

Capítulo 2

Estado del arte

2.1. Aplicaciones de reciclaje

Con el modelo actual de sociedad, donde se ha incrementado la utilización de envases de un único uso, ha habido un aumento desmesurado de los residuos urbanos [48], cuya recuperación y reutilización es importante para disminuir el impacto medioambiental que producen. Para llevarlo a cabo, es importante la separación de los residuos desde el origen, ya que permite que sean clasificados y almacenados de tal manera que se puedan reciclar correctamente [22]. Para ello, se pide ayuda a la ciudadanía con el objetivo de fomentar la separación de residuos en el hogar.

Se tienen así diferentes tipos de residuos, que se depositan en contenedores distintos, identificados por colores. Para que tenga éxito, es necesario realizar la separación en el origen correctamente, ya que de no ser así los esfuerzos serían en vano.

Se hacen campañas muy diversas para concienciar a la población de la importancia de este proceso, además de enseñar a llevarlo a cabo. Pero no siempre es fácil saber en qué contenedor depositar ciertos residuos. Para ayudar a la población, estas campañas informativas reparten folletos o imanes para la nevera y, en última instancia, se puede recurrir a los puntos limpios de cada localidad. No obstante, con la presencia universal de teléfonos móviles en los hogares, las aplicaciones para ellos se han convertido en una vía informativa útil que está disponible en el momento en el que se necesita.

Cada país usa una gestión de recursos distinta, y por tanto las guías para los ciudadanos deben adaptarse a las idiosincrasias de cada sistema; debido a eso, las aplicaciones de ayuda están adaptadas a cada país. Puesto que abarcar todas las opciones es complejo, este trabajo se centra en el sistema utilizado en el territorio nacional.

En España, en aplicaciones de reciclaje que identifiquen objetos hay va-



Figura 2.1: Aplicaciones de reciclaje

rias. Una de ellas es “AIRE: Asistente Inteligente de Reciclaje”¹ (figura 2.1a), disponible tanto para iOS, Android y navegador, es una aplicación publicada por Ecoembes, empresa encargada del reciclaje de los residuos de los contenedores amarillo y azul en España. Se trata de un asistente virtual con el que se tiene una conversación de chat, el usuario escribe el material o el objeto que desea reciclar y el *bot* le responde explicando la forma idónea de desecharlo. Además del chat, esta aplicación también cuenta con la posibilidad de enviar imágenes y audios para la identificación del objeto.

Otra es “ReciclaYa”² (figura 2.1b), aplicación desarrollada por Carrefour. En este caso la identificación se lleva a cabo mediante el código de barras del ticket de la compra que se haya hecho. Según qué productos se hayan adquirido, indica cómo reciclar cada uno de sus envases. Esta funcionalidad está sólo disponible para algunas de las marcas principales, ya que son las propias empresas las que brindan esa información. Algunas de estas empresas sobre las que se disponen los datos son Carrefour, Coca Cola, Nestlé, Central Lechera Asturiana, Mahou San Miguel, PepsiCo, El Pozo o Pescanova, entre muchas otras.

Además de aplicaciones de identificación de residuos, también se encuentran numerosas aplicaciones enfocadas a la ayuda y el aprendizaje sobre reciclaje. Algunos ejemplos son “Residuos” (figura 2.1c) de la Generalitat de Catalunya³ en colaboración con Ecomenbes y Ecovidirio. Esta aplicación cuenta con una base de datos de residuos con su respectivo contenedor adecuado y el proceso que sigue una vez es desechado en este. Cuenta con dos maneras de informar sobre cada desecho. La primera es por contenedores, se selecciona el contenedor respecto al que se quiere tener más información,

¹<https://www.ecoembes.com/proyectos-destacados/chatbot-aire/>

²<https://www.reciclaya.app/es/como-funciona>

³<https://play.google.com/store/apps/details?id=cat.gencat.mobi.residus>

sobre este sale un listado de todos los residuos disponibles en la base de datos reciclables en él, y finalmente se selecciona uno de ellos. La segunda manera es introducir en el buscador el residuo. En ambos casos se explica el proceso que sufre este desecho desde el contenedor, su paso por la planta de selección y reciclaje, y en qué se transforma finalmente. Además de informar sobre la forma adecuada de deshacerse de cada residuo, también cuenta con un buscador de puntos limpios a partir de la localización del dispositivo o mediante un buscador.

Otro ejemplo es “Recicla y suma” (figura 2.1d) de Pensumo⁴. Es una herramienta pensada para incentivar el reciclaje animando al ciudadano a que se acostumbre a separar en casa los residuos que genera para luego acudir a los contenedores y reciclarlos. Pensumo es una *start-up* que recompensa económicamente el reciclaje gracias a la colaboración de distintas empresas. El objetivo principal es generar el hábito en el ciudadano, para que, animado por el incentivo económico, acabe interiorizando la necesidad de reciclar y aprenda a depositar correctamente los residuos. Los usuarios sacan fotos en el momento que depositan los residuos en el contenedor correcto y reciben una pequeña cantidad de dinero por la acción.

Alejándose un poco del reciclaje como tal, encontramos “The Planet App”⁵ por Clean Planet Ventures, SL. Es una aplicación de concienciación, aprendizaje y ayuda sobre la huella de carbono que genera cada uno. Permite al usuario calcular su huella de carbono y conocer las emisiones que genera separadas por categorías. La característica principal es la creación de un plan de sostenibilidad personalizado para adquirir hábitos y realizar acciones que disminuyan las emisiones que genera cada uno. Además, se pueden comparar las emisiones con las de distintos grupos poblacionales o las de otros usuarios.

En el lado internacional existen muchas más aplicaciones, como “My Little Plastic Footprint”⁶, de Plastic Soup Foundation. Esta es muy similar a la aplicación anterior, pero en vez de ser respecto a la huella de carbono es sobre el plástico que genera el usuario. En este caso, la aplicación indica el “Índice de Masa Plástica” (PMI por sus siglas en inglés). El concepto hace un símil con el índice de masa corporal, pero refiriéndose al consumo de plástico del usuario. Una vez calculado, comienza la denominada “dieta de plástico”, que consiste en ir adquiriendo como hábito alternativas al plástico que se utiliza normalmente. A medida que se van incorporando los consejos de la aplicación al perfil del usuario, el PMI de este se irá reduciendo.

“Grow Recycling”⁷, de Gro Play Digital, es un juego educativo para niños utilizado en colegios y guarderías en Estados Unidos y Europa para impartir educación sobre sostenibilidad. El juego consiste en alimentar a distintos

⁴<https://reciclaysuma.com/>

⁵<https://theplanetapp.com/>

⁶<https://mylittleplasticfootprint.org/>

⁷<https://www.groplay.com/apps/grow-recycling/>

cubos de basura con los residuos correspondientes para que niños y niñas puedan aprender a cuidar del planeta. Otra aplicación educativa de reciclaje es “Recycle Coach”⁸, de Municipal Media Inc. Con ella se puede aprender sobre el proceso de reciclaje, los diferentes materiales y el proceso de depósito y recogida de residuos en distintas localidades del mundo. Además, cuenta con *tests*, artículos y actividades para aprender sobre el desecho de residuos.

Como se ha descrito en la introducción, el objetivo del TFG es hacer una aplicación de este tipo pero que indique cómo reciclar un objeto a partir de una imagen tomada con el móvil. Para eso es necesario realizar una identificación de objetos, sobre lo que se describen a continuación varias aplicaciones de ejemplo.

2.2. Identificación de objetos e imágenes

La detección e identificación de objetos es un campo de la visión artificial y el procesamiento de imágenes. El objetivo de la visión computacional es desarrollar algoritmos que reciban una imagen de entrada y produzcan una interpretación describiendo los objetos presentes, en qué posición y la relación espacial tridimensional entre ellos. Durante mucho tiempo no hubo unanimidad sobre cuál era el mejor paradigma para la identificación de objetos [4] aunque hoy en día está generalizado el uso de redes neuronales. Su evolución ha permitido que actualmente sea posible detectar y reconocer objetos en conjuntos de miles de imágenes complejas.

La detección, seguimiento y reconocimiento de objetos en imágenes es uno de los problemas claves en visión computacional [10]. Normalmente, en cada imagen sólo aparece una pequeña cantidad de los objetos posibles, pero estos pueden encontrarse en una gran cantidad de posiciones y escalas que se deben tener en cuenta [5].

Esto es algo utilizado en diversos ámbitos que requieren la identificación de objetos, personas o caras. Un ejemplo es VOCUS (Visual Object detection with a CompUtational attention System) [13], un sistema capaz de seleccionar automáticamente secciones de interés en imágenes y detectar objetos específicos. Cuenta con dos modos de trabajo, un primer modo de exploración en el que no se especifica un objetivo y en el que se buscan zonas de interés. Son consideradas zonas de interés aquellas en las que hay grandes contrastes o características únicas que las hacen destacables frente a lo demás (por ejemplo una oveja negra en un rebaño de ovejas blancas). El segundo modo es de búsqueda con un objetivo definido basándose en la información previamente aprendida.

Otro ejemplo es el reconocimiento de matrículas de los coches presentes

⁸<https://recyclecoach.com/>

en una imagen [38]. En este caso se presenta una doble identificación, ya que primero debe localizarse la matrícula en la imagen y posteriormente sobre esta se tiene que llevar a cabo la segmentación e identificación de los caracteres que la componen.

SynthDet [23] es un proyecto cuyo fin es identificar los distintos productos contenidos en carritos de la compra con el objetivo de facturar automáticamente las adquisiciones de los clientes en supermercados. Está basado en Amazon Go [40], supermercado de la empresa Amazon, ubicado en Seattle (Estados Unidos). El modelo de Amazon Go se basa en un sistema de cámaras y sensores distribuidos por el establecimiento que analizan los movimientos de los clientes. Estos, además de obtener la información necesaria para realizar los cobros, también extraen información sobre las pautas de comportamiento de los consumidores [41]. SynthDet propone realizar la misma tarea de identificación y facturación de productos, pero entrenando el modelo a partir de imágenes sintéticas. Esta forma de entrenamiento se trata con mayor profundidad en la sección 2.5.

Otros proyectos relacionados son la detección de drones [44] y la identificación de piezas industriales [8], que cuentan con un trasfondo similar de identificar objetos en entornos reales.

Pero la inclusión y el desarrollo de la detección y la identificación de objetos no se limita al entorno de la investigación y a usos específicos, sino que en la vida cotidiana también se percibe un crecimiento de este ámbito. Actualmente el uso de la detección e identificación de objetos se está expandiendo por más aplicaciones. Una de las más conocidas y extendidas es Google Lens⁹, la cual tiene diversas funcionalidades dentro del mundo de la detección de objetos. Esta aplicación es una de las más completas en este dominio, a partir de una imagen o de la cámara del dispositivo, escanea y traduce textos; identifica objetos y busca en Google otros similares; reconoce lugares y edificios, ofreciendo información sobre ellos; detecta animales y plantas; y registra operaciones matemáticas sobre las que ofrece explicaciones y resultados de la web.

Otra aplicación de Google con identificación de objetos es Google Fotos¹⁰, una plataforma de intercambio y almacenamiento de fotografías y vídeos. Puede utilizarse en conjunto con Google Lens para tener todas las funcionalidades mencionadas anteriormente sobre las imágenes almacenadas en la aplicación, pero además Google Fotos cuenta con su propia funcionalidad de identificación de texto, objetos y personas. En la aplicación pueden realizarse búsquedas que devuelven una selección de imágenes y vídeos en los que aparece la persona, objeto o texto buscado, además de funcionar con posturas y acciones.

Otras aplicaciones similares, aunque algo más rústicas, son las recogidas

⁹<https://lens.google/intl/es-419/>

¹⁰<https://www.google.com/intl/es/photos/about/>

en el paquete de Microsoft Office. En este caso la identificación se presenta como una funcionalidad de accesibilidad para personas con discapacidad visual. Se trata del texto alternativo, disponible para imágenes, formas, vídeos, gráficos y tablas, entre otros. En algunas de sus aplicaciones Microsoft va un paso más allá y genera el texto alternativo de las imágenes automáticamente, identificando personas, objetos y situaciones.

2.3. Redes neuronales

Todos los sistemas mencionados en el apartado anterior (2.2) están implementados haciendo uso de redes neuronales. Las redes neuronales artificiales son una técnica de clasificación del aprendizaje automático, disciplina de la Inteligencia Artificial (IA) cuyo objetivo es la creación de mecanismos capaces de aprender de forma autónoma. Estas surgen inspiradas por la funcionalidad sofisticada del cerebro humano, donde miles de millones de neuronas se encuentran interconectadas y procesan información de manera paralela. Tratan de emular el comportamiento del cerebro humano caracterizado por el aprendizaje a través de la experiencia y la extracción de conocimiento a partir de un conjunto de datos [11]. Además, simulan las características básicas de las redes neuronales biológicas; el procesamiento paralelo, la memoria distribuida y adaptabilidad. Esto permite a las redes artificiales aprender y generalizar a partir de un conjunto de datos de relación matemática desconocida [18]. De esta forma, adquieren, almacenan y utilizan conocimientos basados en la experiencia en lugar de ser programados de manera explícita [60].

Aunque existen muchas definiciones para las redes neuronales, una de las más extendidas establece que una red neuronal artificial se define como un grafo dirigido, donde los nodos representan las neuronas y las aristas la sinapsis. Aquellos nodos que no cuentan con conexiones entrantes son consideradas las neuronas de entrada, y los que no tiene conexiones salientes las de salida. El resto de neuronas se consideran capas ocultas, las cuales cuentan con conexiones de entrada y de salida [11, 15, 18, 37]. En la figura 2.2 se muestra la estructura habitual de una red neuronal artificial con una capa oculta.

Las neuronas están conectadas entre sí mediante líneas. A cada una de estas conexiones se les asocia un valor numérico llamado peso que indica su relevancia dentro de la red. A través de dichas conexiones las neuronas reciben datos de entrada. Estos se multiplican por sus respectivos pesos y se lleva a cabo un sumatorio, el valor obtenido se aplica en la función de activación cuyo resultado es transmitido a otra neurona [56, 47, 6]. Durante el aprendizaje de la red se modifica el valor de los pesos asociados a las conexiones entre neuronas con el fin de generar una salida a partir de unos datos de entrada. Se considera que el aprendizaje ha terminado cuando los

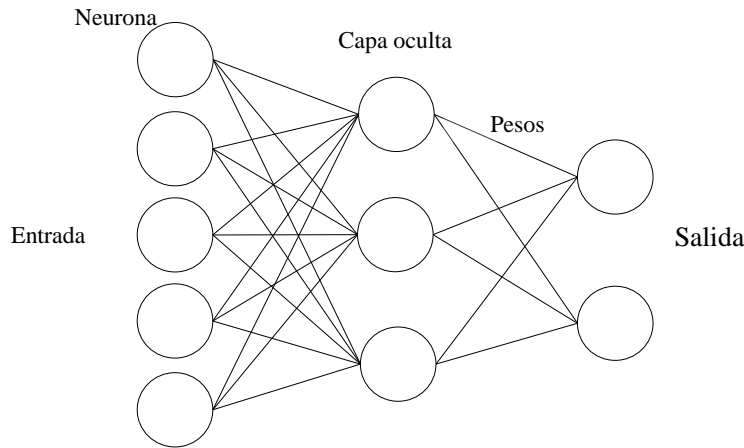


Figura 2.2: Estructura de una red neuronal artificial.

valores de los pesos permanecen estables.

Algunos autores consideran que las redes neuronales artificiales se inspiraron en el trabajo de Ramón y Cajal quien, en 1888, demostró que el sistema nervioso está compuesto por una red de células individuales conectadas entre sí, las neuronas [11]. Otros nombran a Alan Turing como pionero al estudiar el cerebro como una forma de ver el mundo de la computación. Independientemente, en todos los casos se toma a Warren McCulloch (neurobiólogo) y Walter Pitts (estadístico) como los primeros teóricos que concibieron fundamentos de la computación neuronal en el artículo “*A logical calculus of Ideas Imminent in Nervous Activity*” en 1943 [32]. Posteriormente, en 1958, Frank Rosenblatt comenzó el desarrollo de lo que terminaría conociéndose como perceptrón [43].

El perceptrón es un sistema clasificador de patrones capaz de reconocer patrones similares a los del entrenamiento pero que no había visto antes. Sin embargo, contaba con ciertas limitaciones, la más importante fue que no era capaz de resolver clasificar clases no separables linealmente, como por ejemplo la función lógica OR exclusiva¹¹. Esto fue demostrado matemáticamente en los años 60 por Minsky y Papert [34], lo que desencadenó un fuerte desinterés en la computación neuronal.

No fue hasta principios de los años 80 cuando se consiguió devolver el interés en este campo con el desarrollo de una red recurrente por parte de John Hopfield [19] y el redescubrimiento de David E. Rumelhart, Geof-

¹¹XOR u OR exclusiva es una puerta lógica cuya salida es verdadera si una, y sólo una, de las entradas es verdadera. Si ambas son falsas o ambas son verdaderas la salida es falsa.

frey E. Hinton y Ronald J. Williams [45] del algoritmo de aprendizaje de propagación hacia atrás (*backpropagation*) planteado por Paul Werbos en 1974 [6, 26, 31, 14].

Existen dos tipos de redes neuronales principales, las redes convolucionales y las recurrentes. Las primeras se desarrollaron para el reconocimiento de imágenes y son útiles para distinguir elementos esenciales en una entrada de la red compleja [39]. Una particularidad de estas redes es la operación de convolución¹² que se realiza en las primeras capas utilizándose como filtro, esto permite que tenga muchas aplicaciones en el tratamiento de imágenes [30]. Por otro lado, las redes neuronales recurrentes son aquellas en las que la salida de una neurona vuelve en forma de entrada, por lo que puede haber ciclos en las conexiones entre las neuronas de cada capa. Cuentan con la peculiaridad de que no sólo aprenden de los datos sino también de secuencias de estos. Todo esto las convierte en buenas candidatas para trabajar con datos con dependencias estructurales en una dimensión, como el texto, o el audio [39, 16].

También se lleva a cabo una distinción en las redes neuronales según el paradigma de aprendizaje que siguen. En función de él, existen tres tipos principales, las redes neuronales supervisadas, las no supervisadas y las de aprendizaje por refuerzo. Las redes neuronales supervisadas trabajan con datos etiquetados y se caracterizan por la presencia de un agente externo que controla el entrenamiento denominado supervisor. Este determina la respuesta que debería generar la red a partir de una entrada determinada y controla la salida de la red. En caso de que el resultado no coincida con el deseado se modifican los pesos de las conexiones con el fin de conseguir una salida aproximada a la esperada. **En cambio, las redes con aprendizaje no supervisado no requieren influencia externa para ajustar los pesos de las conexiones entre sus neuronas. La red recibe datos sin etiquetar, es decir, no existen datos de salida correspondientes a una determinada entrada. En este modelo se agrupan los datos según sus propiedades y patrones, su objetivo es encontrar una estructura o configuración en los datos.** Por último, el aprendizaje por refuerzo se basa en mejorar los resultados de los modelos mediante retroalimentación que recibe del entorno según la salida seleccionada. El *feedback* que recibe indica con qué grado de satisfacción cumple la salida, conocida como acción, con el objetivo [31, 47, 50].

El concepto de red neuronal deja abierta la decisión de su estructura: cuántas capas ocultas poner, de qué tamaño poner cada una, etcétera. Con el tiempo se han ido descubriendo estructuras de redes que funcionan bien para dominios concretos, por lo que se han utilizado una y otra vez y las distintas librerías para el uso de redes neuronales las incorporan entre sus opciones

¹²Una convolución es un operador matemático que transforma dos funciones f y g en una tercera que representa la magnitud en la que se superponen f y una versión trasladada e invertida de g .

predefinidas. Algunas de las redes neuronales más expandidas actualmente son AlexNet, VGGNet, MobileNet e GoogLeNet.

AlexNet [25] es una red ampliamente utilizada que se dio a conocer en la competición de ImageNet [46], donde consiguió el primer puesto con una tasa de error del 15.3 % (2012). Fue la primera red neuronal en utilizar ReLu¹³ como función de activación en vez de la función sigmoide¹⁴. Este cambio mejoró notablemente la velocidad de entrenamiento de las redes de aprendizaje profundo [9, 21, 58].

La segunda red destacada es VGGNet. Esta también saltó a la fama gracias a ImageNet en 2014. La diferencia más destacable con AlexNet es la gran cantidad de capas convolucionales que tiene. Además de una arquitectura más profunda destacó también por su simplicidad [51, 58, 36].

GoogLeNet, también conocida como InceptionNet, fue desarrollada por Google, siendo de las primeras redes que no se basó en añadir más capas convolucionales para mejorar la red, sino que cambió la estructura de estas usando filtros de varios tamaños. El objetivo era tener filtros de diferentes tamaños para un mismo objeto. Esto provocó que la red fuera más “ancha” en vez de más profunda [52].

La última red es MobileNet, esta también fue desarrollada por Google. Surgió con la intención de adaptar GoogLeNet a dispositivos móviles. Su objetivo fue reducir el número de cálculos y parámetros pero manteniendo unos resultados similares [49, 20].

2.4. TensorFlow y TensorFlow Lite

En 2011 el equipo de investigación encargado de la inteligencia artificial de aprendizaje profundo de Google, Google Brain, comenzó a investigar el uso de redes neuronales a gran escala para utilizarlo en los productos de la empresa. Como resultado desarrollaron DistBelief, un sistema escalable de entrenamiento e inferencia utilizado para GoogLeNet [52]. A partir de la experiencia obtenida en el desarrollo de DistBelief, y con un entendimiento más completo de las necesidades y requisitos necesarios para generar un sistema mejor, desarrollaron TensorFlow¹⁵.

Este es un entorno de trabajo de código abierto de aprendizaje automático que utiliza grafos de flujo de datos. En estos grafos los nodos simbolizan las operaciones matemáticas, tales como sumas, multiplicaciones, factorización de matrices, y demás; mientras que los bordes representan los conjuntos de datos multidimensionales (tensores) [24].

TensorFlow puede ejecutarse en una gran variedad de plataformas dife-

¹³ReLu transforma los valores de entrada anulando los negativos y manteniendo los positivos.

¹⁴La función sigmoide transforma los valores de entrada a una escala entre 0 y 1.

¹⁵<https://www.tensorflow.org/>

rentes, desde máquinas sencillas de una o varias GPUs, como los dispositivos móviles, hasta sistemas a gran escala de cientos de máquinas especializadas que cuentan con miles de GPUs. Su API y sus implementaciones de referencia fueron lanzadas en noviembre de 2015 como un paquete de código abierto bajo una licencia de Apache 2.0 [1, 54, 59].

Para utilizar modelos de TensorFlow en dispositivos móviles, microcontroladores, sistemas embebidos o relacionados con IoT (Internet of Things), Google desarrolló la librería de TensorFlow Lite. Esta permite la optimización de los modelos para reducir su latencia y tamaño [35]. Su entrenamiento se lleva a cabo en una computadora, cuyo resultado se traslada posteriormente al dispositivo sin necesidad de utilizar un servidor. Esto se realiza mediante aprendizaje por transferencia utilizando la librería Model Maker. Este tipo de aprendizaje aprovecha el conocimiento aprendido por la red en casos previos, permitiendo reducir la cantidad de datos de entrenamiento necesarios y acortar el tiempo de entrenamiento. Actualmente, esta librería admite varios modelos previamente entrenados como EfficientNet-Lite [53], MobileNet [49] o ResNet-50 [17].

Como resultado del entrenamiento se generan dos archivos en el ordenador. El primero contiene las etiquetas para la clasificación, se trata de un archivo de texto plano con una lista de todos los objetos detectables por la red. El segundo, con extensión *.tflite*, es el modelo entrenado para TensorFlow Lite. Ambos archivos deben importarse en la aplicación móvil para su uso, la cual puede ser para Android, iOS o Raspberry Pi. Estas deben estar desarrolladas en Java; Swift u Objective-C; y Python, respectivamente, ya que son los lenguajes para los que está disponible la API.

2.5. Generación sintética de imágenes

{TODO TODO TODO: Para llevar a cabo el entrenamiento de las redes neuronales se requiere una gran cantidad de datos, y si se trata de redes enfocadas a la identificación de objetos dichos datos deben ser imágenes. El problema no es sólo obtener las imágenes, sino que además deben estar correctamente etiquetadas. Una empresa que se encuentra con este problema es Google, la cual, gracias a su herramienta Google Street View, cuenta con una base de datos de imágenes descomunal pero que se encuentran sin etiquetar. Para llevar a cabo dicha tarea aprovecharon la comprobación "No soy un robot" utilizada en millones de páginas donde se pide a los usuarios que identifiquen cierto elemento dentro de una imagen. Este procedimiento ya lo habían llevado a cabo previamente con el reCAPTCHA donde había que reconocer trozos de texto, los cuales eran posteriormente utilizados en sus sistemas de reconocimiento óptico de caracteres (OCR de sus siglas en inglés).

Sin embargo, el primer paso para llevar a cabo el reconocimiento de

objetos es la obtención de datos para entrenar la red neuronal. Para facilitar...
}

Un problema del entrenamiento de redes neuronales es que se requieren muchos datos, y en caso de que la red esté enfocada a la identificación de objetos estos datos de entrenamiento deben de ser imágenes etiquetadas. Para facilitar la obtención de los *dataset* en este trabajo de fin de grado se plantea la posibilidad de utilizar imágenes sintéticas.

Actualmente hay un contacto continuo con los gráficos generados informáticamente. Desde el desarrollo de videojuegos hasta el diseño de un reactor nuclear se apoyan en la informática gráfica. Esto abarca dos grandes campos de aplicación. Por un lado se aplica en el proceso de reconstruir un modelo 2D o 3D a partir de una imagen, esto es denominado procesamiento de la imagen. El proceso contrario es la síntesis de la imagen, consiste en la construcción sintética de imágenes a partir de modelos de dos o tres dimensiones. Dichos modelos pueden haber sido producidos por métodos artificiales o recogidos del mundo real [29].

Una vez que se dispone del modelo, tiene lugar la generación de la imagen sintética. Históricamente el proceso requería mucho tiempo si se quería calidad fotorrealista, pero actualmente se pueden conseguir buenos resultados en tiempo real. Aun así, existen principalmente dos aproximaciones. La primera es usar herramientas de modelado con las que se crean los objetos en 3D y se ven representados, y la segunda es usar esos modelos para mostrarlos desde diferentes puntos en tiempo real, algo que hoy habitualmente significa usar motores de videojuegos.

SYNTHIA [42] es un *dataset* de imágenes fotorrealistas generadas a partir de frames obtenidos de la renderización de un mundo virtual formado a partir de modelos tridimensionales. Estas imágenes además van acompañadas de anotaciones semánticas a nivel de *pixel* que etiquetan los distintos objetos presentes en la escena, distinguiendo hasta 13 clases distintas. Este *dataset* está orientado al entrenamiento de coches autónomos, sistemas de conducción asistida y proyectos relacionados, como complemento para diferentes *datasets* reales (Camvid, KITTI, U-LabelMe, CBCL).

Otro ejemplo similar, es la generación de imágenes efectivas para el entrenamiento de detección de objetos partiendo de un conjunto pequeño de imágenes reales y el modelo tridimensional del objeto a identificar [44]. Los parámetros pueden reutilizarse para generar un número ilimitado de imágenes de entrenamiento del objeto de interés en poses arbitrarias. Por cada imagen real se computan cinco parámetros de la pose, tres de orientación y dos de traslación que permite colocar el modelo 3D en la posición deseada. Una vez se obtiene la imagen, para hacerla lo más similar a la imagen real, pasa por un postprocesamiento que involucra agregar desenfoque, para simular la lejanía y el movimiento del objeto; ruido, que imita el ruido que añade la cámara al tomar la fotografía; y propiedades del material del objeto. Esto

permite que las imágenes generadas sintéticamente sean más similares a las reales, obteniendo un *dataset* sintético muy similar a uno real.

Un proyecto basado en el anterior, es la detección de objetos en contextos industriales [8]. En este proyecto se parte del modelo renderizado de una pieza utilizada en el entorno industrial con el que se genera un *dataset*. Como en el caso anterior, para añadir más diversidad e identificar las piezas en un mayor número de situaciones, las imágenes se generan con diferentes fondos creados a partir de una selección de imágenes de localizaciones reales. Posteriormente, además, se altera la iluminación y se añaden sombras de distintas formas e intensidades creando imágenes desenfocadas o en movimiento.

Perception [55] es un paquete de Unity en desarrollo que proporciona herramientas para generar *datasets* sintéticos a gran escala. Está planteado para tareas de aprendizaje automático, tales como detección de objetos, segmentación semántica y más. Este *dataset* está formado por *frames* capturados por sensores simulados, y que posteriormente se utilizan para el entrenamiento y la validación del modelo. Perception, además de permitir al usuario que produzca sus propios datos para la tarea que requiera, ofrece una cantidad de etiquetas comunes ya generadas para facilitar la creación de datos sintéticos. Además de la generación de *datasets* sintéticos incluye herramientas para generar *keypoints*, poses y animaciones aleatorias. Este paquete puede utilizarse para distintos de proyectos, desde simulación de coches autónomos o *smart cities*¹⁶, pasando por demostraciones de recoger y colocar objetos mediante un brazo robótico¹⁷, hasta detección de objetos utilizando únicamente imágenes sintéticas para el entrenamiento.

Esto último hace referencia al proyecto SynthDet [23], ya mencionado anteriormente en la sección 2.2. En este caso se utiliza Perception para crear el *dataset* utilizado en el entrenamiento de la red neuronal. Generan imágenes de productos habituales de supermercados con el fin de estudiar la viabilidad de los supermercado sin cajas registradoras. Este objetivo se basa en el supermercado Amazon Go [40], creado por Amazon en 2017.

2.6. Unity

Unity es una herramienta de creación de videojuegos desarrollada por Unity Technologies. Es ampliamente utilizada tanto dentro de este ámbito como fuera de él debido a la cantidad de funcionalidades que ofrece de manera intuitiva y sencilla. Otros campos en los que se utiliza son la realización de contenido cinematográfico, transporte y producción, e incluso en arquitectura, ingeniería y construcción. No obstante, su objetivo principal es el desarrollo de juegos y aplicaciones para un gran abanico de plataformas; desde PC, Mac y Linux, pasando por Android e iOS, hasta consolas de vi-

¹⁶<https://github.com/Unity-Technologies/Unity-Simulation-Smart-Camera-Outdoor>

¹⁷<https://github.com/Unity-Technologies/Robotics-Object-Pose-Estimation>

deojuegos como PlayStation 4, Xbox One, Nintendo Switch o videojuegos en la nube como Google Stadia.

La creación de contenido se realiza mediante el editor visual, que forma la interfaz, y la programación se crea vía *scripting*. Uno de los puntos a favor de utilizar motores de videojuegos es que permiten a los usuarios centrarse en el desarrollo de su aplicación sin necesidad de llevar a cabo partes más complejas, como la simulación de físicas o el renderizado, ya que es el motor quien se encarga de ello.

Unity utiliza una arquitectura basada en componentes. El motor proporciona unos propios (**Transform**, **RigidBody**, etc.) y permite que los desarrolladores creen los suyos utilizando C#. El ciclo de vida de los componentes está definido por el motor, de manera que durante la ejecución de la aplicación, mediante la clase base **MonoBehaviour**¹⁸, se va llamando a métodos específicos para notificar el avance del juego y darles la oportunidad de actuar. Se tiene así métodos como **Start()**¹⁹, método que se llama en el frame en el que se inicializa *script*, o **Update()**²⁰, que se llama en todos los frames.

¹⁸<https://docs.unity3d.com/ScriptReference/MonoBehaviour.html>

¹⁹<https://docs.unity3d.com/ScriptReference/MonoBehaviour.Start.html>

²⁰<https://docs.unity3d.com/ScriptReference/MonoBehaviour.Update.html>

Bibliografía

- [1] M. Abadi, A. Agarwal, P. Barham, E. Brevdo, Z. Chen, C. Citro, G. S. Corrado, A. Davis, J. Dean, M. Devin, S. Ghemawat, I. Goodfellow, A. Harp, G. Irving, M. Isard, Y. Jia, R. Jozefowicz, L. Kaiser, M. Kudlur, J. Levenberg, D. Mané, R. Monga, S. Moore, D. Murray, C. Olah, M. Schuster, J. Shlens, B. Steiner, I. Sutskever, K. Talwar, P. Tucker, V. Vanhoucke, V. Vasudevan, F. Viégas, O. Vinyals, P. Warden, M. Wattenberg, M. Wicke, Y. Yu, and X. Zheng. TensorFlow: Large-Scale Machine Learning on Heterogeneous Systems, 2015. *Software* disponible en <https://www.tensorflow.org/>.
- [2] C. Alfonso, R. Estévez Estévez, J. M. Lobo, B. Lozano Diéguez, F. Prieto, J. Santamarta, and A. Gaerter. Emergencia climática en España. Diciembre 2016. Disponible en: <https://www.observatoriosostenibilidad.com/2019/11/29/emergencia-climatica-en-espana/>.
- [3] R. Almond, G. M., and T. Petersen. Wwf (2020) living planet report 2020 - bending the curve of biodiversity loss. *World Wildlife Fund (WWF)*, 2020.
- [4] Y. Amit. *2D Object Detection and Recognition: Models, Algorithms, and Networks*. Mit Press. MIT Press, 2002.
- [5] Y. Amit, P. Felzenszwalb, and R. Girshick. *Object Detection*. Springer International Publishing, Cham, 2020.
- [6] X. Basogain Olabe. Redes neuronales artificiales y sus aplicaciones. *Dpto. Ingeniería de Sistemas y Automática, Escuela Superior de Ingeniería Bilbao. Open Course Ware.*[En línea] disponible en http://ocw.ehu.es/enseñanzas-tecnicas/redes-neuronales-artificiales-y-sus-aplicaciones/Course_listing. [Consultada 20-09-2012], 2008.
- [7] M. Caballero, S. Lozano, and B. Ortega. Efecto invernadero, calentamiento global y cambio climático: una perspectiva desde las ciencias de la tierra. *Revista digital universitaria*, 8, 2007.

- [8] J. Cohen, C. F. Crispim-Junior, C. Grange-Faivre, and L. Tougne. CAD-based Learning for Egocentric Object Detection in Industrial Context. In *15th International Conference on Computer Vision Theory and Applications*, volume 5, Valletta, Malta, Feb. 2020. SCITEPRESS - Science and Technology Publications.
- [9] G. Cortina Fernández. Técnicas inteligentes para su integración en un vehículo autónoma. Trabajo de Fin de Grado en Ingeniería del Software, Facultad de Informática UCM, Departamento de Ingeniería del Software e Inteligencia Artificial, Curso 2019/2020., 2020.
- [10] B. Cyganek. *Object Detection and Recognition in Digital Images: Theory and Practice*. Wiley, 2013.
- [11] R. Flórez López, J. M. Fernández, and J. M. Fernández Fernández. *Las Redes Neuronales Artificiales*. Metodología y Análisis de Datos en Ciencias Sociales. Netbiblo, 2008.
- [12] R. Fonfría, R. Sans, and J. de Pablo Ribas. *Ingeniería ambiental: contaminación y tratamientos*. Colección productiva. Marcombo, 1989.
- [13] S. Frintrop. *VOCUS: A visual attention system for object detection and goal-directed search*, volume 3899. Springer, 2006.
- [14] L. García Rodríguez. *Algunas cuestiones notables sobre el modelo de Hopfield en optimización*. PhD thesis, Madrid, Noviembre 2018. Tesis de la Universidad Complutense de Madrid, Facultad de Ciencias Matemáticas, Departamento de Estadística e Investigación Operativa, leída el 15-12-2017.
- [15] G. A. Gómez Rojas, J. C. Henao López, and H. Salazar Isaza. Entrenamiento de una red neuronal artificial usando el algoritmo simulated annealing. *Scientia Et Technica*, 2004.
- [16] G. Guridi Mateos et al. Modelos de redes neuronales recurrentes en clasificación de patentes. B.S. thesis, 2017.
- [17] K. He, X. Zhang, S. Ren, and J. Sun. Deep residual learning for image recognition, 2015.
- [18] J. R. Hilera and V. J. Martínez Hernando. *Redes neuronales artificiales: fundamentos, modelos y aplicaciones*. 01 1995.
- [19] J. J. Hopfield. Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 79(8):2554–2558, 1982.

- [20] A. G. Howard, M. Zhu, B. Chen, D. Kalenichenko, W. Wang, T. We-
yand, M. Andreetto, and H. Adam. Mobilenets: Efficient convolutional
neural networks for mobile vision applications, 2017.
- [21] F. N. Iandola, S. Han, M. W. Moskewicz, K. Ashraf, W. J. Dally, and
K. Keutzer. Squeezenet: Alexnet-level accuracy with 50x fewer param-
eters and <0.5mb model size, 2016.
- [22] A. Iguarán Guerra, S. Gómez Ruíz, et al. Análisis de las necesidades y
dificultades en la disposición de residuos sólidos en la fuente doméstica
para el desarrollo de un producto. B.S. thesis, Universidad EAFIT,
2010.
- [23] Y.-C. Jhang, A. Palmar, B. Li, S. Dhakad, S. K. Vishwakarma, J. Ho-
gins, A. Crespi, C. Kerr, S. Chockalingam, C. Romero, A. Thaman,
and S. Ganguly. Training a performant object detection ML model on
synthetic data using Unity Perception tools, Sep 2020.
- [24] R. Karim. *TensorFlow: Powerful Predictive Analytics with TensorFlow*.
Packt Publishing, Birmingham, 3 edition, Marzo 2018.
- [25] A. Krizhevsky, I. Sutskever, and G. E. Hinton. Imagenet classification
with deep convolutional neural networks. *Advances in neural informa-
tion processing systems*, 25, 2012.
- [26] P. Larranaga, I. Inza, and A. Moujahid. Tema 8. redes neuronales. *Redes
Neuronales, U. del P. Vasco*, 12, 1997.
- [27] T.-Y. Lin, M. Maire, S. Belongie, L. Bourdev, R. Girshick, J. Hays,
P. Perona, D. Ramanan, C. L. Zitnick, and P. Dollár. Microsoft coco:
Common objects in context, 2015.
- [28] R. Liu. Higher accuracy on vision models with efficientnet-lite.
TensorFlow Blog.[online] Available at: <https://blog.tensorflow.org/2020/03/higher-accuracy-on-visionmodels-with-efficientnet-lite.html> [Accessed 30 Apr. 2020], 2020.
- [29] P. López and J. García-Consuegra Bleda. *Informática gráfica*, volu-
me 19. Univ de Castilla La Mancha, 1999.
- [30] M. A. López Pacheco. Identificación de sistemas no lineales con redes
neuronales convolucionales. *Ciudad de Mexico: Centro de investigación
y de estudios avanzados*, 2017.
- [31] D. J. Matich. Redes neuronales: Conceptos básicos y aplicaciones. *Uni-
versidad Tecnológica Nacional, México*, 41, 2001.
- [32] W. S. McCulloch and W. Pitts. A logical calculus of the ideas immanent
in nervous activity. *The bulletin of mathematical biophysics*, 5(4), 1943.

- [33] A. J. McMichael, D. Campbell-Lendrum, S. Kovats, S. Edwards, P. Wilkinson, T. Wilson, R. Nicholls, S. Hales, F. Tanser, D. L. Sueur, M. Schlesinger, and N. Andronova. Chapter 20 global climate change.
- [34] M. Minsky and S. A. Papert. *Perceptrons: An introduction to computational geometry*. MIT press, 2017.
- [35] S. Morant Gálvez. Desarrollo de un sistema de bajo coste para el análisis de tráfico mediante el uso de deep learning. 2021.
- [36] L. Moreno Díaz-Alejo. Análisis comparativo de arquitecturas de redes neuronales para la clasificación de imágenes. Master's thesis, 2020.
- [37] B. Müller, J. Reinhardt, and M. Strickland. *Neural Networks: An Introduction*. Physics of Neural Networks. Springer Berlin Heidelberg, 1995.
- [38] C. Parra Ramos and D. Regajo Rodríguez. Reconocimiento automático de matrículas. *Universidad Carlos III de Madrid*, 2006.
- [39] R. Pavón Benítez. Técnicas de deep learning para el reconocimiento de movimientos corporales. Trabajo de Fin de Grado en Ingeniería del Software, Facultad de Informática UCM, Departamento de Ingeniería de Software e Inteligencia Artificial, Curso 2019/2020, 2020.
- [40] A. Polacco and K. Backes. The amazon go concept: Implications, applications, and sustainability. *Journal of Business and Management*, 24(1), 2018.
- [41] A. Polacco and K. Backes. The amazon go concept: Implications, applications, and sustainability. *Journal of Business and Management*, 24(1), 2018.
- [42] G. Ros, L. Sellart, J. Materzynska, D. Vazquez, and A. M. Lopez. The synthia dataset: A large collection of synthetic images for semantic segmentation of urban scenes. In *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, June 2016.
- [43] F. Rosenblatt. The perceptron: a probabilistic model for information storage and organization in the brain. *Psychological review*, 65(6):386, 1958.
- [44] A. Rozantsev, V. Lepetit, and P. Fua. On rendering synthetic images for training an object detector. *Computer Vision and Image Understanding*, 137, 11 2014.
- [45] D. E. Rumelhart, G. E. Hinton, and R. J. Williams. Learning representations by back-propagating errors. *nature*, 323(6088), 1986.

- [46] O. Russakovsky, J. Deng, H. Su, J. Krause, S. Satheesh, S. Ma, Z. Huang, A. Karpathy, A. Khosla, M. Bernstein, A. C. Berg, and L. Fei-Fei. Imagenet large scale visual recognition challenge. *International journal of computer vision*, 115(3):211–252, 2015.
- [47] R. Salas. Redes neuronales artificiales. *Universidad de Valparaíso. Departamento de Computación*, 1, 2004.
- [48] M. Sánchez and J. Castro. *Gestión y Minimización de Residuos*. Fundación Confemetal, 2007.
- [49] M. Sandler, A. Howard, M. Zhu, A. Zhmoginov, and L.-C. Chen. Mobilenetv2: Inverted residuals and linear bottlenecks. In *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, June 2018.
- [50] O. Simeone. A very brief introduction to machine learning with applications to communication systems. *IEEE Transactions on Cognitive Communications and Networking*, 4(4), 2018.
- [51] K. Simonyan and A. Zisserman. Very deep convolutional networks for large-scale image recognition. *arXiv preprint arXiv:1409.1556*, 2014.
- [52] C. Szegedy, W. Liu, Y. Jia, P. Sermanet, S. Reed, D. Anguelov, D. Erhan, V. Vanhoucke, and A. Rabinovich. Going deeper with convolutions. In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition*, June 2015.
- [53] M. Tan and Q. V. Le. Efficientnet: Rethinking model scaling for convolutional neural networks, 2020.
- [54] A. Terceño Ortega. Análisis de un modelo predictivo basado en google cloud y tensorflow. Trabajo de Fin de Grado en Ingeniería Informática y Matemáticas (Universidad Complutense, Facultad de Informática, curso 2016/2017), 2017.
- [55] Unity Technologies. Unity Perception package, 2020.
- [56] S. C. Wang. *Artificial Neural Network*, volume 743 of *The Springer International Series in Engineering and Computer Science*. Springer US, Boston, MA, 2003.
- [57] P. Warden and D. Situnayake. *TinyML: Machine Learning with TensorFlow Lite on Arduino and Ultra-Low-Power Microcontrollers*. O'Reilly Media, 2019.
- [58] W. Yu and Y. Bai. Visualizing and comparing alexnet and vgg using deconvolutional layers. 2016.

- [59] J. Zamorano Ruiz et al. Comparación y análisis de métodos de clasificación con las bibliotecas scikit-learn y tensorflow en python. 2019.
- [60] J. Zurada. *Introduction to Artificial Neural Systems*. West, 1992.