



BEATRIZ ROMANOS

2^a
EDICIÓN
ACTUALIZADA Y
AMPLIADA

FÓODTECH

· LA GRAN REVOLUCIÓN DE LA INDUSTRIA AGROALIMENTARIA ·

INNOVACIONES, TECNOLOGÍAS Y
NUEVOS MODELOS DE NEGOCIO
PARA UNA ALIMENTACIÓN
SOSTENIBLE, SALUDABLE Y EFICIENTE



ÍNDICE

Agradecimientos	9
Introducción. Retos del sistema de alimentación	11
1. Tecnologías habilitadoras: el ingrediente clave de la industria <i>foodtech</i>	19
1. La convergencia tecnológica que está transformando el mundo tal y como lo conocemos.....	19
2. Tecnologías con más impacto en la industria <i>foodtech</i>	20
3. La tecnología genera y conecta con la abundancia....	32
4. Exponencialidad y disrupción, ejes de la transformación radical	33
5. Una nueva estirpe de emprendedores impulsa la revolución de la industria alimentaria	36
2. Qué es <i>foodtech</i>	39
1. De ultranicho a categoría de moda.....	39
2. Qué, quién, cómo y para qué	40
3. Categorías de la cadena de valor <i>foodtech</i>	42
4. Inversión en <i>foodtech</i>	47
3. <i>Agtech</i>, tecnología aplicada a los sistemas agropecuarios	53
1. ¿Qué entendemos por <i>agtech</i> ?	53
2. La granja del futuro	54
3. <i>Ag biotech</i> , biotecnología agrícola	55
4. Agricultura inteligente, automatizada y de precisión	57
5. Robots en la agricultura.....	59
6. Nuevos sistemas de agricultura y ganadería.....	60

7. Carbono: ¿un nuevo negocio agrícola?	64
8. Ganadería por control mental.....	65
4. Alimentos alternativos: sacar a los animales de la ecuación.....	67
1. ¿Qué son los alimentos alternativos?	67
2. Motivos que han impulsado el mercado de los alimentos alternativos	69
3. Retos de la industria de los alimentos alternativos	76
4. Modelos de negocio de alimentos alternativos.....	78
5. Alimentos alternativos de base vegetal o <i>plant-based</i>	83
1. ¿Qué entendemos por <i>plant-based</i> ?.....	83
2. Tipos de productos <i>plant-based</i> que se pueden encontrar en el mercado	85
3. Técnicas y tecnologías para crear análogos de carne	86
4. Mercado <i>plant-based</i>	89
5. Inversión <i>plant-based</i>	90
6. Retos y oportunidades en la cadena de valor	90
6. Carne cultivada, de laboratorio o de origen celular	95
1. En qué consiste la carne cultivada.....	95
2. ¿Tiene futuro la carne cultivada?	98
3. Primeras pruebas de concepto	100
4. Aceptación del consumidor	101
5. La inversión en carne cultivada se multiplica y la industria se diversifica.....	102
6. ¿Qué desafíos afronta la carne cultivada?.....	103
7. <i>Startups</i> de carne cultivada: de los pioneros a los alumnos aventajados	105
8. El cultivo celular se abre paso en España	107
7. Fermentación, la nueva alquimia.....	109
1. La fermentación, clave para la producción de proteínas alternativas.....	109
2. Qué es la fermentación.....	110
3. De la tradición a la fermentación de precisión.....	112
4. Papel de la tecnología y la inteligencia artificial en la fermentación.....	113

5. Aplicaciones de la fermentación: de la leche al <i>Food-as-Software</i>	114
6. ¿Qué productos fermentados se pueden comer o probar ya?	115
7. El futuro: convertir el aire en proteínas	118
8. Implicaciones, retos y oportunidades de la industria de la fermentación.....	119
9. Fermentación, exponencialidad y abundancia.....	121
10. Mercado e inversión	122
8. Guerra al azúcar, ¿el nuevo tabaco?	125
1. Obesidad y diabetes, las otras pandemias del siglo XXI	125
2. Proteínas edulcorantes	127
3. Azúcares alternativos.....	128
4. Transformación del azúcar	128
5. Engañar al paladar.....	129
9. Innovaciones en supermercados y restaurantes	131
1. Innovaciones en los establecimientos físicos de alimentación	131
2. <i>Front office</i> , al encuentro con el consumidor	137
3. Hasta la cocina y más allá.....	139
10. Food delivery, el arte de la conveniencia	143
1. La pionera de la industria <i>foodtech</i>	143
2. Los servicios de ultraconveniencia (<i>Q-commerce</i>)..	147
3. Retos e incógnitas del servicio de ultraconveniencia	153
11. Dark kitchens, el coworking para restaurantes	151
1. ¿Qué son las <i>dark kitchens</i> ?.....	151
2. Del negocio inmobiliario al <i>Kitchen-as-a-Service</i>	153
3. Similitud con la infraestructura de Internet	153
4. Tecnología y datos en las <i>dark kitchens</i> : cuestión de optimización y flexibilidad	154
5. Robótica y automatización en las <i>dark kitchens</i>	156
6. Retos y futuro de las <i>dark kitchens</i>	157
7. <i>Dark kitchen</i> y exponencialidad	159

12. Alimento como medicina y nutrición personalizada ...	161
1. El alimento como medicina.....	161
2. Qué es la nutrición personalizada	166
3. Palancas que impulsan la nutrición personalizada ...	168
4. Un proceso en marcha	169
5. Categorías y soluciones de personalización	172
6. Mercado e inversión	174
7. Retos y oportunidades.....	175
13. Seguridad alimentaria, trazabilidad y transparencia...	179
1. Alimentar la fiabilidad y la confianza	179
2. Trazabilidad y transparencia.....	181
3. Seguridad alimentaria	185
4. ¿Trazabilidad y seguridad en la palma de la mano?	189
14. Desperdicio alimentario, revalorización de alimentos y circularidad.....	191
1. ¿Por qué tiramos la comida?	191
2. ¿Qué dice la ley del desperdicio alimentario?.....	194
3. Soluciones <i>foodtech</i> al desperdicio y a la pérdida de alimentos.....	194
Reflexiones y recursos	203
1. De actividad de nicho a industria floreciente	203
2. Retos y oportunidades de un momento de inflexión ...	204
3. Colaborar frente a los retos	207
4. Recursos del ecosistema <i>foodtech</i>	208
Epílogo	211
Anexo. Datos de la industria <i>foodtech</i>.....	213
Notas	219

AGRADECIMIENTOS

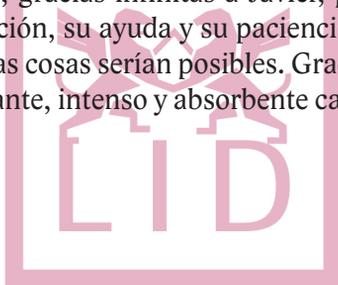
Me gustaría agradecer a LID Editorial su confianza y todo su apoyo durante el proceso de creación de este libro. Nuestro encuentro fue fruto de una feliz serendipia. El trabajo con Laura, Fátima, Gema y Cristina ha sido crucial no solo para hacer realidad este proyecto, sino para mejorarlo, pulirlo y hacerlo más comprensible y atractivo.

También quiero dar las gracias a las *startups* que protagonizan la industria y que retrato aquí, porque su impulso y pasión son contagiosas. A muchas las he visto nacer, crecer, alcanzar el éxito, pasar por momentos duros o incluso desaparecer, pero siempre me han abierto sus puertas para compartir conmigo sus historias y su conocimiento. Con algunos de los emprendedores que aparecen citados me une algo más parecido a la amistad que una relación profesional. Estas páginas son un homenaje a todos ellos.

Gracias a las muchas y sabias personas que generosamente han compartido su tiempo conmigo, que me han aportado valiosos consejos y contribuciones y me han ayudado a contrastar ideas o a validar información científica. Sus apuntes, sugerencias y correcciones han sido de incalculable valor. De todas he aprendido mucho y bueno. Especialmente quiero dar las gracias a Estefanía Erro (CNTA), por su visión amplia y profunda de todos los sectores; a Inés Echeverría (CNTA), por ayudarme a entender y explicar los complejos pero apasionantes procesos biológicos que describo en este libro, a Jorge Jordana, decano de la industria alimentaria de nuestro país, por su tiempo, su atención al detalle, su espíritu crítico y su inmensa

humanidad y generosidad y a Francisco Palao por su inspiración en muchos aspectos. También, al profesor Salvador Calvet (Universidad Politécnica de Valencia), Sejal Ravji (Pascual), Roselyne Chane (SanyGran), Rogelio Pozo (AZTI), Santiago Aliaga (Zyrcular Foods), María Naranjo (ICEX), Manel Morillo (Con Gusto), José Miguel Flavián (Retail in Detail), Pedro Álvarez (-ivoro), Chema Cobo (Inside Food), Mila Valcárcel (Eatable Adventures), José de Isasa (Eatable Adventures), Miguel Ángel Comín (Porcinnova), José Carlos Arnal (PCTAD), Nadav Berger (PeakBridge), Beatriz Jacoste (KM Zero), Eduardo Cotillas (FIAB), María Iriarte (Sodena), Anna Carabús (IRTA), José Ignacio Barriobero (CTIC-CITA), José Peláez (Basque Culinary Center), Noemí de la Fuente (Basque Culinary Center), Matthieu Vincent (Digital FoodLab), Andrew Ive (Big Idea Ventures), Carlos Gómez (Cheerfy), Mariette Abrahams (Qina), Berta López (Casiopea), Beatriz Pérez y muchos otros.

Y, por supuesto, gracias infinitas a Javier, por su apoyo incondicional, su inspiración, su ayuda y su paciencia, sin los que ni este libro ni muchas otras cosas serían posibles. Gracias por acompañarme en este apasionante, intenso y absorbente camino.



INTRODUCCIÓN

RETOS DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN

«Esta es tu última oportunidad. Después ya no podrás echarte atrás. Si tomas la píldora azul, fin de la historia. Despertarás en tu cama y crearás lo que quieras creerte. Si tomas la roja, te quedarás en el país de las maravillas y yo te enseñaré hasta dónde llega la madriguera de conejos».

Matrix (1999)
Lana y Lilly Wachowski

El año 2050 es una fecha simbólica, como lo fue 2000; una referencia temporal alrededor de la cual intentamos imaginar cómo será nuestra vida a partir del conocimiento actual de tendencias y avances tecnológicos o científicos en desarrollo. El mundo de la alimentación no es ajeno a esta fiebre anticipatoria: todos queremos saber cómo y qué comeremos en el futuro, cómo lo produciríamos, qué efecto tendrá en nuestra salud, cómo cambiará el mundo gracias a ello y, no menos importante, cómo podremos hacer negocio con todo esto.

Según lo optimista que seas el resultado de esta proyección puede ser muy diferente. Como Morfeo explica a Neo en la película *Matrix*, es posible elegir la píldora azul del «hacer las cosas como

siempre» o la roja del «país de las maravillas y la madriguera del conejo» de Lewis Carroll.

La pastilla azul: ¿cómo será 2050 en relación con la alimentación si nos mantenemos como siempre lo hemos hecho?

En 2050 la Tierra estará habitada por entre 9700 y 10 000 millones de personas (ahora somos unos siete mil millones). Para alimentarlas a todas, habremos necesitado producir un 70 % más de alimentos con unos recursos equivalentes a 1.7 planetas Tierra. Para ello, habremos aumentado la cantidad de tierras de cultivo un tamaño superior a Reino Unido y perdido más de diez veces esa superficie (275 millones de hectáreas) de selvas y zonas salvajes. El cambio climático habrá seguido su curso sin dificultades. Habrá aumentado el estrés hídrico, por lo que la dificultad de acceder al agua será palpable no solo en el campo, sino también en las zonas urbanas. La temperatura habrá subido unos 3.2 grados y serán más frecuentes fenómenos graves de sequías, incendios y otros patrones destructivos impredecibles. La producción de alimentos, a pesar de todos estos esfuerzos, habrá ido declinando entre un 2 y un 6 % cada década¹ debido a la degradación del suelo, las sequías y el incremento del nivel del mar. Nuestros mares habrán ido perdiendo un 11 % de capturas anuales, y los pescadores encontrarán en sus redes más plásticos que peces. Entre cincuenta y setecientos millones de personas se habrán visto forzadas a abandonar sus hogares únicamente como consecuencia de la degradación del suelo². En el tablero geopolítico las fichas clave serán el agua y la soberanía alimentaria. Se habrá creado una nueva categoría de migrantes forzosos: los «refugiados del clima». El hambre y la desnutrición nunca habrán bajado del 10 % de la población total. Entre tanto, más de un tercio de la población padecerá diabetes y habrá más niños obesos que hambrientos. La obesidad será la auténtica pandemia del siglo XXI, pues afectará a más de 230 millones de personas, de las que morirán más de tres millones cada año.

¿Y si tomamos la pastilla roja?

La Unión Europea seguirá existiendo y habrá logrado su objetivo de ser climáticamente neutra, arrastrando con su decisión a otras regiones. Al reducir drásticamente el uso de plaguicidas y fertilizantes, la salud de los suelos de cultivo se habrá recuperado; incluso la cuarta parte se dedicarán a la agricultura ecológica.

La aplicación de soluciones de agricultura de precisión y de agricultura inteligente (*smart farming*), la robotización, la popularización de sistemas de cultivo vertical (*vertical farming*) y de agricultura regenerativa y el éxito de la biología sintética habrán incrementado la productividad sin necesidad de añadir más superficie de cultivo.

En los supermercados encontraremos no solamente hamburguesas, sino filetes, entrecots, pescado y marisco creados mediante cultivo celular o molecular o con técnicas de fermentación de precisión. Los sistemas para producirlos habrán reducido sus costes hasta tal punto, que se habrán popularizado en todos los continentes, y podrán llegar millones de toneladas de carne, pollo, pescado, leche y huevos alternativos a todos los países a precios asequibles para toda la población, sustituyendo un porcentaje importante del suministro de proteínas procedentes de animales. El ganado todavía existente contará con urinarios adaptados que habrá aprendido a utilizar con una combinación de adiestramiento e implantes. Sus deyecciones se recogerán antes de llegar al campo y se reconvertirán en abono, energía y otros productos de utilidad que generarán ingresos adicionales a los ganaderos y permitirán contener los precios de la carne producida con esta técnica ancestral.

En las mismas estanterías de proteínas encontraremos alternativas de origen vegetal cuyos sabor, textura y propiedades nutricionales no tendrán nada que envidiar a los alimentos originales que emulan, ya que la inteligencia artificial (IA) habrá logrado encontrar en las plantas los ingredientes perfectos para engañar a nuestra boca y a nuestro cerebro. Esta tecnología nos habrá ayudado a descubrir un centenar de cultivos diferentes con propiedades nutritivas y organolépticas valiosas. Será una nueva «revolución verde», que empleará de forma digna a millones de nuevos agricultores en zonas antes despobladas de todo el mundo.

No siempre será necesario ir al supermercado porque todos los hogares contarán entre sus electrodomésticos con impresoras 3D que producirán platos personalizados según los gustos y necesidades de salud de cada miembro de la familia. Y cuando sea necesario hacer la compra, nuestra nevera hará el pedido automáticamente. Eso sí, los días de partido seguirán siendo días de *pizza*, que nos entregará en su punto Donny, el dron-horno de la compañía de *delivery* que formaron las tres grandes operadoras que terminaron copando el mercado.

No habrá personas que sufran hambre o desnutrición. La diabetes será solo una enfermedad hereditaria bajo control, aunque el ejercicio tendremos que seguir haciéndolo nosotros.

¿De qué futuro te gustaría formar parte? ¿Cuál es el mundo que quieres sostener?³

La industria *foodtech* nace como respuesta a todos estos retos. Las tecnologías y biociencias disruptivas son las principales aliadas para ayudarnos a crear las herramientas, las innovaciones, los productos, los procesos y los modelos de negocio con los que enderezar el camino y crear entre todos un mundo brillante de oportunidades.

Qué encontrarás en este libro

Verás la confluencia de factores que han hecho emerger la industria *foodtech*, que se ha aupado como un sector de referencia de innovación y oportunidades.

El sistema alimentario aporta un valor incuestionable para la sociedad y la economía. No solo es una actividad esencial que garantiza el acceso a la nutrición a las personas, sino una de las principales industrias en el ámbito global, que mueve un trillón de dólares anualmente y representa el 3 % de la economía global y el 10 % del PIB en España.

Pero, a la vez, el sistema alimentario se enfrenta a retos insoslayables. El crecimiento de la población y los cambios en los hábitos alimenticios de los países tensionan la capacidad de producción de alimentos. A pesar de los esfuerzos y avances en optimización, estamos presionando los recursos hasta sus límites en un camino que entronca

con desafíos globales como el cambio climático, la biodiversidad y la salud del planeta, de sus suelos y de las personas que lo habitan.

Algunos de estos problemas vienen de lejos, y llevamos tiempo discutiendo fórmulas y soluciones. Además, el sistema alimentario ha de lidiar con lo inesperado. España ha sido reconocida, junto a Canadá, como uno de los países cuya cadena alimentaria fue más resiliente durante la pandemia por la COVID-19, pero muchos mercados se vieron afectados por graves disrupciones, con cierre de plantas, falta de suministro, desabastecimiento, etc.

El hambre y la desnutrición en el mundo, agravadas por esta crisis sanitaria mundial, que roza el 10 % de la población, y el desperdicio alimentario siguen siendo, más que retos, auténticos dramas insoportables.

Mientras todo esto ocurre, vivimos un momento de explosión de tecnologías digitales, físicas y biológicas que está transformando radicalmente el mundo, de la IA a la ingeniería genética, la neurociencia o los metaversos. Pero lo más importante es que esta revolución tecnológica resulta completamente distinta a las anteriores por su velocidad, alcance e impacto en todos los sectores.

Lógicamente la industria de la alimentación no escapa a este tsunami. Quizás ha entrado algo más tarde en este proceso en comparación con otras, como las finanzas, el transporte o el turismo, pero lo ha hecho con tal fuerza y empuje, que supone ya un movimiento imparable. Y es así, en parte gracias a una nueva generación de emprendedores, que han prendido la mecha de la revolución *foodtech*. Ajenos a la industria alimentaria, acceden a ella desde mundos completamente diferentes, como la ciencia y la investigación en salud humana, la tecnología, la antropología o incluso el activismo animal o medioambiental; y lo hacen sin bagaje del sector y, quizás por ello, sin el lastre de una mentalidad encasillada en la forma habitual de hacer las cosas. Se trata de visionarios o locos que se sienten impelidos a utilizar todas esas herramientas que la tecnología pone en sus manos para resolver problemas o, simplemente, para demostrar que podemos expandir las fronteras de lo posible, desde ir a Marte hasta crear carne sin vacas. Armados de un propósito, una pasión sin fronteras, una visión y, no menos importante, la capacidad de convertir todo esto en modelos de negocio potencialmente rentables, han logrado impulsar la industria *foodtech* y contagiar a empresas, inversores y gobiernos.

Este libro es el resultado de años de trabajo en el sector tecnológico y de mi implicación en esta industria desde sus primeros pasos en nuestro país. Fundar la primera publicación especializada me ha dado la oportunidad de conocer de primera mano centenares de proyectos; ver evolucionar las iniciativas, nacer nuevas categorías y decaer otras, analizar las tendencias y compartirlas con quienes están ávidos de ese conocimiento. Conozco personalmente a buena parte de las *startups* y de los emprendedores que aparecen mencionados en esta obra. He probado sus productos o visitado sus centros de investigación; hemos compartido ferias, viajes, catas y también algunos sinsabores. He conversado con investigadores, empresas, inversores e incluso con aquellos que no consideraban la industria *foodtech* un nicho atractivo.

En paralelo, he ido desarrollando otra faceta enfocada al mundo de la innovación, tratando de profundizar en los procesos y las vías que llevan a la disrupción. En mi actividad como mentora y *coach* de innovación, me empeño en trasladar las enseñanzas y metodologías propias de Silicon Valley a un sector tan tangible y experiencial como es la alimentación. Y he tenido la suerte de ponerlo en práctica con *startups*, empresas y aceleradoras y seguir aprendiendo de todos.

El libro que tienes en las manos es el fruto de estas experiencias y pasiones: la alimentación, como fuente de salud, energía y placer; la innovación y los entornos de emprendimiento capaces de transformar el mundo y tener un impacto en nuestras vidas, y la divulgación.

La transición de la economía mundial hacia un modelo que se acerque a los Objetivos de Desarrollo Sostenible o de neutralidad de carbono requiere cambios radicales en todas las industrias, incluida la de la alimentación. Y no habrá una solución única, sino que serán necesarios múltiples abordajes, donde la tecnología, sin duda, desempeñará un papel clave.

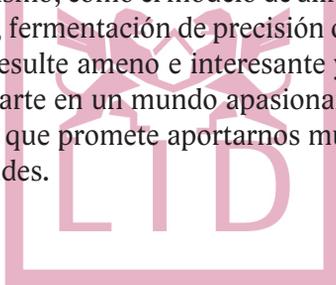
Nuestro sector alimentario es un referente internacional tanto por producto como por gastronomía, y el auge de ese complemento que es la industria *foodtech* constituye una oportunidad indudable para mantenerlo en esa posición de liderazgo e incluso para hacerlo avanzar y poner su granito de arena en este punto de inflexión que nos toca vivir.

Las *startups foodtech* han tenido un papel fundamental como disruptores e incluso agitadores de esta industria y lo van a seguir

teniendo. La buena noticia es que su impulso ha conseguido ligar todo un ecosistema altamente nutritivo de empresas, centros de innovación, inversores, centros de conocimiento, etc., que se necesitan y se complementan entre sí y, lo más importante, que están dispuestos a trabajar de forma colaborativa, aportando y compartiendo lo mejor de cada uno para resolver los problemas descritos y aprovechar de la forma más efectiva esas prometedoras tecnologías, definiendo modelos de negocio viables, atractivos y justos para todos y poniendo siempre en el centro a ese consumidor consciente.

En estas páginas encontrarás detalles de los retos y de las tecnologías que más están influyendo en el sector de la alimentación o que tienen mayor potencial. Conocerás a algunos de estos emprendedores de nuevo cuño, sus motivaciones y cómo han logrado revolucionar algunas categorías de alimentos, y los modelos de negocio que han triunfado. **Entrarás en contacto con** conceptos que se están fraguando ahora mismo, como el modelo de alimento como *software* (*Food-as-Software*), fermentación de precisión o cultivo molecular.

Espero que te resulte ameno e interesante y que sea la primera semilla para adentrarte en un mundo apasionante que no ha hecho más que empezar y que promete aportarnos muchos avances, soluciones y oportunidades.



1

TECNOLOGÍAS HABILITADORAS: EL INGREDIENTE CLAVE DE LA INDUSTRIA *FOODTECH*

«La Cuarta Revolución Industrial será distinta a cualquier cosa que el género humano haya experimentado antes por su velocidad, alcance e impacto en los sistemas sin precedentes en la historia... Y está interfiriendo en casi todas las industrias de todos los países».

Klaus Schwab,
director del Foro Económico Mundial

1. La convergencia tecnológica que está transformando el mundo tal y como lo conocemos

Uno de los aspectos más importantes de la revolución en la que estamos inmersos es que no se define por un conjunto de tecnologías emergentes en sí mismas, sino por su encuentro, su combinación y

un efecto multiplicador que representa un auténtico cambio de paradigma¹. Hablamos de tecnologías como la inteligencia artificial (IA), impresión 3D, drones y vehículos autónomos, Internet de las cosas (IoT), realidad virtual, robótica, computación cuántica, computación en la nube, computación infinita, bioinformática, neurociencia, ingeniería genética, biología sintética, medicina digital, nanomateriales, interfaces cerebro-computadora, etc. Como explica Ray Kurzweil², la mayoría de estas tecnologías se basan en el acceso a la información, por lo que cumplen e incluso superan los patrones de duplicación de la ratio precio/rendimiento que identificó la ley de Moore³ para el campo de los semiconductores. Y, una vez que comienzan estos patrones, no se detienen, ya que usamos ordenadores actuales para diseñar máquinas más rápidas, que a su vez construyen los ordenadores más veloces, y así sucesivamente.

Por ejemplo, los drones duplican su relación rendimiento/precio cada nueve meses, el doble de rápido que la mencionada ley de Moore; es decir, cada nueve meses son capaces de soportar el doble de peso con la mitad de coste.

2. Tecnologías con más impacto en la industria *foodtech*

Inteligencia artificial

Considerada por algunos la electricidad del siglo XXI⁴, podemos definirla como «la capacidad de un sistema para interpretar correctamente datos externos, aprender de ellos y emplear esos conocimientos para lograr tareas y metas concretas a través de la adaptación flexible»⁵. O, dicho de otro modo, es la capacidad de una máquina para imitar funciones cognitivas que los humanos asocian a las mentes humanas, como percibir, razonar, aprender o resolver problemas.

Las aplicaciones particulares de la IA incluyen sistemas expertos, reconocimiento de voz y visión artificial o computacional, e incluso sistemas de automatización de procesos robóticos. Aunque en el nacimiento de la disciplina ya se apuntaba su gran potencial, ha ganado preeminencia con la explosión de la tecnología *big data*, la ingente

cantidad de datos generados por la revolución digital y el abaratamiento e incremento de la capacidad de computación.

Actualmente, encontramos ejemplos de uso de IA a lo largo de toda la industria alimentaria, desde el descubrimiento de proteínas a la optimización de medios de cultivo celular, monitorización ambiental o entrenamiento de robots.

La IA generativa (especialmente de la mano de ChatGPT) irrumpió con fuerza en prácticamente cualquier industria en 2023. De hecho, es hoy la tecnología que más rápido ha alcanzado un millón de usuarios: ¡5 días! Y apenas dos meses para lograr los 100 millones de usuarios habituales. El mayor potencial de la IA generativa en la industria alimentaria reside en su capacidad de mejorar la eficiencia, productividad y creatividad de los usuarios. La posibilidad de interactuar mediante un lenguaje natural y conversacional para obtener *insights* o generar contenidos y soluciones nuevos de una forma relativamente sencilla y rápida ha sacado esta tecnología de los departamentos técnicos y la ha hecho accesible a cualquier segmento de la organización.

Actualmente, el 40 % de las empresas de la industria alimentaria utilizan IA de alguna forma⁶, desde la optimización agrícola, la gestión de la cadena de suministro, el control de calidad, los asistentes de atención al cliente, la reducción del desperdicio a la nutrición personalizada. Pero una de las aplicaciones donde se está viendo un mayor potencial como *game changer* es la innovación en el desarrollo de producto, parte del análisis de las preferencias de los consumidores hasta la creación de nuevas combinaciones de ingredientes que resulten más atractivas, saludables, rentables o en línea con esas preferencias. He aquí algunos ejemplos:

- **Anticipo de plagas y previsión de la productividad de una cosecha.** Estos datos son clave para la toma de decisiones no solo en el campo, sino en toda la cadena de suministro.
- **Plataformas para el diseño de proteínas.** Diversas *startups* han desarrollado sistemas de IA para identificar, analizar diferentes componentes del mundo vegetal a nivel molecular y proponer, basándose en esa información, nuevas fórmulas que permitan imitar las propiedades organolépticas y nutricionales de los productos de origen animal. Se trata de una de las técnicas más prometedoras

para avanzar en el concepto de mimetización completa (*fully-mimic*) con el que trabaja la industria de las proteínas alternativas. Entre estas *startups* encontramos el primer unicornio⁷ chileno, NotCo, y su algoritmo Giuseppe, donde ha invertido el fundador de Amazon, Jeff Bezos. Por su parte, Protera es una *startup* que utiliza la IA para examinar las combinaciones de aminoácidos, predecir sus propiedades y diseñar proteínas a gran velocidad y con gran precisión. Otras empresas utilizan técnicas similares para identificar elementos en el mundo vegetal con propiedades funcionales o, como describe Sofía Elizondo, cofundadora de Brightseed, «iluminar conexiones escondidas entre los alimentos y las personas». Resulta una forma muy poética de explicar cómo la IA permite conectar con una abundancia de componentes del mundo vegetal y gestionarlos para crear algo nuevo. Esta tecnología se convierte así en una herramienta que desbloquea el enorme potencial del reino verde.

- **Optimización de los sistemas de fermentación.** Lo veremos con detalle en el capítulo dedicado a este tema; baste apuntar aquí que esta tecnología es estratégica para manejar la ingente cantidad de datos obtenidos mediante técnicas genéticas o de las ciencias ómicas para seleccionar las mejores cepas de cultivo y anticipar modelos de producción.
- **Previsión de la demanda.** Planificar la producción, las compras y toda la operativa logística de las empresas de alimentación es un sistema complejo. Optimizarlo conociendo cómo se comportará la demanda es lo que promete la herramienta de inteligencia artificial diseñada por la *startup* española Factic.
- **Eficiencia industrial.** Es uno de los campos fundamentales de aplicación de la IA, complementada con sistemas de visión artificial o con las tecnologías periféricas que veremos más adelante. Permite evolucionar de ciertos automatismos hacia una gestión inteligente en la que las máquinas de una línea de montaje puedan, por ejemplo, pasar de identificar comportamientos anómalos o predecir averías a hacer recomendaciones o incluso a tomar decisiones automáticamente para mejorar la eficiencia, la estabilidad, la disponibilidad de los equipos o resolver cuestiones de seguridad alimentaria. Un ejemplo de esta evolución hacia la verdadera Industria 4.0 es el programa Alimento 21, liderado por Raventós-Codorníu.

Big data

La disciplina de los macrodatos o datos masivos, popularmente conocida como *big data*, está íntimamente ligada a la IA; de hecho, es el combustible del que se nutre para operar. Considerado «el petróleo» o «el oro» del siglo XXI, se trata del análisis masivo de datos, cuyo volumen, variabilidad y velocidad de crecimiento (tres de las conocidas como las 5V del *big data*⁸) son tan grandes, que las aplicaciones de *software* tradicionales no son capaces de capturarlos, tratarlos y ponerlos en valor en un tiempo razonable.

Podemos ver un ejemplo de la abundancia de datos desestructurados que pueblan nuestro universo gastronómico en la ingente cantidad de comentarios sobre restaurantes y alusiones sobre lo que comen las personas en las redes sociales. Delectatech, una *startup* con sede en Barcelona, «radiografía» el sector de la restauración a través del análisis de los 1.5 millones de comentarios que lee cada mes en España. Gracias a ello, puede adivinar tendencias de consumo y comportamientos de los usuarios, muy útiles para restauradores y marcas de alimentación. La israelí Testwise también trabaja en esta línea analizando cientos de miles de cartas, menús, recetas y publicaciones en redes sociales, y hasta la oferta de las empresas de entregas o reparto a domicilio (*delivery*).

Internet de las cosas

La reducción del coste de los sensores, la mejora de la conectividad y las tecnologías en la nube (*cloud computing*) y periféricas (*edge computing*) han facilitado la explosión del IoT (interconexión digital de dispositivos u objetos a través de una red donde podrán ser visibles e intercambiar datos sin necesidad de intervención humana). Es una de las tecnologías más prometedoras en el ámbito de la agricultura, y podemos encontrarla desde en la sensorización de cultivos o instalaciones agropecuarias para monitorizar su evolución o las condiciones ambientales hasta en dispositivos portables (*wearables*) para el ganado que permiten vigilar su estado de salud o incluso detectar cuándo una vaca de pasto se encuentra próxima a dar a luz solamente por la forma de moverse.

Otro gran campo de aplicación es la cocina inteligente, ese lugar en el que nuestros electrodomésticos estarán dotados de sensores

(temperatura, reconocimiento de imagen, etc.) y podrán utilizar esta información para cocinar prácticamente solos o prepararnos la lista de la compra con los productos que nos faltan.

El IoT está íntimamente ligado al *big data* y a la IA, ya que genera diariamente trillones de *bytes* de datos que es necesario procesar y analizar en tiempo real.

Automatización y robótica

Estas tecnologías pueden aplicarse en toda la cadena de valor alimentaria y suponen un gran potencial para mejorar la eficiencia, la optimización y la consistencia de los procesos, pero también la seguridad para los empleados, pues constituyen una alternativa para labores duras, ergonómicamente perjudiciales o incluso peligrosas para los humanos. Entre sus retos se encuentra trabajar con componentes y piezas que no son uniformes en forma, peso y textura, como puede ocurrir en automoción o farma, donde los robots están plenamente instaurados. Los robots, sean agricultores o cocineros, tienen que desarrollar, además, un excepcional sentido de la visión y del tacto para trabajar con los alimentos que vamos a poner en nuestro plato y también contar con capacidad colaborativa para trabajar de forma segura junto a las personas.

El sector primario y la agricultura son campos propicios para incorporar robots y sistemas automatizados. Las oportunidades en el sector agrícola son infinitas: desde gigantes tractores autónomos, capaces de sembrar o cosechar sin intervención humana, o robots como los de la empresa Root AI, que pueden identificar y recolectar con tacto frutos tan delicados como las fresas, hasta enjambres de microdrones que polinicen las plantas ante la reducción de la población de abejas.

En los centros de procesado, los robots ayudan en materia de seguridad, tanto en cuanto a lo que se elabora como a los empleados de las cadenas de producción. Tristemente comprobamos lo necesarias que son estas tecnologías durante la pandemia, cuando un número considerable de centros se vieron afectados, especialmente en países como Alemania o EE. UU., donde nada menos que 59 000 empleados contrajeron la COVID-19⁹, lo que provocó cierres de instalaciones e importantes retrasos en el suministro. A partir de entonces, el interés por soluciones robóticas y la inversión en este tipo de tecnologías se ha incrementado. Tyson Foods, uno de los tres mayores productores de

carne de EE. UU., está invirtiendo 1300 millones de dólares en robótica y en la automatización de sus plantas de procesamiento de pollo para reemplazar los puestos más difíciles de cubrir, garantizar su capacidad productiva y reducir unos 450 millones de dólares los costes.

El auge del *delivery* y de los sistemas de conveniencia ha obligado a repensar los sistemas logísticos para hacerlos más flexibles y rápidos. Estamos viendo el despegue de microplataformas logísticas ubicadas en zonas urbanas (*micro-fulfillment*) semi o completamente automatizadas pensadas para dar servicio a estos nuevos canales.

El restaurante es el último eslabón de la cadena. Aquí se llevan la fama y el efecto *WOW* los robots humanoides dotados de brazos articulados que preparan un ramen en segundos o sirven cervezas perfectas tipo Moley Robotics, Macco Robotics o BR5. Aunque con menos *glamour*, tienen, de momento, más presencia sistemas centrados en tareas mecánicas de poco valor añadido o peligrosas, como girar hamburguesas o freír (como hace el robot Flippy, de Miso Robotics) o amasar y mover las *pizzas* en el horno (Picnic Robot puede montar doscientas *pizzas* en 1 hora). Y ya podemos ver robots *runners* que transportan platos de la cocina a la mesa... Son los primeros y tímidos pasos.

Blockchain

Es una tecnología que originariamente se concibió para el sector financiero y las criptomonedas. Sin embargo, su concepción como una base de datos distribuida e inmutable ofrece una manera de que partes que no se conocen o que no tienen por qué confiar entre ellas, alcancen un consenso sobre una historia digital común, por ejemplo en las operaciones de compraventa. Y esto es importante ya que los archivos y transacciones digitales son, en teoría, fácilmente falsificables o duplicables. La tecnología *blockchain* teóricamente puede resolver este problema sin necesidad de utilizar un intermediario (una entidad certificadora) para dar confianza a las transacciones. Por este motivo, se ha convertido también en objeto de deseo para la industria alimentaria, que ve en ella una oportunidad para abordar definitivamente el reto de la transparencia, la trazabilidad, la lucha contra el fraude y la seguridad alimentaria. De hecho, la consultora Deloitte la describe como una tecnología clave para lograr la «transparencia radical»¹⁰. Si bien para cumplir su promesa *blockchain* requiere esa digitalización de todos los

ítems que deseamos incluir en esa historia digital común. Por ejemplo, si queremos trazar si un cultivo se ha tratado con determinados insumos o un animal ha recibido antibióticos, no valdrá con que una persona lo afirme; será necesario digitalizar y monitorizar de alguna forma ese terreno o ese animal, para que su información sea fiable. Por ello, para que sea realmente una solución completa de trazabilidad, *blockchain* ha de complementarse con otras tecnologías, como IoT o sistemas de imagen computarizada.

Gracias a estas iniciativas, los consumidores podremos informarnos con garantías del recorrido completo del producto que llevamos a casa: desde el pienso que ha alimentado al ganado, la granja donde estuvo y cómo se crio hasta la instalación en la que su carne se convirtió en un delicioso embutido; podremos conocer con seguridad si nuestro jamón es de Jabugo y 100 % ibérico; si el sonrojado atún que nos sirven **salió de una almadraba gaditana**, etc.

Se trata de una revolución de gran influencia en muchas áreas, como los sistemas de calidad certificada (como las denominaciones de origen), que deberán repensar su sentido y sus funciones.

La tecnología *blockchain* también es la base de los sistemas de tokenización de activos¹¹. En el caso del mundo *agrifood*, se están empleando tokens para registrar la captura de carbono de los terrenos de cultivo y convertirlos en fuentes de ingresos para los agricultores, un mercado todavía muy incipiente y complejo. Pero la aprobación de la Carbon Farming Initiative (CFI) de la UE en diciembre de 2021, cuyo ambicioso objetivo es llevar al sector a la neutralidad climática en 2035, supondrá un espaldarazo a este tipo de soluciones. Según Frans Timmermans, vicepresidente de la Comisión Europea, «con la agricultura de carbono la acción climática se convierte en una oportunidad de negocio».

Asistentes de voz y chatbots

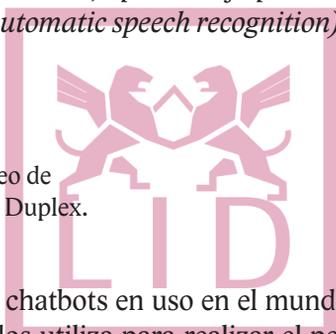
Actualmente estamos más que familiarizados con los asistentes de voz (*voice bots*), sean Siri, Alexa, Cortana o Google Assistant. Son sistemas de *software* con los que podemos interactuar mediante la voz para ayudarnos con diversas tareas. Se trata de un tipo de interfaz con muchas ventajas, sencillas e intuitivas de utilizar, que no requieren tocar o manipular un dispositivo, que permiten «humanizar»

estas tareas y que están disponibles 24 horas al día. Su evolución acercándose a las capacidades cognitivas humanas avanza a paso firme. En 2018 el presidente de Google, Sundar Pichai, causó auténtica sensación durante su Conferencia de desarrolladores al presentar su sistema Duplex, un asistente de voz dotado de IA.

En sendas conversaciones con esta tecnología para reservar hora en la peluquería y mesa en un restaurante, los asistentes fueron testigos de la capacidad de una máquina para mantener una conversación fluida, comprendiendo el lenguaje, interpretando el significado y generando respuestas coherentes sin que el interlocutor humano se diera cuenta en ningún momento de que estaba hablando con una máquina. Esta tecnología suma la IA, redes neuronales, interpretación del lenguaje natural, aprendizaje profundo (*deep learning*) y dictado de textos (*automatic speech recognition*).



Ver vídeo de
Google Duplex.



Ya podemos ver chatbots en uso en el mundo de la alimentación. La cadena Subway los utiliza para realizar el pedido de sus famosos bocadillos y los supermercados Whole Foods ayudan a sus clientes a encontrar recetas saludables con estos asistentes. La especialidad de la española Bookline se centra en los bots conversacionales basados en IA para gestionar citas y reservas vía telefónica. Orderscape o Voice Qube usan esta tecnología para automatizar el proceso de pedidos. Y ya en el *back office*, VoiceStar.ai convierte la tediosa tarea de actualizar el inventario prácticamente en un dictado (imagina que antes de cerrar el restaurante solo tuvieras que echar un vistazo al almacén y decir: «¡Hey! ¿Qué nos falta? Prepara la lista de la compra»).

Impresión 3D

Nacida a mediados de la década de 1970, se define como una tecnología de fabricación por adición por la que un objeto tridimensional se crea

mediante la superposición de capas, pero fue un grupo de estudiantes de la Universidad de Cornell (Nueva York) el que creó la primera impresora 3D para imprimir alimentos como chocolate, masa de galletas o queso. Desde entonces, la impresión 3D se ha convertido en una de las grandes ramas de innovación en la industria de la alimentación. Esta tecnología ha evolucionado desde un sistema para ampliar las fronteras creativas del diseño de alimentos (*creative food design*) hasta una técnica de bioimpresión para desarrollar alimentos complejos, como análogos de carne, pescado y otros productos de origen animal.

NovaMeat, *startup* nacida en Barcelona, creó el primer «filete» de proteína vegetal impreso en 3D. En 2021 la empresa navarra Cocuus revolucionó el mundo de la impresión 3D de proteínas alternativas con su sistema de bioimpresión, capaz de imprimir espectaculares «chuletones» de base vegetal y, en un futuro, de crear las mismas piezas utilizando células de carne cultivada. La española Natural Machines fue pionera con su impresora 3D Foodini, con la que trabaja en proyectos que van desde la cocina de los Hermanos Torres hasta la comida del espacio. Mientras se afana en su visión de que las impresoras 3D ocupen un lugar entre nuestros electrodomésticos dentro de diez o quince años. La propia IKEA está realizando un *casting* de expertos en impresión 3D para, entre otras cosas, crear una nueva versión de sus famosas albóndigas.

La impresión 3D de alimentos se perfila como una de las grandes aliadas de la nutrición personalizada; incluso podría dar respuesta a uno de los grandes retos del futuro: la alimentación durante los viajes espaciales. También puede ser una de las vías para reducir el desperdicio de alimentos, revalorizando toneladas de frutas y verduras (el mayor grupo de alimentos que desperdiciamos) en ingredientes para la impresión 3D, como hace la *startup* danesa Upprinting Food.

Ciencia genética, bioinformática y biotecnología

En 2001, se presentó el primer borrador del genoma humano en el que habían trabajado en paralelo dos equipos de internacionales¹². Para hacernos una idea de la magnitud de la empresa, el consorcio CISGH había invertido 2700 millones de dólares y unos 16 años de trabajo de numerosos científicos e instituciones. Este primer borrador, mejorado dos años después, ha sido actualizado en varias

ocasiones. Sin embargo, todavía quedaban «vacíos» que la tecnología y el conocimiento no lograban abordar. En 2021, gracias a los avances en genética y en supercomputación, otro equipo científico, el denominado Consorcio T2T, ha avanzado la secuencia más completa de un genoma humano hasta la fecha, incorporando hasta un 8 % de información que faltaba¹³.

Desde entonces la ciencia genética se ha desarrollado exponencialmente. «La secuenciación genética avanza más rápido que la microinformática o la tecnología espacial. Pronto podremos secuenciar el ADN en un chip que podríamos llevar en nuestro móvil», explicaba ya en 2015 Alfonso Valencia, director del Instituto Nacional de Bioinformática.

La genética es la base de la nutrigenómica, la ciencia que define la relación entre la dieta y nuestra respuesta (y predisposición) determinada genéticamente a ella, de la que es pionero y referencia mundial el catedrático de nutrición zaragozano José María Ordovás. Con todas las limitaciones y salvedades, ya que aún queda mucho por avanzar y validar, la nutrición de precisión y la alimentación personalizada son unas de las ramas con más potencial que unen los universos *foodtech* y *healthtech*.

Pero la ciencia genética también puede aplicarse a los propios alimentos e incluso al suelo donde se cultivan. CRISPR, el sistema de edición genética también denominado «tijeras genéticas» cuyas investigadoras, Emmanuelle Charpentier y Jennifer A. Doudna, fueron reconocidas en 2020 con el Premio Nobel de Química, o en el futuro la biología sintética abren un campo inmenso para agilizar y optimizar los trabajos que ya se venían desarrollando para crear plantas que proporcionen cosechas más abundantes y nutritivas; quizá cereales sin gluten; o con frutos más sabrosos; o resistentes a enfermedades o a patrones climáticos extremos; o incluso granos de café «naturalmente» descafeinados. También hay trabajos encaminados a reducir la presencia de asparagina, un aminoácido que se convierte en la denostada acrilamida, compuesto señalado por algunos estudios como «probablemente carcinogénico», y que aparece al tostar el pan y otros alimentos ricos en almidón.

Tras el Proyecto Genoma Humano (PGH), se ha creado una extensión denominada Proyecto Microbioma Humano (PMH), que se refiere al último órgano humano por investigar. Su objetivo es

caracterizar las comunidades microbianas para determinar su posible correlación con el estado de salud. En paralelo, son múltiples las iniciativas que desarrollan productos alimentarios funcionales que buscan influir precisamente en el microbioma intestinal mediante una nueva generación de probióticos, prebióticos y simbióticos.

Otras tecnologías

Otras tecnologías desempeñan un papel fundamental como habilitadoras de la industria *foodtech*. Disponer de una conectividad cada vez mayor, más veloz y con mayor cobertura y penetración gracias a tecnologías como 5G, fibra óptica o LiFi (comunicación inalámbrica basada en luz) es clave para el desarrollo del IoT y de todas las aplicaciones en *agtech* y otras categorías. La computación en la nube es la base de todos los modelos de negocio tipo *Anything-as-a-Service* (XaaS) («cualquier cosa como servicio»). Sin olvidar el móvil, las aplicaciones, las redes sociales o las denominadas *tecnologías de proximidad*, base de las aplicaciones de la economía sin contacto (*contact-less*), impulsada por los efectos de la COVID-19. Las energías de bajo coste y renovables, como la tecnología LED y la energía solar, son claves en la industria de la agricultura en interiores (*indoor*) o los sistemas de agricultura celular, sin despreciar los importantes avances que se están desarrollando en técnicas de conservación (incluso con finísimas películas para la fruta a partir de seda de araña).

Y nos quedan por conocer las implicaciones de las tecnologías *immersive media*, como la realidad virtual, la realidad aumentada o los metaversos, en la forma en la que disfrutaremos de los alimentos. O cómo podrán aplicarse técnicas de neurociencia o interacción máquina-cerebro en el mundo de la ganadería... si es que cuando se hayan desarrollado suficientemente seguimos alimentándonos de animales...

Como explican Peter H. Diamandis y Steven Kotler¹⁴, por sí mismas cada una de estas tecnologías exponenciales tiene mucho potencial, pero es su convergencia la que está transformando las industrias, ya que su potencial disruptivo aumenta de forma proporcional. Una sola de estas tecnologías puede modificar un producto o un servicio, pero la combinación de varias puede arrasar los productos

o los mercados, así como las estructuras sobre las que se sustentan. Y la industria de la alimentación no es ajena a este fenómeno. Las oportunidades serán increíbles para cualquiera que sea lo suficientemente ágil y osado.

No todas estas tecnologías o, mejor dicho, no todas las innovaciones basadas en ellas triunfarán. Pasarán momentos de expectativas sobredimensionadas, un abismo de desilusión donde algunas quedarán estancadas durante un tiempo, o definitivamente, hasta que se identifiquen los casos de uso que aprovechen mejor sus posibilidades, mejoren sus rendimientos, se identifiquen y validen los modelos de negocio que las exploten o alcancen el precio óptimo. Es una dinámica que explica muy bien el conocido gráfico del ciclo de expectativas de Gartner (*Gartner hype cycle*), generalmente aplicado a las tecnologías de la información y la comunicación (TIC).

Gráfico 1.1. Ciclo de expectativas sobredimensionadas de Gartner



Fuente: Gartner España¹⁵.