



Aplicación de la manufactura aditiva en el procesamiento de alimentos

Application of additive manufacturing in food processing

Aplicação de manufatura aditiva no processamento de alimentos

Ingrid Almeida-Bodero ^I

ialmeida2508@utm.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0003-0453-263X>

Gladys Sotomíngua-Espinoza ^{II}

gsotomíngua6600@utm.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-2952-9579>

Nelson Cisneros-Pérez ^{III}

nelson.cisneros@utm.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0001-8500-3806>

Correspondencia: ialmeida2508@utm.edu.ec

Ciencias técnicas y aplicadas

Artículos de investigación

***Recibido:** 16 de julio de 2021 ***Aceptado:** 30 de agosto de 2021 * **Publicado:** 07 de septiembre de 2021

- I. Estudiante de la Escuela de Ingeniería Química, Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas, Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Ecuador.
- II. Estudiante de la Escuela de Ingeniería Química, Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas, Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Ecuador.
- III. Magíster, Docente del Departamento de Ingeniería Química, Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas, Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Ecuador.

Resumen

El presente Artículo de Revisión se desarrolló a partir de una metodología sistemática de tipo descriptivo, a partir de varias fuentes confiables de revistas científicas; por lo tanto, esta temática tiene como objetivo conocer los aspectos más relevantes en la manufactura aditiva de alimentos, siendo esta una nueva tecnología que está revolucionando distintas industrias como la farmacéutica, automotriz y la de alimentos.

La manufactura aditiva se realiza utilizando una impresora en 3D que cuenta con un software de diseño cuyo formato debe ser exportado en Stereo – Lithography otro que permite modificar diversos parámetros como el modelo y velocidad de la impresora. La terminología estándar International ha establecido 7 categorías diferentes con respecto a la impresión en 3D, pero no todas son aptas para realizar una impresión en 3D de alimentos. Mediante una exhaustiva investigación se logró determinar las 4 principales categorías para la manufactura aditiva de alimentos, siendo estas: la impresión basada en extrusión, chorro aglutinante, la sinterización selectiva y la impresión por inyección de tinta, cuyas diferencias radican en el tipo de materiales que usan y los parámetros de impresión. Entre los principales alimentos que se han procesado con esta nueva tecnología se encuentran: chocolate, frutas, verduras, carnes, productos de confitería, impresión de estructuras complejas en 3D utilizando azúcares como polvos, pasta de carne, queso mermeladas, geles, entre otros.

La impresión en 3D aplicada a la industria de los alimentos tiene la ventaja de la personalización de los alimentos, en otras palabras, es posible modificar los valores nutricionales, formas y colores, dependiendo de las necesidades del consumidor, logrando así una alta variedad de aplicaciones a futuro.

Palabras claves: Manufactura de alimentos; impresión 3D; impresión 3D de alimentos.

Abstract

This Review Article was developed from a systematic descriptive methodology, from several reliable sources of scientific journals; Therefore, this topic aims to know the most relevant aspects in additive food manufacturing, this being a new technology that is revolutionizing different industries such as pharmaceuticals, automotive and food.

Additive manufacturing is carried out using a 3D printer that has design software whose format must be exported in Stereolithography, another one that allows modifying various parameters such as the model and speed of the printer. International standard terminology has established 7 different categories regarding 3D printing, but not all of them are suitable for 3D printing of food. Through an exhaustive investigation it was possible to determine the 4 main categories for food additive manufacturing, these being: printing based on extrusion, binder jet, selective sintering and inkjet printing, whose differences lie in the type of materials used, use and print parameters. Among the main foods that have been processed with this new technology are: chocolate, fruits, vegetables, meats, confectionery products, 3D printing of complex structures using sugars such as powders, meat paste, cheese, jams, gels, among others.

3D printing applied to the food industry has the advantage of personalizing food, in other words, it is possible to modify nutritional values, shapes and colors, depending on the needs of the consumer, thus achieving a high variety of applications to future.

Keywords: Food manufacturing; 3d print; 3D food printing.

Resumo

Este Artigo de Revisão foi desenvolvido a partir de uma metodologia descritiva sistemática, a partir de várias fontes confiáveis de periódicos científicos; Portanto, este tópico tem como objetivo conhecer os aspectos mais relevantes na fabricação de alimentos aditivos, sendo esta uma nova tecnologia que está revolucionando diferentes indústrias como farmacêutica, automotiva e alimentícia.

A manufatura aditiva é realizada em uma impressora 3D que possui um software de design cujo formato deve ser exportado em Estereolitografia, outro que permite modificar vários parâmetros como o modelo e a velocidade da impressora. A terminologia padrão internacional estabeleceu 7 categorias diferentes em relação à impressão 3D, mas nem todas são adequadas para a impressão 3D de alimentos. Através de uma investigação exaustiva foi possível determinar as 4 categorias principais para a fabricação de aditivos alimentares, sendo elas: impressão por extrusão, binder jet, sinterização seletiva e impressão a jato de tinta, cujas diferenças residem no tipo de materiais utilizados, parâmetros de uso e impressão. Entre os principais alimentos que vêm sendo processados com essa nova tecnologia estão: chocolate, frutas, vegetais, carnes, produtos de

confeitaria, impressão 3D de estruturas complexas a partir de açúcares como pós, pasta de carne, queijos, geléias, géis, entre outros.

A impressão 3D aplicada à indústria alimentícia tem a vantagem de personalizar alimentos, ou seja, é possível modificar valores nutricionais, formas e cores, dependendo das necessidades do consumidor, alcançando assim uma grande variedade de aplicações.

Palavras-chave: Fabricação de alimentos; Impressão 3D; Impressão 3D de alimentos.

Introducción

La manufactura aditiva (AM) también conocida como impresión tridimensional (3D) nace a finales de la década de los 80 y desde entonces se ha venido desarrollando y aplicando en diversos sectores de la industria como la automotriz, médica, aeroespacial, entre otras. La impresión 3D se da mediante la técnica de capa por capa, construyéndose sobre una matriz a partir de un modelo sólido en 3D digitalizado. Esta tecnología aparece en un campo emergente, considerada como una potencia debido a los estudios que se han realizado demuestran que en el mercado global alcanzará los 30.19 mil millones de dólares para el 2022, mientras que una proyección de McKinsey predice que la manufactura aditiva tendrá un impacto económico de 550 mil millones de dólares para el 2025 (Nachal et al., 2019).

Sin embargo, la introducción de la impresión 3D en el mundo de los alimentos es el campo de estudio más recientes ya que surge a partir de la última década, por la necesidad de producir alimentos con distintas características nutricionales, formas geométricas y reducción de tiempos de producción. El objetivo principal es poder imprimir alimentos diseñados para las necesidades de cada persona, sin herramientas o moldes, también se espera aumentar la eficiencia de producción y reducir el costo de fabricación en la industria de los alimentos.

El presente estudio se basa en la recopilación de información sobre estudios y avances que han surgido en relación a la manufactura aditiva de alimentos, información que se encuentra en revistas y documentos científicos, lo que conlleva consigo un estudio exhaustivo de por medio.

Materiales y métodos

Para el presente trabajo se ha utilizado como método la búsqueda y análisis de información, donde se aplicó la metodología sistemática de tipo descriptivo para realizar la investigación, con la recopilación de artículos científicos y diferentes avances relacionados con el tema de estudio que han surgido en la industria alimentaria en relación con la manufactura aditiva de alimentos, se consideraron artículos de revistas, publicaciones, documentos o trabajos publicados, seleccionando así la información de los documentos y sitios web de fuentes confiables, permitiendo analizar información reciente y actualizada. Se incluyeron artículos, y documentos que contengan información actualizadas acerca del tema. Se excluyeron aquellos documentos con información errónea, estudios no relacionados con la temática y publicaciones con periodos de tiempo mayor a los últimos 5 años. La selección final de los referentes bibliográficos son los más representativos y de mayor calidad para el desarrollo del presente trabajo.

Análisis y discusión de los resultados

La manufactura aditiva es considerada como un método de producción digitalizada que consiste en fabricar objetos previamente modelados.

Manufactura aditiva o impresión en 3D

La manufactura aditiva es considerada como un método de producción digitalizada que consiste en fabricar objetos previamente modelados. El comité F42 de la rama estadounidense de ASTM International define la fabricación aditiva como: “El material utilizado para fabricar objetos con datos de modelos 3D, generalmente depositados capa por capa” (Christoph et al., 2016; Kodama, 1981; Malé Alemany, 2016).

El primer intento de impresión 3D se remonta a 1980, inventado por el Dr. Kodama. En 1986 Charles W. Hull inventó la tecnología de impresión de estereolitografía (SLA), mientras que un año después Carl Deckard desarrolló una patente para la tecnología de sinterización selectiva por láser (SLS), en la Universidad de Texas (Bucco & Hofman, 2016). En los últimos años, esta tecnología versátil ha encontrado aplicación en una variedad de campos, incluidos el aeroespacial en donde ya existen ductos impresos en 3D en materiales de alta resistencia a temperaturas con la ventaja de tener libertad de geometrías, menor peso y reducir costo de inventarios por refacción o mantenimiento (NASA, 2013). En cuanto a la ingeniería de tejidos, en el 2011 el profesor Anthony

Atala presentó por primera vez un riñón bioempresa en 3D (Murphy & Atala, 2014), y más recientemente, el diseño de alimentos donde destaca la impresión en 3D de chocolates, azúcares y pastas (García Ríos, 2019).

El importante crecimiento de la manufactura aditiva se debe principalmente al descubrimiento continuo de nuevos e importantes beneficios específicos que aporta esta tecnología a un creciente número de sectores industriales (Christoph et al., 2016).

Impresoras 3D

El principio de funcionamiento de la impresora 3D se basa en la utilización del sistema Fused Deposition Technology (FDM), que consiste en depositar el material capa por capa de abajo hacia arriba empujando el material sintético en forma de filamento enrollado en la jeringa desde el extrusor hasta que se complete la parte diseñada. Cuando el filamento sintético se funde a la temperatura adecuada, la jeringa se mueve a lo largo de dos ejes (x, y), mientras que el lecho de impresión y el extrusor se mueven en paralelo al eje z para permitir la deposición de una nueva capa (Fonseca & Miranda 2018).

Carmona Reverte (2016), en su estudio denominado “Diseño y prototipado de extrusor para impresora 3D de alimentos” hace referencia que el tipo de material que se requiera utilizar afectan directamente el costo final que tiene la impresora. Cualquier impresora que sea de bajo costo puede usar lo que son termoplásticos, como el ácido poliláctico (PLA) y el acrilonitrilo butadieno estireno (ABS). Sin embargo, algunas impresoras pueden manejar metales, fotopolímeros, resinas líquidas y alimentos.

Una impresora 3D típica consta de un circuito de control para integrar la computadora y la impresora; un motor, filamento y sistema de transmisión para guiar los motores; una cámara de mezcla para almacenar y mezclar el suministro de material; rodillos de alimentación; sensores de flujo; reguladores de presión; boquillas; y una plataforma de impresión sobre la que se imprime la comida (Nachal et al., 2019), como se observa en la Figura 1 .

Figura 1. Diagrama esquemático de una impresora 3D por extracción



Fuente: Nachal et al, (2019).

Hay diferentes softwares disponibles para aplicaciones de escaneo, desarrollo de modelos e impresión; su selección depende de la experiencia del usuario y las características requeridas. García Ríos (2019), en su estudio “Impresora 3D de Chocolate” hace referencia a dos tipos softwares usados para la impresión 3D el primero son los softwares de diseño y el segundo los softwares de controles:

Softwares de diseño

Existen una amplia variedad de programas de diseño que se encuentran actualmente en el mercado, diferenciados principalmente es la complejidad del sistema para ser manejado debido a que en algunos casos se necesita un amplio conocimiento de ingeniería. La particularidad de todos los softwares de diseño es el formato en que deben ser exportados, que es el STL que en ingles estas siglas significan “Stereo – Lithography”, se considera a la exportación en STL como el formato estándar en las impresiones en 3D.

Softwares para el control de impresoras 3D

Este software es el que permite realizar cambios en los diseños de impresiones en 3D de acuerdo a las necesidades, es así como se puede modificar los parámetros de calidad, la complejidad del modelo, velocidad, relleno, altura entre otras características. En el mercado actualmente existen varios programas que son gratuitos cuya complejidad puede llegar a tener un nivel medio, pero por lo general las impresoras en 3D suelen venir con su propio programa.

Con relación a los softwares de diseño en la actualidad existen diversos programas en el mercado como: el Solid Works, Tinkercad, Rhinoceros, Sketchup, Dcatia, Fusión 360, FreeCad, CURA, entre otros. CURA es uno de los softwares más utilizados porque es un software gratuito, es decir, se puede acceder fácilmente a él en Internet. El diseño del objeto tridimensional se almacena en formato STL, posteriormente se debe convertir a un archivo en formato GCODE, lenguaje que permitirá al software de la impresora interpretar el movimiento que fija la trayectoria generada durante el proceso de impresión de los gráficos 3D (Escudero Vasconez, 2018).

Categorías de manufactura aditiva

Según la ISO/ASTM52900-15 (2015), describe que existen siete categorías de AM reconocidas según la terminología estándar de ASTM para tecnologías de fabricación aditiva. En la Tabla 1, se realizó una recopilación conceptual de las siete categorías de la manufactura aditiva.

Tabla 1. Categorías de manufactura aditiva

Categorías	Generalidades	Tecnologías relacionadas
<i>Directed energy deposition</i> Deposición de energía dirigida	La energía térmica es aplicada en los materiales que se funden tras la extracción.	<ul style="list-style-type: none"> ● Deposición de metales por láser (LMD)
<i>Material Extrusion</i> Material de extrusión	El material se dispensa a través de una boquilla u orificio	<ul style="list-style-type: none"> ● Extrusión en caliente (FDM)
<i>Vat Photopolymerization</i> Fotopolimerización de tinta	El fotopolímero líquido en una cuba se cura selectivamente mediante polimerización activada por luz o UV	<ul style="list-style-type: none"> ● Estereolitografía (SLA) ● Procesamiento de luz digital (DLP)
<i>Power Bed Fusion (PBF)</i> Fusión en lecho de polvo	Proceso de manufactura aditiva en el cual una energía termal selectiva fusiona regiones de una	<ul style="list-style-type: none"> ● Fusión por haz de electrones (EBM) ● Sinterización selectiva por láser (SLS)

	cama de polvo	<ul style="list-style-type: none"> ● Sinterización selectiva por calor (SHS)
<i>Sheet Lamination</i>	La hoja de materiales se une para formar un objeto.	<ul style="list-style-type: none"> ● Fabricación de objetos laminados (LOM) ● Consolidación ultrasónica (UC)
Laminación de hojas		
<i>Binder Jetting (BJ)</i>	Una fuente de energía térmica funde diversas capas de polvo de un material	<ul style="list-style-type: none"> ● Lecho de polvo y calor por inyección de tinta (PHIH) ● Impresión 3D a base de yeso (PP)
Chorro de aglutinante		
<i>Material Jetting (MJ)</i>	Inyección del material por gotas que se deposita selectivamente	<ul style="list-style-type: none"> ● Modelado Multijet (MJM)
Chorro de material		

Fuente: ISO/ASTM52900-15, (2015).

Manufactura aditiva de alimentos

En un estudio realizado por Griffiths et al. (2016), mencionan que la tecnología AM tiene un gran potencial para producir alimentos con texturas y formas geométricas complejas de elaborar y que contengan un valor alto de nutrición. Sin embargo, para Liu et al. (2017), existen muy pocos estudios que analicen la precisión que se debe tener para obtener alimentos que tengan controlada su estructura con la manufactura aditiva. El aporte de esta nueva tecnología radica en su utilización como un arma que resalta las características más atractivas de un alimento hacia un consumidor, también la creación de alimentos con nuevas estructuras o formas.

Algunos estudios de alimentos impresos en 3D utilizan impresoras personalizadas, mientras que en otras investigaciones han modificado a las impresoras 3D para implementar funciones como la cocción en vivo o la gelificación. Las impresoras que existen hasta el momento son la que están basadas en extrusión ya que suelen ser adecuadas para la impresión de alimentos porque están equipadas con jeringas y boquillas para llevar a cabo su función. Algunas impresoras comerciales incluso están especialmente desarrolladas para imprimir alimentos (Tan et al., 2018).

Aplicar esta tecnología en la producción de alimentos permite que los procesos sean rápidos, automatizados, repetibles y con libertad de ser diseñados, inclusive este tipo de tecnología permite

que se tenga una fácil variabilidad en el proceso de cocción gracias a que puede ser personalizada de acuerdo al individuo o inclusive a la región donde se trabaje (Pallottino et al., 2016).

Un sistema de impresión en 3D de alimentos representa un proceso secuencial que se encuentra bien definido. Para llevar a cabo un proceso de impresión en 3D Nachal et al. (2019), indica que se comienza con el diseño del modelo en CAD en 3D con la idea de la geometría necesaria para la impresión, seguido de la creación del modelo o el escáner específico de la geometría para obtener toda la información necesaria acerca de las características de la superficie. Después se utiliza un software que va a realizar los cortes adecuados en capas individuales, para cada capa cortada se generan diferentes códigos de máquina, así los códigos G y los códigos M que son generados en el proceso se transfieren a la impresora para llevar a cabo su función. Los códigos G son el lenguaje de control numérico que es generado por el respectivo software CAD que ayuda a dirigir a los motores hacia su respectiva región de impresión, la velocidad de impresión y el eje, por otra parte, los códigos M ayudan al correcto funcionamiento de la máquina.

Es importante mencionar que no todos los tipos de impresión en 3D descritos por la ASTM en la Tabla 1 son adecuados para la impresión de alimentos debido a las amplias variaciones en las propiedades físicoquímica de estos. Al realizar una extensa búsqueda y revisión de estudios se pueden llegar a señalar que los tipos más adecuados para llevar a cabo una impresión 3D son: impresión basada en extrusión, sinterización selectiva, chorro aglutinante e impresión por inyección de tinta, cada tipo de impresión utiliza diferentes materiales que pueden llegar a ser polvos, pastas, entre otros (Cohen et al., 2009; Dankar et al., 2018; Godoi et al., 2016; Hao et al., 2010; Hopkinson et al., 2006; Lipson & Kurman, 2013; Lipton et al., 2010; Liu et al., 2017; Sher & Tutó, 2015).

a. Impresión basada en extrusión

Una de las tecnologías de extrusión utilizadas para la fabricación de alimentos es la extrusión de fusión en caliente o también se la conoce como modelado de deposición fundida (FDM) (Yang et al., 2001). Este tipo de impresión en 3D se ha utilizado para la elaboración de productos de chocolate en 3D personalizados usando un rango de temperatura que va desde 28°C hasta 40°C (Chen & Mackley, 2006).

La producción de un alimento mediante la extrusión se da mediante la aplicación de calor a un material a través de una jeringa o de un bloque calefactor, es importante mantener la temperatura controlada para controlar su viscosidad y así poder permitir que el material fluya fácilmente a través de la boquilla (Tadmor & Klein, 1970). La extrusión se considera uno de los mejores métodos para lograr utilizar ingredientes alimentarios frescos (Godoi et al., 2016; Hao et al., 2010), es así como se han encontrado estudios en los que aplican la extrusión con ingredientes como las frutas y verduras (Severini et al., 2018), la carne (Dick et al., 2019) y las pectinas (Vancauwenberghe et al., 2018), la utilización de estos materiales se da gracias a que los alimentos frescos pueden llegar a ser mezclados y licuados para facilitar su utilización.

Lipton et al. (2010), utilizaron distintas recetas para imprimir galletas de azúcar mediante este tipo de impresión, al final de su estudio demostraron que las variaciones de concentraciones de los ingredientes influyen directamente en la fabricación de los alimentos por lo que tuvieron que agregar aditivos para ayudar a simplificar el proceso de fabricación del alimento.

b. Sinterización selectiva

Dentro de la sinterización selectiva resaltan dos tipos de sinterización, uno de los métodos utiliza aire caliente y el otro método utiliza un láser (Godoi et al., 2016). La sinterización selectiva se basa en la impresión de un alimento teniendo como base un material de polvo, la idea es fusionar selectivamente ciertas regiones del alimento en el lecho de polvo. Este lecho es calentado justo por debajo de su punto de fusión para así facilitar la fusión con la capa anterior y para poder minimizar la distorsión térmica (Sun et al., 2015).

En la sinterización selectiva por láser (SLS), el láser actúa como una fuente de calor para fusionar el material en polvo de acuerdo a los movimientos establecidos en la descripción digital en 3D, básicamente la impresora crea una primera capa base de polvo en la sección transversal y a medida que se aplica una nueva capa lo hace sobre la capa inicial, esto puede ser utilizado para añadir distintos tipos de sustratos para el alimento en cada una de las capas que se formen (Diaz et al., 2014).

La sinterización por aire caliente, también conocida como HAS por sus siglas en inglés Hot Air Sintering, se basa en la aplicación de una corriente de aire caliente a baja velocidad en un medio en polvo, esto logrará formar una imagen bidimensional (Oskay & Edman, 2006). Seguidamente al lecho de polvo se le aplica una capa fina de polvo en la parte superior de la impresión logrando

cubrir la primera capa. El mismo proceso (aire caliente) fusiona selectivamente la nueva capa. Este es un proceso repetitivo hasta completar el diseño del objeto 3D esté completamente formado (Godoi et al., 2016).

La SLS se ha utilizado con éxito en la elaboración de estructuras 3D complejas utilizando azúcar o polvos ricos en azúcar como los polvos NesQuik (Gray, 2010). Sin embargo, el método HAS solo se ha limitado a materiales a base de polvo (Lai & Cheng, 2008).

c. Chorro Aglutinante

También conocido como Binder Jetting, se basa en un proceso repetitivo de unir un material de polvo utilizando un aglutinante líquido lo cual formará el alimento en 3D. El aglutinante se adiciona en pequeñas gotas con diámetros inferiores a 100 μm que son depositados sobre el lecho de polvo, después de esta disposición toda la superficie del lecho de polvo es expuesta a calor de una manera estática, comúnmente se usa la lámpara de calor para generar una resistencia mecánica y que así el alimento gane resistencia al cizallamiento y a la gravedad (Godoi et al., 2016; Pitayachaval et al., 2018).

Según indica Southerland et al. (2011), para lograr estabilizar el polvo se utiliza agua nebulizada, esto se debe gracias a que minimiza las perturbaciones que se pueden dar por la dispensación del aglutinante, con ese concepto utilizaron azúcares en polvo junto con una mezcla de almidón y con el aglutinante de Z Corportarion como plataforma para la fabricación de estructuras complejas con formas personalizadas. Con esta tecnología se puede utilizar líquidos aromatizantes y distintos colorantes en la impresión que servirían para unir materiales en polvo como el azúcar (Sher & Tutó, 2015). Uno de los principales alimentos que se fabrican con esta tecnología, son los productos de confitería de los cuales se crean diseños únicos, complejos y sabrosos.

Holland et al. (2018), en su estudio lograron desarrollar tintas de grado alimenticio que son adecuadas para la impresión por chorro de aglutinante utilizando una impresora Fujifil Dimatix.

Una de las ventajas de la utilización de este tipo de impresión es la reducción de costos en los materiales y la rapidez de producción, sin embargo, su principal desventaja el alto costo de la maquinaria, así como la rugosidad del acabado final (Sun et al., 2015).

d. Impresión por inyección de tinta

Esta técnica se basa en la adición de chorro/gota desde el cabezal de la impresora siendo este un tipo de jeringa, el suministro de tinta puede ser de tipo continuo o puede caer por gotas (Nachal et al., 2019; Sun et al., 2015). El cabezal que contiene la impresora en 3D puede llegar a utilizar un mecanismo térmico o uno piezoeléctrico. La diferencia radica en que el térmico genera una presión constante capaz de empujar las gotas desde la boquilla, en cambio, el sistema piezoeléctrico divide el líquido en gotas muy pequeñas que serán expulsadas en intervalos regulares (Murphy & Atala, 2014). Para este tipo de impresión se suele utilizar materiales de baja viscosidad, por lo cual no siempre es adecuada para la construcción de estructuras alimentarias complejas. Para Godoi et al. (2016), los siguientes alimentos son los que se utilizan para ser depositados mediante la impresión por inyección de tintas: chocolate, masa líquida, glaseado de azúcar, pasta de carne, queso, mermeladas y geles. Por otra parte, Molitch-Hou (2016), en su estudio da a conocer que con este método se pueden imprimir galletas, tartas y pasteles.

Materiales imprimibles

La revisión de una recopilación de estudios (Cohen et al., 2009; Kim et al., 2017; Lipton et al., 2010; Silva et al., 2007; Sun et al., 2015; Van Bommel & Spicer, 2011), permiten describir los materiales que pueden ser usados para la impresión en 3D de alimentos y la clasificación de 3 categorías:

1. **Materiales imprimibles de forma nativa:** se refiere a materiales que se pueden imprimir por sus propiedades inherentes que además pueden adaptarse a las necesidades de la impresión y el desarrollo de diversas fórmulas, dentro de estos materiales están: el hidrogel, el glaseado de pasteles, el queso, el humus, mantequilla, chocolates entre otros; aquí también se incluyen materiales en polvo como el azúcar y el almidón.
2. **Materiales alimenticios tradicionales no imprimibles:** se refiere a alimentos que su naturaleza no les permite ser imprimibles por lo cual se les adiciona hidrocoloides para que sean aptos a la impresión, así tenemos hidrocoloides como: carragenina, goma arábiga, goma xantana y gelatina. Los materiales alimenticio no imprimibles incluyen: frutas, carne, verduras y arroz.

3. Ingredientes alternativos: nacen bajo la preocupación de poder utilizar material ecológico es así como se considera uso de algas, hongos, algas marinas, altramuces e insectos como ingredientes alternativos, siendo fuentes ricas en proteína, fibra dietética y bioactivos.

Impactos de la manufactura aditiva de alimentos

Imprimir alimentos mediante la manufactura aditiva tiene ventajas que van desde el alto valor nutricional hasta la utilización de alimentos naturales de bajo volumen de consumo, pero altamente nutritivos.

Southerland et al. (2011), realizó un estudio donde llevó a cabo la mezcla de azúcares, almidón y puré de papa para probar como los materiales en polvo funcionaban en una impresora 3D con aglutinante. Por otra parte, Fabaroni (2014) , probó algunos alimentos tradicionales para su estudio de imprimibilidad, de todos los materiales usados el que resultó exitoso fue una masa de pasta que fue analizada según su viscosidad, consistencia y propiedades de solidificación.

Lipton et al. (2010), logró utilizar aditivos simples con los cuales modificó recetas tradicionales y creó geometrías complejas con formulaciones novedosas.

Investigadores del MIT utilizaron chocolate termofusible como liquido dispensador para desarrollar un prototipo de impresora para fabricar caramelos de chocolate (Zoran & Coelho, 2011).

Derossi et al. (2018) , estudiaron la utilización de materiales como plátano, champiñones secos, frijoles blancos, leche desnata en polvo, jugo de limón y ácido ascórbico, como resultado de su estudio obtuvieron un producto alimenticio impreso de nivel nutricional personalizado que contiene de 5 a 10% de la energía necesaria, vitaminas, hierro y calcio para niños de 3 a 6 años.

Se encontró un estudio donde imprimen una pirámide en 3D con la utilización de zanahorias, kiwis, peras, brócoli, hojas de brócoli raabexport y aguacate donde se controlaron propiedades microestructurales y morfológicas (Severini et al., 2018) . Entre los alimentos que se han logrado imprimir en 3D están: los snacks, pastas, chocolates, queso fundido, confitería de azúcar, carne, puré de patatas, entre otras, demostrando la versatilidad de la manufactura aditiva de alimentos.

Desde el punto de vista del diseño de alimentos personalizados, la manufactura aditiva de alimentos permite tener el control al usuario de formas, estructuras y sabores (Systems, 2013). En términos

de nutrición esta nueva tecnología permite crear una dieta individual y totalmente personalizada que pueda cumplir con los requisitos de cada tipo de cuerpo (Watzke & German, 2011).

Con los avances que existen en la actualidad de la manufactura aditiva se puede simplificar la cadena de servicios alimentarios gracias a que cada plataforma de impresión se puede personalizar para un rango en particular de archivos o software compatibles, es decir que incluso diferentes tipos de impresora pueden imprimir el mismo archivo (Nachal et al., 2019).

Conclusiones

La tecnología de la impresión en 3D se está abriendo campo en diversas industrias como la aeroespacial y la medicina, pero a su vez está incursionando en un campo con gran potencial de desarrollo como lo es la industria de los alimentos. Esta tecnología tendría un gran impacto en la producción y comercialización de alimentos, esto debido a que la manufactura aditiva aplicada en la industria de alimentos permite llegar a individualizar cada producto final, esta individualización va desde colores, formas y tamaños hasta el valor nutricional de cada alimento. La personalización de estos alimentos complejos es posible porque todos los procesos para su elaboración estarán respaldados por un sistema informático de modelos en 3D y porque todas las operaciones serán automatizadas.

La impresión en 3D esta dividida en 7 categorías distintas pero la impresión en 3D específica para la industria de alimentos se puede llevar a cabo principalmente en 4 de siendo estas: Impresión basada en extrusión, sinterización selectiva, chorro aglutinante e impresión por inyección de tinta, esto es debido a que hasta el momento existen amplias variaciones en lo que se refiere a las propiedades físico-químicas de los alimentos.

El chocolate es uno de los alimentos más estudiados para la producción mediante manufactura aditiva pudiendo ser procesado mediante las técnicas de impresión por inyección de tinta y la impresión basada en extrusión.

La industria de la pastelería sería una de las principales áreas de interés para la producción de alimentos mediante la impresión en 3D, es así como ya existen estudios que elaboran galletas, postres con formas personalizadas, pasteles decorados con chocolate impreso en 3D y masas de pizza impresas de distintas formas.

Referencias

1. Bucco, M., & Hofman, E. (2016). La impresión 3D y su aplicación en los servicios médicos (prótesis, fármacos, órganos) [Maestría Universidad de San Andrés]. Ciudad Autónoma de Buenos Aires-Argentina <http://hdl.handle.net/10908/11878>
2. Carmona Reverte, V. J. (2016). Diseño y prototipado de extrusor para impresora 3D de alimentos [Tesis de máster, Universitat Politècnica de València.]. España. <http://hdl.handle.net/10251/76052>
3. Chen, Y. W., & Mackley, M. R. (2006). Flexible chocolate. *Soft Matter*, 2(4), 304-309. <https://doi.org/https://doi.org/10.1039/B518021J>
4. Christoph, R., Muñoz, R., & Hernández, Á. (2016). Manufactura aditiva. *Realidad y Reflexión*, 97-109. <https://doi.org/https://doi.org/10.5377/ryr.v43i0.3552>
5. Cohen, D. L., Lipton, J. I., Cutler, M., Coulter, D., Vesco, A., & Lipson, H. (2009). Hydrocolloid printing: a novel platform for customized food production. *Solid Freeform Fabrication Symposium*.
6. Dankar, I., Haddarah, A., Omar, F. E., Sepulcre, F., & Pujolà, M. (2018). 3D printing technology: The new era for food customization and elaboration. *Trends in Food Science & Technology*, 75, 231-242. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.03.018>
7. Derossi, A., Caporizzi, R., Azzollini, D., & Severini, C. (2018). Application of 3D printing for customized food. A case on the development of a fruit-based snack for children. *Journal of Food Engineering*, 220, 65-75. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.05.015>
8. Diaz, J., Van Bommel, K., Noort, M., Henket, J., & Brier, P. (2014). Preparing edible product, preferably food product including bakery product, and confectionary product, involves providing edible powder composition, and subjecting composition to selective laser sintering. *Nederlandse Org Toegepast Natuurwetensch (Nede-C)*.
9. Dick, A., Bhandari, B., & Prakash, S. (2019). 3D printing of meat. *Meat science*, 153, 35-44. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.03.005>
10. Escudero Vasconez, B. M. (2018). Estudio de viabilidad de impresión 3D de alimentos con base fruta [Proyecto Final de Máster Oficial, Universitat Politècnica de Catalunya.]. España. <http://hdl.handle.net/2117/123446>

11. Fabaroni. (2014). A home made 3D printer. <http://fab.cba.mit.edu/>
12. Fonseca, C., & Miranda, P. (2018). Diseño e implementación de un prototipo de impresora 3D de cinco ejes para el ahorro de material y mejoramiento de la resistencia mecánica en piezas fabricadas mediante el método de deposición de material fundido. [Pregrado., Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE]. Ecuador <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/14160>
13. García Ríos, C. A. (2019). Impresora 3D de chocolate Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. Colombia <http://hdl.handle.net/11349/24316>
14. Godoi, F. C., Prakash, S., & Bhandari, B. R. (2016). 3d printing technologies applied for food design: Status and prospects. *Journal of Food Engineering*, 179, 44-54. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.01.025>
15. Gray, N. (2010). Looking to the future: Creating novel foods using 3D printing. <https://n9.cl/wguuxs>
16. Griffiths, C., Howarth, J., De Almeida-Rowbotham, G., Rees, A., & Kerton, R. (2016). A design of experiments approach for the optimisation of energy and waste during the production of parts manufactured by 3D printing. *Journal of cleaner production*, 139, 74-85. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.07.182>
17. Hao, L., Mellor, S., Seaman, O., Henderson, J., Sewell, N., & Sloan, M. (2010). Material characterisation and process development for chocolate additive layer manufacturing. *Virtual and Physical Prototyping*, 5(2), 57-64. <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/17452751003753212>
18. Holland, S., Foster, T., MacNaughtan, W., & Tuck, C. (2018). Design and characterisation of food grade powders and inks for microstructure control using 3D printing. *Journal of Food Engineering*, 220, 12-19. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.06.008>
19. Hopkinson, N., Hague, R., & Dickens, P. (2006). *Rapid manufacturing: an industrial revolution for the digital age*. John Wiley & Sons.
20. ISO/ASTM52900-15. (2015). *Standard Terminology for Additive Manufacturing—General Principles—Terminology*. ASTM International, West Conshohocken, PA. <https://doi.org/10.1520/ISOASTM52900-15>

21. Kim, H. W., Bae, H., & Park, H. J. (2017). Classification of the printability of selected food for 3D printing: Development of an assessment method using hydrocolloids as reference material. *Journal of Food Engineering*, 215, 23-32. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.07.017>
22. Kodama, H. (1981). Automatic method for fabricating a three-dimensional plastic model with photo-hardening polymer. *Review of scientific instruments*, 52(11), 1770-1773. <https://doi.org/https://doi.org/10.1063/1.1136492>
23. Lai, W.-H., & Cheng, C.-I. (2008). Manufacturing method of three-dimensional food by rapid prototyping.
24. Lipson, H., & Kurman, M. (2013). *Fabricated: The new world of 3D printing*. John Wiley & Sons.
25. Lipton, J., Arnold, D., Nigl, F., Lopez, N., Cohen, D., Norén, N., & Lipson, H. (2010). Multi-material food printing with complex internal structure suitable for conventional post-processing. *Solid freeform fabrication symposium*,
26. Liu, Z., Zhang, M., Bhandari, B., & Wang, Y. (2017). 3D printing: Printing precision and application in food sector. *Trends in Food Science & Technology*, 69, 83-94. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.08.018>
27. Malé Alemany, M. (2016). El potencial de la fabricación aditiva en la arquitectura: hacia un nuevo paradigma para el diseño y la construcción. *Universitat Politècnica de Catalunya. Departament d'Expressió Gràfica Arquitectònica I*. <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/96262>
28. Molitch-Hou, M. (2016). The 3D fruit printer and the raspberry that tasted like a strawberry. <https://3dprintingindustry.com/news/3d-fruit-printer-raspberry-tasted-likestrawberry-27713/>
29. Murphy, S. V., & Atala, A. (2014). 3D bioprinting of tissues and organs. *Nature biotechnology*, 32(8), 773-785. <https://doi.org/https://doi.org/10.1038/nbt.2958>
30. Nachal, N., Moses, J., Karthik, P., & Anandharamakrishnan, C. (2019). Applications of 3D printing in food processing. *Food Engineering Reviews*, 11(3), 123-141. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s12393-019-09199-8>

31. NASA. (2013). 3D Printing: Food in Space. https://www.nasa.gov/directorates/spacetech/home/feature_3d_food.html
32. Oskay , W., & Edman, L. (2006). The CandyFab Project. Evil Mad Scientist Laboratories. <https://candyfab.org>
33. Pallottino, F., Hakola, L., Costa, C., Antonucci, F., Figorilli, S., Seisto, A., & Menesatti, P. (2016). Printing on food or food printing: a review. *Food and Bioprocess Technology*, 9(5), 725-733. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s11947-016-1692-3>
34. Pitayachaval, P., Sanklong, N., & Thongrak, A. (2018). A review of 3D food printing technology. *MATEC Web of Conferences*,
35. Severini, C., Derossi, A., Ricci, I., Caporizzi, R., & Fiore, A. (2018). Printing a blend of fruit and vegetables. New advances on critical variables and shelf life of 3D edible objects. *Journal of Food Engineering*, 220, 89-100. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.08.025>
36. Sher, D., & Tutó, X. (2015). Review of 3D food printing. *Temes de disseny*, 31, 104-117. <https://raco.cat/index.php/Temes/article/view/299596>
37. Silva, É. S., Cavallazzi, J. R., & Souza, J. V. (2007). Biotechnological applications of *Lentinus edodes*. [https://doi.org/ https://doi.org/10.1234/4.2007.1254](https://doi.org/https://doi.org/10.1234/4.2007.1254)
38. Southerland, D., Walters, P., & Huson, D. (2011). Edible 3D printing. *NIP & Digital Fabrication Conference*,
39. Sun, J., Peng, Z., Zhou, W., Fuh, J. Y., Hong, G. S., & Chiu, A. (2015). A review on 3D printing for customized food fabrication. *Procedia Manufacturing*, 1, 308-319. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.promfg.2015.09.057>
40. Systems, D. (2013). 3D Systems Acquires The Sugar Lab. <https://www.3dsystems.com/press-releases/3d-systems-acquires-sugar-lab>
41. Tadmor, Z., & Klein, I. (1970). *Engineering principles of plasticating extrusion*. Van Nostrand Reinhold Company New York. [https://www.4spe.org/files/Chapters/D22/BookReviews/Engineering_Principles_of_Plasti cating_Extrusion.pdf](https://www.4spe.org/files/Chapters/D22/BookReviews/Engineering_Principles_of_Plasti_cating_Extrusion.pdf)
42. Tan, C., Toh, W. Y., Wong, G., & Li, L. (2018). Extrusion-based 3D food printing– Materials and machines. *International Journal of Bioprinting*, 4(2). <https://doi.org/https://dx.doi.org/10.18063%2FIJB.v4i2.143>

43. Van Bommel, K., & Spicer, A. (2011). Hail the snail: Hegemonic struggles in the slow food movement. *Organization studies*, 32(12), 1717-1744. <https://doi.org/10.1177/0170840611425722>
44. Vancauwenberghe, V., Delele, M. A., Vanbiervliet, J., Aregawi, W., Verboven, P., Lammertyn, J., & Nicolai, B. (2018). Model-based design and validation of food texture of 3D printed pectin-based food simulants. *Journal of Food Engineering*, 231, 72-82. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.03.010>
45. Watzke, H., & German, J. (2011). Personalizing Foods. In *An integrated approach to new food product development*. (pp. 134-170). Howard, R., Moskowitz, I. Sam, S., Tim, S., Boca, R., editors. US, CRC Press. https://www.academia.edu/40644146/New_Food_Product_Development
46. Yang, J., Wu, L. W., & Liu, J. (2001). Rapid prototyping and fabrication method for 3-D food objects.
47. Zoran, A., & Coelho, M. (2011). Cornucopia: the concept of digital gastronomy. *Leonardo*, 44(5), 425-431. https://doi.org/10.1162/LEON_a_00243

© 2021 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons

Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0)

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>