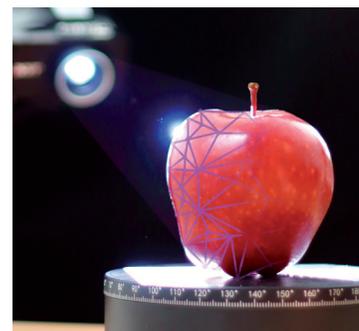


Digitalización de alimentos frescos mediante escaneo 3D para el diseño de envases personalizados



Digitalization fresh food using 3D scanning for custom packaging design



Lucía Rodríguez-Parada^{1,2}, Miguel-Ángel Pardo-Vicente¹ y Pedro-Francisco Mayuet-Ares^{1,2}

¹ Universidad de Cádiz. Escuela Superior de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Mecánica y Diseño Industrial. Av. Universidad de Cádiz, 10 - 11519 Puerto Real (Cádiz).

² Grupo de investigación INTEMAFA. Universidad de Cádiz. Escuela Superior de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Mecánica y Diseño Industrial. Av. Universidad de Cádiz, 10 - 11519 Puerto Real (Cádiz).

DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/8784> | Recibido: 05/04/2018 • Inicio Evaluación: 09/04/2018 • Aceptado: 25/06/2018

ABSTRACT

- This article exposes the potential of reverse engineering applied to the food industry within the framework of Industry 4.0. The development of new competitive products is often complex, so the application of elements and support tools helps to optimize the work procedure. Thus, the possibility of applying 3D scanning from the early phases of product development allows decisions to be made that result in the creation and development of more efficient and therefore more competitive products where the application of reverse engineering systems for generation of prototypes using CAD models helps to accelerate the design process and improve the quality of the products. In this sense, digitalization and industry 4.0 concepts not only affect the mechanical industry, but can also be extended to other fields, such as the food industry. In the present work, the 3D scanning technique is introduced as a means of digitizing fresh food with the objective of evaluating its implementation as part of the packaging design process. The results obtained have been satisfactory, making it possible to customize and adapt packaging to a more demanding consumer that demands greater safety, protection and conservation of the fresh product.
- **Keywords:** Reverse engineering, scanning 3D, industry 4.0, food industry, product design.

RESUMEN

En el presente artículo se expone el potencial de la ingeniería inversa aplicada al sector alimentario en el marco de la Industria 4.0. El desarrollo de nuevos productos competitivos resulta a menudo complejo por lo que la aplicación de elementos y herramientas de apoyo ayuda a optimizar el procedimiento de trabajo. Así, la posibilidad de aplicar el escaneo 3D desde las fases tempranas del desarrollo de producto permite tomar decisiones que se traducen en la creación y el desarrollo de productos más eficaces y por lo tanto más competitivos donde la aplicación de sistemas de ingeniería inversa para la generación de prototipos mediante modelos CAD ayuda a acelerar el proceso de diseño y mejorar la calidad de los productos. En este sentido, la digitalización y los conceptos de industria 4.0 no sólo afectan a la industria mecánica, sino que también puede extenderse a otros campos, como la industria alimentaria. En el presente trabajo se introduce la técnica de escaneo 3D como medio de digitalización de alimentos frescos con el objetivo de evaluar su implementación como parte del

proceso de diseño de envases. Los resultados obtenidos han sido satisfactorios haciendo posible la personalización y adaptación de envases hacia un consumidor más exigente que demanda mayor seguridad, protección y conservación del producto fresco.

Palabras clave: Ingeniería inversa, escaneo 3D, industria 4.0, industria alimentaria, diseño de producto.

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, para tratar de entender las necesidades en materia de I+D+i de distintos sectores industriales resulta fundamental tener en cuenta la llamada cuarta revolución industrial o Industria 4.0, cuyo enfoque principal es el desarrollo de la sociedad de la información, correspondiendo con una digitalización de los medios de producción que afecta en gran medida a diferentes procesos industriales.

Aunque ya se han empezado a implantar y aplicar nuevas tecnologías digitales a los procesos productivos y a la gestión en el conjunto de la cadena de valor desde el proveedor hasta el consumidor final, su desarrollo en cualquier sector no tiene límites [1]. En definitiva, la obtención de unos métodos más flexibles, automatizados y conectados e inteligentes que respondan, además, a la demanda del mercado en criterios de sostenibilidad, transparencia y personalización.

En este contexto, se establecen una serie de retos a nivel industrial entre los que destacan la creación de valor añadido en productos manufacturados, la conexión de la planta industrial con los puntos de venta o el análisis de datos provenientes de las cadenas de producción. Todo ello en aras de la búsqueda de beneficio y aprovechando nuevas herramientas tecnológicas que supondrán una reorganización de los medios de producción.

1.1. FOOD INDUSTRY 4.0 EN PRODUCTOS FRESCOS

Uno de los sectores que está cada vez más comprometido es el agroalimentario, denominándose como *Food Industry 4.0* o revolución industrial alimentaria, figura 1. En efecto, las empresas alimentarias se mueven en un contexto global, con una cadena de suministros descentralizada y al mismo tiempo altamente atomizadas con productores de materias primas de distintos niveles, como proveedores de ingredientes o suministradores, teniendo cada uno de ellos un impacto sobre la producción del alimento elaborado final.

Por otro lado, resulta necesario destacar que los hábitos en la alimentación están en cambio constante debido al estilo de vida

en sociedad y a la demanda de un consumidor con un perfil cada vez más exigente que apunta hacia alimentos con mayor frescura. Así, Santeramo et al. destaca que el consumo de productos frescos, especialmente vegetales y frutas, está creciendo durante la última década en toda Europa en cuanto a demanda de productos saludables, con más información en el etiquetado respecto a datos nutricionales, mayor seguridad alimentaria y con envases que eviten riesgos potenciales para la salud y conserven el alimento adecuadamente. Además, menciona que el envase contenedor del producto fresco es la segunda razón de elección de un producto, teniendo en cuenta factores como la comodidad, aspecto, transparencia y textura en combinación de otros relacionados directamente con el consumidor como el hábito de comer fuera debido al entorno social o disponer de tiempo libre limitado [2] how nutritional intakes evolve over time and are influenced by global dynamics are few of the questions scholars are trying to answer. In addition, a great interest is devoted to the changes in consumers' preferences and expectations as well as to the analysis of food innovations and their impact on the global market. We review the recent and emerging trends in food supply chains of selected sectors (fruits and vegetables, meat, and seafood).

Así, de acuerdo con [3], se puede entender un envase como personalizado en referencia a lo no genérico, diferenciándose en cuanto a diseño, marca y/o tamaño entre otros, es decir, un envase diseñado expresamente para ese tipo de producto. Por otro lado, se puede entender que un envase adaptado es el que se adapta al producto del interior en forma y tamaño [3].

ño y forma con objeto de optimizar su configuración dentro del envase. Además, debe considerarse que cada fruta es única, ya que físicamente difiere de las demás, pero dentro de un rango de tolerancias establecido por calibres.

1.2. INGENIERÍA INVERSA Y HERRAMIENTAS DE DIGITALIZACIÓN

En las últimas décadas, el desarrollo de programas de diseño asistido por ordenador ha permitido llevar a cabo la comercialización de productos con formas complejas [6]. Sin embargo, para algunos procesos de desarrollo de productos, la ingeniería inversa permite generar modelos de superficie mediante técnicas de escaneo tridimensional.

Una de las herramientas más empleadas con objeto de tener un mayor control sobre la producción son las técnicas de escaneo 3D, que permiten digitalizar objetos o escenas captando su geometría para transformarlos en modelos digitales tridimensionales [7, 8]. Además, se trata de una tecnología que supone un nuevo modelo de producción empleado en una amplia gama de materiales y con múltiples aplicaciones que las empresas están aprovechando como herramienta innovadora en la mejora de procesos y rentabilidad de los mismos [7]. Por otra parte, a este fenómeno se suma la madurez alcanzada en algunos sectores por estas herramientas haciendo que el coste de los equipos se vea reducido, haciendo admisible su uso en nuevos sectores que hasta ahora no lo contemplaban. Algunos de estos campos son el desarrollo de turbinas [9], la industria aeroespacial [10], la biomedicina [11], el patrimonio cultural [12] y el agropecuario [13]. Sin embargo, en el ámbito alimentario no se encuentra literatura científica específica sobre el escaneo de la geometría de productos frescos. En la disciplina del diseño industrial, el uso de piezas escaneadas como apoyo al proceso de diseño está también ampliamente extendido [14, 15].

En el sentido de lo anteriormente apuntado, la aplicación de herramientas de digitalización como el escaneo 3D ofrece la posibilidad de digitalizar alimentos frescos que posteriormente puedan ser implementados en el estudio de envases [16]. De esta forma, se pueden utilizar como base para generar una geometría que no solo proteja los alimentos, sino que también se adecue al tamaño de los vegetales y frutas generando un envase apto para los calibres de vegetales y frutas seleccionados. A través de ello, se consigue una optimización de la cantidad del material empleado generando de esta manera envases más sostenibles [17].

Además, el uso de estos archivos 3D también da la oportunidad al diseñador de adaptar la geometría del envase a los gustos del usuario y su forma de vida. Otra aportación que se deriva del uso de los alimentos frescos 3D es su aplicabilidad en la etapa de evaluación de posibles propuestas, mostrando los envases junto con los vegetales y frutas mediante técnicas como el renderizado para la presentación del producto o a través de la fabricación aditiva del producto fresco para estudios de ergonomía del envase, consiguiendo que el producto sea más competitivo en el mercado.

Por ello, mejorar las soluciones existentes para llegar a obtener soluciones más competitivas en el contexto de cambio descrito en el punto anterior es vital para el futuro de la industria alimentaria [18]. En la figura 2 se esquematiza una propuesta metodológica para tratar de reducir la fase de diseño. De esta manera, a partir de las ideas iniciales y con la ayuda de los productos frescos escaneados se pueden diseñar envases adaptados a los calibres de vegetales y frutas, buscando la eficiencia en el uso del material y aunando dicha geometría con las necesidades de personalización que demandan los usuarios. Así, se pueden presentar propuestas de envases sostenibles y competitivos.



Fig. 1: Herramientas y retos de la Food Industry 4.0

En definitiva, la personalización del envase hacia un consumidor cada vez más exigente, con gustos cambiantes y que busca un trato diferenciado, toma un rol relevante al ser un aspecto inherente a los productos obtenidos de forma natural, pero que disminuye la productividad debido a la componente manual presente en los productos personalizados que carecen geometrías repetibles [4]. Además, la diferenciación no solo es patente a nivel visible, debido a la clasificación en calibres (tamaño y peso) de vegetales y frutas [5], sino también a nivel de proceso debido a la necesidad de uso de diferentes tipos de envases que se adaptan a su tama-

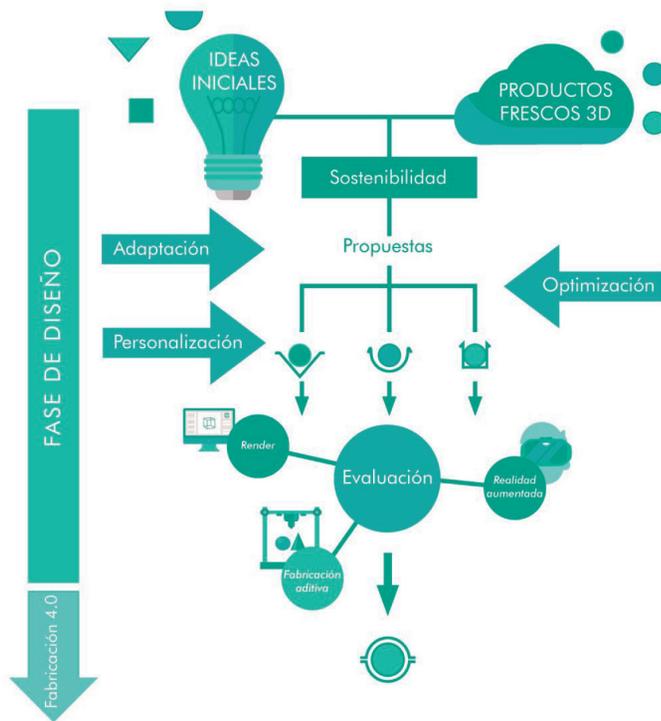


Fig. 2: Visión general industria 4.0 aplicada al diseño de envases

Con este trabajo se plantea conseguir varios objetivos. El primer objetivo es comprobar la posibilidad de aplicación del escaneo 3D sobre fruta fresca mediante el establecimiento de un procedimiento metodológico. Por otro lado, se han evaluado los parámetros relacionados con el procedimiento con objeto de establecer coincidencias y definir las necesidades técnicas requeridas para el correcto escaneo. Finalmente, el trabajo se orienta hacia un objetivo final que es el análisis de la posibilidad de integración de esta herramienta en el proceso de diseño de envases. Los criterios de evaluación adoptados para analizar la aplicación del escaneo sobre alimentos frescos y la introducción como herramienta para el diseño de envases se basan en la equivalencia geométrica por medio de la comparación de las diferencias entre la superficie real y la digitalizada en función de la escala.

En definitiva, la presente investigación tiene como objetivo analizar el procedimiento de escaneo tridimensional de fruta fresca para emplearlo en el diseño y desarrollo de envases y con aplicación directa a la industria 4.0. Esto puede suponer mejorar la sostenibilidad de los envases desde un punto de vista ambiental y funcional gracias a la posibilidad de mejora de las propiedades estético-funcionales de los envases y a su adaptación al tipo de fruta o verdura.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Para alcanzar los objetivos mencionados se han seleccionados tipos de fruta fresca que se encuentran habitualmente envasados en las grandes superficies. Los criterios de selección ha sido atender a las diferentes condiciones de escaneo que pueden darse con respecto a características específicas como el color, el brillo, la textura, el tamaño y la geometría de las frutas para evaluar la equivalencia geométrica y su aplicabilidad como parte del proceso de diseño. Cabe mencionar que la muestra realizada no pretende estudiar un percentil entre diferentes geometrías sino analizar la posibilidad de reproducción de alimentos por medio de la digitalización 3D.

2.1. MATERIALES

El estudio experimental de ingeniería inversa aplicada a productos naturales ha consistido en la obtención de archivos tridimensionales de ocho alimentos frescos diferentes, concretamente: fresa, kiwi, manzana, naranja, pera, aguacate y dos tipos de tomate, redondo y cherry. La selección de estos alimentos se ha realizado teniendo en cuenta la exploración de texturas, colores y tamaños diferentes. Asimismo, para las frutas con mayor tamaño se han utilizado dos ejemplares de cada tipo, cuatro en el caso de la fresa y seis el tomate cherry, por su reducido tamaño se ha considerado relevante estudiar mayor número de unidades para realizar su evaluación.

Para la digitalización tridimensional se ha utilizado un escáner de luz estructurada. En concreto, el escáner David® SLS-1 junto con el software David® V5 para la captación de las imágenes, figura 3 a). El escáner presenta una resolución en el plano XY de hasta 0,1 % con respecto al tamaño del objeto. Desde un punto de vista general el procedimiento ha consistido en la obtención de imágenes de forma parametrizada, obteniendo un plano de 360° alrededor del producto, con el objetivo de realizar la captación de la forma más exacta posible. Cabe añadir que el escáner es de posición fija por lo que se ha utilizado una plataforma giratoria, vinculada al programa DAVID® V5, para controlar el ángulo de rotación con el fin de realizar la recopilación de los datos de forma precisa. Asimismo, para el control de la iluminación se ha utilizado una caja oscura para aislar al producto de la iluminación ambiental y conseguir así mayor nitidez en el acabado final, figura 3 b).



Fig. 3: a) Cámara del escáner 3D, b) Interior de la caja oscura en la que se incluye la plataforma giratoria

La malla obtenida en la fusión de las imágenes capturadas ha sido tratada en el programa de Autodesk Meshmixer. Esta es una herramienta gratuita de creación y modificación de objetos 3D que trabaja en formatos como STL, *Standard Triangle Language*, y OBJ que son los que se han utilizado en este trabajo. En relación a esto último, el objetivo final es introducir los elementos 3D en Solidworks®, programa de Dassault Systemes para diseño asistido por ordenador, con el propósito de crear un objeto sólido que pueda ser manipulado. Aunque Solidworks® incluye una herramienta para el tratamiento de nube de puntos o malla escaneada, debido a que los productos tienen geometrías complejas resulta más sencillo cerrar la malla en el software Meshmixer. Finalmente, una vez creado el objeto en formato sólido, en Solidworks®, es posible exportarlo a otros formatos de archivo para que sea compatible con otros programas CAD.

2.2. PROCEDIMIENTO

El planteamiento general de este trabajo experimental es, entre otros, realizar un procedimiento para la generación de elementos digitalizados tridimensionalmente, válidos como medio de apoyo en el proceso de diseño de envases a través de técnicas de diseño asistido por ordenador.

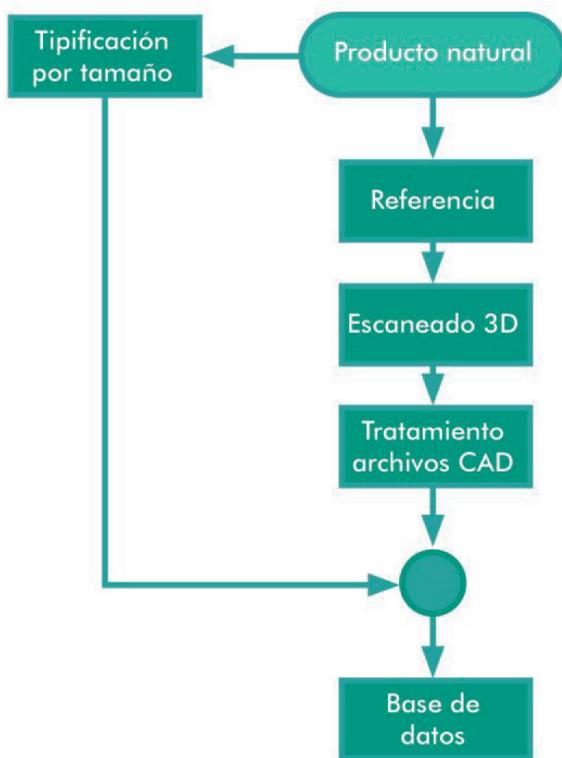


Fig. 4: Diagrama de flujo para el procedimiento de escaneo y tratamiento de elementos

En la Figura 4 se detalla la técnica llevada a cabo mediante un diagrama de flujo. El proceso comienza a partir de la selección del producto fresco, en este caso vegetales y frutas. Seguidamente, para la realización del proceso de escaneo tridimensional de forma precisa resulta importante tener un punto de referencia con la finalidad de fusionar las capturas de forma precisa. En este procedimiento se considera necesario definir un elemento del

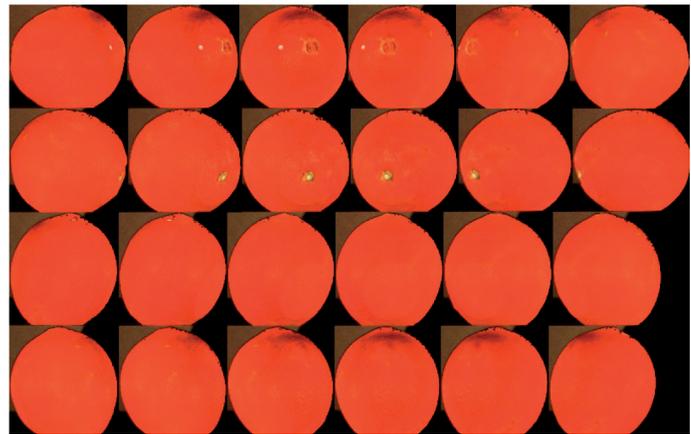


Fig. 5: Captaciones de imágenes. Escala de la imagen 1:25

producto para utilizarlo como referencia, o punto de origen. Sin embargo, en algún caso puede ser necesario incluir una marca sobre la superficie para, así, detectar el punto de unión entre las capturas de pantalla.

Realizadas las fases precedentes, el procedimiento de trabajo para la obtención de réplicas por ingeniería inversa de los productos se ha realizado en diversas etapas. En primer lugar, se ha calibrado el escáner con respecto a cada tamaño concreto estableciendo tres rangos de medidas de calibrado en función al tamaño del objeto a escanear. En siguiente lugar, se han realizado las capturas de imágenes que posteriormente son fusionadas con respecto al punto de referencia establecido. Posteriormente, el objeto 3D se exporta en formato OBJ desde el escáner para generar la malla cerrada en el programa Meshmixer y posteriormente exportarlo de nuevo en formato OBJ para introducirlo en Solidworks®. Adicionalmente, en ambos programas también se pueden editar partes de la superficie que se detecten erróneas.

Para la configuración y calibrado se ha utilizado el propio patrón del escáner, el cual consta de tres tipos de escalas. El ajuste de la distancia, el enfoque de la cámara, la exposición y el brillo de la cámara son cruciales para realizar la digitalización con mayor precisión. Así, se ha posicionado el escáner perpendicular a la plataforma giratoria y a una distancia específica para cada tipo de escala, para escala de 60 milímetros se ha posicionado a 500 milímetros y para escala de 30 a 170 milímetros. El dial de apertura de la cámara incorpora un rango de pasos de 1,4 a 16 que debe regularse para cada objeto hasta conseguir que la imagen reflejada tenga brillo.

MUESTRA	ESCALA (mm)	APERTURA CÁMARA	ENFOQUE CÁMARA	BRILLO PROYECTOR	EXPOSICIÓN CÁMARA	Nivel de exactitud
MANZANA 1	60	16	3	255	1/60	Alta
MANZANA 2	60	16	3	255	1/60	Alta
PERA 1	60	16	3	255	1/60	Muy alta
PERA 2	60	16	3	255	1/60	Muy alta
AGUACATE 1	60	8	4	215	1/60	Media
AGUACATE 2	60	8	4	215	1/60	Media
KIWI 1	60	16	2	255	1/60	Alta
KIWI 2	60	16	2	255	1/60	Alta
TOMATE 1	60	8	4	255	1/60	Alta
TOMATE 2	60	8	4	255	1/60	Alta
NARANJA 1	60	16	3	255	1/60	Alta
NARANJA 2	60	16	3	255	1/60	Alta
T. CHERRY 1	30	16	3	255	1/60	Muy alta
T. CHERRY 2	30	16	3	255	1/60	Muy alta
T. CHERRY 3	30	16	3	255	1/60	Muy alta
T. CHERRY 4	30	16	3	255	1/60	Alta
T. CHERRY 5	30	16	3	255	1/60	Media
T. CHERRY 6	30	16	3	255	1/60	Muy alta
FRESA 1	30	16	3	255	1/60	Media
FRESA 2	30	16	3	255	1/60	Media
FRESA 3	30	16	3	255	1/60	Media
FRESA 4	30	16	3	255	1/60	Alta

Tabla I: Resultado de los parámetros de escaneo

En lo que respecta al enfoque, este debe regularse en un rango de 1-5 mediante un regulador hasta que la imagen sea nítida. De acuerdo con las pruebas realizadas, es necesario regular el enfoque en función al brillo y color del producto.

Asimismo, en los experimentales de validación se definió la captura de 12 imágenes con un giro de 30° para poder completar la captura en todas las caras del objeto. Para ello, resulta necesario realizar el proceso en dos fases: caras laterales por una parte y superior e inferior por otra donde el total de captura de imágenes asciende a 24, figura 5.

Realizado el proceso de escaneado, la organización de los productos escaneados se ha efectuado mediante carpetas que puede ser incluida como base de datos para su aplicación en el diseño de envases adaptados, mediante herramientas de diseño asistido por

ordenador. También se han analizado los archivos para evaluar la exactitud geométrica.

Finalmente, con el objetivo de comprobar la aplicabilidad en el proceso de diseño se realizaron una serie de diseños de prueba que se muestran en los resultados.

3. RESULTADOS

En los casos de estudio realizados se han obtenido diferentes resultados en función de las características de cada elemento detalladas en el apartado anterior: tamaño de la geometría, color, brillo y textura.

La tabla I recoge los parámetros específicos recopilados de los ensayos realizados. De los resultados obtenidos se deduce que es

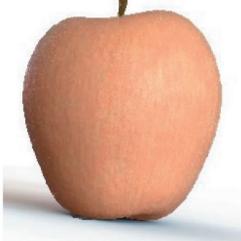
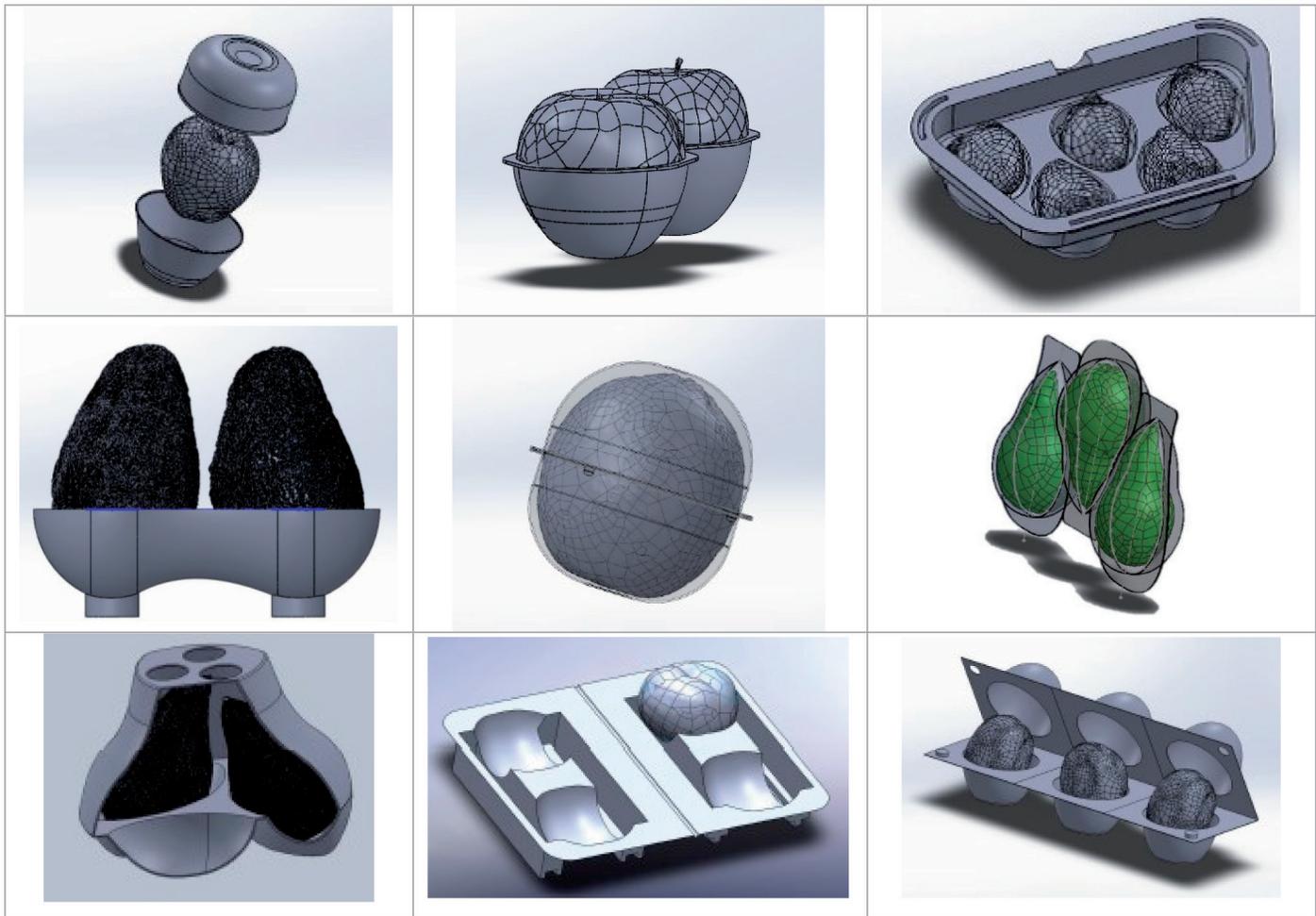
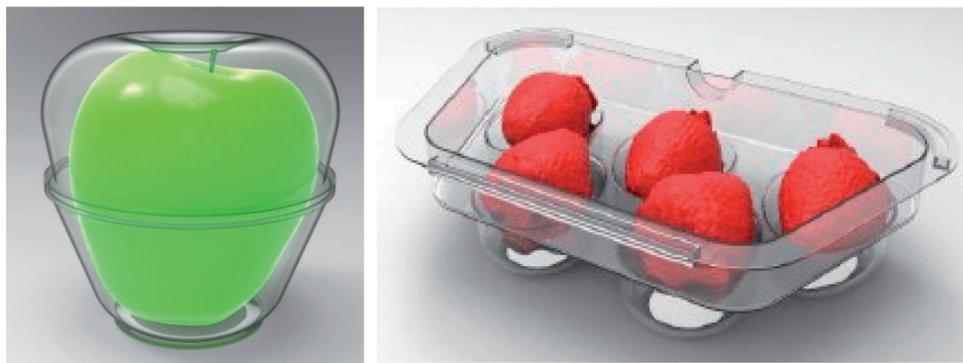
				
Pera 1	Pera 2	Tomate 1	Tomate 2	Fresa 1
				
Kiwi 1	Kiwi 2	Manzana 1	Manzana 2	Fresa 2
				
Aguacate 1	Aguacate 2	Naranja 1	Naranja 2	Fresa 3
				
Tomate cherry 1	Tomate cherry 2	Tomate cherry 3	Tomate cherry 4	Tomate cherry 5

Fig. 7: Infografías de los productos escaneados



a)



b)

Fig. 8: Ejemplos de aplicación de los elementos escaneados al proceso de diseño conceptual de envases personalizados y adaptados a) Ejemplo del proceso de diseño digital de envases, b) Renderizados de presentación de envases

posible escanear diversos tipos de geometrías, acabados y colores. De acuerdo con esto, el control de la apertura y exposición de cámara han definido la correcta captación de las imágenes, como se observa en la tabla I la apertura se ha variado dependiendo del brillo y color de la superficie. Así, se observa que la apertura de cámara en la posición dieciséis ha sido la aplicada en la mayor parte de los casos prácticos. En lo que respecta al enfoque de la cámara se observa que el rango de enfoque varía entre la posición dos y cuatro. Por otro lado, se destaca que las propiedades de brillo y exposición utilizadas han sido 255 lúmenes y 1/60 segundos respectivamente. Sin embargo, en el caso del aguacate, por su tonalidad oscura, ha sido necesario reducir el brillo del proyector. En lo que respecta al tamaño de la geometría, se observa que se ha

aplicado calibre de 30 milímetros a alimentos de pequeño tamaño, sin embargo se puede definir que la mayoría de las frutas necesitan una escala de 60 milímetros.

Desde el punto de vista de la equivalencia geométrica, siendo la resolución de escaneo utilizada de 0,351 mm, se han generado geometrías en las que se pueden percibir la forma general y detalles característicos de la superficie, figura 7. En el caso de la fresa se aprecia una calidad media debido a los detalles irregulares de las hojas, sin embargo este parámetro no afecta a la forma global del producto que es lo que se pretende digitalizar. Por tanto, la fiabilidad obtenida en las reproducciones da lugar a la posibilidad de integración de frutas digitalizadas en el proceso de diseño de envases.

Además, evaluadas las dimensiones de las piezas físicas y las digitalizadas se ha obtenido un error medio de 0,4 mm sobre el diámetro mayor de las muestras con una desviación media de 0,2 milímetros. Asimismo, de forma general las dimensiones digitalizadas son las que presentan mayor dimensión, parámetro que beneficia al proceso de diseño. En resumen, los resultados obtenidos han sido positivos aunque se detecta que la captación de la textura en superficies no lisas, como el kiwi y la fresa, algunos detalles de la superficie no son reproducidos con total exactitud. Aunque estos detalles no afectan a su aplicabilidad en el proceso de diseño.

En la figura 8 a) se muestran ejemplos de aplicación en el proceso de diseño de envases, realizados para evaluar la aplicabilidad dentro de este proceso. En los casos realizados se han podido aplicar geometrías complejas basadas en las frutas escaneadas consiguiendo, así, formas personalizadas.

Por otro lado, la correcta alineación de las 24 capturas de imagen realizadas es el principal factor para la obtención del objeto tridimensional de forma precisa. Como resultado se ha obtenido que sólo en tres casos ha sido necesaria la realización de la referencia de manera externa al producto, en las que se definió realizar una marca en color blanco sobre la superficie del objeto. El punto de referencia debe situarse en una posición lateral de tal forma que sea recogido en, al menos, dos capturas de imagen.

El tiempo empleado para la realización de todo el proceso se ha definido en dos horas por pieza desde el escaneado hasta la generación del objeto tridimensional sólido. Por otra parte, en los resultados obtenidos se detecta que el tamaño de los archivos es variable dependiendo de la calidad de la superficie, los pesos oscilan entre 2 Mb y 45 Mb. Adicionalmente, este rango de pesos no presenta dificultades de alojamiento en posibles bases de datos o plataformas online.

Adicionalmente, la resolución obtenida permite la posibilidad de realizar la reconstrucción por medio de la realización de infografías, que pueden ser utilizadas para la presentación de los envases diseñados o para aplicaciones de marketing, figura 8 b). Estas geometrías también pueden ser utilizadas en el ámbito de la realidad virtual, creando un entorno ficticio y una experiencia inmersiva.

4. DISCUSIÓN

Tal como se observa en los resultados, en el presente artículo se expone el potencial de la ingeniería inversa aplicada al sector alimentario en el marco de la Industria 4.0. El diseño de envases para alimentos ha tenido tradicionalmente un papel secundario respecto al diseño de sistemas de producción o transporte. Sin embargo, la competitividad ha propiciado la necesidad de investigar y reconfigurar el desarrollo de nuevas soluciones en cuanto a envases [19]. En este sentido, hay que tener en cuenta que el mayor índice de creatividad se produce en las primeras etapas del proceso de diseño: el diseño conceptual. Esta fase requiere la aportación de nuevas ideas para dar soluciones a los productos tanto funcionales como estéticos y ergonómicos. Las aportaciones de esta fase inventiva serán las que marquen la calidad del producto final [20]. Por este motivo, y a pesar de que en los hallazgos encontrados la ingeniería inversa se centra en la ingeniería mecánica y la fabricación, se considera relevante el estudio y aplicación de nuevas metodologías no convencionales para el proceso de diseño aplicados a nuevos productos, en este caso envases adaptados y/o personalizados, que se enmarquen en la visión de futuro de la Industria 4.0 [21].

Sobre la base de las consideraciones anteriores, el desarrollo de los casos experimentales realizados evidencia la posibilidad de aplicación de elementos escaneados de forma tridimensional en las fases más tempranas del proceso de diseño. Esto puede agilizar los tiempos de proceso de diseño permitiendo su posible implementación al sistema en la red y la ingeniería colaborativa.

Cabe mencionar que en el mercado se pueden observar de forma cotidiana envases de mayor dimensión con respecto al producto contenido en su interior, de forma que la posibilidad de estudio de geometrías complejas que permitan optimizar el dimensionamiento está íntimamente ligado con el impacto económico y ambiental [22, 23]. De acuerdo con [24], el diseño personalizado implica realizar envases con mejores propiedades en cuanto a la sostenibilidad, la estética y la ergonomía, con el consecuente impacto en la sociedad.

Así, la introducción de elementos escaneados en el proceso de diseño facilita adaptar el tamaño y forma del envase a la tipología de la fruta contenida, permitiendo utilizar sólo la cantidad de material plástico necesario para su venta y transporte. De esta forma se consigue optimizar el producto, lo que supone una reducción del impacto ambiental y económico, este hecho es relevante porque actualmente miles de toneladas de plástico y alimento se desechan diariamente [23] plastics cover up to 50% of primary food packaging thanks to their positive features such as lightweight, flexibility, strength, transparency, impermeability, ease of sterilization, and so on. This massive consumption is accompanied by a consistent waste generation with an important environmental footprint. Taking into consideration that yet above 30% of plastics wastes are landfilled (PlasticEurope, 2016 y se destinan grandes esfuerzos a mitigar este impacto, generando normativas cada vez más estrictas en la retirada y reciclaje de los envases alimentarios [25]. El elevado número de envases fabricados diariamente produce que una pequeña reducción en cada envase tenga una gran influencia en el medio ambiente. Esta metodología de trabajo favorece esa reducción de material tan necesaria en un sector estratégico como es el alimentario.

Hecha la observación anterior, gran parte del desecho de alimento se produce por utilizar envases con gran cantidad de alimento que se acaba deteriorando en los hogares [21]. Así, la posibilidad que ofrece esta metodología para la realización de envases personalizados por tipo de fruta y categoría puede dar lugar a la reducción de desperdicio de alimentos debido a la posibilidad de reducir la cantidad de producto de su interior y por la mejora en la conservación de propiedades específicas de cada alimento [26].

Con referencia a lo anterior, del trabajo realizado se desprende que es posible generar una metodología de diseño para crear envases personalizados por medio de la aplicación de productos digitalizados. Sin embargo, uno de los factores relevantes de los productos frescos es que cada pieza es única aunque en lo que respecta a la comercialización, los productos frescos se encuentran catalogados por categorías y calibres con respecto al diámetro mayor. Estos valores ofrecen un rango de medidas para el correcto desarrollo de un diseño adaptado a un calibre determinado que puede ser escaneado sobre una amplia muestra de vegetales y frutas para detectar estas variaciones geométricas y poder establecer un dimensionamiento medio que permita englobar a una categoría completa y tipificarlas. Además, desde el punto de vista de la industria 4.0, con la tecnología adecuada sería posible que en la línea de envasado los calibres puedan ser detectados y envasados de forma automática.

Por otro lado, analizados los datos obtenidos en este trabajo experimental se puede deducir que es posible realizar el proceso

de escaneo con elementos naturales de forma precisa. Ahora bien, los resultados muestran un rango de tolerancias que podría reducirse utilizando mayor resolución, aunque esto aumenta los tiempos de escaneo. Sin embargo, para este trabajo, la resolución es suficiente porque se busca obtener el volumen general del producto. Otra forma de reducir el tiempo de escaneo vendría dado por la reducción en la toma de imágenes necesarias para digitalizar los vegetales y frutas.

5. CONCLUSIONES

El principal potencial del procedimiento descrito reside en la aplicación de los archivos digitales obtenidos como parte del proceso de diseño de envases para adaptarlos y personalizarlos por medio de herramientas de diseño asistido. Así, se considera que pueden obtenerse geometrías complejas en el diseño de los envases basadas en la metodología de trabajo propuesta.

Del análisis realizado sobre las superficies obtenidas mediante escaneo tridimensional se desprende que las geometrías presentan exactitud dimensional y formal. Sin embargo, es preciso tener en cuenta que la geometría de los alimentos frescos es única. Aun así, cabe tener en cuenta que la normativa recoge rangos dimensionales máximos y mínimos, también tolerancias específicas según categoría. En este sentido, el trabajo realizado evidencia que es posible analizar las diferencias superficiales pudiendo establecer una curva genérica que englobe a todo un calibre específico.

Por otro lado, por medio de esta metodología se considera posible generar envases con menor cantidad de material plástico y tamaño lo que se relaciona directamente con el rendimiento económico y ambiental. Asimismo, esta herramienta permite al diseñador adecuarse con mayor exactitud a los productos frescos, generando de este modo envases orientados a las necesidades de los usuarios. En definitiva, este método contribuye a que los productos sean más competitivos en el mercado y sea posible crear envases más sostenibles, personalizados y adaptados.

En lo que respecta al proceso de digitalización tridimensional, se ha observado que los parámetros de escaneo afectan directamente a la calidad del producto escaneado. Por lo tanto, se podría decir que se puede establecer una métrica con escalas cuantitativas con respecto a color, brillo, textura y tamaño.

Cabe agregar que el conjunto de frutas tridimensionales obtenidas pueden tener varias aplicaciones adicionales en el contexto de la industria 4.0 empleando los archivos digitales de forma conjunta con tecnologías como la fabricación aditiva o la realidad aumentada.

Finalmente, se observa que las nuevas líneas de actuación se pueden dirigir al estudio y aplicación de una metodología de diseño virtual de envases personalizados o la generación de una plataforma online que permita el cálculo de percentiles para realizar, así, diseños más eficientes y adecuados a la realidad de los productos.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Stock T, Seliger G. "Opportunities of Sustainable Manufacturing in Industry 4.0". *Procedia CIRP*. 2016. Vol. 40 p. 536-541. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/J.PROCIR.2016.01.129>

[2] Santeramo F G, Carlucci D, De Devitiis B, et al. "Emerging trends in European food, diets and food industry". *Food Res. Int.* 2018. Vol. 104 p. 39-47. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.10.039>

[3] "Real Academia Española." [En línea]. Available: <http://www.rae.es/>. [Último acceso: 25-06-2018].

[4] Sokół K, Cekus D. "Reverse Engineering as a Solution in Parts Restoration Process". *Procedia Eng.* 2017. Vol. 177 p. 210-217. DOI:

<http://dx.doi.org/10.1016/J.PROENG.2017.02.191>

[5] "Normas de comercialización de frutas y hortalizas". [En línea]. http://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/productos/info_comercial.html. [Último acceso: 08-06-2018].

[6] Pop A, Adam A, Pop A. "Reverse Engineering Tehnique Applied for Manufacturing Thin Wall Plastic Parts". *Appl. Mech. Mater.* 2015. Vol. 772 p. 212-217. DOI: <http://dx.doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.772.212>

[7] Anwer N, Mathieu L. "From reverse engineering to shape engineering in mechanical design". *CIRP Ann.* 2016. Vol. 65 no. 1 p. 165-168. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/J.CIRP.2016.04.052>

[8] Tam KW, Chan KW "Thermoforming mould design using a reverse engineering approach". *Robot. Comput. Integr. Manuf.* 2007. Vol. 23 no. 3 p. 305-314. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rcim.2006.02.006>

[9] Chintala G, Gudimetla P. "Optimum Material Evaluation for Gas Turbine Blade Using Reverse Engineering (RE) and FEA". *Procedia Eng.* 2014. Vol. 97 p. 1332-1340. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.12.413>

[10] Raja V, Kiran KJ, Fernandez J. *Reverse engineering : an industrial perspective*. London: Springer, 2008. ISBN: 9781846288555.

[11] Chua CK, Yeong WY. *Bioprinting*. Toh Tuk Link: World Scientific, 2015. ISBN: 9789814612104.

[12] Segreto T, Caggiano A, D'Addona D M. "Assessment of laser-based reverse engineering systems for tangible cultural heritage conservation". *Int. J. Comput. Integr. Manuf.* 2013. Vol. 26 no. 9 p. 857-865. DOI: <https://doi.org/10.1080/0951192X.2013.799781>

[13] Viana JHM, Hinduja S, Bártolo PJS. "Estimation of biometric parameters from cattle rump using free-hand scanning and a 3D data processing algorithm". *Virtual Phys. Prototyp.* 2016. Vol. 11 no. 3 p. 167-172. DOI: <https://doi.org/10.1080/17452759.2016.1211292>

[14] Ji X, Zhu Z, Gao Z, et al. "Anthropometry and classification of auricular concha for the ergonomic design of earphones". *Hum. Factors Ergon. Manuf.* 2018. Vol. 28, no. 2 p. 90-99. DOI: <https://doi.org/10.1002/hfm.20726>

[15] Collins PK, Leen R, Gibson I. "Industry case study: rapid prototype of mountain bike frame section". *Virtual Phys. Prototyp.* 2016. Vol. 11 no. 4 p. 295-303. DOI: <https://doi.org/10.1080/17452759.2016.1222563>

[16] Nee AYC, Ong SK, Chryssolouris G, et al. "Augmented reality applications in design and manufacturing". *CIRP Ann.* 2012. Vol. 61 no. 2, p. 657-679. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/J.CIRP.2012.05.010>

[17] Lujan-Blanco I, Fortuny-Santos J. "Towards a green company through lean manufacturing. Review and state-of-the-art". *Dyna-Management.* 2016. Vol. 4, no. 1, p.[11 p.]. DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/MN7813>

[18] Ouamer-Ali MI, Laroche F, Bernard A, et al. "Toward a Methodological Knowledge based Approach for Partial Automation of Reverse Engineering". *Procedia CIRP.* 2014. Vol. 21 p. 270-275. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/J.PROCIR.2014.03.190>

[19] Azzi A, Battini D, Persona A, et al. "Packaging Design: General Framework and Research Agenda". *Packag. Technol. Sci.* 2012. Vol. 25 no. 8 p. 435-456. DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/pts.993>

[20] Winter R. "Design science research in Europe". *Eur. J. Inf. Syst.* 2008. Vol. 17 no. 5 p. 470-475. DOI: <http://dx.doi.org/10.1057/ejis.2008.44>

[21] Tulaphol N. "Food Industry 4.0. A new era of consumer empowerment" Economic Intelligence Center (EIC), 2016. [En línea]. <https://www.scbeic.com/en/detail/product/2916>. [Último acceso: 04-04-2018].

[22] "Plastic Packaging and Food Waste – new perspectives on a dual sustainability crisis" Institute for European environmental policy, 2018. [En línea]. <https://ieep.eu/publications/plastic-packaging-and-food-waste-new-perspectives-on-a-dual-sustainability-crisis>. [Último acceso: 11-07-2018].

[23] Siracusa V, Rosa MD. "Sustainable Packaging". En: Galanakis C (ed). *Sustainable Food Systems from Agriculture to Industry*. London: Elsevier, 2018. p.275-307. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811935-8.00008-1> ISBN: 9780128119358

[24] Seidel R, Thielen M, Schmitt C, et al. "Fruit walls and nut shells as an inspiration for the design of bio-inspired impact resistant hierarchically structured materials". *Int. J. of design & Nature and Ecodynamics.* 2013. Vol. 8 no. 2 p. 172-179. DOI: <http://dx.doi.org/10.2495/DNE-V8-N2-172-179>.

[25] Mwanza BG, Mbohwa C, Telukdarie A. "Strategies for the Recovery and Recycling of Plastic Solid Waste (PSW): A Focus on Plastic Manufacturing Companies". *Procedia Manuf.* 2018. Vol. 21 p. 686-693. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.02.172>

[26] Hellström D, Olsson A. *Managing packaging design for sustainable development : a compass for strategic directions*. Chichester: Wiley, 2017. ISBN: 9781119150930