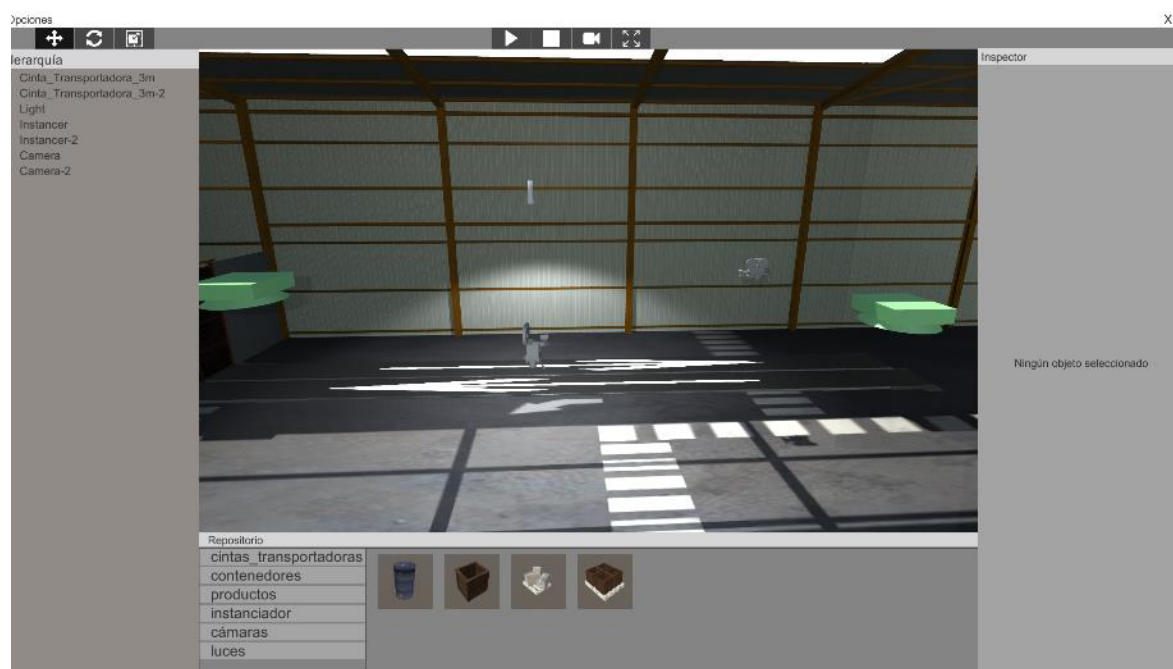


Figura 54 – Aplicación editor con la escena creada para el caso de uso

Como se observa en la imagen, para generar la escena se han utilizados los siguientes componentes:

- Dos cintas transportadoras.
- Dos elementos instanciadores configurados para emitir pallets con cajas de cartón.
- Un elemento de iluminación.
- Dos cámaras enfocadas hacia la zona donde aparecen los pallets, una desde un lateral y otra desde arriba.

Con esta disposición se han realizado tres grabaciones para obtener las imágenes provenientes de las dos cámaras con las correspondientes máscaras de los objetos, en este caso primero los pallets con cajas de cartón y posteriormente los pallets con cajas de madera. Algunos ejemplos de las imágenes generadas se muestran a continuación.

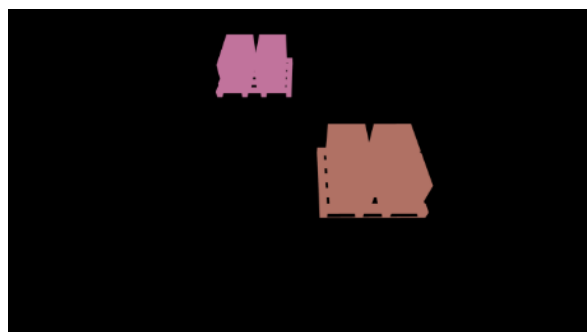
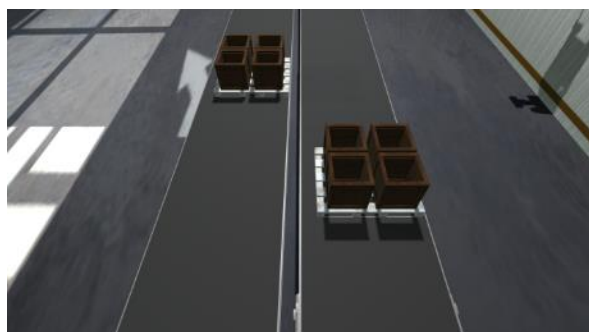
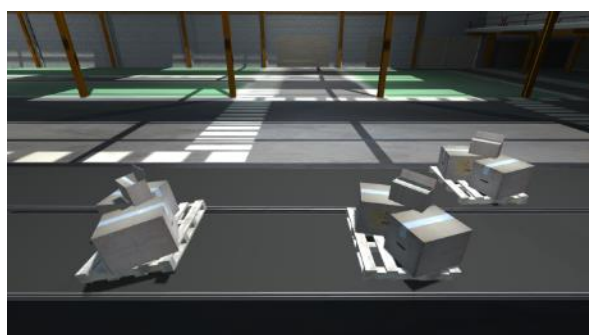


Figura 55 – Ejemplo de imágenes generadas por la aplicación de REVEAL para el caso de uso

En total, se han generado 332 imágenes de la escena y 460 máscaras de los pallets con cajas, que se han utilizado para la implementación de un algoritmo de detección de este tipo de objetos. La información relativa a la generación de este algoritmo se detalla en la descripción de la siguiente tarea.

A continuación, en una segunda simulación se ha creado un entorno similar al anterior en el que entran y salen contenedores cilíndricos metálicos (bidones). Para ello se han utilizado los siguientes componentes:

- Dos cintas transportadoras.
- Dos elementos instanciadores configurados para emitir bidones.
- Un elemento de iluminación.
- Dos cámaras enfocadas hacia la zona donde aparecen los pallets, una desde un lateral y otra

desde arriba. Además, a la cámara lateral se le ha añadido un comportamiento para simular el efecto del polvo o suciedad.

La Figura 56 muestra diferentes vistas de la segunda escena generada para el caso de uso definido.

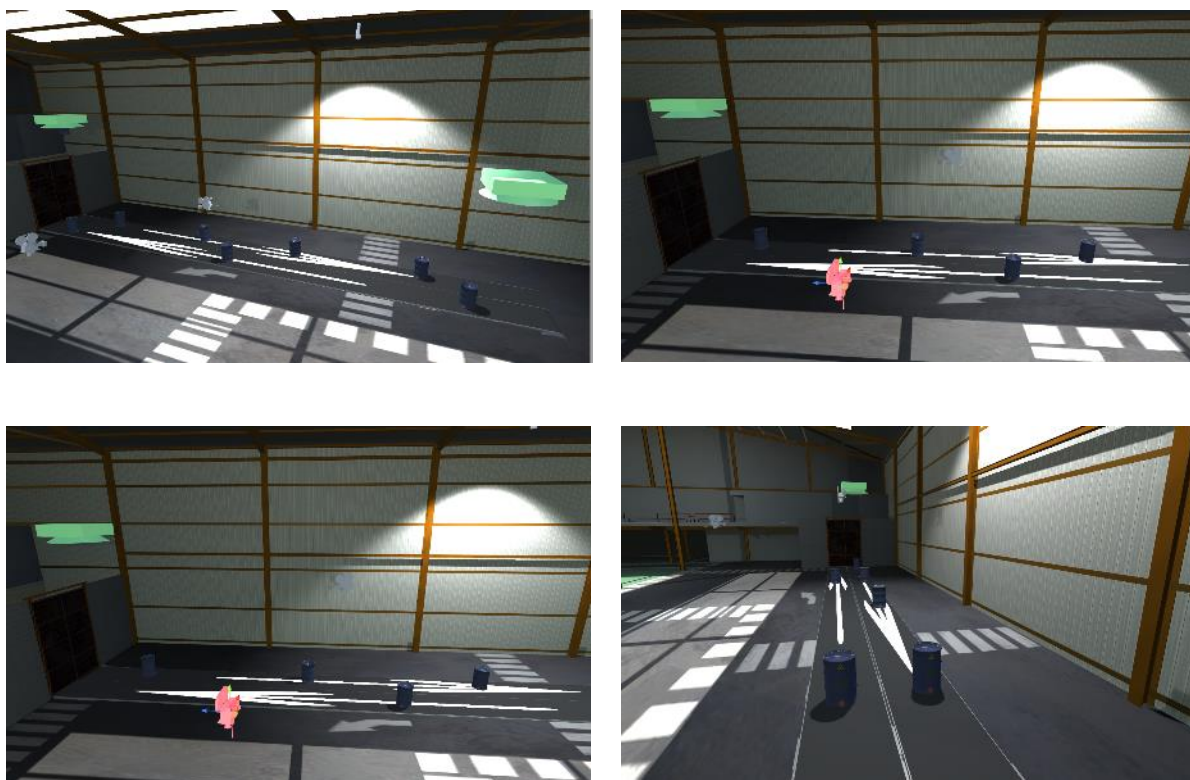


Figura 56 – Vistas de la escena de simulación de entrada y salida de bidones

Como resultado de esta simulación se han generado automáticamente 292 imágenes con sus correspondientes máscaras, algunas de las cuales se muestran en la Figura 57.



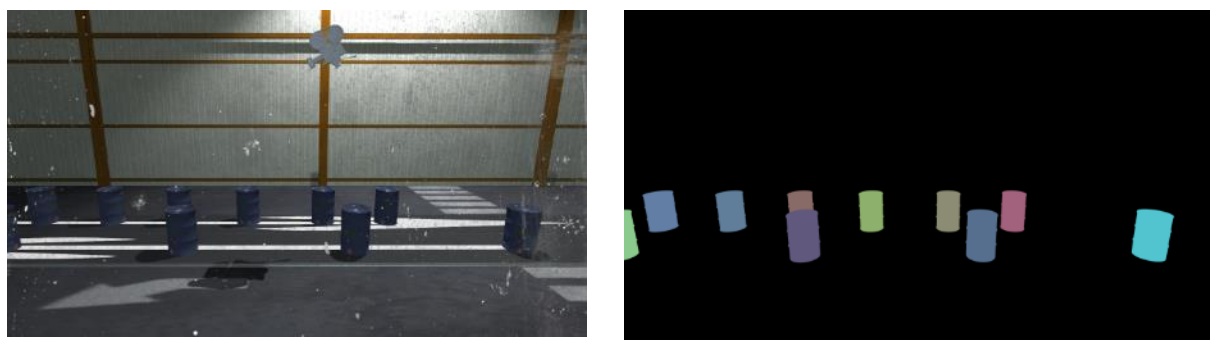


Figura 57 – Ejemplo de imágenes generadas por la aplicación de REVEAL para la segunda escena

Con estos datos se ha entrenado el segundo algoritmo para la detección de bidones, cuyos resultados se resuelven en la descripción de la siguiente tarea.

T5.2: Desarrollo de los algoritmos de VA para el caso de uso

Se presentan los algoritmos de VA implementados para validar el caso de uso seleccionado. Estos se aplicarán sobre las secuencias de imágenes producto de la simulación realizada en el entorno virtual diseñado en la tarea anterior. Los algoritmos se han implementado en el lenguaje de programación Python.

Para estos desarrollos se ha utilizado la técnica de *transfer learning* usando la plataforma *TensorFlow* en conjunto con los *datasets* de imágenes generados gracias a la herramienta REVEAL para el entrenamiento. Como resultado de todo este proceso, se han obtenido los modelos capaces de detectar en nuevas imágenes los objetos cuyos conjuntos de entrenamiento fueron generados gracias a la herramienta desarrollada.

Algoritmo detector de cajas.

El primer algoritmo desarrollado tiene como objetivo la detección automática de cajas de cartón paletizadas para su posterior conteo. Con los datos obtenidos gracias a la herramienta, se ha realizado el entrenamiento para la obtención de un modelo de detección de cajas de madera y de cartón. A continuación se muestran los resultados del entrenamiento.

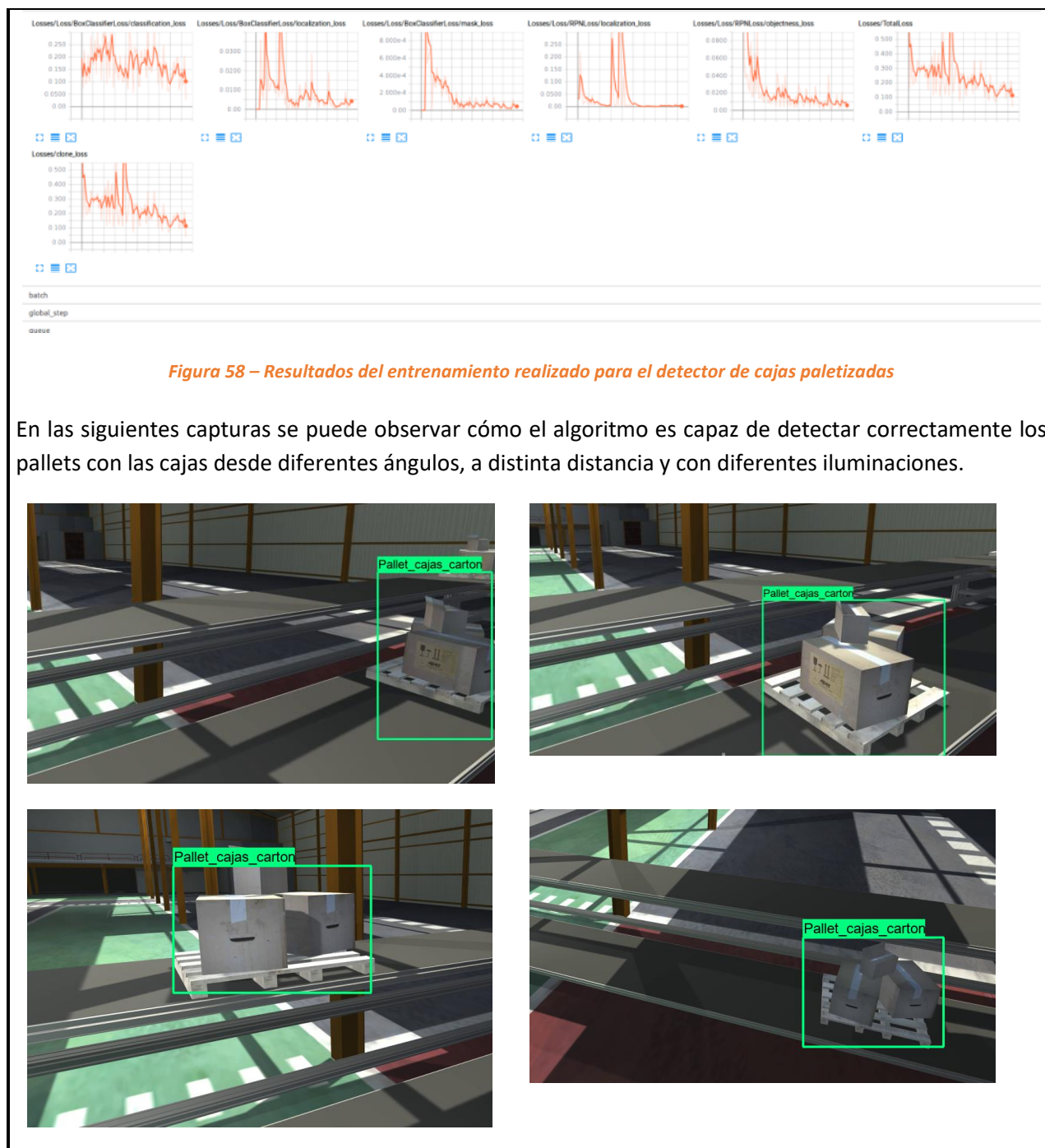


Figura 58 – Resultados del entrenamiento realizado para el detector de cajas paletizadas

En las siguientes capturas se puede observar cómo el algoritmo es capaz de detectar correctamente los pallets con las cajas desde diferentes ángulos, a distinta distancia y con diferentes iluminaciones.

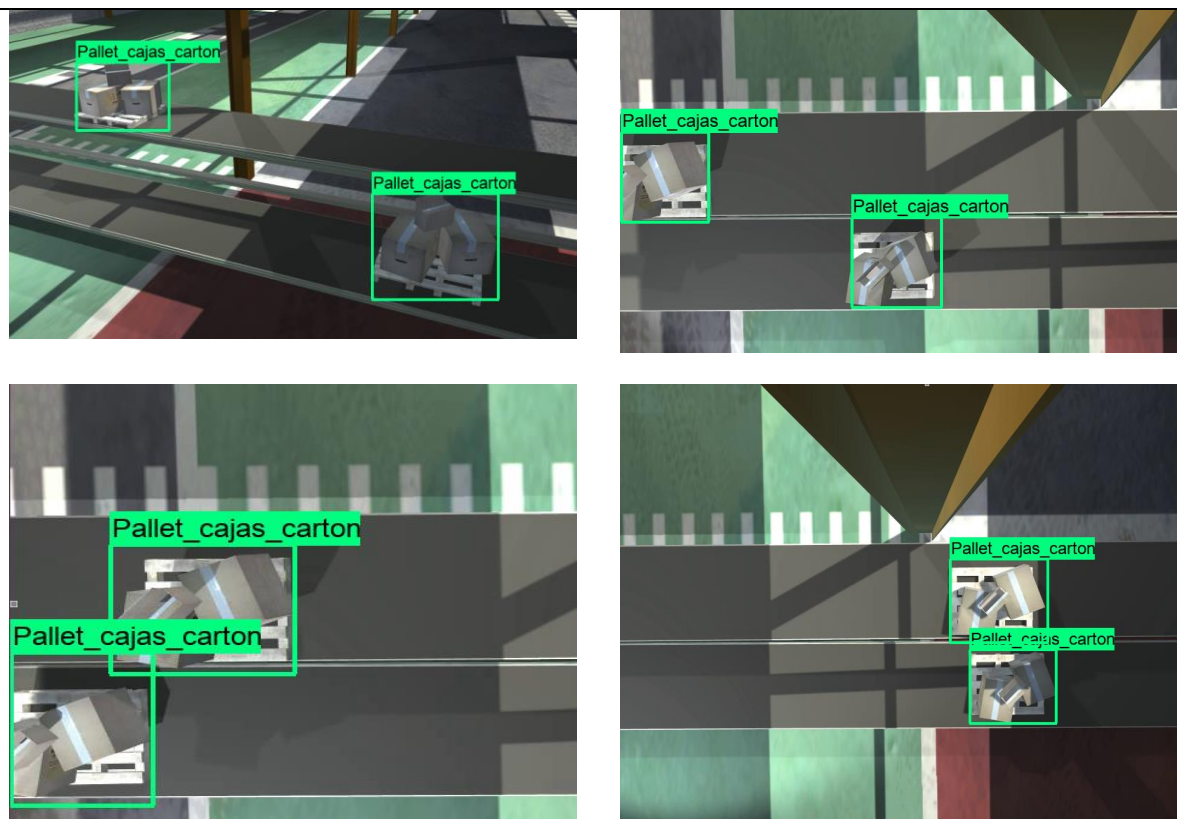


Figura 59 – Ejemplos de funcionamiento del algoritmo de detección de cajas paletizadas

Algoritmo detector de bidones.

Siguiendo el mismo procedimiento que antes, el segundo algoritmo desarrollado detecta los bidones que aparecen en las imágenes. Los detalles del resultado correspondiente al entrenamiento del modelo se muestran en la Figura 60.

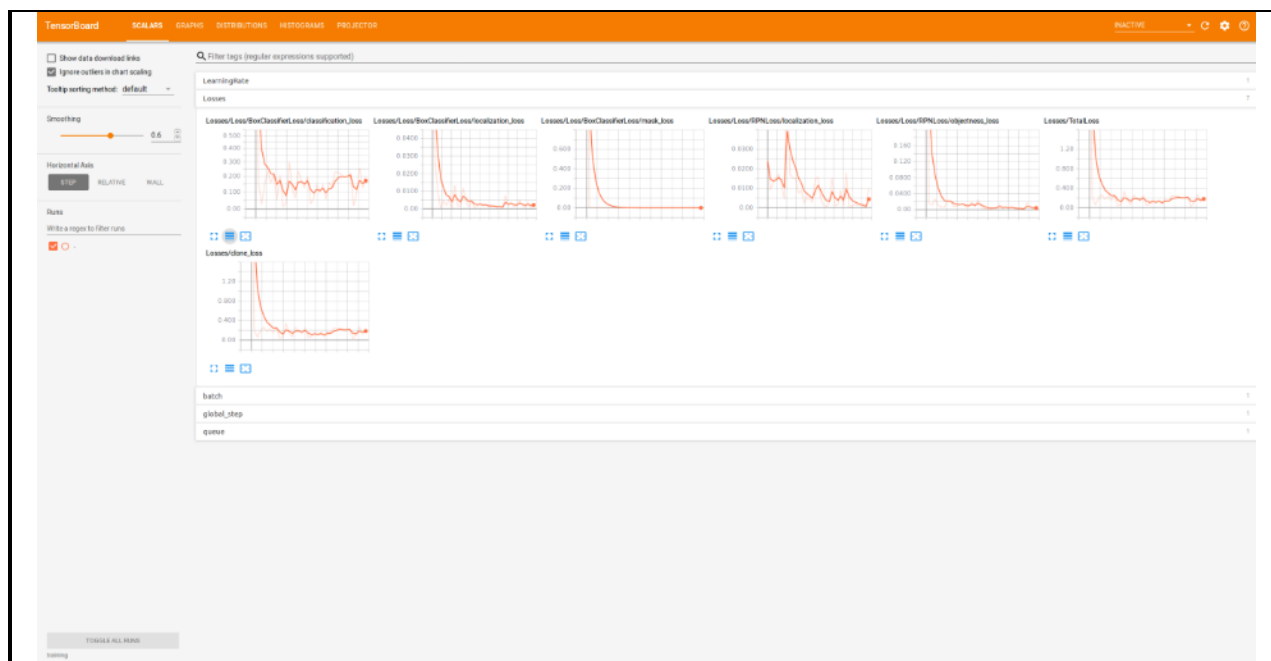
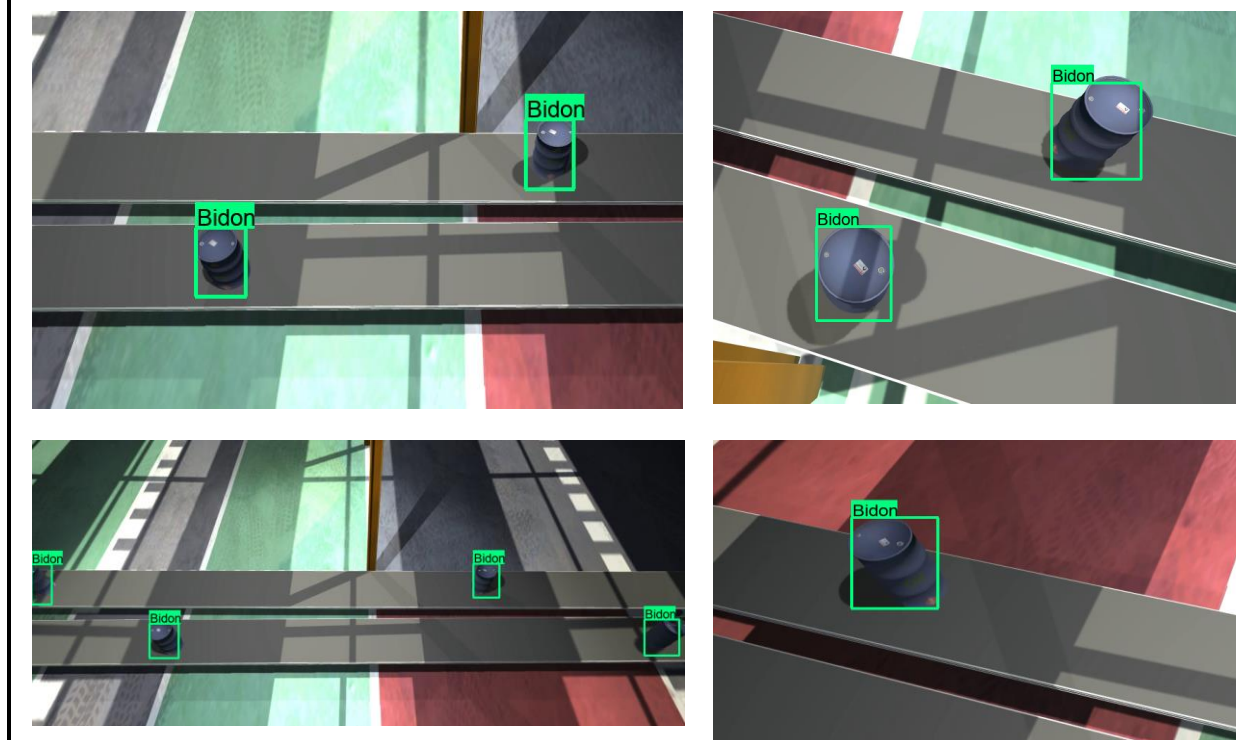


Figura 60 – Resultados del entrenamiento realizado para el detector de bidones

A continuación, se presentan algunos resultados visuales de la ejecución del algoritmo en donde se puede apreciar su correcto funcionamiento.



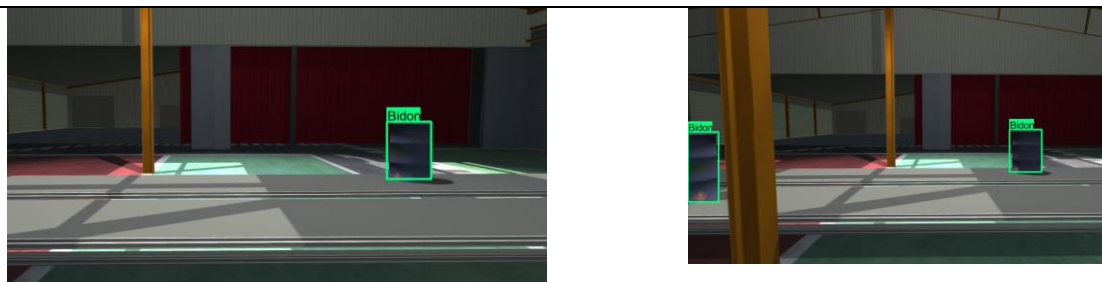


Figura 61 – Ejemplos de funcionamiento del algoritmo desarrollado para la detección de bidones.

Como se ve, el algoritmo es capaz de detectar los bidones desde diferentes puntos de vista, a distinta distancia y con diferente iluminación.

Algoritmo de conteo de productos.

Por último, se ha implementado un programa para el conteo de productos entrantes y salientes que utiliza los detectores generados anteriormente para monitorizar el *stock* del escenario del caso de uso. Para la comprobación del sistema de Visión desarrollado para el conteo de pallets con cajas y bidones, se han utilizado dos vídeos que simulan la entrada y salida de este tipo de objetos. A continuación, se muestran algunas capturas de los resultados obtenidos.

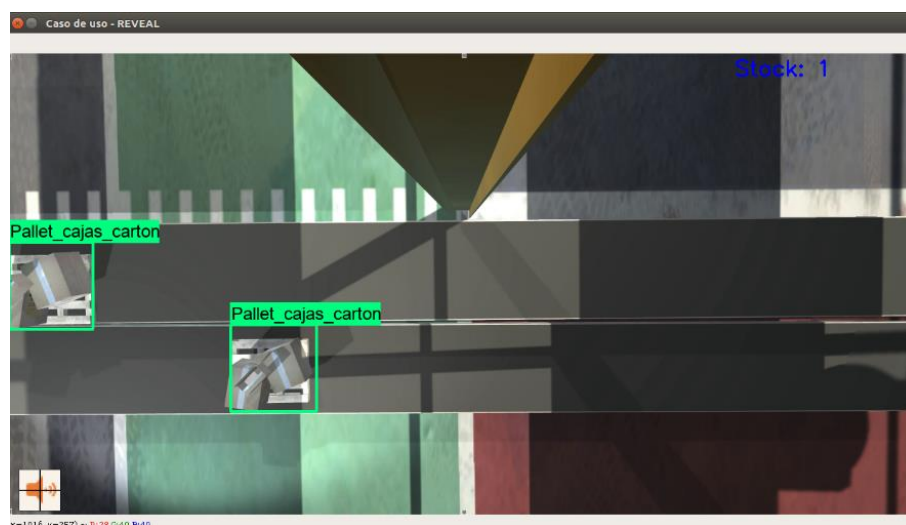


Figura 62 – Ejemplo de funcionamiento del algoritmo de conteo de cajas paletizadas

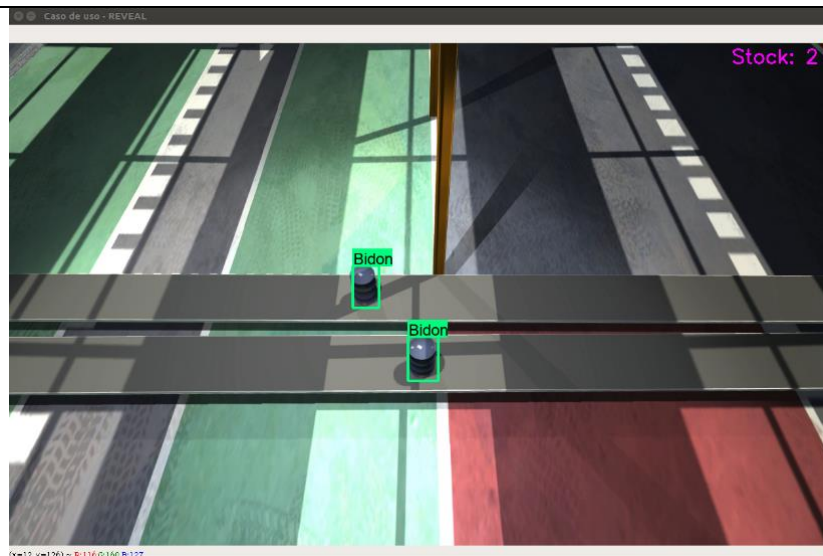


Figura 63 – Ejemplo de funcionamiento del algoritmo de conteo de bidones

El algoritmo se ha comportado como era de esperar, contabilizando correctamente las entradas y salidas de los distintos objetos y manteniendo el control de *stock* perfectamente actualizado.

T5.3: Definición del plan de pruebas

El objetivo principal del plan de pruebas es definir una metodología y un conjunto de criterios de evaluación que permitan verificar que la herramienta de diseño y simulación de escenarios virtuales cumple con los requisitos identificados. En primer lugar, se va a definir un conjunto de criterios de evaluación que permitirán comprobar el cumplimiento de cada uno de los requisitos indicados para el desarrollo de este proyecto. Para cada uno de estos criterios de evaluación se indicarán los siguientes aspectos.

- **Requisito asociado** (identificador y descripción).
- **Aspecto a evaluar** (funcionalidad o aspecto de calidad).
- **Tipo de evaluación**, que podrá ser:
 - **Cuantitativa**: si existe una métrica que permita verificar que se cumple el requisito, o se trata de una característica que existe o no;
 - **Cualitativa**: si es un atributo de calidad o una apreciación subjetiva.
- **Prioridad**: nivel de necesidad temporal (alta, media o baja).
- **Método utilizado para la verificación**, que podrá ser una métrica, verificación por inspección del usuario revisor, o mediante la realización de un caso de test.

Se utilizarán métricas que permitan realizar una comprobación cuantitativa del requisito correspondiente siempre que sea posible. No obstante, para ciertos requisitos, como por ejemplo aquellos relacionados con aspectos de calidad en donde la percepción del resultado es subjetiva, se realizarán las comprobaciones mediante inspección. Dichos aspectos o atributos de calidad se corresponderán con los requisitos no funcionales, y estarán orientados a evaluar:

- **El desarrollo y mantenimiento del sistema** (e. g. mantenibilidad, portabilidad, reusabilidad, escalabilidad).
- **La utilización del sistema** (e. g. usabilidad, prestaciones, interoperabilidad, capacidad de configuración, etc.).

Criterios de evaluación para los requisitos funcionales.

ID	Descripción	Prioridad	Aspecto a evaluar	Tipo de evaluación	Instrumento
OE1	Creación de un repositorio de modelos 3D para la generación de entornos virtuales				
RF_1	El repositorio contendrá modelos 3D en un formato compatible con los entornos virtuales.	Alta	Funcional	Cuantitativa	Documentación
RF_2	El repositorio implementa una jerarquía de elementos para facilitar la búsqueda.	Alta	Funcional	Cuantitativa	Documentación
RF_3	El repositorio puede ser consultado para usar su contenido por las aplicaciones de generación de entornos.	Alta	Funcional	Cuantitativa	Inspección
RF_4	El repositorio permite añadir nuevo contenido	Alta	Funcional	Cuantitativa	REVEAL_CT_1
RF_5	El repositorio permite eliminar contenido existente.	Alta	Funcional	Cuantitativa	REVEAL_CT_2
RF_6	El repositorio permite editar la jerarquía para modificar la estructura en la que se categorizan los elementos 3D.	Media	Funcional	Cuantitativa	REVEAL_CT_3
RF_7	El repositorio permite editar la categoría de un modelo 3D.	Baja	Funcional	Cuantitativa	Inspección
OE2	Desarrollo de una herramienta que permita la generación de entornos virtuales de tipo industrial configurables				
RF_8	La herramienta puede comunicarse con el repositorio.	Alta	Funcional	Cuantitativa	REVEAL_CT_4
RF_9	La herramienta es compatible con los modelos del repositorio.	Alta	Funcional	Cuantitativa	REVEAL_CT_4
RF_10	La herramienta permite el despliegue de al menos un modelo del repositorio.	Alta	Funcional	Cuantitativa	REVEAL_CT_4
RF_11	La herramienta permite situar el modelo en la ubicación deseada del entorno virtual.	Alta	Funcional	Cuantitativa	REVEAL_CT_4
RF_12	La herramienta permite rotar el modelo con respecto a sus ejes.	Alta	Funcional	Cuantitativa	REVEAL_CT_4
RF_13	La herramienta permite borrar los modelos desplegados en el escenario virtual.	Alta	Funcional	Cuantitativa	REVEAL_CT_4
RF_14	El material de los modelos 3D puede ser modificado desde la herramienta.	Media	Funcional	Cuantitativa	Inspección
OE3	Desarrollo de componentes para la configuración y reproducción de una simulación				

RF_15	Al menos dos componentes de comportamiento deben estar disponibles en la herramienta.	Alta	Funcional	Cuantitativa	Inspección
RF_16	La herramienta permite asignar al menos un módulo de comportamiento a un modelo 3D.	Alta	Funcional	Cuantitativa	Inspección
RF_17	La herramienta permite descartar los módulos de comportamiento vinculados a un modelo 3D.	Alta	Funcional	Cuantitativa	Inspección
RF_18	Los componentes contarán, si es necesario, al menos con un parámetro de configuración.	Media	Funcional	Cuantitativa	Inspección
OE4	Desarrollo de componentes para la configuración de los puntos de vista a grabar y de las condiciones ambientales				
RF_19	La herramienta ofrecerá un componente tipo cámara que se podrá desplegar en el escenario para obtener imágenes del escenario virtual.	Alta	Funcional	Cuantitativa	REVEAL_CT_5
RF_20	Se podrá mover el objeto cámara y ubicarlo en la posición deseada por el usuario.	Alta	Funcional	Cuantitativa	REVEAL_CT_5
RF_21	Se podrá eliminar el objeto cámara del escenario.	Alta	Funcional	Cuantitativa	REVEAL_CT_5
RF_22	Existirá en la herramienta al menos un descriptor de tipo de comportamiento ambiental para las cámaras.	Media	Funcional	Cuantitativa	Inspección
RF_23	La herramienta permitirá vincular al menos un descriptor de comportamiento ambiental a las cámaras.	Media	Funcional	Cuantitativa	Inspección
OE5	Desarrollo de un módulo para la grabación de vídeos con contenido etiquetado				
RF_24	Los vídeos se guardarán a disco en un formato que permita su uso sencillo como <i>dataset</i> de entrenamiento.	Alta	Funcional	Cuantitativa	REVEAL_CT_6
RF_25	Se ha definido un módulo de etiquetado sobre las imágenes obtenidas desde el punto de vista de la cámara en la escena.	Alta	Funcional	Cuantitativa	REVEAL_CT_6
RF_26	El módulo de etiquetado segmentará el contenido de las imágenes.	Alta	Funcional	Cuantitativa	REVEAL_CT_6
RF_27	Cada imagen etiquetada por el módulo estará asociada a algún descriptor del contenido.	Alta	Funcional	Cuantitativa	REVEAL_CT_6
RF_28	Cada cámara generará vídeo que será etiquetado independientemente por el módulo para registro de imágenes.	Alta	Funcional	Cuantitativa	REVEAL_CT_6
RF_29	La herramienta tendrá un modo simulación en el que no se capturará vídeo para poder testar el entorno y la disposición de los modelos.	Media	Funcional	Cuantitativa	Inspección
OE6	Creación de un prototipo para la demostración del valor del simulador de estaciones de proceso para obtención de imágenes de entrenamiento				
RF_30	El prototipo contendrá al menos dos tipos de modelos 3D distintos.	Alta	Funcional	Cuantitativa	Inspección

RF_31	Al menos un modelo en la escena tendrá vinculado un comportamiento.	Alta	Funcional	Cuantitativa	Inspección
RF_32	El prototipo contendrá en la escena al menos una cámara para la captura de imágenes.	Alta	Funcional	Cuantitativa	Inspección
RF_33	Al menos una de las cámaras desplegadas en el prototipo tendrá vinculado algún comportamiento ambiental.	Media	Funcional	Cuantitativa	Inspección

Tabla 13 – Criterios para la evaluación funcional del sistema

Criterios de evaluación para los requisitos no funcionales.

ID	Descripción	Prioridad	Aspecto a evaluar	Tipo de evaluación	Instrumento
OE1	Creación de un repositorio de modelos 3D para la generación de entornos virtuales				
RNF_1	El diseño del repositorio permitirá añadir fácilmente nuevos contenidos.	Alta	Extensibilidad	Cualitativa	Documentación
RNF_2	El diseño del repositorio facilita su mantenimiento.	Alta	Mantenibilidad	Cualitativa	Documentación
RNF_3	El repositorio facilitará el acceso a su contenido.	Alta	Interoperabilidad	Cualitativa	REVEAL_CT_7
RNF_4	El contenido del repositorio cubrirá un abanico genérico de elementos industriales.	Media	Rendimiento	Cualitativa	Documentación
RNF_5	Debe incluirse documentación sobre la estructura del contenido del repositorio.	Media	Mantenibilidad	Cualitativa	Documentación
OE2	Desarrollo de una herramienta que permita la generación de entornos virtuales de tipo industrial configurables				
RNF_6	El uso de la herramienta debe ser sencillo mediante una interfaz clara.	Alta	Usabilidad	Cualitativa	Inspección
RNF_7	La herramienta debe incluir un manual de usuario.	Alta	Mantenibilidad	Cualitativa	Documentación
RNF_8	La herramienta debe facilitar la comunicación con el repositorio.	Alta	Interoperabilidad	Cualitativa	Inspección
RNF_9	La herramienta debe ser robusta ante un uso intensivo.	Alta	Calidad	Cualitativa	Inspección
RNF_10	La herramienta debe responder en tiempo real ante los cambios del usuario.	Media	Rendimiento	Cualitativa	REVEAL_CT_8
RNF_11	En caso de error, la herramienta proporcionará <i>feedback</i> adecuado al usuario.	Media	Usabilidad	Cualitativa	Inspección
OE3	Desarrollo de componentes para la configuración y reproducción de una simulación				
RNF_12	Añadir comportamientos a los componentes debe ser sencillo para el	Alta	Usabilidad	Cualitativa	Inspección

	usuario.				
RNF_13	La herramienta deberá soportar, al menos, la adición de 2 comportamientos de forma simultánea.	Alta	Rendimiento	Cualitativa	REVEAL_CT_9
RNF_14	Los parámetros de los componentes deben ser fácilmente configurables.	Media	Usabilidad	Cualitativa	REVEAL_CT_9
OE4	Desarrollo de componentes para la configuración de los puntos de vista a grabar y de las condiciones ambientales				
RNF_15	Las cámaras deben de poder desplegarse con facilidad en el entorno.	Alta	Usabilidad	Cualitativa	Inspección
RNF_16	La configuración del comportamiento de una cámara deberá ser intuitiva.	Alta	Usabilidad	Cualitativa	Inspección
RNF_17	El sistema deberá ser robusto ante el despliegue de, al menos, 2 cámaras simultáneas en un mismo entorno.	Alta	Calidad	Cualitativa	Inspección
RNF_18	Las cámaras deben permitir la previsualización de su punto de vista.	Media	Usabilidad	Cualitativa	Inspección
RNF_19	La herramienta debe mantener un rendimiento adecuado ante la adición de, al menos, 2 comportamientos ambientales en una escena.	Media	Rendimiento	Cualitativa	REVEAL_CT_10
OE5	Desarrollo de un módulo para la grabación de vídeos con contenido etiquetado				
RNF_20	Las imágenes generadas deben guardar una calidad suficiente para su uso como conjunto de entrenamiento.	Alta	Calidad	Cualitativa	Inspección
RNF_21	El proceso de etiquetado debe requerir poca o nula intervención humana.	Alta	Rendimiento	Cualitativa	Documentación
RNF_22	Las etiquetas deben identificar de manera inequívoca a un objeto de la escena.	Alta	Calidad	Cualitativa	Documentación
RNF_23	La herramienta en modo simulación debe comportarse de manera fluida.	Baja	Rendimiento	Cualitativa	Inspección
OE6	Creación de un prototipo para la demostración del valor del simulador de estaciones de proceso para obtención de imágenes de entrenamiento				
RNF_24	La consecución del <i>layout</i> de componentes deseado para el prototipo debe ser sencilla.	Alta	Usabilidad	Cualitativa	Inspección
RNF_25	La aplicación debe proporcionar <i>feedback</i> al usuario de su estado en cada momento.	Alta	Usabilidad	Cualitativa	Inspección
RNF_26	El tiempo empleado para generar un <i>dataset</i> con la herramienta debe ser menor al empleado sin la herramienta.	Alta	Complejidad	Cualitativa	Inspección

Tabla 14 – Criterios para la evaluación no funcional del sistema

Definición de casos de test.

A continuación, se describen los casos de test definidos para las pruebas a realizar en la fase de validación.

ID	REVEAL_CT_1	Nombre	Añadir nuevo contenido al repositorio
ID Requisito	RF_4		
Precondiciones	- Repositorio de contenido desplegado en lugar accesible - Aplicación editor desplegada en el equipo configurada con acceso al repositorio		
Caso de test	Se crea un nuevo elemento para el repositorio según el procedimiento descrito en el informe y se añade al mismo.		
Resultado esperado	Al utilizar la aplicación editor se carga el nuevo elemento.		

Tabla 15 – Definición de REVEAL_CT_1

ID	REVEAL_CT_2	Nombre	Borrar contenido del repositorio
ID Requisito	RF_5		
Precondiciones	- Repositorio de contenido desplegado en lugar accesible - Aplicación editor desplegada en el equipo configurada con acceso al repositorio - Al menos un elemento en el repositorio		
Caso de test	Se borra un elemento del repositorio.		
Resultado esperado	Al utilizar la aplicación editor, el nuevo elemento no está disponible.		

Tabla 16 – Definición de REVEAL_CT_2

ID	REVEAL_CT_3	Nombre	Modificar la jerarquía del repositorio
ID Requisito	RF_6		
Precondiciones	- Repositorio de contenido desplegado en lugar accesible - Aplicación editor desplegada en el equipo configurada con acceso al repositorio - Al menos una categoría en el repositorio - Al menos un elemento en esa categoría		
Caso de test	Se modifica el nombre de la categoría del repositorio.		
Resultado esperado	Al utilizar la aplicación editor se carga la nueva jerarquía.		

Tabla 17 – Definición de REVEAL_CT_3

ID	REVEAL_CT_4	Nombre	Manipulación de objetos del repositorio en escena
ID Requisito	RF_8, RF_9, RF_10, RF_11, RF_12, RF_13		
Precondiciones	- Repositorio de contenido desplegado en lugar accesible - Aplicación editor desplegada en el equipo configurada con acceso al repositorio - Al menos un elemento en el repositorio		
Caso de test	Se importa un elemento del repositorio en la aplicación editor. Se utilizan las herramientas del editor para desplazar el elemento en la escena. Se utilizan las herramientas del editor para rotar el elemento en la escena. Se utilizan las herramientas del editor para suprimir el elemento de la escena.		
Resultado	El elemento "tipo" del repositorio se ha desplegado en la escena (instancia).		

esperado	La instancia se ha trasladado al punto seleccionado. La instancia se ha rotado los grados adecuados. La instancia se ha borrado, desapareciendo del escenario.
-----------------	--

Tabla 18 – Definición de REVEAL_CT_4

ID	REVEAL_CT_5	Nombre	Manipulación de elementos cámara en escena
ID Requisito	RF_19, RF_20, RF_21		
Precondiciones	• Aplicación editor desplegada en el equipo		
Caso de test	Se utilizan las herramientas del editor para instanciar un elemento tipo cámara. Se utilizan las herramientas del editor para desplazar la cámara en la escena. Se utilizan las herramientas del editor para suprimir la cámara de la escena.		
Resultado esperado	La instancia de cámara se ha desplegado en la escena. La instancia de cámara se ha trasladado al punto seleccionado. La instancia de cámara se ha borrado, desapareciendo del escenario.		

Tabla 19 – Definición de REVEAL_CT_5

ID	REVEAL_CT_6	Nombre	Etiquetado de imágenes por los componentes cámara
ID Requisito	RF_24, RF_25, RF_26, RF_27, RF_28		
Precondiciones	• Repositorio de contenido desplegado en lugar accesible • Aplicación editor desplegada en el equipo configurada con acceso al repositorio • Al menos un elemento del repositorio desplegado en la escena • Al menos dos cámaras colocadas en la escena, visualizando el elemento		
Caso de test	Se utilizan las herramientas del editor para configurar la ruta de salida. Se utilizan las herramientas del editor para ejecutar la simulación y la captura de imágenes.		
Resultado esperado	Los <i>frames</i> generados son guardados en disco en la ruta de salida seleccionada. Cada cámara ha generado una carpeta distinta que contiene los <i>frames</i> desde su punto de vista. Por cada cámara y cada <i>frame</i> existe una imagen de la escena y otra imagen segmentada por máscaras de color. Cada cámara genera un archivo descriptor de etiquetas para sus capturas de imagen segmentada que relaciona colores y objetos.		

Tabla 20 – Definición de REVEAL_CT_6

ID	REVEAL_CT_7	Nombre	Comunicación sencilla con el repositorio
ID Requisito	RNF_3		
Precondiciones	• Repositorio de contenido desplegado en lugar accesible • Aplicación editor desplegada en el equipo • Al menos un elemento en el repositorio		
Caso de test	Se abre la aplicación editor y se selecciona la opción de configurar la ruta del repositorio. Se escribe la ruta donde es accesible el repositorio y se aceptan los cambios. Se explora el repositorio desde la aplicación editor.		
Resultado esperado	Los contenidos del repositorio se listan en la aplicación editor y se permite su despliegue en la escena.		

Tabla 21 – Definición de REVEAL_CT_7

ID	REVEAL_CT_8	Nombre	Actualización del estado en tiempo real
ID Requisito	RNF_10		

Precondiciones	- Repositorio de contenido desplegado en lugar accesible - Aplicación editor desplegada en el equipo configurada con acceso al repositorio - Al menos un elemento del repositorio desplegado en la escena
Caso de test	Se utilizan las herramientas del editor para arrastrar el elemento de la escena de una posición a otra.
Resultado esperado	En el panel de inspección se muestra inmediatamente la información del componente sobre el que se ha pulsado. El estado de la escena se refresca a una tasa mayor de 24 <i>fps</i> y se aprecia el movimiento del componente completo.

Tabla 22 – Definición de REVEAL_CT_8

ID	REVEAL_CT_9	Nombre	Configuración de parámetros de comportamientos
ID Requisito	RNF_13, RNF_14		
Precondiciones	- Repositorio de contenido desplegado en lugar accesible - Aplicación editor desplegada en el equipo configurada con acceso al repositorio - Al menos un elemento del repositorio desplegado en la escena		
Caso de test	Se selecciona el componente desplegado en la escena en la aplicación editor. Se le agrega un nuevo comportamiento haciendo <i>click</i> en el desplegable correspondiente. Se configura el comportamiento en el panel de inspección. Se le agrega otro comportamiento haciendo <i>click</i> en el desplegable de nuevo.		
Resultado esperado	El componente de la escena permanece con 2 comportamientos asociados. Los parámetros de configuración de los comportamientos se han aplicado.		

Tabla 23 – Definición de REVEAL_CT_9

ID	REVEAL_CT_10	Nombre	Rendimiento ante la adición de comportamientos ambientales
ID Requisito	RNF_19		
Precondiciones	- Aplicación editor desplegada en el equipo - Al menos un elemento cámara desplegado en la escena		
Caso de test	Se selecciona la cámara desplegada en la escena en la aplicación editor. Se le agrega un componente de comportamiento ambiental haciendo <i>click</i> en el desplegable correspondiente. Se le agrega otro componente de comportamiento ambiental distinto haciendo <i>click</i> en el desplegable de nuevo.		
Resultado esperado	La cámara de la escena permanece con los 2 comportamientos ambientales asociados. El estado de la escena se sigue refrescando a una tasa mayor de 24 <i>fps</i>.		

Tabla 24 – Definición de REVEAL_CT_10

T5.4: Validación de la solución

Se detallan a continuación los resultados obtenidos para las pruebas realizadas según el plan descrito en la tarea anterior. Esto permitirá verificar que el sistema realiza las operaciones requeridas y que cumple con las metas de calidad fijadas en el diseño.

Tanto el repositorio de contenidos gráficos como la herramienta editor fueron desplegados en un equipo con las siguientes características.

Características del equipo

Sistema Operativo	Windows 10 Pro (64 bits)
Procesador	Intel Core i7-5600U CPU @ 2.60GHz 2.59GHz
Memoria RAM	12GB
Memoria interna	250GB
Tarjeta gráfica	NVIDIA Quadro K620M

Tabla 25 – Características del equipo de despliegue

Utilizando el editor de escenas desarrollado se han creado diferentes entornos para llevar a cabo las pruebas durante esta fase de validación del sistema; destacando entre ellos el escenario prototipo representativo del caso de uso propuesto.

Para confirmar la validación de los requisitos evaluables por inspección, se indicará el lugar, componente o pantalla donde se verifica su consecución, mientras que se hará referencia al documento apropiado para los que son justificables por documentación. Para aquellos que han sido sometidos a los casos de test detallados anteriormente, se describirán los pasos realizados y los resultados obtenidos.

Validación de los requisitos funcionales.

Todos los RF han sido validados y comprobados que funcionan correctamente.

Validación de los requisitos no funcionales.

Todos los RNF han sido validados y comprobados que funcionan correctamente.

Conclusiones.

Tras esta tarea, queda atestiguada la validación del sistema; cubriendo los objetivos del proyecto y los requisitos establecidos, así como el caso de uso planteado para demostrar la utilidad de la herramienta de generación de conjuntos de imágenes de entrenamiento para sistemas de Visión Artificial en entornos industriales.

Gracias al diseño del sistema, el ámbito de actuación no queda relegado exclusivamente al industrial. Sin grandes modificaciones, como por ejemplo el uso repositorios adicionales con otro tipo de modelos 3D, se podrán recrear entornos prácticamente sin ningún límite, otorgando una gran adaptabilidad que, gracias a futuras ampliaciones y mejoras, podrá desplegar todo el potencial que la herramienta ha demostrado y acercar este tipo de tecnología a sectores donde todavía se observa con recelo.

Se concluye de esta forma que con el proyecto REVEAL se ha desarrollado una herramienta versátil, que se puede usar en prácticamente cualquier sector, de fácil manejo y rápido despliegue. Gracias a ella, se reducen los tiempos de búsqueda y preparación de imágenes para la confección de conjuntos de entrenamiento de forma drástica, proporcionando enormes ventajas y posibilidades en la creación de algoritmos de Visión Artificial

2. RESULTADOS CONSEGUIDOS

Durante la ejecución del proyecto, se han conseguido todos los resultados planificados, tal y como se había planteado en la memoria inicial. Se detallan a continuación estos resultados, relacionándolos con los objetivos específicos del proyecto:

- OE1 – Creación de un repositorio de modelos 3D para la generación de entornos virtuales:
 - Indicadores de consecución:
 - *I.OE1c.1: Se ha creado un repositorio estructurado que contiene los modelos seleccionados catalogados por su tipo:* El repositorio contiene una jerarquía basada en directorios, con un conjunto ampliable de contenidos base. Este repositorio ofrece una comunicación fácil para cualquier herramienta que lo necesite acceder y permite mantenerlo y escalarlo de forma sencilla.
- OE2 – Desarrollo de una herramienta que permita la generación de entornos virtuales de tipo industrial configurables:
 - Indicadores de consecución:
 - *I.OE2c.1: La aplicación desarrollada permite gestionar el escenario base, integrando las herramientas que permiten al usuario añadir, editar y eliminar los componentes que se ofrecen con la librería, así como cambiar los materiales del entorno:* La herramienta de edición ofrece un escenario base de tipo industrial y, mediante acceso al repositorio, permite al usuario instanciar contenidos del mismo para después manipularlos, editarlos y colocarlos en el lugar adecuado de la escena.
- OE3 – Desarrollo de componentes para la configuración y reproducción de una simulación:
 - Indicadores de consecución:
 - *I.OE3c.1: La aplicación desarrollada integra los componentes software que permiten al usuario añadir y configurar comportamientos de simulación en los objetos del entorno:* La herramienta de edición permite añadir 4 tipos de comportamientos distintos a los elementos colocados en escena para configurar simulaciones que representen los procesos productivos.
- OE4 – Desarrollo de componentes para la configuración de los puntos de vista a grabar y de las condiciones ambientales:
 - Indicadores de consecución:
 - *I.OE4c.1: La aplicación de escritorio desarrollada integra los componentes software que permiten al usuario añadir, editar y eliminar cámaras y luces en el entorno:* Además de los contenidos descargados del repositorio, la herramienta de edición ofrece siempre la posibilidad de añadir elementos integrados tanto de tipo cámara como de tipo luz a la escena.
 - *I.OE4c.2: Se ha integrado también un modo de previsualización que permite ver desde el punto de vista de una cámara:* Al seleccionar una cámara situada en la escena, el panel de inspección muestra una pequeña imagen que muestra el

punto de vista de la cámara.

- OE5 – Desarrollo de un módulo para la grabación de vídeos con contenido etiquetado:
 - Indicadores de consecución:
 - *I.OE5c.1: La aplicación desarrollada integra los componentes software que permiten al usuario configurar los parámetros del vídeo que va a generar cada una de las cámaras:* El componente de captura que se incorpora a las cámaras permite la configuración de la resolución del vídeo a generar y la tasa de *frames* por segundo.
 - *I.OE5c.2: Se ha integrado en la aplicación un modo de grabación de vídeo durante el cual solo se reproducirán los comportamientos de simulación, sin permitir la edición de la escena:* El modo *Simulación* de la herramienta de edición activa la aplicación de los comportamientos de simulación incorporados a los elementos de la escena.
 - *I.OE5c.3: La aplicación genera como resultado al menos un vídeo y el log asociado en una carpeta del sistema de ficheros del equipo donde se ejecuta la aplicación:* El *output* de la aplicación consta de una carpeta por cada cámara y un fichero de etiquetas que relaciona colores con identificación de objetos. Dentro de la carpeta de cada cámara, se genera un archivo descriptor de la configuración de la misma, una carpeta de imágenes realistas y otra carpeta de imágenes segmentadas por máscaras de colores.
- OE6 – Creación de un prototipo para la demostración del valor del simulador de estaciones de proceso para obtención de vídeos de entrenamiento:
 - Indicadores de consecución:
 - *I.OE6c.1: El escenario de demostración ha sido desarrollado de acuerdo con el caso de uso definido:* Tanto el escenario base como los contenidos iniciales del repositorio se han diseñado y colocado de acuerdo a la especificación del caso de uso definido para el escenario prototipo.
 - *I.OE6c.1: Se ha ejecutado el plan de pruebas para el generador de entornos de simulación de procesos o estaciones:* Se recoge el diseño y ejecución del plan de pruebas de la herramienta.
 - *I.OE6c.1: Se han documentado las conclusiones del proceso de validación, identificando mejoras a futuro para la tecnología:* Se incluyen las reflexiones obtenidas a partir de realizar la tarea de validación, señalando las posibles mejoras que podrían plantearse para continuar el desarrollo.