



UNIDAD XOCHIMILCO
DIVISIÓN DE CIENCIAS SOCIALES Y HUMANIDADES
MAESTRÍA EN ECONOMÍA, GESTIÓN Y POLÍTICAS DE INNOVACIÓN

ACTIVIDADES DE I+D EN BIOIMPRESIÓN 3D

Un estudio comparativo de la UoM, UNAM y UAM-I.

Alumno:

Lic. Émilie Marlène Lefèvre García

Asesores:

Dr. Marco Aurelio Jaso Sánchez
Dra. Laura Patricia Peñalva Rosales

10.12.2018

AGRADECIMIENTOS

A los profesores, que me han guiado y llevado adelante.

A mis asesores, quienes supieron entenderme y apoyarme.

A los amigos, con los que compartí preocupaciones y risas.

A mi madre y mi padre, por quererme y procurarme.

Gracias infinitas.

DEDICATORIA

A todos los que se retan a ser mejores.

Fuentes de inspiración y cambios.

Porque se requiere valentía.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	5
CAPÍTULO I: MARCO CONCEPTUAL	12
1. I+D y el Manual de Frascati	12
2. <i>La curva de la sonrisa</i> en cadenas globales de valor	19
3. Marco analítico	26
CAPÍTULO II: TECNOLOGÍA	32
1. Impresión 3D: beneficios generales y ventajas en el campo médico	32
2. Aplicaciones médicas de impresión 3D y bioimpresión 3D	37
3. <i>La curva de la sonrisa</i> de la impresión 3D	40
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA	43
1. Entrevistas	46
2. Bibliometría.....	50
3. Patentometría.....	53
CAPÍTULO IV: HALLAZGOS.....	56
1. Universidad de Manchester	56
2. Universidad Nacional Autónoma de México	68
3. Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa.....	73
CAPÍTULO V: RESULTADOS	75
1. Posicionamiento y comparativo de las actividades de I+D en bioimpresión 3D	75
2. Dificultades enfrentadas y motivantes.....	79
3. ¿Qué se puede aprender del caso inglés?	84
CONCLUSIONES	91
BIBLIOGRAFÍA	97
ANEXOS	100

RESUMEN

La tecnología de bioimpresión 3D promete generar cambios mayores en el campo médico y con ello en el bienestar de las personas, por lo cual es importante reflexionar sobre cómo se plantea incorporarla. Considerando que el uso de la misma se encuentra en etapas tempranas, los esfuerzos actuales se concentran en I+D, pero a diferentes niveles de profundidad y con distintos enfoques por parte de los grupos de investigación dedicados a ello. De ahí que la presente investigación se enfoque en este tipo de actividades. Específicamente, el siguiente trabajo se dedica a identificar el tipo de I+D llevada a cabo en tres universidades (UoM, UNAM y UAM-I) para comparar, de acuerdo a su posición sobre la *curva de la sonrisa*, el nivel de valor agregado que están preparando; así como las razones y características específicas que dirigen los **actuales esfuerzos de investigación**. En suma, considerando la UoM como referencia **al ser una de las pioneras en actividades** de I+D en bioimpresión 3D y las características de la UNAM y UAM-I, se llega a las siguientes lecciones:

- Existen dinámicas distintas entre investigación básica, investigación aplicada y desarrollo experimental en la UoM, UNAM y UAM-I.
- Las motivantes y problemas enfrentados al realizar la investigación son diferentes en la UoM, UNAM y UAM-I.
- En la UoM las actividades de I+D se orientan a un mayor valor agregado. En la UNAM y UAM-I pareciera que la falta de recursos económicos y humanos orientan las actividades de I+D a investigación aplicada o desarrollo experimental al requerir menos tiempo para presentar resultados. Ésto empobrece la acumulación de conocimiento y valor por parte de investigación básica.
- Dado que se logran identificar áreas potenciales como tintas, biotintas o hidrogeles; convendría concentrar los esfuerzos de investigación en los mismos.
- Debe contemplarse el combinar la elaboración de tejidos y órganos con otras aplicaciones médicas.

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1: La curva de la sonrisa de Stan Shih</i>	22
<i>Figura 2: Escalamiento por entrada</i>	22
Figura 3: Escalamiento funcional.....	22
Figura 4: Escalamiento por proceso	23
Figura 5: Escalamiento por producto	23
<i>Figura 6: La curva de la sonrisa de las actividades de alto valor agregado en las cadenas globales de valor</i>	24
<i>Figura 7: La curva de la sonrisa, etapas buenas y malas de las cadenas de valor</i>	25
Figura 8: La relevancia de los distintos métodos de medición	27
Figura 9: Un acercamiento a las actividades de I+D sobre la curva de la sonrisa	29
Figura 10: Tipo de I+D y posición sobre la curva de la sonrisa de acuerdo a temporalidad	31
Figura 11: Tipo de I+D y posición sobre la curva de la sonrisa de acuerdo a objetivo	31
Figura 12: La curva de la sonrisa de la impresión 3D: dos escenarios	42
Figura 13: Asociación de los términos de búsqueda de publicaciones en Scopus	50
Figura 14: Asociación de los términos de búsqueda de patentes en USPTO.....	54

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Diferencia Modo I y Modo II	16
Tabla 2: Tipos de I+D	28
Tabla 3: Tiempo requerido por tipo de I+D	29
Tabla 4: Objetivo por tipo de I+D.....	30
Tabla 5: Detalles de entrevista	46
Tabla 6: Detalles de entrevistados	46
Tabla 7: Temas abordados por los entrevistados por categoría	48
Tabla 8: Menciones de las categorías (1), (6) y (8) en entrevista	49
Tabla 9: Publicaciones sobre bioimpresión 3D por universidad.....	51
Tabla 12: Sumario de entrevistas en la UoM.....	58
Tabla 10: Tipo de documento, año, número de citas y autores de las publicaciones en bioimpresión 3D de la UoM.....	62
Tabla 11: Clasificación del tipo de I+D de acuerdo a objetivos de las publicaciones (UoM)	64
Tabla 14: Sumario de entrevistas en la UNAM	70
Tabla 13: Clasificación del tipo de I+D de acuerdo a objetivos de las publicaciones (UNAM)	72
Tabla 14: Sumario de entrevistas en la UAM-I	74

INTRODUCCIÓN

Baldwin & Low (2013) dicen que las cadenas globales de valor “están evolucionando rápidamente [...] debido a su propio impacto y a la rapidez de las innovaciones en tecnologías de la comunicación, fabricación integrada por computadora, e impresión 3D¹”, comparando los cambios que se espera generen sean equivalente al de la modernización de las vías de transporte en 1830, y de comunicación en 1970.

Al mismo tiempo, las cadenas globales de valor conforman la columna vertebral del comercio internacional. Hablar de cadenas globales de valor es hablar de un posicionamiento competitivo a nivel global a partir de las ventajas generadas en las actividades de producción. Esta competencia internacional ha generado brechas entre países al concentrarse de manera desigual la generación de valor. Países desarrollados se han dedicado a actividades de producción relacionadas a un alto nivel de valor agregado, como por ejemplo Investigación y Desarrollo (I+D), mientras que países en desarrollo se han concentrado en etapas ligadas a un bajo nivel de valor agregado.

En palabras de Reyes & Rozo (2015, p. 8): “la dinámica de la cadena modifica las condiciones de competitividad de los mercados y, en consecuencia, el modo de inserción de las economías nacionales en la economía global [...] Estas características pueden determinar [...] quienes ganan y quienes pierden en el juego de la competitividad mundial, especialmente si se considera el avance tecnológico”. El modo de inserción de los agentes económicos de un país en cadenas globales de valor, determina entonces si la economía nacional se verá favorecida o perjudicada, al ligarse, o no, a actividades generadoras de un alto valor agregado y mayores beneficios. Por tanto, la impresión 3D generará cambios en la dinámica de la cadena, y a su vez en la inserción de los países en las mismas, con lo cual es importante considerar cómo se incorporará la tecnología para procurar favorecer la economía nacional.

¹ Es decir, la fabricación capa por capa de objetos, previamente diseñados por computadora, fusionando o depositando materiales (Ventola, 2014; Rodríguez et al, 2017).

Para ilustrar y reflexionar sobre el *devenir* de las cadenas globales de valor, se ha empleado la *curva de la sonrisa* como diagrama analítico (Gereffi & Fernández-Stark, 2016). Como su nombre lo indica, se trata de una parábola, definida por la etapa de producción (eje horizontal) y el nivel de valor agregado que genera dicha etapa (eje vertical), facilitando así la identificación del punto en que se encuentran países, regiones o empresas dentro de la cadena global de valor. Por ello, al ubicar en la *curva de la sonrisa* el posicionamiento en cadenas globales de valor, se invita a reflexionar sobre las causas y consecuencias que llevan a tal posicionamiento y los procesos de escalamiento. Es decir, las transformaciones por medio de las cuales se logra remontar a actividades generadoras de un mayor nivel de valor agregado. Ésto considerando que los procesos de escalamiento implican que haya innovación en la producción, es decir, “la introducción de un nuevo o significativamente mejorado producto o proceso (o combinación de los mismos) que difiere significativamente de los productos o procesos anteriores de la unidad y que se ha puesto a disposición de los usuarios potenciales (producto) o ha sido puesto en uso por la unidad (proceso)”, de acuerdo al Manual de Oslo (OECD & EUROSTAT, 2018, p. 60).

En lo que refiere a la tecnología considerada en la presente investigación, se pueden resaltar y estudiar distintos aspectos sobre la impresión 3D. Por ejemplo, existe discusión respecto a la atomización de la oferta y sobre la comercialización de los productos que se puedan generar (Vazhnov, 2013; Ventola, 2014). Otro tema es el efecto directo de la incorporación de las máquinas de impresión 3D en el proceso de producción, remplazando métodos sustractivos para prototipado rápido o producciones de micro y pequeña escala. Bajo esta lógica, Rehnberg & Ponte (2018) plantean escenarios respecto a la forma que se espera tome la *curva de la sonrisa* de la impresión 3D. Se abre entonces la discusión para plantear cómo incorporarla para dirigirse a actividades de producción generadoras de un mayor nivel de valor agregado, de acuerdo a dicho diagrama analítico.

Pero los terrenos de aplicación de la tecnología son amplios, con lo cual es necesario enfocarse a un área específica para su análisis. En este caso, el campo de interés es el médico, ya que la aplicación de la impresión 3D en el mismo promete generar cambios disruptivos en la medicina. La aplicación médica de la tecnología promete proveer

alternativas más precisas y menos costosas para solucionar problemas de salud, contribuyendo así a una mejora en el bienestar de las personas (Vazhnov, 2013; Ventola, 2014; Rodríguez et al, 2017). Resulta entonces de interés reflexionar sobre cómo se están preparando los países a los cambios que generará la impresión 3D, no sólo por posicionarse en una futura cadena global de valor de manera favorable para la economía nacional, sino por tratar un tema de salud y bienestar. Para discutir esta problemática debe entenderse cómo se realizan los procesos de escalamiento y cómo se aplica esta tecnología en el campo médico.

No obstante, las aplicaciones de la impresión 3D en el terreno médico son variadas. La tecnología de impresión 3D se puede usar para la fabricación de tejidos y órganos, la creación de prótesis y órtesis, la elaboración de modelos anatómicos, o el desarrollo de fármacos (Ventola, 2014). Dado que cada una de estas aplicaciones posee sus propias características, se estudia una sola de las mencionadas para dar profundidad al análisis: la fabricación de tejidos y órganos. Esta aplicación, implica el uso de una forma particular de impresión 3D: la bioimpresión 3D, que es aquella técnica usada para imprimir células vivas en un patrón prediseñado (Rodríguez et al, 2017).

El uso formal de la bioimpresión 3D en el campo médico se remonta apenas a 2003-2006 (Jose et al, 2016; Rodríguez et al, 2017), periodo desde el cual los esfuerzos en I+D han sido constantes. De acuerdo al Manual de Oslo “la I+D² es una de las actividades que pueden generar innovaciones o mediante de la cual se pueden adquirir conocimientos útiles para la innovación” (OECD & EUROSTAT, 2018, p. 45). Debe resaltarse además que, la I+D, se encuentra dentro de las actividades generadoras de un mayor nivel de valor agregado de acuerdo a la *curva de la sonrisa*. De ahí que el trabajo se enfoque en actividades de I+D en bioimpresión 3D.

² Entendiendo por I+D “la suma de acciones deliberadamente dirigidas por ejecutantes de I+D para generar nuevo conocimiento” (OECD, 2015, p. 46)

De manera más precisa, se ha elegido poner el foco en las actividades de **I+D en bioimpresión 3D** en universidades. Esto debido a que al buscarse información sobre el desarrollo de la tecnología referida en el contexto mexicano, se localizaron este tipo de actividades únicamente en universidades, **cuando se tenía contemplado hacer un análisis comparativo. Específicamente, se decidió comparar** las actividades de I+D en bioimpresión 3D de la Universidad de Manchester (UoM), una de las pioneras en actividades de desarrollo de impresión 3D, y de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), siendo ésta una de las universidades que se encuentra realizando actividades más avanzadas de I+D en el campo de interés, en México. El propósito es usar como referente la experiencia del caso inglés para deducir qué lo hace diferente y qué se puede aprender para el caso mexicano. Se añadió al estudio comparativo la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa (UAM-I), que se encuentra incursionando en bioimpresión 3D, por lo cual, los resultados del presente trabajo podrían ayudar a orientar las nuevas actividades de I+D en esta institución.

El objeto de estudio de la presente investigación se define entonces como las actividades de I+D en bioimpresión 3D en universidades. Las preguntas de investigación se plantean de la siguiente forma: ¿Dónde se ubican las actividades de I+D en bioimpresión 3D de la UoM, UNAM y UAM-I sobre la *curva de la sonrisa*? ¿Cómo los diferentes equipos de investigación enfocan y se acercan al problema? ¿Cuáles son los motivantes, dificultades enfrentadas y áreas abordadas por tales grupos? ¿Qué se puede aprender de la universidad pionera? **Las anteriores preguntas se plantean bajo la hipótesis de que la investigación en la UoM se orienta a actividades de I+D asociadas a la generación de un mayor valor agregado, en el desarrollo de aplicaciones médicas de bioimpresión 3D.** Los **objetivos** del presente trabajo son:

- I. Posicionar las actividades de I+D en bioimpresión 3D de la UoM, UNAM y UAM-I sobre *la curva de la sonrisa*, para comparar los niveles de valor agregado que se espera generen de acuerdo a dicho modelo
- II. Identificar los intereses de los grupos de investigación con relación al campo de estudio, caracterizando sus motivaciones y problemáticas.

III. Determinar qué se puede aprender de las actividades de I+D de la universidad pionera sobre la producción de conocimiento en el desarrollo de aplicaciones médicas de bioimpresión 3D.

Para ello se presenta un desafío conceptual y operativo. De acuerdo a la *curva de la sonrisa* hay una única categoría para referirse a I+D, cuando, de acuerdo al Manual de Frascati (OECD, 2015), en realidad hay distintos tipos de I+D: investigación básica (pura y orientada), investigación aplicada y desarrollo experimental; y cada una de ellas presenta resultados en lapsos distintos (Kim & Oh, 2002). Por tanto, al considerar el carácter temporal del eje horizontal de la *curva de la sonrisa*, esto significa que cada tipo de I+D tiene una ubicación propia y se ve ligada a un particular y distinto nivel de valor agregado. Se propone entonces una clasificación de las actividades de I+D por tiempo requerido para su desarrollo, que permita posicionarlas por tipo sobre la *curva de la sonrisa*, y comparar los niveles de valor agregado que se espera generen. Dicha reinterpretación del modelo facilita así el posicionamiento de las actividades de I+D en bioimpresión 3D de las universidades contempladas.

Para posicionar y comparar las actividades de I+D por tipo es necesario identificarlas. Esto se puede lograr mediante el uso de herramientas cuantitativas (bibliometría y patentometría) y la aplicación de entrevistas a investigadores líderes de equipos de trabajo dedicados a actividades de I+D en bioimpresión 3D, ya que, según el Manual de Frascati (OECD, 2015), la investigación básica se ve reflejada en publicaciones o suele compartirse entre involucrados en los proyectos, mientras la investigación aplicada y el desarrollo experimental suelen concretarse en la concesión de patentes o implican la transferencia de los resultados mediante otros mecanismos (p.e. secreto industrial).

Otra razón del uso de técnicas cuantitativas y cualitativas es la suma de perspectivas que permiten analizar el objeto de investigación con más profundidad. Las primeras permiten observar a nivel macro el fenómeno a partir de resultados formales de producción científica; mientras que las segundas permiten conocer los procesos sociales que dan origen a las estrategias y acciones de los grupos de investigación a nivel micro dentro de marcos

institucionales y financieros específicos. Asimismo, la conjunción de instrumentos permite obtener información sobre el modo de producción del conocimiento (Gibbons et al, 1997), a partir de lo cual se podrán destacar aspectos como motivantes, desafíos y áreas de trabajo, dejando más claro qué se puede aprender de la UoM.

La metodología empleada se define entonces como mixta, al complementarse, **en este caso,** datos cuantitativos que responden al “qué” y cualitativos que responden al “por qué” y “para qué”. Se aprovechan así las fortalezas y minimizan las debilidades de ambos métodos. Los ejercicios de bibliometría, patentometría y entrevistas se llevaron a cabo con una delimitación de la muestra a los grupos dedicados a este tipo de I+D en las tres universidades contempladas: UoM, UNAM y UAM-I.

La presentación de este trabajo se realizará de acuerdo al siguiente capitulado. En el capítulo I se expone el marco conceptual, en el cuál se abordan detalles **sobre los conceptos de I+D y la *curva de la sonrisa***. En el capítulo II se introduce el tema de impresión y bioimpresión 3D, especificando la relación de la tecnología con la *curva de la sonrisa*. En el capítulo III se abordan aspectos metodológicos, detallando cómo se llevaron a cabo los ejercicios de bibliometría, patentometría y entrevistas. En el capítulo IV se hará una presentación de los resultados arrojados al llevar dichos ejercicios. **En el capítulo V se analizan y comparan las actividades de I+D en bioimpresión 3D realizadas en la UoM, UNAM y UAM-I de acuerdo a su posición sobre la *curva de la sonrisa* así como motivantes y dificultades enfrentadas.** Finalmente, se presentan las conclusiones.

CAPÍTULO I: MARCO CONCEPTUAL

En este capítulo, se exponen conceptos relacionados con la definición de las actividades de Investigación y Desarrollo (I+D) para el entendimiento del objeto de estudio del presente trabajo. Se decidió tomar como referencia el Manual de Frascati (OECD, 2015) debido a su reconocimiento al “proveer una definición de la I+D y sus componentes por más de medio siglo” (OECD, 2015, p. 44), así como el trabajo de Gibbons et al (1997) sobre modos de producción de conocimiento, para facilitar el análisis de las actividades de I+D en bioimpresión 3D.

Esto, en un contexto de cadenas globales de valor, considerando que la impresión 3D promete cambiar la dinámica de las mismas; y que las cadenas globales de valor son un referente que permite dar profundidad al análisis. Lo anterior llevó a la consideración de los trabajos de Gary Gereffi (2011, 2016), quien ha empleado la *curva de la sonrisa* para ilustrar los procesos de posicionamiento en las cadenas globales de valor (procesos de escalamiento). Investigando más sobre el tema, se descubrió además que, de acuerdo a la *curva de la sonrisa*, las actividades de I+D se colocan como aquéllas que añaden más valor al producto (junto con servicios postventas). Asimismo, se quiso aprovechar la claridad y simplicidad del diagrama, la imagen de la curva, que facilita la interpretación y profundiza en el análisis. Resumidamente, se decidió entonces emplear *la curva de la sonrisa* como modelo ya que contempla las actividades de I+D como vía de escalamiento, y permite ilustrar intuitivamente el análisis.

De este modo, en la primera sección se ofrecen detalles sobre el concepto de I+D y se repasan características de los modos I y II de producción de conocimiento. En la segunda sección se hace una revisión de qué es *la curva de la sonrisa*, entendiendo así las actividades de I+D como generadoras de valor. Finalmente, en la tercera sección se desglosan los distintos tipos de I+D sobre la *curva de la sonrisa* a modo de marco analítico.

1. I+D y el Manual de Frascati

Las actividades de I+D se definen como “la suma de acciones deliberadamente dirigidas por ejecutantes de I+D para generar nuevo conocimiento”. Definiendo más a detalle, la I+D

se refiere al “trabajo creativo y sistemático realizado con el fin de aumentar el acervo de conocimiento – incluido el conocimiento del género humano, la cultura y la sociedad – y para idear nuevas aplicaciones del conocimiento disponible” (OECD, 2015, p. 44). Para considerarse como tal, las actividades de I+D deben cumplir cinco criterios (OECD, 2015, p. 43-49):

(1) Novedad:

Es decir, que las actividades se encuentren dirigidas a nuevos descubrimientos, que la generación de nuevo conocimiento sea objetivo de las actividades de I+D. En el Manual de Frascati se menciona que este criterio es específico a universidades e institutos de investigación.

(2) Creatividad:

Implica que el trabajo se base en conceptos e hipótesis originales, es decir, que sea objetivo de las actividades de I+D la creación de nuevos conceptos e ideas para mejorar el conocimiento existente.

(3) Incertidumbre:

Se desconoce el resultado final o la cantidad de tiempo, recursos y/o costos. Se reconoce la posibilidad de no cumplir con los objetivos de los proyectos.

(4) Sistemática:

Las actividades se llevan a **cabo** de acuerdo a una planeación y presupuesto.

(5) Transferibilidad y/o reproducibilidad:

Los resultados puedan ser reproducidos, asegurando su uso y permitiendo que otros investigadores lo reproduzcan como parte de sus propias actividades de I+D.

Asimismo, se indica que las actividades de I+D siempre buscan cumplir un objetivo específico o general y permiten una libre transferencia o intercambio del conocimiento con el mercado.

Por otro lado, sobre los distintos tipos de I+D: investigación básica (pura y orientada), investigación aplicada y desarrollo experimental (OECD, 2015) se tiene lo siguiente:

- a) La *investigación básica* es el “trabajo experimental o teórico realizado para adquirir nuevo conocimiento de los fundamentos subyacentes de los fenómenos y hechos observables, sin ningún tipo de aplicación o uso en vista” (OECD, 2015, p. 45).

La definición general nos indica que no se conocen las aplicaciones potenciales haciendo investigación básica. No obstante, se menciona que la investigación básica se puede orientar o direccionar hacia ciertas áreas de interés, con el objetivo explícito de apoyar una gama de aplicaciones futuras. A la misma se le llama investigación básica orientada.

Tenemos entonces como subcategorías *investigación básica pura*, dedicada a “hacer avanzar el conocimiento sin buscar un beneficio económico o social, o sin hacer un esfuerzo activo para aplicar los resultados de investigación a problemas prácticos” (OECD, 2015, p. 50) e *investigación básica orientada* la cual tiene la expectativa de “generar un rango de conocimiento base que constituirá los fundamentos para la solución de un actual o futuro, problema o posibilidad, reconocido o esperado” (OECD, 2015, p. 50).

- b) La *investigación aplicada*, por otro lado, es “la investigación original asumida para adquirir nuevo conocimiento, dirigida a un objetivo específico o práctico” (OECD, 2015, p. 45). Esto significa que se realiza con el fin de determinar posibles usos de los descubrimientos de investigación básica, o determina nuevos métodos o formas de alcanzar ciertos objetivos. Se considera como conocimiento disponible para la solución de problemas actuales reales.

- c) Finalmente, el *desarrollo experimental* se define como “el trabajo sistemático, basado en el conocimiento obtenido de la investigación, la experiencia práctica y la producción de nuevo conocimientos, que se dirige a la producción de nuevos productos o procesos, o para mejorar los productos o procesos existentes” (OECD, 2015, p. 45). Cabe mencionar, que el desarrollo experimental se distingue del desarrollo o diseño de producto, el cual se refiere a todo el proceso para llevar un

nuevo producto al mercado (desde la formulación de ideas y conceptos, hasta la comercialización), mientras el desarrollo experimental se refiere a sólo uno de los estadios del proceso de desarrollo del producto: cuando se prueba el conocimiento genérico para una aplicación específica.

Respecto a cómo interactúan estos distintos tipos de actividades, el Manual de Frascati indica que la relación entre investigación básica (pura y orientada), investigación aplicada y desarrollo experimental es dinámica. “Es por ejemplo posible que la investigación aplicada y el desarrollo experimental adapten el conocimiento fundamental que surgió de la investigación básica para su aplicación” (OECD, 2015, p. 53).

Dicha dinámica se explica por el modo de producción de conocimiento. Como apuntan Gibbons et al (1997) hay una interacción entre modo I y modo II. El modo I se refiere a una forma de producción de conocimiento tradicional, “a un complejo de ideas, métodos, valores y normas que ha crecido hasta controlar los modelos de investigación para asegurar su conformidad con aquello que se considera como una práctica científica sana” (Gibbons et al, 1997, p. 13). Determina las normas que deben seguirse en la producción, legitimización y difusión del conocimiento, así como lo que se considerará como problemas significativos, a quién se le debe permitir practicar la ciencia y qué constituye la buena ciencia. Las prácticas que adhieren a estas reglas son, por definición, científicas; de lo contrario, no lo son. Se trata de una convención. Pero surge un conjunto de prácticas, que se gobiernan de un modo distinto al modo I, y que, dada su importancia, sugieren el surgimiento de un nuevo modo de producción del conocimiento. Se trata del modo II. Los autores apuntan una serie de diferencias que permiten entender qué caracteriza al modo II (véase Tabla 1).

Tabla 1: Diferencia Modo I y Modo II

	Modo I	Modo II
1	Se plantean y solucionan problemas en un contexto dominado por intereses, en buena parte académicos, de una comunidad específica	Lo que motiva la actividad de investigación es el contexto de aplicación
2	Modo de trabajo disciplinar,	Equipos transdisciplinarios,
3	Homogéneo, jerárquico y fijo	Heterogéneos, heterárquicos y transitorios
4	El modo II es más socialmente responsable y reflexivo que el modo I	
5	Cada uno emplea diferentes controles de calidad	

Fuente: Elaboración propia

Sobre el contexto de aplicación (1):

Los autores indican que en el modo I el contexto se define en relación con las normas cognitivas y sociales que gobiernan la investigación o la ciencia académica, lo cual lleva a la ausencia de un objetivo práctico. En el modo II, por el contrario, el conocimiento surge a partir de una gama más amplia de consideraciones, con la intención de ser útiles para la industria, el gobierno, o más en general, para la sociedad; **lo cual habla de una aplicación en sector privado y público.** De ahí que la investigación realizada en el modo II se vea vinculada a disciplinas de ciencias aplicadas. Se dan como ejemplos la ingeniería química, la ingeniería aeronáutica y la ciencia de los ordenadores. Aunque, es importante mencionar que estas disciplinas también se convirtieron en lugares de producción de conocimiento basado en disciplinas, al estilo del modo I, “e inclusive pueden dar lugar a una genuina investigación básica” (Gibbons et al, 1997, p. 14). Otra característica mencionada respecto al contexto es que el conocimiento se difunde a través de la sociedad, de ahí que se hable de conocimiento socialmente distribuido.

Respecto a la lógica de trabajo (2):

Los autores mencionan que además de conjugar una gama diversa de especialistas para que trabajen en equipo sobre la solución de problemas, en el modo II la investigación debe ser guiada por un consenso especificable relativo a una práctica cognitiva y social apropiada. Este consenso se ve condicionado por el contexto de aplicación. Se da a partir de él, no se desarrolla primero para ser aplicado más tarde al contexto. Esto puede llevar a que el

consenso sea temporal, dependiendo de las exigencias impuestas por el contexto de aplicación. Se desarrolla entonces una estructura peculiar en evolución para guiar los esfuerzos a la solución de problemas. La solución abarca componentes tanto empíricos como teóricos. Contribuye al conocimiento, aunque no necesariamente al conocimiento disciplinar. Desarrolla sus propias estructuras teóricas, métodos de investigación y modos de práctica, que pueden desplazarse hacia una serie de direcciones diferentes una vez resuelto el problema. Los resultados no sólo se comunican vía canales institucionales, sino también en revistas profesionales o en conferencias. Las redes de comunicación son persistentes y el conocimiento contenido en ellas está disponible para entrar a formar parte de otras configuraciones.

En el modo II, los enlaces de comunicación se mantienen a través de canales parcialmente formales y parcialmente informales. Otra característica es que la información se comparte libremente entre todos aquellos que han participado el proceso de generación de conocimiento durante el desarrollo mismo. Finalmente es importante mencionar que la transdisciplinariedad es dinámica: “tal como sucede con los descubrimientos logrados en el modo I, un descubrimiento puede basarse en otro, pero los descubrimientos realizados en el modo II se encuentran fuera de los confines de cualquier disciplina concreta” (Gibbons et al, 1997, p. 17). De este modo, la solución de un problema puede convertirse en el lugar cognitivo desde el cual se efectúen avances posteriores.

Por otro lado, los autores comentan sobre la diversidad organizativa (3) que:

En el modo II, “la producción de conocimiento es heterogénea en términos de las habilidades y experiencia que aporta la gente a la misma. La composición del equipo dedicado a solucionar un problema cambia con el tiempo, y las exigencias evolucionan. Esto no se encuentra planificado ni coordinado por ningún cuerpo central” (Gibbons et al, 1997, p. 17). Hay un aumento en el número de lugares potenciales en los que se puede crear el conocimiento, y la vinculación entre los distintos agentes que participan en esta generación del conocimiento es variada. Hay también variedad en las formas de organización empleadas para afrontar los problemas. La flexibilidad y el tiempo de

respuesta son factores cruciales para adaptarse a una naturaleza cambiante y transitoria. De ahí que sea característico que los grupos estén institucionalizados de forma menos firme. “La gente se reúne en equipos y redes temporales de trabajo, que se disuelven una vez que el problema ha sido solucionado o redefinido. Los miembros pueden reunirse entonces en grupos diferentes, en los que intervienen personas diferentes, y lo hacen a menudo en lugares diferentes para abordar problemas igualmente distintos” (Gibbons et al, 1997, p. 18).

Acerca de la responsabilidad y reflexividad social (4):

Los autores mencionan que la creciente preocupación pública por temas relacionados con el medio ambiente, la salud, las comunicaciones y la intimidad; ha estimulado la producción de conocimiento. De este modo, no es sorprendente notar que la responsabilidad social ha impregnado el modo II. La investigación es sensible a temas de bienestar y preocupación por el impacto desde un principio. Forma parte del contexto de aplicación.

Finalmente, los autores comentan que hay distintos controles de calidad (5) para valorar la calidad del trabajo y de los equipos en ambos modos:

En el modo I, la calidad se define a partir de juicios de revisión de las contribuciones por quienes se consideran iguales, es decir, aquéllos que han sido juzgados como competentes a partir de sus contribuciones previas a la disciplina. El modo II añade criterios a partir del contexto de aplicación como son costo, aceptación, etc. Aunque estos atributos no se encuentren presentes en todos los casos de producción modo II, juntos tienen una coherencia que proporciona estabilidad para diferenciar esta forma de generación de conocimiento. En el modo I, la creatividad individual resalta como la fuerza impulsora del desarrollo, mientras el aspecto colectivo se incluye en los elementos de control bajo la figura de consenso en la comunidad. En el modo II, la creatividad es un fenómeno grupal, la contribución individual es parte del proceso y el control de calidad se ejerce como un proceso socialmente ampliado que acomoda un proceso de aplicación dado. Como en el modo I, hay una acumulación del conocimiento y especialización del mismo a través de repetidas configuraciones de recursos humanos, en formas de organización diversas,

flexibles y **transitorias**, transdisciplinarias y heterogéneas, adaptativas y contextuales. Específicamente los autores dicen que “de las ciencias biomédicas³ y medioambientales podrían extraerse numerosos ejemplos” (Gibbons et al, 1997, p. 22).

Aunque distintos, los modos I y II interactúan. “Los especialistas formados en las ciencias disciplinares entran en la producción de conocimiento del modo II. Aunque algunos pueden regresar a su base disciplinar original, otros elegirán seguir un sendero de resolución compleja de problemas que viene determinado por una secuencia de contextos de aplicación. Y a la inversa, algunos resultados de la producción transdisciplinar de conocimiento, en particular cuando se trata de nuevos instrumentos, pueden entrar a formar parte de toda una serie de ciencias disciplinares y fertilizarlas” (Gibbons et al, 1997, p. 22).

2. La curva de la sonrisa en cadenas globales de valor

Las cadenas de valor se refieren a una división de las actividades de producción, de tal modo que las empresas se dediquen a aquéllas actividades en las que presenten ventajas competitivas mientras subcontratan las demás actividades (Baldwin & Low, 2013). En un contexto global, hay una internacionalización de las actividades de producción y con ello una globalización de las cadenas de valor. Pero la esencia es la misma: “las cadenas globales de valor se enfocan en la secuencia de valor agregado en una industria, desde concepción, pasando por producción hasta uso final” (Gereffi & Fernández-Stark, 2016, p. 6).

Respecto a la globalización, Baldwin (2012) indica que la internacionalización de las actividades productivas se ha construido progresivamente desde la industrialización. De manera más precisa, explica cómo la tecnología ha guiado este proceso, aunado a las estrategias de las empresas. El autor menciona, que desde 1830 “el vapor lo hizo posible y las economías de escala lo hicieron rentable”, al reducirse los costos de intercambio y de

³ Considerando que la bioimpresión 3D pertenece a las ciencias biomédicas, se puede asumir entonces que el modo de producción de conocimiento en este campo se inclina a ser de modo II.

producción simultáneamente. Del mismo modo, habla sobre cómo desde 1970 “las tecnologías de la información lo hicieron posible y las diferencias de salario lo facilitaron”, al reducirse los costos de comunicación y de deslocalización.

Por otra parte, según el Manual de Oslo (EUROSTAT & OCDE, 2018), en términos generales, se define la innovación como “la introducción de un nuevo o significativamente mejorado producto⁴ o proceso⁵ (o combinación de los mismos) que difiere significativamente de los productos o procesos anteriores de la unidad y que se ha puesto a disposición de los usuarios potenciales (producto) o ha sido puesto en uso por la unidad (proceso)” (OECD & EUROSTAT, 2018, p. 60). Considerando entonces esta definición y el análisis de Baldwin, podemos decir que la innovación impulsa la globalización. El autor mismo menciona que las cadenas globales de valor “están evolucionando rápidamente [...] debido a su propio impacto y a la rapidez de las innovaciones en tecnológicas de la comunicación, fabricación integrada por computadora e impresión 3D” (Baldwin & Low, 2013, p. 13).

Estos aspectos son de interés porque se ha demostrado que una economía diversificada, próspera y dinámica se logra a partir de la participación en las cadenas globales de valor, ya que la economía global se estructura en torno a ellas (Gereffi & Fernández-Stark, 2016). Pero ¿cómo posicionarse en las cadenas globales de valor y escalar a aquellas actividades que generan mayor valor agregado?

El proceso de inserción y posicionamiento en las cadenas globales de valor es el de “escalamiento económico”, esto es, el movimiento de una empresa, región o país a actividades de mayor valor en las cadenas globales de valor para aumentar beneficios (como son seguridad, utilidades, desarrollo de habilidades, entre otros) a partir de su adhesión a la producción global (Gereffi & Fernández-Stark, 2016).

⁴ Al hablar de producto, se emplea el término innovación.

⁵ Al hablar de proceso, se emplea el término actividades de innovación.

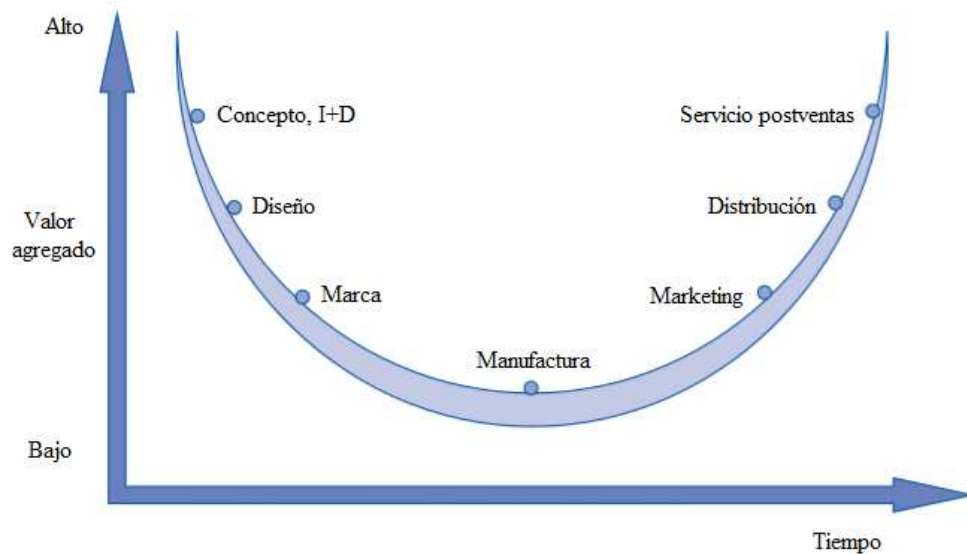
Para lograr posicionarse exitosamente en las cadenas globales de valor se debe buscar un escalamiento del valor agregado generado por las actividades productivas desempeñadas. Dichas actividades pueden ubicarse de acuerdo al momento en el que generan valor sobre el producto: antes, “río arriba” (diseño, propiedad intelectual, marca, etc.) o después, “río abajo” (p.e. publicidad, marketing, venta al por menor) del proceso de manufactura (Low, 2013).

Uno de los diagramas más reproducidos para abrir discusiones respecto a las cadenas globales de valor, retoma esta lógica cronológica respecto al proceso de fabricación. Se trata de la *curva de la sonrisa* propuesta por el fundador de Acer, Stan Shih (Baldwin & Low, 2013). La *curva de la sonrisa* ilustra las oportunidades existentes en la cadena de valor para producir componentes de alto o bajo valor agregado, “río arriba” o “río abajo” en el proceso de manufactura.

Siguiendo la Figura 1 para entender la *curva de la sonrisa*, primero debe considerarse que el eje vertical no representa la proporción absoluta en la que las actividades agregan valor al precio final del producto (las fuentes de valor no son aditivas), ni se trata tampoco de dar un valor exacto al valor que generan. El punto es localizar las actividades de acuerdo al nivel aproximado de valor que agregan y el orden temporal que ocupan en la producción (eje horizontal). Cabe mencionar, que este diagrama puede emplearse como herramienta analítica a nivel producto, sector o inclusive para estudiar una economía completa.

Las actividades ilustradas en la Figura 1 son aquellas actividades principales que empresas y trabajadores ejecutan para generar un producto, aunque pueden desglosarse con mayor precisión para tener más detalle sobre las actividades involucradas en la producción, como se hará en la siguiente sección para actividades de I+D. Cabe mencionar que las distintas actividades comprometidas en la cadena global de valor pueden concentrarse en una sola empresa o dividirse entre varias (Gereffi & Fernández-Stark, 2016).

Figura 1: La curva de la sonrisa de Stan Shih



Fuente: Traducción de Baldwin & Low (2013, p. 73)

Respecto al proceso de escalamiento, Gereffi & Fernández-Stark (2016) identifican las distintas formas existentes para insertarse y posicionarse en las cadenas globales de valor, con lo cual conocemos que existen los siguientes procesos de escalamiento (Fernández-Stark et al, 2011):

- (1) **Por entrada:** primera participación en cadenas globales de valor.

El foco se encuentra en la producción. Los insumos pueden ser importados dada la escasa cantidad o calidad de los mismos a nivel local.

Figura 2: Escalamiento por entrada

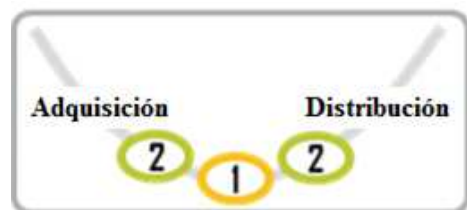


Fuente: Traducción de Moavenzadeh (2015)

- (2) **Funcional:** cumplir nuevas funciones.

Hay un rango de funciones más amplio al abastecer o abastecerse de insumos y entrar en la parte logística.

Figura 3: Escalamiento funcional



Se puede realizar el diseño o desarrollo de producto mediante colaboraciones o estableciendo un nuevo canal de mercado.

Se adquieren capacidades en post-producción, con lo cual se logra desarrollar productos bajo su propio nombre de marca.

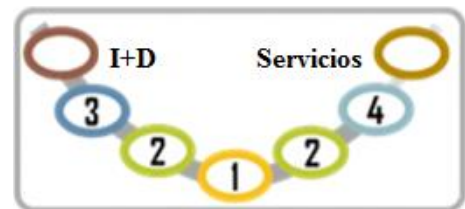


Fuente: Traducción de Moavenzadeh (2015)

- (3) **Por encadenamiento:** proveer insumos y servicios a multinacionales.
- (4) **Por proceso:** reorganizar el sistema de producción, introducir nueva tecnología.

Figura 4: Escalamiento por proceso

Hay un incremento en la productividad a partir de nueva inversión en capital. Hay una mejora en tecnologías y/o logística, reduciendo el tiempo e incrementando la flexibilidad de la producción.

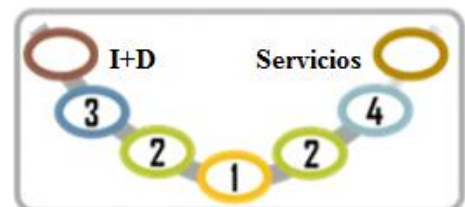


Fuente: Traducción de Moavenzadeh (2015)

- (5) **Por producto:** dedicarse a productos más sofisticados.

Incrementa el valor unitario al desarrollarse productos más complejos, que requieren un aumento de capacidades. Debe buscarse moverse de insumos de bajo costo a bienes de mayor valor.

Figura 5: Escalamiento por producto

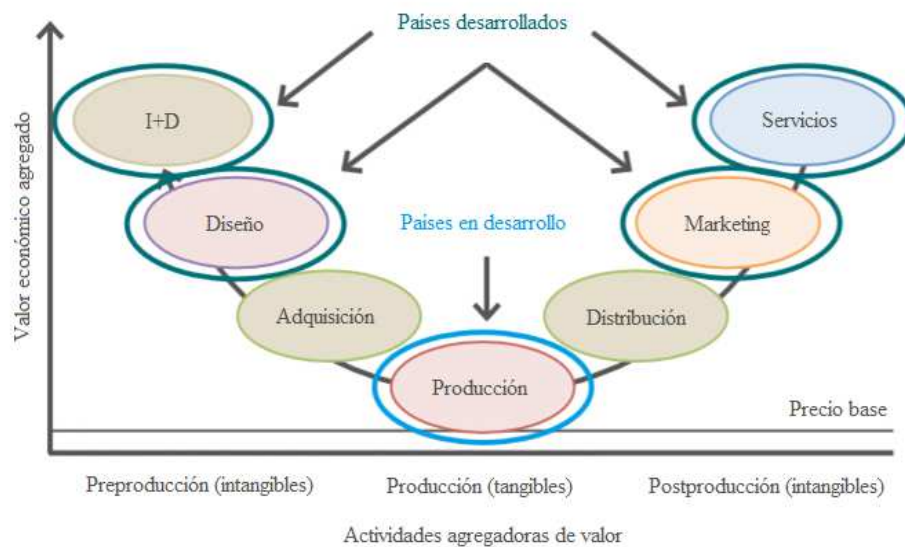


Fuente: Traducción de Moavenzadeh (2015)

- (6) **Por cadena o intersectorial:** moverse a nuevas industrias (inserción en una nueva *curva de la sonrisa*).
- (7) **Final:** moverse a mercados más sofisticados que requieren el cumplimiento de estándares nuevos y más rigurosos (desplazamiento de *la curva de la sonrisa* hacia arriba).

Sobre este mismo análisis, los autores indican que los patrones de escalamiento cambian de acuerdo a las características de las industrias y los países, regiones o empresas. El desafío consiste en escalar en la cadena de valor de la industria considerando las cualidades con las que se cuenta. Un aspecto importante que debe tomarse en cuenta es que los países desarrollados usualmente se dedican a las actividades de alto valor agregado mientras los países en desarrollo se concentran en las actividades de menor valor agregado (Figura 6).

Figura 6: La curva de la sonrisa de las actividades de alto valor agregado en las cadenas globales de valor



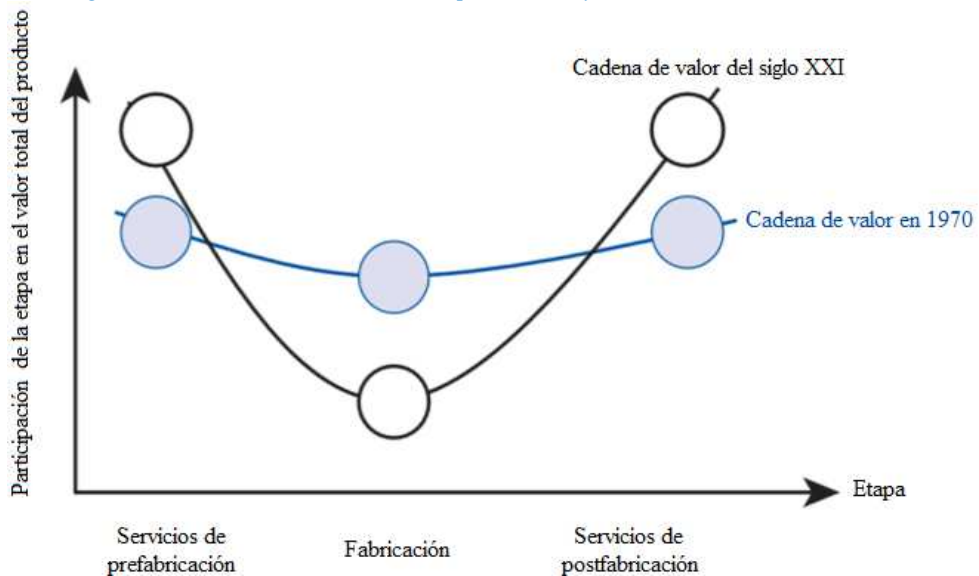
Fuente: Traducción de Gereffi & Fernández-Stark (2016, p. 14)

En el curso de esta investigación, el análisis se enfocará en las actividades de I+D ya que se encuentran entre las que generan mayor valor agregado (junto con servicios) y debido a que, de acuerdo al Manual de Oslo “la I+D es una de las actividades que pueden generar innovaciones o mediante de la cual se pueden adquirir conocimientos útiles para la

innovación” (OECD & EUROSTAT, 2018, p. 45). Considerando que la innovación genera cambios en la dinámica de la cadena (forma de la curva), y en la inserción de los países en las mismas (proceso de escalamiento), estudiar las actividades de I+D permite entonces conocer las primeras señales sobre estos cambios, al ser una actividad generadora de innovación.

Las Figuras 1 y 6 reflejan cómo, efectivamente, de acuerdo a la *curva de la sonrisa*, las actividades de I+D son aquéllas que generan más valor al realizarse un proceso de escalamiento “río arriba”. Debe considerarse además que, según Baldwin (2013), hay una profundización de la *curva de la sonrisa* (véase Figura 7). Esto último debido a que, pese a la globalización, no todas las actividades de producción se mudaron, y, curiosamente, el valor agregado se alejó de las etapas deslocalizadas.

Figura 7: La curva de la sonrisa, etapas buenas y malas de las cadenas de valor



Fuente: Traducción de Baldwin & Low (2013, p. 27)

De acuerdo a las Figuras 4 y 5, dedicarse a actividades de I+D en cadenas globales de valor implica un escalamiento por proceso o producto. Hay entonces un posicionamiento “río arriba” a partir de la reorganización de la producción, la introducción de nueva tecnología y/o el desarrollo de productos más sofisticados. Pero, de acuerdo a lo mencionado en el capítulo anterior, el desarrollo experimental es un tipo de actividad de I+D. Debe entonces

considerarse además el escalamiento funcional (Figura 3) que involucra la actividad productiva de diseño o desarrollo. Completando entonces la información, tenemos que dedicarse a actividades de I+D en cadenas globales de valor implica un escalamiento por proceso, producto o funcional (Figura 3).

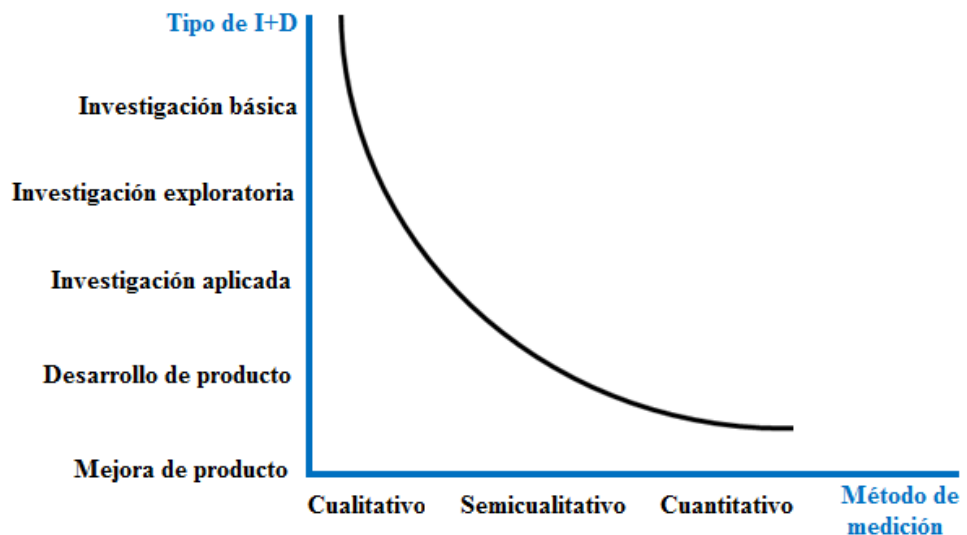
3. Marco analítico

Hemos visto entonces cómo I+D se vincula con el modelo de la *curva de la sonrisa* al colocarse como aquella actividad productiva que genera más valor “río arriba” de la cadena global de valor. Además, dedicarse a este tipo de actividades prepara los procesos de escalamiento. De ahí que se planteó el posicionar los distintos tipos de I+D sobre la *curva de la sonrisa* para comparar el nivel de valor asociado a las actividades de I+D de las universidades y, con ello, vislumbrar si se está preparando un proceso de escalamiento.

Pero se presenta un desafío. Sobre la *curva de la sonrisa* no se desglosan los diferentes tipos de I+D, cuando interesa considerar la tipología del Manual de Frascati (OECD, 2015) para dar profundidad al análisis. Debe encontrarse entonces un punto común entre la *curva de la sonrisa* y la clasificación del tipo de actividades de I+D del Manual de Frascati (OECD, 2015) para ubicar estas actividades por tipo sobre dicho diagrama analítico.

En la búsqueda de esto, se revisaron trabajos adicionales al Manual de Frascati referentes a la medición de las actividades de I+D por tipo. Uno de los primeros trabajos encontrados que abordan el tema es el de Pappas & Remer (1985), en el cual se relaciona el tipo de I+D con los distintos métodos de medición que se tienen para captar su desempeño, con el fin de localizar qué método es más eficaz para medir los rendimientos de las actividades de I+D de acuerdo a sus características (Figura 8).

Figura 8: La relevancia de los distintos métodos de medición



Fuente: Reelaboración de Drongelen & Cook (1997)

En esta lógica, los autores precisan que la investigación básica suele realizarse sin conocerse cuál es el uso que se le dará al conocimiento generado, con lo cual una evaluación cualitativa sería la adecuada. Por el contrario, proyectos de mejora de producto buscan resultados en el mercado con lo cual se pueden someter a evaluaciones cuantitativas. Dicha diferenciación entre los extremos es aceptada por Drongelen & Cook (1997), pero estos autores mencionan que la definición de los tipos de I+D que se encuentran entre esta dos categorías (investigación exploratoria, investigación aplicada y desarrollo de producto) no es tan evidente. Con lo cual proponen una nueva clasificación de los tipos de I+D de tal modo que:

- Se mantienen las categorías de investigación básica e investigación aplicada
- Investigación básica y exploratoria se unen en una sola categoría (investigación básica).
- Desarrollo y mejora de producto se unen en una sola categoría (desarrollo experimental)

Se clasifican entonces las actividades de I+D en investigación básica, investigación aplicada y desarrollo experimental; categorías que coinciden con las que se contemplan en la presente investigación tomando como referencia el Manual de Frascati (OECD, 2015).

Tomando en consideración esta lógica, Kim & Oh (2002) plantean tres tipos de I+D: investigación básica, investigación aplicada e investigación comercial (véase Tabla 2). Si bien existe un cambio en el nombre de una de las categorías (desarrollo experimental remplazándose por el término investigación comercial) los mismos autores mencionan que se sigue manteniendo la misma esencia en definiciones. Con lo cual se puede decir que sigue habiendo coincidencia con la clasificación de los tipos de I+D del Manual de Frascati (OECD, 2015).

Kim & Oh (2002) precisan además el periodo de tiempo que implica llevar cada tipo de I+D (véase fila 3, Tabla 2). Considerando entonces que en esencia la categorización de los tipos de I+D de Kim & Oh (2002) coincide con la del Manual de Frascati (OECD, 2015), se puede atribuir temporalidad a investigación básica (pura y orientada), investigación aplicada y desarrollo experimental (véase Tabla 3).

Tabla 2: Tipos de I+D

	Investigación básica	Investigación aplicada	Investigación comercial
Características	Investigación experimental Observación de los hechos Requiere investigación individual y concentración	Desarrollo de tecnologías clave a partir de investigación básica Basada en un producto comercial	Desarrollo comercial del producto Evaluada por su éxito en mercado
Periodo de tiempo	Más de 10 años	5-10 años	1-5 años
Aplicabilidad	Alta Genérica	Media	Baja
Ejemplo	Investigación en los atributos fundamentales del dióxido de carbono	Desarrollo de sustitutos para refrigerantes Freon	Desarrollo de refrigeradores ahorradores de energía

Fuente: Traducción de Kim & Oh (2002)

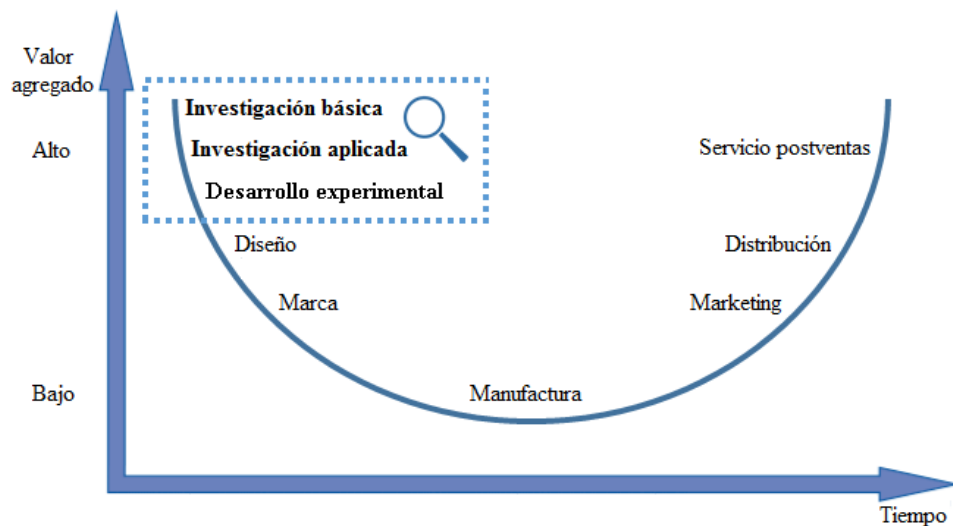
Tabla 3: Tiempo requerido por tipo de I+D

Tipo de I+D	Periodo de tiempo
Investigación básica (pura y orientada)	Más de 10 años
Investigación aplicada	5-10 años
Desarrollo experimental	1-5 años

Fuente: Elaboración propia

Pensando en el eje horizontal “tiempo” de la *curva de la sonrisa*, tenemos entonces un punto común entre el diagrama analítico y los tipos de I+D: la temporalidad. Tomando como referencia la clasificación de las actividades de I+D por tipo y periodo de tiempo requerido, se pueden desglosar las actividades de I+D sobre la *curva de la sonrisa* de acuerdo al eje tiempo (véase Figura 9). Siguiendo la lógica del eje horizontal, tenemos primero las actividades de I+D más longevas y al último las actividades de I+D que requieren un periodo de tiempo más corto. El primer aspecto a considerar para clasificar el tipo de I+D será entonces la referencia del “tiempo” requerido para realizar la investigación, aspecto que a su vez es recomendado considerar por el Manual de Frascati (OECD, 2015, p. 53) para identificar el tipo de I+D realizada.

Figura 9: Un acercamiento a las actividades de I+D sobre la curva de la sonrisa



Fuente: Elaboración propia

Cabe mencionar que, si bien los tipos de I+D se colocan de manera secuencial, esto no forzosamente significa que su relación sea lineal o se pase de una a otra secuencialmente.

Se trata únicamente de colocarlas de acuerdo a su orden temporal en la producción, pues, tanto las distintas actividades de producción ilustradas en la *curva de la sonrisa*, como los distintos tipos de I+D, tienen una relación dinámica.

El segundo aspecto a considerar para clasificar las actividades de I+D por tipo será el “objetivo” de la investigación llevada a cabo, siendo éste otro aspecto diferenciador de los tipos de I+D destacado por sus definiciones (véase Tabla 4).

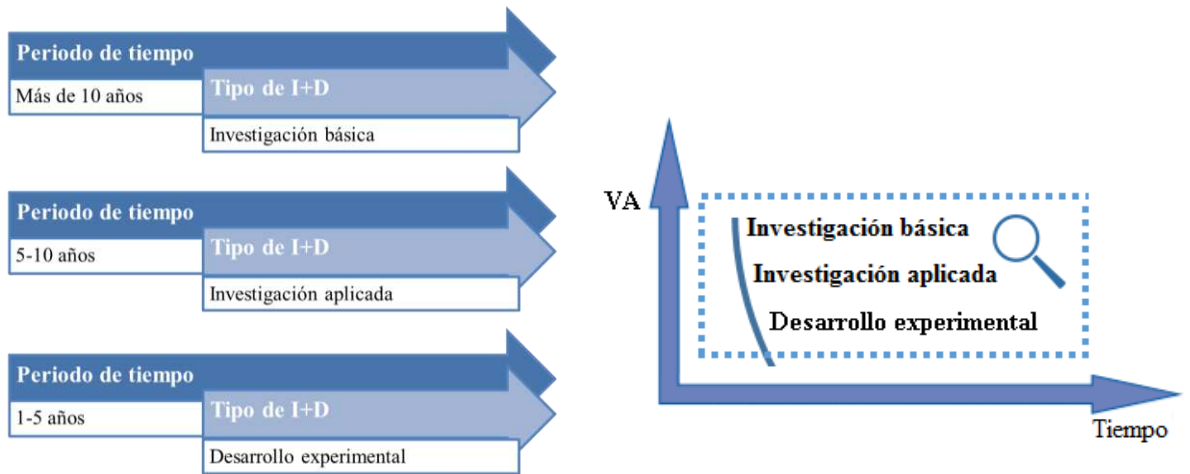
Tabla 4: Objetivo por tipo de I+D

Tipo de I+D	Objetivo
Investigación básica	Adquirir nuevo conocimiento de los fundamentos subyacentes de los fenómenos y hechos observables
Pura	Sin hacer un esfuerzo activo para aplicar los resultados de investigación a problemas prácticos
Orientada	Constituyendo los fundamentos para la solución de un actual o futuro, problema o posibilidad, reconocido o esperado
Investigación aplicada	Dirigida a un objetivo específico o práctico
Desarrollo experimental	Producción de nuevos productos o procesos, o para mejorar los productos o procesos existentes

Fuente: Elaboración propia a partir de OECD (2015, p. 45-50)

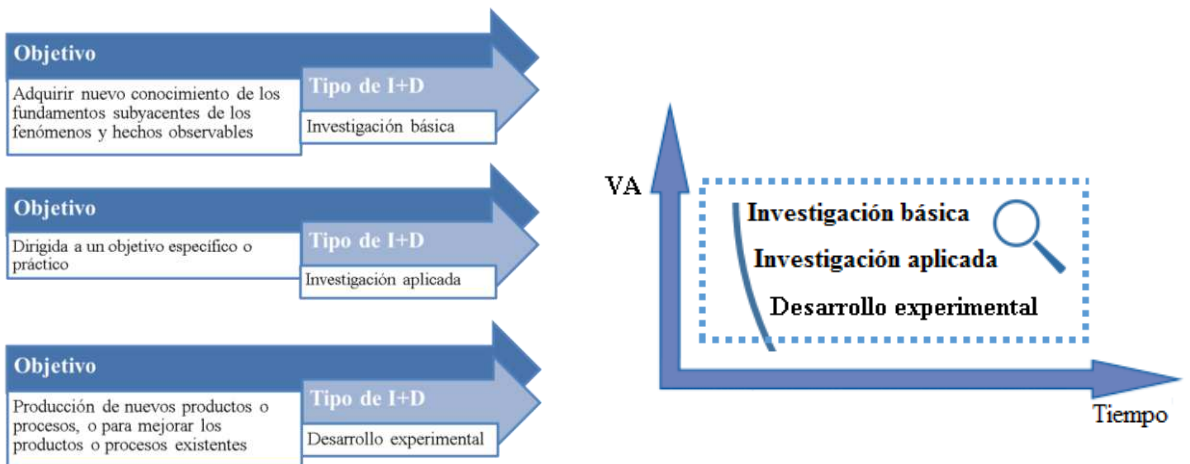
Las figuras 10 y 11 indican cómo se clasificará el tipo de I+D realizada y su posición sobre la *curva de la sonrisa* de acuerdo a “periodo de tiempo” y “objetivo” de la investigación llevada a cabo. De este modo se logra asociar un nivel de valor agregado al tipo de investigación.

Figura 10: Tipo de I+D y posición sobre la curva de la sonrisa de acuerdo a temporalidad



Fuente: Elaboración propia

Figura 11: Tipo de I+D y posición sobre la curva de la sonrisa de acuerdo a objetivo



Fuente: Elaboración propia

En suma, en este capítulo se han presentado los conceptos y marco analítico que serán considerados para analizar las actividades de I+D en bioimpresión 3D en las universidades contempladas. Se han dado detalles sobre los tipos de I+D y la *curva de la sonrisa* para comparar actividades de I+D de acuerdo a su posición en el diagrama y se han abordado los modos de producción de conocimiento para analizar las dinámicas de trabajo de los equipos de investigación. A continuación se ofrecen detalles sobre la tecnología.

CAPÍTULO II: TECNOLOGÍA

En este capítulo se da profundidad al entendimiento de nuestro objeto de estudio al precisar detalles sobre la tecnología. En el primer apartado se describen aspectos relativos a impresión 3D, destacando los beneficios que presenta su incorporación y especificando las ventajas implicadas por su uso en el campo médico. En el segundo apartado se describe la clasificación de aplicaciones médicas de impresión 3D, rescatando dónde se coloca la bioimpresión 3D y detallando otros aspectos particulares de la tecnología. Finalmente en el tercer apartado se explica la relación de la *curva de la sonrisa* con impresión y bioimpresión 3D.

1. Impresión 3D: beneficios generales y ventajas en el campo médico

En 1984, Charles Hull experimentaba con resinas líquidas que se solidificaban al exponerse a luz ultravioleta para la empresa Ultra Violet Products (California). Como resultado, no solo lograría la solidificación de la resina por capa, sino que pensaría en cómo repetir el proceso de tal forma que se hiciera un objeto tridimensional al desplazar las primeras capas solidificadas hacia abajo. El descubrimiento de Hull sería bautizado como estereolitografía. En 1986, Charles Hull obtiene la patente de nuevo proceso y funda la empresa 3D Systems⁶, hoy en día una de las líderes mundiales del mercado de impresoras 3D (Vazhnov, 2013; Jose et al, 2016).

Existen registros anteriores referentes a la creación de un objeto tridimensional por capas⁷, pero al ser el primero que generaría un impacto comercial fuerte, la fecha de creación del

⁶ La contribución de Hull ha sido tal que se le concedió el Premio al Inventor en la categoría de países no europeos por parte de la Oficina Europea de Patentes en 2014 (Miravalls, 2014).

⁷ Han sido identificados por ejemplo: el uso de un proceso similar por Joseph Niépce en 1822 para la elaboración de una imagen del papa Pío VII, o los otorgamientos de patentes por un invento muy parecido a Otto Munz en 1956 y a Wyn Kelly Swaison en 1977 (Vazhnov, 2013).

invento de Hull marcaría el nacimiento de lo que hoy en día se conoce como impresión 3D⁸ (Vazhnov, 2013). El proceso de adición de capas conforma la esencia de la definición de impresión 3D, dicha tecnología definiéndose como aquel proceso en el que se producen objetos tridimensionales fusionando o depositando materiales, capa por capa, a partir de un documento digital (Rodríguez et al, 2017).

Pese a sus tres décadas de existencia, el uso de la tecnología de impresión 3D se ha proliferado apenas en la última década. Esto gracias a los avances que han experimentado los tres elementos base que la componen: hardware¹⁰, software¹¹ y materiales¹² (llamado triángulo estratégico de la impresión 3D). Los avances en cada una de estas áreas han permitido una mejora sustancial en términos de calidad, al ampliarse las posibilidades de diseño, precisión, escala y uso de materias primas. Asimismo, el vencimiento de un conjunto de patentes clave facilitó una baja de precios y, con ello, la entrada al mercado de entusiastas y diseñadores, además de una profundización en las actividades de investigación y desarrollo (Rehnberg & Ponte, 2018). En suma, estos dos factores facilitaron la incorporación de la tecnología de impresión 3D en distintos campos. Como indica Vazhnov (2013, p. 9), tenemos máquinas que “derriten titanio con láser, otras que aplican solución

⁸ El término de impresión 3D es el nombre comercial que se le ha dado a la tecnología. Son sinónimos de impresión 3D: manufactura aditiva, impresión tridimensional, prototipado rápido o tecnología de forma libre (Ventola, 2014). Aunque cabe señalar que manufactura aditiva no es un término exclusivo a impresión 3D, sino que engloba todas las técnicas de fabricación realizadas por la adición de material para fabricar nuevos componentes. El término de impresión 3D es derivado del término prototipado rápido y corresponde a un tipo determinado de fabricación o tecnología aditiva.

⁹ Cabe mencionar que en el mismo año otro evento importante en el “nacimiento” de la impresión 3D sería el desarrollo por Carl DeCard (estudiante de la Universidad de Austin Texas) del proceso de impresión selectiva de sintetización por láser (SLS) (Jose et al, 2016).

¹⁰ Entendiendo por hardware el conjunto de elementos físicos que constituyen la impresora 3D.

¹¹ Software refiriéndose al conjunto de programas y rutinas que permiten a la impresora 3D realizar determinadas tareas. En el caso de impresión 3D se tiene: (1) software para asistir la fabricación por computadora (CAM) y (2) software para asistir el diseño por computadora (CAD).

¹² Materias primas con las cuales se puede imprimir.

adhesiva sobre polvo de plástico o madera, las que usan “tinta biológica” para imprimir órgano y tejidos, o inclusive chocolate para imprimir galletas”. El mismo autor presenta una serie de beneficios derivados por la incorporación de la impresión 3D:

(1) Uso más económico de recursos:

No hay desperdicio de insumos ya que el proceso de impresión implica realizar directamente el objeto tridimensional al fusionar o depositar exactamente el material necesario de acuerdo a las precisiones del documento digital. Esto no solo baja los costos, sino que lleva a una economía más sustentable.

(2) Control sobre la estructura interior de los objetos:

En lugar de producirse objetos con estructura interior sólida, se puede optimizar la estructura interior de los objetos para lograr una segunda disminución de costos.

(3) No aumento de costos conforme a la complejidad:

El autor aquí se refiere a las ventajas que presenta la tecnología para prototipado rápido pues hacerle modificaciones al objeto resulta más barato por métodos de producción aditivos que sustractivos¹³. Se gastan menos tiempo e insumos haciendo una modificación al documento digital para reimprimir el objeto con modificaciones que si se manda hacer un molde para cada modificación, por ejemplo.

(4) Personalización de los productos:

Ligado a la idea presentada en el punto anterior, “la impresora puede imprimir cosas completamente distintas sin ningún cambio en el hardware [...] con lo cual la tecnología de impresión 3D es ideal para producciones que exigen un alto grado de personalización, como coronas odontológicas o prótesis” (Vazhnov, 2013, p. 11).

¹³ El autor profundiza sobre este punto, indicando que se espera la impresión 3D revolucione los procesos de producción, desplazando métodos tradicionales sustractivos no sólo para prototipado rápido, sino para producciones de micro y pequeña escala u omitiendo la relación productor-consumidor al facilitarle al usuario la impresión de objetos desde su casa.

La personalización del producto permite adecuarse a las demandas del cliente o posicionar el producto ofrecido respecto a la competencia.

(5) Incremento de la complejidad del diseño:

Se pueden imprimir objetos más complejos en términos de la interconectividad de las distintas partes que lo componen. El autor nos da el siguiente ejemplo: si uno quisiera imprimir una Torre Eiffel dentro de una esfera con perforaciones, lo mejor que podrían ofrecernos técnicas tradicionales sería crearla por partes y juntar las partes después con tornillos o adhesivos. Pero en el caso de la impresión 3D, se pueden imprimir ambas partes, incluyendo en el diseño “andamios¹⁴”, de tal modo que una impresión sea suficiente para tener el producto en su versión final. Si nos damos cuenta, esto implica un cambio en el orden en el que se usa sustracción y adición para la producción de un objeto. Métodos tradicionales de producción colocan la sustracción antes de la adición; mientras que aquí la adición precede la sustracción.

Sobre la valía de la tecnología, Rehnberg & Ponte (2018) mencionan que se espera la impresión 3D genere un boom en los próximos años, siendo parte de la “cuarta revolución industrial” (Schwab, 2016). Rehnberg & Ponte (2018) nos indican que de acuerdo a la consultora Gartner (Stamford, 2015), se vendieron 250,000 impresoras en 2015 alrededor del mundo¹⁵, y se espera este número se duplique entre 2016 y 2019, alcanzando un valor estimado de 5.6 mil millones de dólares. Bajo esta misma lógica, JP Morgan elabora una prospectiva de crecimiento de 7 mil millones de dólares del mercado de impresión 3D para 2020 mientras Morgan Stanley’s estima que el mercado de la impresión 3D alcanzará un

¹⁴ Entendiendo por andamios, aquellos elementos estructurales que ayudan a soportar la pieza. En el ejemplo dado por el autor se trataría de crear andamios para soportar la Torre Eiffel dentro de la esfera en el proceso de impresión y se retirarían (o no, dependiendo del resultado final deseado) una vez terminado el objeto a través de las perforaciones de la esfera.

¹⁵ La demanda de impresoras 3D proviene de productores, pero también de consumidores privados, *startups* e institutos de aprendizaje.

valor de 22 mil millones de dólares para la misma fecha (Columbus, 2015). McKinsey por su parte, afirma que, considerando el impacto sobre otras industrias globales, el valor de mercado sería de 550 mil millones de dólares (Cohen et al, 2014). La relevancia de la impresión 3D no radica sólo en que es una tecnología que puede incorporarse a múltiples terrenos, sino que además posee el potencial de generar una transformación importante en ellos, de los cuales, la medicina es uno de ellos (Vazhnov, 2013) tal vez sea el más importante. Como menciona Ventola (2014) se espera que la impresión 3D con aplicación médica revolucione el cuidado de la salud. La misma autora menciona que las ventajas implicadas por el uso de dicha tecnología en el campo médico son:

(1) La personalización de los productos:

Imágenes médicas como resonancias magnéticas o tomografías computarizadas rescatan las características anatómicas de cada ser. Dichas imágenes pueden ser adaptadas para su impresión de tal modo que se crean estructuras médicas personalizadas al paciente.

(2) La eficiencia respecto a los costos:

Se disminuyen costos en el caso de impresiones personalizadas, de alta complejidad o que requieran modificaciones constantes. Al mismo tiempo, se reducen costos al reducirse la pérdida de material. Por ejemplo, los fármacos pueden imprimirse en dosis personalizadas al paciente de una manera más rentable.

(3) La productividad incrementada:

Como se mencionó anteriormente, la impresión 3D representa un costo inferior en relación a los métodos de producción tradicionales para la elaboración de ciertas piezas. Pero además posee un tiempo de producción inferior a los métodos sustractivos, ya que éstos implican un fresado, forjado y tiempo largo de entrega.

(4) La democratización del área:

La naturaleza digital de los archivos de impresión permite su fácil intercambio, lo cual permite que las personas sólo necesiten de una impresora para introducirse en el tema de aplicaciones médicas de la impresión 3D en el caso de productos relativamente sencillos.

(5) La mayor cooperación en la elaboración de proyectos:

Debido a la diversidad de campos involucrados para proyectos más complejos, resulta natural que se propicie un trabajo multidisciplinario entre expertos. Dicha cooperación se verá facilitada por el uso de archivos digitales, con lo cual inclusive se podrá pasar por encima de las barreras geográficas.

2. Aplicaciones médicas de impresión 3D y bioimpresión 3D

Ventola (2014) también ofrece una clasificación de las aplicaciones médicas existentes de la impresión 3D, con lo cual tenemos:

(1) Fabricación de tejido y órganos

Esta aplicación se dirige directamente a la resolución de problemas de trasplante. La idea consiste en poder facilitar tejido y órganos creados a partir de las células del paciente. Esto no solo resuelve el problema de encontrar donadores, sino que el tejido y órganos no serían rechazados al ser completamente compatibles. Cabe mencionar que, en lo que refiere a la impresión de órganos, hay una distinción entre órganos simples (avasculares, aneurales, alinfáticos, delgados o huecos, y que se nutren por la difusión de la vasculatura del paciente) y órganos complejos (que requieren la construcción de estructuras multicelulares precisas con una integración de red vascular). Si bien se han creado exitosamente órganos simples, para lograr imprimir órganos complejos es necesario superar el desafío de la vascularización¹⁶. Como comentario final, es importante mencionar sobre esta aplicación que, se

¹⁶ “La vasculatura funcional debe ser impresa en los órganos fabricados asegurando el intercambio de oxígeno/gas, los factores de crecimiento y la eliminación de productos residuales de las células; factores necesarios para la maduración durante la perfusión. Aunque el enfoque convencional de ingeniería de tejidos no es ahora capaz de crear órganos vascularizados complejos, la bioimpresión parece prometedora para resolver ésta limitación crítica. La colocación precisa de múltiples tipos de células es necesaria para crear órganos gruesos y complejos mientras se construye simultáneamente el sistema vascular o microvascular integrado que asegure el funcionamiento de éstos órganos” (Ventola, 2014, p. 707).

espera algún día que los órganos y tejidos impresos en 3D puedan utilizarse para realizar pruebas, dejando de lado la necesidad de involucrar animales o personas en estos procesos (Vazhnov, 2013).

(2) Creación de prótesis y órtesis

Las prótesis y órtesis personalizadas solucionan un problema ortopédico persistente cuando los implantes o dispositivos estándar no son adecuados para el paciente al no adecuarse completamente a su cuerpo. Otra ventaja presentada es la diversidad de materiales en los cuales se pueden imprimir estos dispositivos, adaptándose a las necesidades específicas del paciente.

(3) Elaboración de modelos anatómicos

Los modelos anatómicos impresos en 3D rescatan las variaciones y patologías que pueda presentar el cuerpo, con lo cual resultan de mucha ayuda para práctica y planeación quirúrgica. Asimismo, son más accesibles que un cadáver o persona, que además suelen reducirse a ser modelos anatómicos genéricos. En suma, se lograría disminuir el tiempo requerido para cirugías y el tiempo de recuperación del paciente mientras además se incrementa el ratio de éxito de la operación.

(4) Desarrollo de fármacos

La impresión 3D permite administrar dosis personalizadas del fármaco de acuerdo a las características del paciente, aumentando su eficacia y disminuyendo el riesgo de generar efectos adversos. Por otro lado, se pueden reformular los medicamentos para que una misma dosis incluya el tratamiento completo del paciente (que puede involucrar uno o distintos ingredientes activos) de tal forma que se mejore el cumplimiento del tratamiento. Además, la impresión 3D representa ventajas la liberación prolongada de fármacos, controlando la entrega de su activo a la zona afectada sin afectar tejido sano.

Ventola menciona que el uso de la bioimpresión se emplea para la elaboración de tejidos y órganos. La información que Rodríguez et al (2017) ofrecen apoyo a la clasificación de la bioimpresión 3D en esta aplicación médica, al indicarse que dicha tecnología consiste en elaborar elementos que reparan, reemplazan o controlan funciones dentro del cuerpo

humano; mientras la impresión 3D se refiere a la tecnología general sin biocomponentes, con lo cual la aplicación médica de esta última consiste en la creación de objetos que no requieran el uso de materiales biológicos como son: prototipos, prótesis, órtesis, herramientas de planificación pre-quirúrgica, plantillas de alineación y modelos quirúrgicos.

Podemos entonces decir que si bien la bioimpresión 3D comparte la lógica aditiva de fabricación que implica la impresión 3D¹⁷, se distingue como un tipo particular de impresión 3D que se caracteriza por el uso de biocomponentes y se refiere específicamente a aquella técnica usada para imprimir células vivas en un patrón prediseñado en el campo médico (Rodríguez et al, 2017). Sobre la definición formal del término, reuniones internacionales sobre el **estado** de la bioimpresión 3D han llevado a discusiones, a partir de las cuales Brian Derby, Doug Chrisey y Vladimir Mironov definieron la bioimpresión 3D como el uso de procesos de transferencia de material para modelar y ensamblar materiales biológicamente relevantes – moléculas, células, tejidos y biomateriales biodegradables – con una organización prescrita para realizar una o más funciones biológicas (Jose et al, 2016).

Es importante mencionar que dadas las adaptaciones a la técnica de bioimpresión 3D que se han hecho para producir constructos implantables biocompatibles, se identifican dos métodos en la impresión de componentes biológicos: (1) el uso de un andamio sin células al que se le incorporan componentes biológicos y (2) constructos con carga celular con el objetivo de recapitular procesos *in vitro*.

Finalmente, respecto a trayectoria histórica, la bioimpresión 3D posee fechas relevantes propias, distintas a las fechas de referencia que se han mencionado en la trayectoria

¹⁷ La fabricación capa por capa de objetos previamente diseñados por computadora, la impresora siguiendo las instrucciones del archivo en el plano x, y para las delimitaciones horizontales del producto; y en el plano z para sus delimitaciones verticales (Ventola, 2014).

histórica de impresión 3D. En 1999, Anthony Atala y su equipo en el Wake Forest Institute for Regenerative Medicine usaron las técnicas de modelo para generar un andamio para vejiga al que después se le incorporaron células del paciente al que se le haría el trasplante. En 2003, Tom Boland de la Universidad de Clemson inscribiría la primera patente relativa a una técnica de bioimpresión basada en tecnología de inyección de tintas. En el mismo año Garbor Forgacs y su equipo en la universidad de Missouri crearon esferoides multicelulares para impresión 3D, técnica que permitiría dar el primer paso en la impresión de células sin andamios. El año siguiente marcaría también un importante cambio en la bioimpresión 3D, cuando el equipo de Douglas Chisey en el Naval Research Laboratory aplicaron tecnología láser para imprimir biotintas y células mamíferas en estructuras 3D (Jose et al, 2016). Finalmente, en 2006 se concede la patente a la invención de “impresión por tintas de células viables”¹⁸ inscrita por la Universidad de Clemson. La primera comercialización de tecnología referente a este campo se da en 2014, cuando la empresa Organovo Holdings, Inc. propone el exVive3D, un modelo de tejido para investigación médica y farmacológica (Rodríguez et al, 2017).

El sector de bioimpresión se ha definido en años recientes pero la caracterización de su valía comercial es ambigua, pero se espera se defina en los próximos años. En 2014 el mercado global de bioimpresión 3D se valuó en 487 millones de dólares (Grand View Research, 2015), y se espera que la cifra siga creciendo con un valor esperado de 2.6 mil millones de dólares para 2024 (Grand View Research, 2018).

3. La *curva de la sonrisa* de la impresión 3D

Una vez entendidas la *curva de la sonrisa* (capítulo I) y las tecnologías de impresión y bioimpresión 3D (apartados anteriores), es posible aclarar cómo se está empleando el

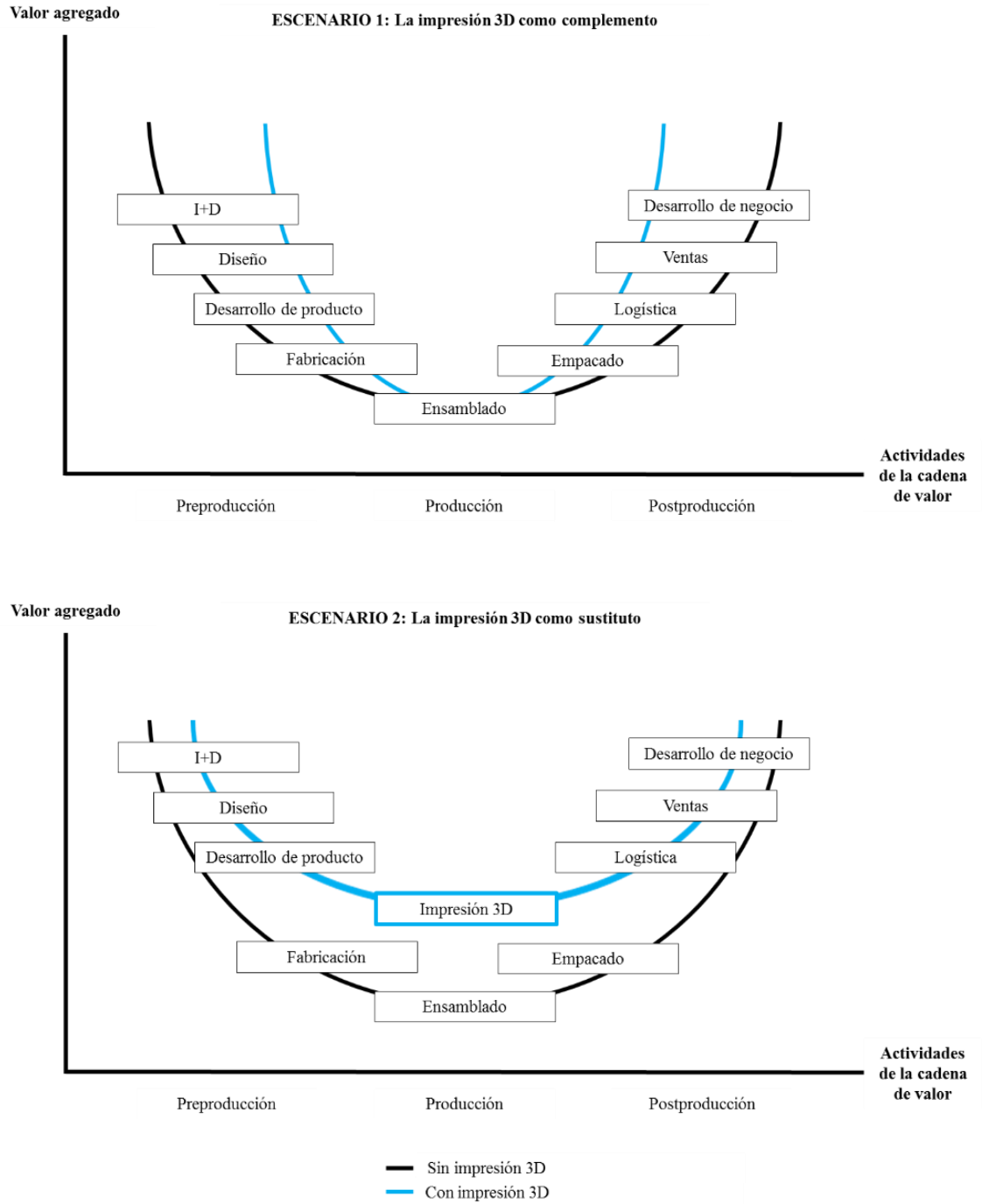
¹⁸ Invención que consistía en un método para desarrollar una matriz de células imprimiendo sustratos por medio de tintas biológicas.

diagrama analítico como representación del futuro de esta tecnología de acuerdo al trabajo de Rehnberg & Ponte (2018).

Los autores aseguran que la impresión 3D es una tecnología revolucionaria que puede alterar la forma en que se organice la producción en tiempo y espacio, modificando a su vez la forma en que se reparte el valor, y con ello la forma de la *curva de la sonrisa*. Cuantificando la valía de las actividades actuales en impresión 3D, Rehnberg & Ponte (2018) sugieren dos tipos de escenarios coexistentes. Su representación se encuentra ilustrada en la Figura 12. En el escenario 1 de complementariedad, se contempla la impresión 3D como producto, ya sea la misma impresora o aquello impreso por la máquina. Como consecuencia, hay una profundización de la curva de la sonrisa. El escenario de sustitución, por otro lado, plantea que la impresión 3D reemplazará procesos de manufactura tradicionales, descentralizando las actividades y procurando que se nivele la distribución de valor. Considerando la bioimpresión 3D como un tipo de impresión 3D, podemos esperar ambos escenarios también se presenten para bioimpresión 3D.

Se puede entonces establecer como válido el tomar prestada la *curva de la sonrisa* como elemento analítico de una futura cadena global de valor de bioimpresión 3D, en la cual las actuales actividades de I+D se insertan dentro de las actividades generadoras de un mayor valor agregado. Esto considerando que los esfuerzos de investigación actuales están generando un reservorio de conocimiento que posteriormente puede ser integrado en aplicaciones comerciales, y, que algunos de los esfuerzos de investigación actuales tienen ya como objetivo una aplicación comercial.

Figura 12: La curva de la sonrisa de la impresión 3D: dos escenarios



Fuente: Reelaboración de Rehnberg & Ponte (2018)

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

En consideración del objeto de estudio, en un principio se identificó la necesidad de emplear herramientas cuantitativas para el análisis considerando que permiten obtener datos respecto a la actividad, productividad y progreso de la ciencia y la tecnología de una determinada disciplina (Vanti, 2000). Es decir, como indicador de resultados de actividades de investigación. Teniendo como referencia el Manual de Frascati (OECD, 2015) para la definición del concepto de I+D, se concretaría la idea de realizar un ejercicio bibliométrico y de patentes, ya que dicha referencia específica que:

- En investigación básica “los resultados [...] por lo general no se venden, sino que se publican en revistas científicas o circulan entre colegas” (OECD, 2015, p. 50) y que además tienen un rango amplio de aplicaciones futuras. En el caso de investigación básica pura los resultados son “sin un uso específico” (OECD, 2015, p. 50) mientras que en investigación básica orientada poseen “una dirección específica” (p. 51).
- En investigación aplicada “los resultados [...] tienen como intención primaria ser aplicados a productos, operaciones, métodos o sistemas” y que “el conocimiento derivado puede ser protegido por instrumentos de propiedad intelectual, incluyendo patentes” (OECD, 2015, p. 51). Asimismo, se especifica que este tipo de investigación se realiza con el fin de determinar posibles usos de los descubrimientos de investigación básica o determina nuevos métodos o formas de alcanzar ciertos objetivos.
- En desarrollo experimental los resultados se relacionan directamente con el desarrollo o mejora de nuevos productos o procesos, dentro del proceso de desarrollo o diseño de producto.

Por tanto, la investigación básica se ve reflejada en publicaciones, la investigación aplicada en patentes y el desarrollo experimental en nuevos o mejorados productos y procesos. Se pueden entonces identificar los tipos de I+D mediante un análisis bibliométrico y patentométrico.

Pero, las actividades de I+D no siempre se ven reflejadas en publicaciones o patentes. Puede haber resultados de investigación básica no publicados, resultados de investigación aplicada no concretados en patentes y/o desarrollo experimental no patentado. De ahí que se considerara pertinente la realización de entrevistas a personas involucradas en actividades de I+D en bioimpresión 3D para la búsqueda de más detalles sobre proyectos llevados a cabo.

Se decidió entonces realizar un estudio de tipo cuantitativo de la estructura y dinámica de las actividades científicas y tecnológicas (Hood & Wilson, 2001) acompañado por instrumentos cualitativos. De este modo, se pensó en realizar entrevistas a expertos relacionados a actividades de I+D en bioimpresión 3D, en las tres universidades contempladas.

Las primeras entrevistas se aplicaron a personas que se encontraban involucradas en actividades de I+D en bioimpresión 3D en la Universidad de Manchester (UoM) al tomarse como referencia. Posteriormente, se aplicaron entrevistas en la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa (UAM-I). Después se realizaron los ejercicios de patentometría y bibliometría. Estas herramientas cuantitativas cumplieron una doble función. Por una parte, lograron validar a la UoM como referencia. Por otro lado, permitieron ofrecer detalles complementarios sobre motivantes y dificultades enfrentadas en las actividades de I+D en bioimpresión 3D llevadas a cabo en las universidades.

El comparativo de la UoM, UNAM y UAM-I se hizo así con una metodología de tipo mixta. Esta integración de métodos cuantitativos y cualitativos se hizo con el fin de triangular información referente al mismo objeto de estudio (Kelle, 2001). La triangulación fue de dos tipos. Por una parte, los resultados llevaron a las mismas conclusiones, buscando una validación mutua en la consideración de la UoM como referencia. Por otro lado, la suma de metodologías permitió referirse a aspectos distintos del mismo fenómeno, permitiendo profundizar el análisis a partir de la complementariedad de los resultados. Aspectos micro ofreciendo una explicación a los resultados macro.

Asimismo, las entrevistas permitieron identificar la dinámica de los distintos tipos de I+D, pues la información obtenida da indicios sobre la forma en que los grupos de investigación avanzan en su estrategia, esto es, cómo definen las acciones a seguir y enfocan el tema de trabajo.

Sobre la delimitación de la muestra, es importante mencionar que el foco se hizo en grupos de investigación de tres universidades para lograr hacer un análisis más profundo y facilitar un estudio comparativo. Se contemplaron la Universidad de Manchester (UoM) y la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), para aprovechar la cercanía que se tiene con investigadores dedicados a bioimpresión en ambas universidades y considerando que la UoM “posee una larga y destacada historia en el desarrollo de bioimpresión 3D” y que “en las últimas décadas, investigadores de la UoM han dedicado un esfuerzo considerable para llevar a cabo avances en el área, incluyendo nuevas tecnologías en biotintas e investigación en bionano” (Rodríguez et al, 2017, p. 5). En la UNAM se consideraron notas periodísticas que indicaron se estaban realizando proyectos avanzados en impresión 3D en el Laboratorio Nacional de Manufactura Aditiva y Digital (MADiT), que presta servicios e infraestructura para apoyar la investigación en impresión 3D con aplicaciones paleontológicas, automovilísticas y biomédicas (Miyamoto, 2015).

De manera adicional, se decidió incluir a la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa (UAM-I) ya que su Centro Nacional de Investigación en Imagenología e Instrumentación Médica (CI3M) cuenta con el proyecto de crear un laboratorio de ingeniería de tejidos provisto de una bioimpresora 3D, con el objetivo de trabajar con células de diferentes tipos para imprimir tejidos vivos (Universidad Autónoma Metropolitana, 2016). Resulta entonces interesante analizar cómo está incursionando la UAM-I en el área de bioimpresión 3D considerando la trayectoria que tiene en aplicaciones médicas de alto nivel (Universidad Autónoma Metropolitana, 2016).

Una vez descritos los procesos por medio de los cuales se eligió qué herramientas emplear, el orden y lógica en los que se llevaron a cabo y explicó la delimitación de la muestra, los

siguientes apartados detallan cómo se trataron los datos de entrevistas (sección 1), publicaciones (sección 2), patentes (sección 3).

1. Entrevistas

En el presente trabajo se realizaron 7 entrevistas semi-estructuradas a expertos realizando actividades de I+D en bioimpresión 3D. En total se entrevistaron 5 académicos líderes de proyectos de investigación en bioimpresión 3D y 2 estudiantes relacionados con el equipo de trabajo: 2 académicos y 1 estudiante de la UoM, 2 académicos y 1 estudiante de la UNAM, y 1 académico de la UAM-I. Las entrevistas se realizaron en persona entre el 4 de octubre de 2017 y el 31 de mayo de 2018, con una duración promedio de 1 hora y 6 minutos. A continuación se presenta el nombre de los entrevistados por universidad, con las respectivas fechas y duraciones de entrevista (Tabla 6) y una descripción curricular de los mismos (Tabla 7).

Tabla 5: Detalles de entrevista

Universidad	Nombre entrevistado	Fecha entrevista	Duración entrevista
UoM	Tony Khalil	04 octubre 2017	20min
	Brian Derby	22 noviembre 2017	47min
	Marco Domingos	14 diciembre 2017	31min
UNAM	Leopoldo Ruíz	17 mayo 2018	32min
	Cristina Piña	22 mayo 2018	1h43min
	Juan Manuel Pérez	22 mayo 2018	48min
		31 mayo 2018	2h12min
UAM-I	Emilio Sacristán	23 mayo 2018	51min

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6: Detalles de entrevistados

Nombre entrevistado	Descripción curricular
Tony Khalil	Estudiante internacional de maestría en Ingeniería Mecánica (UoM).
Brian Derby	Académico de la Escuela de Materiales de la UoM. Director del Centro de Fabricación Digital de Manchester. Formación: doctorado en Ciencias Naturales (Universidad de Oxford) Líneas de investigación: cerámica y vidrios, biomateriales, materiales nanoestructurados, biotintas
Marco Domingos	Académico de la Escuela de Ingeniería Mecánica, Aeroespacial y Civil de la UoM. Editor asociado del Virtual and Physical Prototyping Journal Formación: doctorado en ingeniería mecánica (Universidad de Girona) Líneas de investigación: manufactura aditiva, biomateriales, biomanufactura, impresión de órganos, células madre, sistemas de entrega de medicamentos, regeneración de huesos y cartílago

Leopoldo Ruíz	Académico de la Facultad de Ingeniería de la UNAM. Coordinador del Laboratorio Nacional de Manufactura Aditiva y Digital (MADiT) Formación: doctorado en ingeniería mecánica (UNAM) Líneas de investigación: diseño mecatrónico enfocado al área médica, micromecánica y automotriz; procesos de manufactura aditiva; digitalización 3D; tomografía computarizada por rayos X
Cristina Piña	Académica de la Facultad de Ciencias de la UNAM. Presidenta del Consejo de Administración de la empresa Biocriss. Formación: doctora en física (UNAM) Líneas de investigación: síntesis de materiales cerámicos y poliméricos para la sustitución de hueso humano, pruebas de biocompatibilidad, obtención de membranas de colágena, producción de nanocristales de hidroxapatita
Juan Manuel Pérez	Estudiante de maestría en Ciencias e Ingeniería en Biomateriales (UNAM)
Emilio Sacristán	Académico del Departamento de Ingeniería Eléctrica de la UAM-I. Director del Centro Nacional de Investigación en Imagenología e Instrumentación Médica (CI3M). Formación: doctor en Ingeniería Biomédica (Instituto Politécnico de Worcester) Líneas de investigación: medicina, imagenología por resonancia magnética, cirugía experimental

Fuente: Elaboración propia

Se diseñó y siguió una guía de entrevista de elaboración propia conformada por 18 preguntas abiertas (Anexo 4). Se retranscribió manualmente cada una de las entrevistas para su análisis. En una primera etapa se rescataron los temas abordados por cada entrevistado (columna 2, Tabla 8). En una segunda etapa, estos temas se agruparon en 9 categorías, de tal modo que se pudiera hacer el comparativo (columna 1, Tabla 8). Las categorías implican la mención de:

- (1) Proyectos relacionados a bioimpresión 3D o aplicaciones médicas de impresión
- (2) Personas involucradas en los proyectos y formación
- (3) Habilidades y/o conocimientos desarrollados con el proyecto
- (4) Colaboraciones
- (5) Detalles sobre el equipo con el que se cuenta, su acceso y uso
- (6) Dificultades enfrentadas
- (7) Financiamiento de los proyectos
- (8) Estadios y/o tipo de investigación
- (9) Comentarios relativos a aspiraciones respecto a resultados o desarrollos futuros

Tabla 7: Temas abordados por los entrevistados por categoría

			Tony Khalil	Brian Derby	Marco Domingos	Leopoldo Ruíz	Cristina Piña	Juan Manuel Pérez	Emilio Sacristán
1	Proyectos realizados relacionados a bioimpresión 3D o aplicaciones médicas de impresión 3D	Proyectos realizados en bioimpresión 3D	X	X	X	X	X	X	X
		Proyectos realizados en otras aplicaciones médicas de impresión 3D							X
2	Personas involucradas en los proyectos y formación	Personas involucradas en los proyectos (número y formación)	X	X	X	X	X	X	X
		Justificación del número de personas involucradas en los proyectos				X			
		Justificación en la formación de las personas involucradas en los proyectos	X	X	X	X	X		X
		Respuesta a la pregunta: ¿Se necesitan más personas trabajando en el proyecto?	X	X					
3	Habilidades y/o conocimientos desarrollados con el proyecto	Habilidades o conocimientos desarrollados con el proyecto	X	X	X	X	X	X	
		Actividades que apoyan el desarrollo de habilidades o conocimientos	X	X	X		X	X	X
4	Colaboraciones	Contacto y selección de las personas involucradas en el proyecto	X	X	X	X	X	X	X
		Colaboraciones mencionadas	X	X	X	X	X	X	X
5	Detalles sobre el equipo con el que se cuenta, su acceso y uso	Equipo con el que se cuenta		X	X		X		X
		Comentarios sobre el acceso y uso del equipo	X	X	X	X	X	X	X
6	Dificultades enfrentadas	Dificultades enfrentadas	X	X	X	X	X	X	X
7	Financiamiento de los proyectos	Financiamiento de los proyectos			X	X	X		X
8	Estadios y/o tipos de investigación	Estadios o tipos de investigación	X	X		X	X	X	X
		Comentarios sobre pruebas preclínicas o clínicas		X			X	X	X

9	Comentarios relativos a aspiraciones	Comentarios sobre lo que se necesita(ría) para lograr avances	X	X	X	X	X		X
		Motivantes en la realización de los proyectos	X	X			X		

Nota: El símbolo X representando temas abordados

Fuente: Elaboración propia

De estas categorías se consideraron de mayor importancia la (1), (6) y (8) ya que proporcionan información respecto a los proyectos que se están llevando a cabo en el área, dificultades enfrentadas específicamente ligadas a los plazos en los que los proyectos han presentado, o se espera que presenten, resultados, y el estadio y/o tipo de investigación llevada a cabo. La Tabla 9 presenta únicamente estas tres categorías para, reconocer más fácilmente si fueron abordadas por los entrevistados. A partir de ello, se logra conocer el tipo de I+D realizada en bioimpresión 3D de acuerdo al aspecto “periodo de tiempo” de la categoría 6 (véase Figura 10 del Marco Analítico, Capítulo I) o directamente por la mención de I+D realizada (categoría 8).

Tabla 8: Menciones de las categorías (1), (6) y (8) en entrevista

	Tony Khalil	Brian Derby	Marco Domingos	Leopoldo Ruíz	Cristina Piña	Juan Manuel Pérez	Emilio Sacristán
Proyectos realizados relacionados a bioimpresión 3D o aplicaciones médicas de impresión 3D	X	X	X	X	X	X	X
Dificultades enfrentadas (comentarios respecto a temporalidad)		X	X		X		
Estadios y/o tipos de investigación	X	X		X		X	X

Nota: El símbolo X representando categorías abordadas

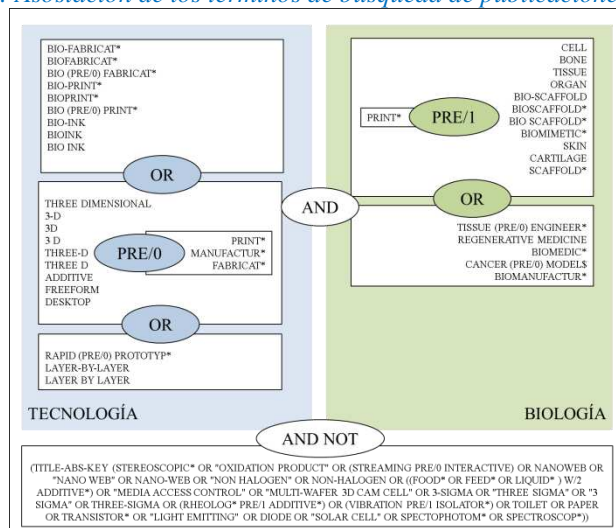
Fuente: Elaboración propia

2. Bibliometría

El ejercicio de bibliometría se hizo a partir de la terminología de búsqueda¹⁹ empleada por Rodríguez et al (2017) en Scopus²⁰, incluyendo términos de exclusión y actualizándola al periodo 2003-2018 (Anexo 1). La lógica de asociación de los términos se ilustra en la Figura 13.

Los resultados se buscaron el 14 de julio 2018, día en el cuál se arrojaron 4,863 publicaciones. A partir de esto se delimitó la muestra por país, contemplando Reino Unido y México. Los resultados se vieron entonces reducidos a 295 publicaciones, 276 provenientes de Reino Unido y 19 de México. Se exportaron entonces los datos y eliminaron todos aquellos resultados que no referenciaran la UoM, UNAM o UAM-I.

Figura 13: Asociación de los términos de búsqueda de publicaciones en Scopus



Nota: El símbolo* representando el uso de wildcards, PRE proximidad de los términos en /palabras, AND coincidencia de los términos, OR inclusión de los términos

Fuente: Elaboración propia

¹⁹ Se afinaron los términos de búsqueda para arrojar únicamente publicaciones relativas a bioimpresión 3D.

²⁰ De acuerdo a la página oficial, Scopus es la mayor base de datos de citas y resúmenes de bibliografía revisada por pares: revistas científicas, libros y actas de conferencias. Ofreciendo un exhaustivo resumen de los resultados de la investigación mundial en los campos de ciencia, tecnología, medicina, ciencias sociales, artes y humanidades.

Haciendo esta segunda delimitación, la búsqueda arrojó 28 publicaciones²¹: 26 de la UoM, 2 de la UNAM y 0 de la UAM-I. Al revisar el *abstract* de cada publicación se descartaron dos de las publicaciones de la UoM, al no relacionarse con bioimpresión 3D. Se enfrenta entonces una limitante mínima de la terminología de búsqueda, al incluir dos resultados no relacionados a la tecnología contemplada. Asimismo, debe considerarse que puede que haya publicaciones ligadas a bioimpresión 3D no arrojadas debido a la terminología de búsqueda. Otra limitante es que puede que se haya publicaciones del tema no incluidas en la base de datos. Corrigiendo, se tienen entonces 24 publicaciones de la UoM, 2 de la UNAM y 0 de la UAM-I (véase Tabla 5).

Tabla 9: Publicaciones sobre bioimpresión 3D por universidad

	Universidad	Título del artículo	Fuente de la publicación
1	UoM	3D-printed poly(ϵ -caprolactone)/graphene scaffolds activated with p1-latex protein for bone regeneration	3D Printing and Additive Manufacturing
2	UoM	Laser Ablation of Poly(lactic acid) Sheets for the Rapid Prototyping of Sustainable, Single-Use, Disposable Medical Microcomponents	ACS Sustainable Chemistry and Engineering
3	UoM	Structural Evolution of PCL during Melt Extrusion 3D Printing	Macromolecular Materials and Engineering
4	UoM	A new photocrosslinkable polycaprolactone-based ink for three-dimensional inkjet printing	Journal of Biomedical Materials Research - Part B Applied Biomaterials
5	UoM	Three-dimensional printed bone scaffolds: The role of nano/micro-hydroxyapatite particles on the adhesion and differentiation of human mesenchymal stem cells	Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part H: Journal of Engineering in Medicine
6	UoM	3D cell bioprinting of self-assembling peptide-based hydrogels	Materials Letters
7	UoM	Influence of pore size and fibre orientation on stem cell proliferation in a 3D printed polycaprolactone scaffold	Challenges for Technology Innovation: An Agenda for the Future - Proceedings of the International Conference on Sustainable Smart

²¹ *Article o Conference Paper*

			Manufacturing, S2M 2016
8	UoM	Effect of in vitro enzymatic degradation on 3D printed poly(ϵ -caprolactone) scaffolds: Morphological, chemical and mechanical properties	Journal of Applied Biomaterials and Functional Materials
9	UoM	A review on skin regeneration and silk fibroin	Textile Bioengineering and Informatics Symposium Proceedings 2017 - 10th Textile Bioengineering and Informatics Symposium, TBIS 2017
10	UoM	A correlative imaging based methodology for accurate quantitative assessment of bone formation in additive manufactured implants	Journal of Materials Science: Materials in Medicine
11	UoM	The effect of defects on the mechanical response of Ti-6Al-4V cubic lattice structures fabricated by electron beam melting	Acta Materialia
12	UoM	Bone Tissue Engineering: 3D PCL-based Nanocomposite Scaffolds with Tailored Properties	Procedia CIRP
13	UoM	Comparison of Three-dimensional Extruded Poly (ϵ -Caprolactone) and Polylactic acid Scaffolds with Pore size Variation	Procedia CIRP
14	UoM	Fabrication of ZrO ₂ -SiO ₂ binary oxide Scaffold for Bone Tissue Engineering applications	International Conference on Digital Printing Technologies
15	UoM	Additive manufacturing of electron® 43 alloy using laser powder bed and directed energy deposition	Proceedings Euro PM 2015: International Power Metallurgy Congress and Exhibition
16	UoM	Thermal analysis of an extrusion system of a 3-D bioprinter	2015 IFToMM World Congress Proceedings, IFToMM 2015
17	UoM	Combined elastic and shear stress solicitations for topological optimisation of micro-CT based scaffolds	Procedia Engineering
18	UoM	Osteogenic differentiation of adipose-derived mesenchymal stem cells into Polycaprolactone (PCL) scaffold	Procedia Engineering
19	UoM	Combination of 3D extruded-based poly (ϵ -caprolactone) scaffolds with mesenchymal stem/stromal cells: Strategy optimization	Procedia Engineering
20	UoM	Complete integration of technology for improved reproduction of auricular prostheses	Journal of Prosthetic Dentistry
21	UoM	Inkjet printing biomaterials for tissue engineering: Bioprinting	International Materials Reviews
22	UoM	Bioprinting: Inkjet printing proteins and hybrid cell-containing materials and structures	Journal of Materials Chemistry
23	UoM	Bioprinting: A beginning	Tissue Engineering
24	UoM	Characterisation of collagen scaffolds using x-ray	Materials Research Society

		microtomography	Symposium - Proceedings
1	UNAM	Progress on the use of commercial digital optical disc units for low-power laser micromachining in biomedical applications	Micromachines
2	UNAM	Polycaprolactone- and polycaprolactone/ceramic-based 3D-bioplotted porous scaffolds for bone regeneration: A comparative study	Materials Science and Engineering C

Fuente: Elaboración propia

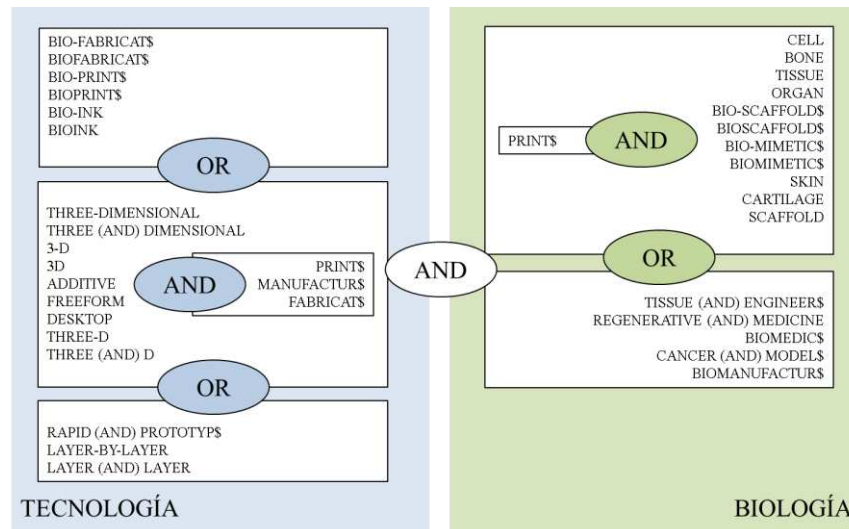
3. Patentometría

El ejercicio de patentometría se hizo tomando como referencia la terminología de búsqueda empleada por Marisela et al (2017). Pero a diferencia del trabajo original, para el marco de esta investigación, la búsqueda se hizo únicamente en USPTO (United States Patent and Trademark Office)²², sin incluir términos de exclusión²³, delimitando a Reino Unido o México y contemplando el periodo 2003-2018 (Anexo 2). Dado que se especificaban demasiados términos de búsqueda de acuerdo a la USPTO, la búsqueda se hizo en 5 partes (Anexo 3) siguiendo la lógica en la que los términos de búsqueda se asociaron (véase Figura 14). Esto entre el 17 y el 22 de julio del 2018.

²² De acuerdo a la página oficial, la Oficina de Patentes y Marcas de los Estados Unidos es una agencia federal que otorga patentes de los Estados Unidos y registra marcas comerciales. La USPTO coopera con la Oficina Europea de Patentes y la Oficina Japonesa de Patentes como una de las “Oficinas Trilaterales de Patentes”. Con lo cual facilita también la búsqueda internacional para el examen preliminar internacional de patentes (solicitadas y otorgadas) en virtud del tratado de cooperación en materia de patentes.

²³ De ahí que los resultados de búsqueda se revisaran de manera individual para corroborar que se vieran vinculados a bioimpresión 3D.

Figura 14: Asociación de los términos de búsqueda de patentes en USPTO



Nota: El símbolo\$ representando el uso de wildcards, AND coincidencia de los términos, OR inclusión de los términos

Fuente: Elaboración propia

Las etapas de búsqueda consistieron en:

- (1) Relacionar el primer grupo “tecnología” con los dos grupos “biología” considerando **Reino Unido** y México en el periodo 2003-2018. Se obtuvieron 4 resultados, de los cuales, tras revisión individual, ninguno se relacionaba con la UoM, UNAM o UAM-I.
- (2) Relacionar los grupos 2 y 3 “tecnología” con los dos grupos “biología” considerando la UoM en el periodo 2003-2018, lo cual arrojó a 43 resultados. Después de revisar individualmente las patentes, solo 1 de los resultados se vinculó con bioimpresión 3D.
- (3) Relacionar los grupos 2 y 3 “tecnología” con los dos grupos “biología” considerando la UNAM y la UAM-I sin la delimitación de periodo²⁴ de acuerdo a

²⁴ Al indicarse que había demasiados términos de búsqueda indicando periodo, se decidió hacer la delimitación de periodo 2003-2018 manualmente.

tres categorías: *Inventor*, *Applicant* y *Assignee*. Se obtuvieron 0 resultados para *Inventor*, 1 resultado para *Applicant* y 4 resultados para *Assignee*. Los 5²⁵ resultados relacionados a la UNAM. Haciendo una revisión individual de las patentes obtenidas, ninguna se encontraba vinculada a bioimpresión 3D. En total, se encontraron entonces 0 resultados tanto para la UNAM como la UAM-I

En suma, la búsqueda arrojó una patente correspondiente a la UoM mientras no se presentaron resultados para la UNAM ni para la UAM-I. La patente *Tissue repair scaffold* data del 2017 y se encuentra seriada con el número 9, 770,529 en la base de datos de la USPTO. Cabe mencionar que se presentan dos limitantes del ejercicio patentométrico. Por una parte, dado que la mayoría de los resultados no se vieron relacionados con la tecnología se puede decir que si bien la terminología de búsqueda ha sido efectiva se puede afinar agregando términos de exclusión. Por otro lado, debe considerarse que puede haber patentes relacionadas a bioimpresión 3D no arrojadas debido a la terminología de búsqueda.

²⁵ Equivalentes a 4 en realidad, considerando que una de las patentes coincidía tanto en la búsqueda de Applicant como de Assignee.

CAPÍTULO IV: HALLAZGOS

En el capítulo anterior se ha explicado cómo se ha hecho el tratamiento de datos de publicaciones, patentes y entrevistas. A continuación se usan los datos para identificar el tipo de I+D realizada en la Universidad de Manchester (UoM), Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa (UAM-I). De este modo, en el primer y segundo apartado, respectivamente para el caso de la UoM y la UNAM, se hace una revisión de publicaciones, patentes y entrevistas. En una tercera sección, se evalúan únicamente entrevistas para el caso de la UAM-I, la cual, al estar recientemente incursionando en actividades de I+D en bioimpresión 3D no presentó resultados en el ejercicio bibliométrico ni patentométrico.

1. Universidad de Manchester

Entrevistas

Respecto a los proyectos llevados a cabo, Tony Khalil (UoM) indica estar realizando investigación en hidrogeles. El entrevistado menciona que los resultados del proyecto tienen en mira aplicarse a la regeneración de huesos, pero también pueden aplicarse a la regeneración de otros tejidos como son cartílago y corazón. Dentro del proyecto, el papel del entrevistado era apoyar la parte de ingeniería, dada su formación de origen. Sobre otras personas relacionadas con el proyecto, se señala que cada quién cumplía funciones de acuerdo a las áreas de conocimiento de procedencia. El investigador Marco Domingos fue quién puso a todos en contacto. En el marco de la entrevista Tony Khalil no hizo comentarios sobre los periodos en los que el proyecto ha generado o pretende generar resultados. No obstante, se relata que el proyecto todavía se encuentra en “fases tempranas” pues se menciona la necesidad de escalar la investigación primero a nivel “laboratorio en un ambiente controlado y luego ver si puede transferirse a una aplicación clínica”, además se relata que se siguen afinando detalles para asegurar la “integridad de la estructura del andamio y que las células se encuentren vivas”.

En lo que refiere a la entrevista de Brian Derby, también de la UoM, el investigador indica que actualmente se encuentra vinculado a dos proyectos. El primero relacionado a chips

orgánicos y el segundo a la creación de modelos vascularizados. Este segundo proyecto se está llevando a cabo en colaboración con dos cirujanos plásticos que se encuentran trabajando en la Escuela de Medicina y hospitales de la UoM. Uno de los cirujanos mencionados se interesa en la generación de vasos sanguíneos, mientras el otro se interesa en la generación de nervios. Respecto a plazos en los que se espera la investigación en el área genere resultados, el académico menciona que “hay mucho *hype* en el área, lo cual parece querer acortar la escala de tiempo real que conlleva el pasar de laboratorio a aplicación médica” cuando para moverse de laboratorio a paciente se debe seguir todo un proceso regulatorio, moviéndose “preliminarmente de laboratorio a estudios en animales [...] y después a pruebas clínicas”. Específicamente, el entrevistado indica que primero deben hacerse estudios en animales pequeños (ratones o ratas) para después pasar a animales más grandes (cerdos o cabras) y, finalmente, hacer pruebas sobre humanos. En el caso del proyecto de modelos vascularizados el entrevistado indica que todavía se encuentran investigando sobre animales pequeños. Sobre los procesos de regulación también comenta que “para regenerar un nuevo hígado, un nuevo corazón o un nuevo pedazo de cartílago todavía falta un camino largo que recorrer, porque hay muchas trabas regulatorias” en las fases preclínicas y clínicas. Las regulaciones “no se adaptan a los propósitos de la impresión 3D y la ingeniería de tejidos [...] La regulación no se mueve con la tecnología”.

Por otro lado, Marco Domingos (UoM) señala que en un inicio estaba interesado sobre todo en la regeneración de tejido óseo y cartilaginoso, pero que ahora ha se dedicado al desarrollo de tejido regenerativo para el modelado de enfermedades. Lo cual implica el desarrollo de modelos biomiméticos en los cuales se puedan manipular diferentes tipos de células, tejidos, factores y moléculas biológicas; para evaluar las diferencias o efectos provocados en la matriz extra celular y, por tanto, en la proliferación, diferenciación y expresión fenotípica de las células. Específicamente, el entrevistado se encuentra trabajando en modelos de cáncer de seno, próstata y ovario; con colegas de la UoM. Estos mismos modelos implican investigación en vascularización y sistemas de entrega de fármacos. Respecto al tiempo de desarrollo de la investigación, el entrevistado alude a

proyectos de 5 años y menciona que “10 años atrás se pensaba que en 10 años ya se podrían imprimir órganos. Pero estamos lejos de esto. Y no llegaremos a eso en 10 años, porque nos dimos cuenta que para desarrollar un tejido se debe entender la biología celular básica. Y la razón por la que se debe entender esto es porque por muchos años se ha hecho la investigación en 2D, y ahora necesitamos hacerla en 3D, la cual es un área de investigación completamente nueva que va a tomar años antes de que se entiendan sus mecanismos”.

Tabla 10: Sumario de entrevistas en la UoM

	Tony Khalil	Brian Derby	Marco Domingos
Proyectos relacionados a bioimpresión 3D o aplicaciones médicas de impresión 3D realizados	<ul style="list-style-type: none"> • Hidrogeles (con mira de aplicación a tejido óseo y cardiaco) 	<ul style="list-style-type: none"> • Chips orgánicos • Modelos vascularizados • Regeneración de tejido (vasos sanguíneos y nervios) 	<ul style="list-style-type: none"> • Regeneración de tejido óseo y cartilaginoso • Modelado de enfermedades (cáncer de seno, próstata y ovario) • Modelos vascularizados • Modelos de entrega de medicamentos
Dificultades enfrentadas (respecto a temporalidad)	n/a	<p>Se tiende a querer acortar el tiempo que conlleva el llevar la investigación del laboratorio a fases clínicas</p> <p>“Para regenerar un nuevo hígado, un nuevo corazón o un nuevo pedazo de cartílago todavía hay un largo camino por recorrer” en la regeneración de tejidos</p>	<p>Alusión a proyectos de 5 años</p> <p>“10 años atrás se pensaba que en 10 años ya se podrían imprimir órganos. Pero estamos lejos de esto. Y no llegaremos a eso en 10 años</p>
Estadios y/o tipos de investigación	“Fases tempranas” con la necesidad de escalar las pruebas a laboratorio y con el objetivo de realizar pruebas clínicas	Pruebas preclínicas en animales pequeños	n/a

Fuente: Elaboración propia

A partir de los resultados de entrevista, se puede decir que en el caso de la UoM se está llevando a cabo investigación básica, pues los periodos de tiempo en los que se esperan resultados se extienden a más de 10 años. Además, se indica que la investigación que se ha

realizado, o que se está realizando se ve ligada a la generación de conocimiento fundamental faltante para lograr avances en bioimpresión 3D. Asimismo, se tiene evidencia de proyectos en etapas *in vitro*, lo cual corresponde a una investigación básica en biomedicina. Finalmente, se menciona la necesidad de realizar más investigación en áreas base. Por otro lado, también se hace mención de proyectos de alrededor de 5 años y de proyectos en etapas preclínicas, a partir de lo cual se puede deducir se está realizando investigación aplicada.

De acuerdo a entrevistas, las líneas de trabajo de la UoM involucran tejido óseo; tejido humano e hidrogeles. Esto es coherente con las áreas de trabajo identificadas en publicaciones y patentes. Considerando los resultados del ejercicio bibliométrico y patentométrico se deduce que las principales líneas de investigación de la UoM son tejido óseo, tejido humano y andamios.

En cuanto a áreas de aplicación de bioimpresión 3D, podemos ver que hay proyectos de bioimpresión 3D que no se ven únicamente ligados a la fabricación de tejido y órganos, como indica conceptualmente la definición de bioimpresión 3D, sino que también se menciona que hay investigación en el desarrollo de chips orgánicos y en modelos de enfermedades o de entrega de medicamentos. Entonces, de acuerdo a lo indicado en entrevistas, la aplicación médica de bioimpresión 3D ya no sólo se encuentra en la elaboración de tejido y órganos, sino que es una tecnología que empieza a adicionarse al desarrollo de dispositivos médicos electrónicos²⁶ (categoría que además no se encuentra contemplada por Ventola, 2014) o al desarrollo de fármacos.

Lo anterior confirma lo que Kolesky et al (2014) mencionan sobre que la habilidad de crear tejido mediante bioimpresión 3D permite generar avances científicos y tecnológicos en la

²⁶ La misma categoría es referenciada en una de las publicaciones arrojadas por el ejercicio de bibliometría el cual consiste en elaborar prótesis auriculares.

ingeniería de tejidos, reparación de tejidos y pruebas con fármacos. Asimismo, Jose et al (2016) indican que algunos de los usos novedosos de bioimpresión 3D son la elaboración de tejido mimético, para modelado de enfermedades o para el ensayo y descubrimiento de fármacos. Aunque mayoritariamente, hoy en día la bioimpresión 3D se usa para la impresión de instrumentos médicos, prótesis e implantes dentales o de hueso (Grand View Research, 2018). Finalmente, Mandrycky et al (2017) identifican como aplicaciones actuales de bioimpresión 3D el desarrollo de: vasos sanguíneos, huesos y cartílago, tejido neuronal y sistemas de detección de fármacos. De acuerdo a las referencias mencionadas podemos completar indicando que la bioimpresión 3D se encuentra además en la creación de prótesis y órtesis (Ventola, 2014).

Bibliometría

Como se indicó en el capítulo de metodología, se encontraron 24 resultados al buscar publicaciones de la UoM en Scopus dentro del periodo 2003-2018, 13 de los documentos siendo de tipo *Article* y 11 siendo de tipo *Conference Paper*²⁷, como lo podemos ver en la Tabla 10. Hay un equilibrio relativo entre ambos tipos de documentos.

Respecto a los años de publicación, de acuerdo a la misma Tabla, se observa que 1 de los resultados data del 2003, 1 de 2006, 1 de 2008, 2 de 2014, 5 de 2015, 5 de 2016, 6 de 2017, y 3 de 2018. Por tanto, se puede decir que se ha llevado a cabo investigación en bioimpresión 3D desde 2003 hasta 2018. Dado el aumento en el número de publicaciones a lo largo del periodo, se deduce una maduración de las actividades de investigación.

²⁷ Un artículo tiene como objetivo publicarse en una revista mientras las actas de conferencia o documentos de sesión buscan ser aceptados en una ponencia específica. Dado este aspecto, los dos tipos de publicaciones se ven sometidos a revisiones de distinto tipo. El artículo permite una revisión constante del documento mientras las actas de conferencia o documentos de sesión deben entregarse y adecuarse en fechas específicas. Cabe mencionar que la disciplina también influye en la periodicidad de las modificaciones aplicadas al documento.

En la presente investigación se considera únicamente la fecha de publicación final ya que para ciertas publicaciones no se logró recuperar información sobre la fecha de entrega y aceptación del documento. Por lo tanto, no debe olvidarse que hay un trabajo de investigación anterior al de la publicación.

Respecto al número de citas, dos de las publicaciones más citadas, 17 y 46 veces, datan de 2014 y las dos publicaciones más referenciadas datan de 2008 y 2006 (147 y 154 veces correspondientemente). El número promedio de citas por publicación es de 17 (17.083), a partir de lo cual se deduce que el conocimiento generado es reconocido.

Cabe resaltar que hay un autor común en las dos publicaciones más citadas: se trata de Derby B. Al encontrarse relacionado a 5 de los documentos del periodo, el autor se encuentra entre los que más han publicado, junto con Domingos M. (que posee el mismo número de publicaciones) y Bartolo P. (con 10 publicaciones). Otro detalle importante a resaltar respecto a autores es que los tres entrevistados de la UoM se encuentran identificados en los resultados arrojados.

En cuanto al número de autores de las publicaciones, se identifica 1 publicación con 1 autor, 3 publicaciones con 2 autores, 3 publicaciones con 3 autores, 2 publicaciones con 4 autores, 3 publicaciones con 5 autores, 3 publicaciones con 6 autores, 2 publicaciones con 7 autores, 3 publicaciones con 8 autores, 2 publicaciones con 9 autores, 1 publicación con 10 autores y 1 publicación con 12 autores. El promedio de autores involucrados por la publicación es entonces de 6 personas (promedio numérico de 5.625) y la moda es de 8 personas.

Tabla 11: Tipo de documento, año, número de citas y autores de las publicaciones en bioimpresión 3D de la UoM

	Abreviatura título ²⁸	T.d.	Año	Cit.	Autores
1	3D printed scaffolds	Art.	2018	0	Caetano G.F., Wang W., Chiang W.-H., Cooper G., Diver C., Blaker J.J., Frade M.A., Bártolo P.
2	Laser Ablation	Art.	2018	0	Ongaro A.E., Keraite I., Liga A., Conoscenti G., Coles S., Schulze H., Bachmann T.T., Parvez K., Casiraghi C., Howarth N., La Carubba V., Kersaudy-Kerhoas M.
3	Structural Evolution	Art.	2018	1	Liu F., Vyas C., Poologasundarampillai G., Pape I., Hinduja S., Mirihanage W., Bartolo P.
4	A new ink	Art.	2017	4	He Y., Tuck C.J., Prina E., Kilsby S., Christie S.D.R., Edmondson S., Hague R.J.M., Rose F.R.A.J., Wildman R.D.
5	Three-dimensional printed bones	Art.	2017	4	Domingos M., Gloria A., Coelho J., Bartolo P., Ciurana J.
6	3D cell Bioprinting	Art.	2017	6	Raphael B., Khalil T., Workman V.L., Smith A., Brown C.P., Streuli C., Saiani A., Domingos M.
7	Influence of pore size	Conf.	2017	0	Vyas C., Caetano G., Poologasundarampillai G., Hoyland J., Bártolo P.J.
8	Effect of in vitro	Art.	2017	0	Ferreira J., Gloria A., Cometa S., Coelho J.F.J., Domingos M.
9	A review	Conf.	2017	0	Chen Z.-D., Li Y., Tsigkou O., Liu X.-Q.
10	A correlative imaging	Art.	2016	5	Geng H., Todd N.M., Devlin-Mullin A., Poologasundarampillai G., Kim T.B., Madi K., Cartmell S., Mitchell C.A., Jones J.R., Lee P.D.
11	The effects	Art.	2016	14	Hernández-Nava E., Smith C.J., Derguti F., Tammam-Williams S., Leonard F., Withers P.J., Todd I., Goodall R.
12	Bone Tissue	Conf.	2016	5	Ronca D., Langella F., Chierchia M., D'Amora U., Russo T., Domingos M., Gloria A., Bartolo P., Ambrosio L.
13	Comparison	Conf.	2016	1	Moura C.S., Ferreira F.C., Bártolo P.J.
14	Fabrication	Conf.	2016	0	Subramaniyan V., Sanjeevi K., Derby B.
15	Additive manufacturing	Conf.	2015	1	Tandon R., Wilks T., Gieseke D.-I.M., Noelke D.-I.-C., Kaierle S., Palmer T.

²⁸ Para facilitar la revisión de resultados, se establecieron abreviaturas referentes al título de la publicación o conferencia (Anexo 5).

16	Thermal analysis	Conf.	2015	0	Ribeiro G.S., Silva J.V.L., Freitas D., Bartolo P., Almeida H., Silveira Z.C.
17	Combined stress	Conf.	2015	0	Almeida H.A., Bártolo P.J.
18	Osteogenic	Conf.	2015	4	Caetano G.F., Bártolo P.J., Domingos M., Oliveira C.C., Leite M.N., Frade M.A.C.
19	Combination	Conf.	2015	1	Moura C.S., Da Silva C.L., Bártolo P.J., Ferreira F.C.
20	Complete integration	Art.	2014	17	Watson J., Hatamleh M.M.
21	Inkjet printing	Art.	2014	46	Saunders R.E., Derby B.
22	Bioprinting: Inkjet	Art.	2008	147	Derby B.
23	Bioprinting: A beginning	Art.	2006	154	Mironov V., Reis N., Derby B.
24	Characterization	Conf.	2003	0	Smith P.J., Sachlos E., McDonald S., Reis N., Derby B., Mummery P.M., Czernuszka J.T.

Nota: T.d. Tipo de documento, Art. Article, Conf. Conference Paper, Cit. Número de veces que se ha citado el documento

Fuente: Elaboración propia

Siguiendo la lógica del marco analítico, se revisó el aspecto “objetivo” en el *abstract* de las publicaciones, considerando las definiciones de los tipos de I+D del Manual de Frascati y el hecho que la investigación básica se ve asociada a conceptualización y pruebas *in vitro*, la investigación aplicada a pruebas preclínicas y el desarrollo experimental a pruebas clínicas. Como resultado (Tabla 11), se encontró que 22 de las publicaciones reflejan una investigación de tipo básica, al referir la búsqueda de la generación de conocimiento en temas fundamentales para generar avances en bioimpresión 3D. Otras 2 publicaciones se identifican como resultado de una investigación de tipo aplicada y de desarrollo experimental al referir, respectivamente, el avance de aplicaciones comerciales y la mejora de un producto. Se observa además que a partir de 2015 las publicaciones reflejan únicamente investigación básica.

Cabe mencionar, que se detectan 9 líneas de investigación: tejido óseo; aplicaciones clínicas; tejido humano; tintas, biotintas o hidrogeles; andamios; regeneración de piel; aplicaciones biomédicas; aplicaciones en ingeniería de tejidos u órganos y prótesis. Dichas líneas no son excluyentes. Las líneas más trabajadas son tejido óseo (abordada 6 veces en las publicaciones de numeración 1, 10, 12, 13, 14 y 18); tintas, biotintas o hidrogeles (abordadas 4 veces en las publicaciones de numeración 4, 6, 21 y 22) y andamios

(abordadas 7 veces en las publicaciones de numeración 5, 7, 8, 13, 17, 19 y 24). Sobre estas tres líneas de investigación, se observa que tanto tintas, biotintas o hidrogeles como andamios han sido temas abordados a lo largo del periodo 2003-2018. Por otro lado, la investigación en tejido óseo aparece como tema abordado en publicaciones en 2015.

Tabla 12: Clasificación del tipo de I+D de acuerdo a objetivos de las publicaciones (UoM)

	Abreviatura título	Objetivo identificado en el abstract	Tipo I+D
1	3D printed scaffolds	Este artículo investiga el uso de un sistema de extrusión de manufactura aditiva para aplicaciones óseas.	Básica
2	Laser Ablation	Esta técnica innovadora de prototipado puede fácilmente traducirse en manufacturas de alto volumen y presenta oportunidades para futuros laboratorios especializados en microfluidos así como para el uso de micro-componentes de un solo uso para aplicaciones clínicas.	Básica
3	Structural Evolution	Los resultados muestran evidencia clave para mimetizar propiedades anisotrópicas y jerárquicas en la estructura de materiales biológicos naturales como tejido humano.	Básica
4	A new ink	El desarrollo de un nuevo tipo de tinta y sus pruebas correspondientes demuestran el potencial de este material en la producción de objetos impresos en 3D.	Básica
5	Three-dimensional printed bones	A pesar del uso común de la policaprolactona (PCL) para el desarrollo de andamios ²⁹ en la ingeniería de tejidos, la policaprolactona (PCL) presenta limitantes en la inducción de adherencia, proliferación y diferenciación celular. Para superar estas limitantes, se han hecho pruebas con distintos fosfatos de calcio como hidroxapatita y fosfato tricálcico.	Básica
6	3D cell bioprinting	Pese a los avances en técnicas de impresión 3D, falta el desarrollo de hidrogeles o biotintas adecuados en términos de calidad mejorada de la impresión y de viabilidad celular. En este caso se hace un estudio en un tipo de hidrogel novedoso.	Básica
7	Influence of pore size	Este trabajo se enfoca en investigar la influencia del tamaño de poro y orientación fibral en la eficiencia de siembra y proliferación celular de células madre mesenquimales. El estudio demuestra una optimización del proceso de andamiaje de tejidos que requiere mayor investigación.	Básica
8	Effect of in vitro	Este estudio busca investigar el efecto de la geometría de la porosa sobre los mecanismos de escisión enzimática de cadenas de andamios hechos de PCL.	Básica

²⁹ Que pueden actuar como modelo en el acomodo de células y soporte en el crecimiento interno del tejido.

9	A review	El proceso de reparación de la piel puede verse mejorado por el uso de biomateriales. En el presente trabajo se discute la selección de células y materiales para mejorar la regeneración de la piel.	Básica
10	A correlative imaging	Se propone un método de imagenología correlativo para cuantificar la formación de hueso en estructuras enrejadas de implantes aditivo-manufacturados.	Básica
11	The effects	La fusión haz de electrones es de interés para la fabricación de geometría complejas para materiales celulares como el área de implantes biomédicos.	Básica
12	Bone Tissue	En el área de cirugía reconstructiva, las lesiones óseas que se encuentran más allá del umbral de auto-reparación representan un gran desafío. La ingeniería de tejidos óseos se presenta como una gran promesa para la resolución de este problema por medio del uso de andamios nanocompuestos biodegradables. Se discute el efecto de nanopartículas y arquitectura en las propiedades mecánicas y funcionales de un andamio de PCL reforzado con hidroxapatita	Básica
13	Comparison	En este estudio se ha comparado la técnica de extrusión para la producción de andamios de PCL y PLA en relación a la adhesión, proliferación y organización celular; para apoyar el acercamiento de la ingeniería de tejidos en la reparación de tejido óseo y cartilaginoso.	Básica
14	Fabrication	El presente trabajo ha demostrado que el óxido binario ZrO ₂ -SiO ₂ es un candidato potencial con propiedades mecánicas, fuerza y biocompatibilidad que mimetizan el hueso huésped, buscando apoyar la resolución de desórdenes y defectos óseos.	Básica
15	Additive manufacturing	Las aleaciones a base de magnesio ofrecen oportunidades en aplicaciones biomédicas de la manufactura aditiva debido a su ligereza (baja densidad) y estructura (biocompatibilidad, biodegradabilidad). No obstante, las aleaciones se encuentran en etapas de desarrollo tempranas. Los siguientes estudios ofrecen detalles sobre el comportamiento de polvos de magnesio.	Básica
16	Thermal analysis	El siguiente trabajo presenta un análisis térmico de elementos finitos de una bioimpresora 3D con aplicaciones en la ingeniería de tejidos, comparando tres posibles temperaturas de la máquina durante el proceso de extrusión con PCL.	Básica
17	Combined stress	En el presente trabajo de investigación se propone una estrategia de optimización topológica para el diseño asistido por computadora (CAD) empleado en la producción de estructuras tridimensionales de biomateriales para encontrar la arquitectura topográfica ideal en el diseño de andamios a partir de microtomografías computarizadas.	Básica
18	Osteogenic	El objetivo de este estudio es evaluar la diferenciación osteogénica de células madre mesenquimales derivadas de tejido adiposo en PCL y ver si tiene un uso potencial en ingeniería de tejidos para la regeneración de tejido óseo.	Básica
19	Combination	Este estudio busca entender cómo las propiedades del andamio contribuyen a la eficiencia del sembrado, proliferación y migración celular.	Básica

20	Complete integration	Este reporte clínico detalla la integración de tecnologías de escaneo laser, prototipado rápido y escaneo digital a color para mejorar la forma, textura, orientación y color de prótesis auriculares.	Desarrollo exp.
21	Inkjet printing	Se hace una revisión de la tecnología de impresión por inyección de tintas dividiendo la bioimpresión en tres categorías de interés (proteínas, células y andamios) para demostrar que las dificultades logísticas y formulación de materiales requerida poseen un común denominador para avanzar el área a aplicaciones comerciales y constructos tridimensionales.	Aplicada
22	Bioprinting: Inkjet	Este artículo revisa algunos de los avances clave que se han hecho en la impresión por inyección de tintas y describe potenciales áreas futuras que requieran investigación y desarrollo.	Básica
23	Bioprinting: A beginning	Se presenta una revisión respecto al marco, estado del arte y perspectivas en la ingeniería de órganos.	Básica
24	Characterization	Se detalla cómo se realizaron andamios de colágeno.	Básica

Nota: Exp. Experimental
Fuente: Elaboración propia

Posteriormente, el 15 de julio 2018, se buscó en USPTO si las publicaciones se encontraban referenciadas en patentes, para conocer si ya se están empleando los descubrimientos de investigación para investigación aplicada o desarrollo experimental. El criterio de búsqueda fue el nombre de los autores de las publicaciones en bioimpresión 3D que arrojó el ejercicio bibliométrico. Dicho criterio fue buscado en la categoría “Otras referencias” de patentes (Anexo 6). Si los autores se encontraban referenciados, se verificó coincidiera el título del artículo citado en patente con el título de las publicaciones del autor de acuerdo al ejercicio bibliométrico.

Como resultado, se encontró que uno de los autores (Derby B.) es referenciado en 4 patentes: (1) *Multilayer microfluidic probe head and method of fabrication* (seriada con el número 8, 695, 639; registrada en 2012, concedida en 2014), (2) *Multilayer microfluidic probe head and method of fabrication* (seriada con el número 8, 695, 641; registrada en 2010, concedida en 2014), (3) *Muldidespensor cartesian printer* (seriada con el número 9, 764, 515; registrada en 2014, concedida en 2017) y (4) *Device and method for engineering living tissues* (seriada con el número 9, 771, 554; registrada en 2013, concedida en 2017).

Las dos primeras patentes hacen referencia al artículo que se encontró con el ejercicio bibliométrico: *Bioprinting: Inkjet printing proteins and hybrid cell-containing materials*

and structures (2008). Examinando el *abstract* de estas dos primeras patentes, se logra identificar que protegen resultados de desarrollo experimental. Por tanto, parece que la investigación básica posteriormente se emplea en actividades de desarrollo experimental. La tercera patente refiere otro trabajo del autor titulado: *Review: Printing and Prototyping of Tissues and Scaffolds* (2012). En esta publicación, Derby B. es autor único. La cuarta patente también cita otro artículo del autor titulado: *Delivery of human fibroblast cells by piezoelectric drop-on-demand inkjet printing Biomaterials* (2008). Dicha publicación posee como autores Derby B., Saunders R.E. (autor también arrojado por el ejercicio bibliométrico) y Gough J.E. Cabe decir, que si bien las últimas dos publicaciones mencionadas no fueron arrojadas por el ejercicio bibliométrico³⁰, se relacionan al tema de bioimpresión 3D.

Patentometría

Como se indicó en el capítulo de metodología, se encontró 1 resultado al buscar patentes de la UoM en USPTO dentro del periodo 2003-2018. La patente en cuestión se encuentra seriada con el número 9, 770, 529. El nombre de la misma es *Tissue repair scaffold*. La fecha de concesión es 2017 mientras la de aplicación es 2009. Se encuentran registrados Downes S. y Bosworth L.A. como inventores y solicitantes mientras la UoM es la cesionaria de la patente. Cabe mencionar que ni Downes S. ni Bosworth L.A. se encuentran dentro de los autores arrojados por el ejercicio de bibliometría.

De acuerdo al *abstract* la patente protege un andamio de PCL para la reparación de tejido tendinoso. Esto significa que el invento no implica la elaboración de un nuevo o mejorado

³⁰ *Review: Printing and Prototyping of Tissues and Scaffolds* no se encontró en la base de datos de Scopus mientras *Delivery of human fibroblast cells by piezoelectric drop-on-demand inkjet printing Biomaterials* no se encontró dada la forma en que se especificó la terminología de búsqueda. Repasando la lógica en que se asociaron los términos (Véase Figura 14), se confirma que si bien se emplearon los términos *tissue* y *scaffold*, no coincidieron los términos *printing* ni *prototyping*, ya que el primero no se vio asociado con los términos que se habían ligado a *printing* por medio del conector conector “PRE/1” y el segundo no se vio asociado al término *rapid* que se había asociado a *prototyping* por medio del conector “PRE/0”.

producto o proceso, sino que determina posibles usos de los descubrimientos de investigación básica³¹. Se trata entonces de investigación aplicada de acuerdo al aspecto “objetivo” del marco analítico. En el *abstract* también se menciona el empleo de conocimiento fundamental previo de pruebas *in vitro* (asociadas a investigación básica). Esto coincide con el aspecto “periodo de tiempo” ya que las actividades de investigación implicaron 8 años de trabajo (considerando la diferencia entre año de aplicación y de concesión). Las líneas de investigación implicadas son tejido humano y andamios.

2. Universidad Nacional Autónoma de México

Entrevistas

Respecto a proyectos llevados a cabo, Leopoldo Ruíz indica que en términos generales trabaja en dos grandes campos. Uno, en estructuras que pueden ser colocadas al interior del cuerpo o que interactúan en el mediano y largo plazo con tejidos y, el otro, con referencia al diseño y construcción de instrumental de apoyo quirúrgico. Sobre el periodo de tiempo de los proyectos, el entrevistado no apunta este aspecto en entrevistas. Finalmente, sobre la tipología de las actividades, se indica que “ocurre investigación básica, investigación aplicada y desarrollo tecnológico”.

En lo que refiere a la entrevista a Cristina Piña, la investigadora da detalles sobre la trayectoria que la llevó a estar realizando actualmente proyectos de impresión 3D, pasando de la física en medicina a biomateriales. Los proyectos de impresión 3D surgieron en particular de la curiosidad de avanzar en el área de tejido humano, específicamente en hígado. Conforme se fueron haciendo descubrimientos en el tema “se dieron cuenta que el tamaño y forma del poro definen qué tipo de célula va a estar ahí” a partir de lo cual se encontraron con “líneas [de investigación] por las cuales te puedes ir [estudiando] toda tu vida”. Los proyectos actuales mencionados involucran la elaboración de prótesis para globo ocular. Pero los descubrimientos tienen aplicaciones más generales. Asimismo, se está

³¹ Se reporta se han superado las fases preclínicas de investigación básica al realizarse pruebas con ratones.

trabajando con biotintas, con el objetivo de “hacer orejas”. Respecto a los periodos de tiempo que requieren las actividades de investigación, Cristina Piña comenta que los proyectos “no son de un día, no son de un año. Son de varios años”. Se menciona además una falta de sensibilidad sobre los tiempos requeridos para presentar resultados “porque todos están contra el tiempo, y hay veces que no depende de ti”. Otras fechas mencionadas son las de beca de los maestrantes que han participado en los proyectos (3 años) y de recepción de recursos (2 años). Por tanto, se tiene evidencia de que los proyectos toman más de 2-3 años pero no se tiene información sobre qué tan largos pueden llegar a ser.

Por último, Juan Manuel Pérez (miembro del mismo equipo de trabajo que la Dra. Cristina Piña) indica que tienen varias líneas de trabajo en bioimpresión 3D. En términos generales, de acuerdo al entrevistado, se hace “el diseño de andamios para implantación de polímero duro” y, dentro de esta parte, las líneas principales son “implantes oculares, tapas craneales y rellenos”. Sobre las etapas de proyectos en estas líneas, se indica que “se están realizando estudios preclínicos en modelos de rata”, e inclusive se menciona que se espera “ya puedan tener las primeras pruebas clínicas con pacientes que quieran aceptarlo”. Respecto a otros proyectos, se indica que la investigación realizada todavía se encuentra en “ciencia básica” habiendo casos en los que “no se ha pasado a modelos *in vitro*”. Otra característica importante es que se especifica que los proyectos se llevan “desde la investigación básica”, escalando desde las etapas *in vitro*, hasta pruebas clínicas.

Tabla 13: Sumario de entrevistas en la UNAM

	Leopoldo Ruíz	Cristina Piña	Juan Manuel Pérez
Proyectos relacionados a bioimpresión 3D o aplicaciones médicas de impresión 3D realizados	<ul style="list-style-type: none"> • Estructuras biocompatibles • Instrumental de apoyo quirúrgico 	<ul style="list-style-type: none"> • Tejido humano • Prótesis de globo ocular • Biotintas 	<ul style="list-style-type: none"> • Andamios de polímero duro • Implantes oculares • Tapas craneales • Rellenos
Dificultades enfrentadas (respecto a temporalidad)	n/a	<p>Los proyectos son de varios años</p> <p>Poca sensibilidad respecto al tiempo requerido para presentar resultados</p> <p>Tiempo mínimo requerido: 2-3 años</p>	n/a
Estadios y/o tipos de investigación	“Ocurre investigación básica, investigación aplicada y desarrollo tecnológico”	n/a	Estudios preclínicos y clínicos “Ciencia básica” “Investigación básica”

Fuente: Elaboración propia

A partir de los resultados de entrevista, se puede entonces decir que en el caso de la UNAM se está llevando investigación básica, investigación aplicada y desarrollo experimental, dados los tiempos de trabajo requeridos mencionados (2-3 años) y los estadios de investigación (ciencia básica, etapas preclínicas, etapas clínicas).

Sobre líneas de trabajo, de acuerdo a entrevistas, el trabajo de investigación se enfoca en la fabricación de andamios, el trabajo con tejido óseo o tejido humano y la creación de biotintas. Esto es coherente con las áreas de trabajo identificadas en publicaciones, a partir de lo cual se deduce las principales líneas de investigación en la UNAM son tejido óseo, tejido humano y andamios.

Adicionalmente, como en el caso inglés, se observa que las aplicaciones médicas de bioimpresión 3D no son excluyentes: la bioimpresión 3D se vincula con la elaboración de prótesis, las cuales, en conjunción con la fabricación de tejido y órganos, pasan a categorizarse como implantes.

Otro aspecto a resaltar es que, al igual que en la UoM (de acuerdo a la entrevista con Brian Derby), en la UNAM se colabora con médicos. Leopoldo Ruíz indica que: “se tienen como socios un par de hospitales de la Ciudad de México”, Cristina Piña menciona distintos médicos y Juan Manuel Pérez habla de colaboraciones con el Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zubirán.

Bibliometría

Para el caso de la UNAM se encontraron 2 publicaciones dentro del periodo 2003-2018. Ambos documentos son de tipo *Article*. El primero, de título: *Polycaprolactone- and polycaprolactone/ceramic-based 3D-bioploted porous scaffolds for bone regeneration: A comparative study*, data de 2017. El Segundo, se titula *Progress on the use of commercial digital optical disc units for low-power laser micromachining in biomedical applications* y data de 2018. Al presentarse publicaciones únicamente en los últimos dos años se puede deducir que los esfuerzos de investigación apenas se están concretando.

El primer documento ha sido referenciado 7 veces y tiene 6 autores: Gómez-Lizárraga K.K., Flores-Morales C., Del Prado-Audelo M.L., Álvarez-Pérez M.A., Piña-Barba M.C. y Escobedo C. El segundo artículo no ha sido citado y tiene 11 autores: Cruz-Ramírez A., Sánchez-Olvera R., Zamarrón-Hernández D., Hautefeuille M., Cabriales L., Jiménez-Díaz E., Díaz-Bello B., López-Aparicio J., Pérez-Calixto D., Cano-Jorge M. y Vázquez-Victorio G. Para ambos casos tenemos entonces grupos grandes de trabajo. No se encontraron autores comunes entre los dos artículos. Una de las personas entrevistadas se encuentra entre los autores arrojados por el ejercicio bibliométrico: Piña-Barba M.C.

Revisando el objetivo identificado en el *abstract* de las publicaciones (Tabla 13), se encontró que ambos artículos reflejan un esfuerzo de investigación básica al referir temas fundamentales para generar avances en bioimpresión 3D.

Tabla 14: Clasificación del tipo de I+D de acuerdo a objetivos de las publicaciones (UNAM)

	Abreviatura título	Objetivo identificado en el <i>abstract</i>	Tipo I+D
1	Polycaprolactone	En esta investigación se fabricaron andamios hechos de PCL puro y un componente basado en PCL y micro polvos cerámicos (relleno de hueso bovino NKB e hidroxapatita). Esto para evaluar sus características en la proliferación y regeneración de tejidos (como porosidad, fuerza mecánica, tamaño e interconectividad del poro y biocompatibilidad). Los resultados demuestran el potencial de andamios hechos de PCL/NBK para la formación de tejido óseo.	Básica
2	Progress	Se ha empleado un láser CD-DVD-Blu-ray para modificar la superficie de materiales poliméricos. Gracias al método diseñado, se logran controlar de manera precisa procesos de microtecnología, útiles para aplicaciones biomédicas (desarrollo de chips orgánicos o de andamios biológicos).	Básica

Fuente: Elaboración propia

Como se hizo para los artículos de la UoM, el 15 de julio de 2018 se buscó en USPTO si las publicaciones se encontraban referenciadas en patentes para conocer si ya se están empleando los descubrimientos de investigación para investigación aplicada o desarrollo experimental. Pero, a diferencia del caso pasado, no se encontraron resultados. Se puede entonces deducir que no se han empleado los resultados de investigación básica para investigación aplicada o desarrollo experimental.

Guiándonos por las líneas de trabajo identificadas para el caso de la UoM en publicaciones y patentes, el primer artículo trata los temas de tejido óseo, tejido humano y andamios. El segundo andamios y aplicaciones biomédicas. Pero además, la segunda publicación aborda microtecnología y chips orgánicos, áreas de aplicación adicionales a la fabricación de tejido y órganos (única área especificada conceptualmente) al relacionarse con la fabricación de dispositivos médicos electrónicos.

Patentometría

El ejercicio patentométrico no arrojó resultados para la UNAM. Sumado al hecho que las publicaciones reflejaban únicamente una investigación de tipo básica, no se tienen datos cuantitativos que indiquen se esté realizando investigación aplicada o desarrollo experimental.

Se nota además una escasez relativa de resultados en comparación al caso inglés. Sobre esto último, el primer entrevistado (Leopoldo Ruíz) comenta: “si hicieras un análisis, México pareciera ser un país con una baja cantidad de patentes y publicaciones con relación a manufactura aditiva, pero se cuenta con transferencias tecnológicas [...] y formación de los recursos humanos”. De ahí la importancia de complementar la información con los datos cualitativos de entrevistas.

3. Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa

Finalmente, el caso de la UAM-I. Como se ha mencionado anteriormente, se incluyó con la idea de aportar elementos que permitan guiar la investigación en bioimpresión 3D que se ha planteado va a realizarse, de acuerdo a las experiencias de la UoM y la UNAM. Al apenas iniciarse este tipo de actividades, se entiende no se presenten resultados en los ejercicios bibliométrico o patentométrico. Sin embargo, sí se puede obtener información sobre la investigación que se ha iniciado con entrevistas. Específicamente, con la persona que se encuentra dirigiendo estas actividades en la universidad: Emilio Sacristán.

El entrevistado indica que se han realizado ya varios proyectos que implican el uso de la tecnología de impresión 3D en aplicaciones médicas. Por ejemplo, en el desarrollo de instrumentos quirúrgicos, dispositivos médicos, objetos para experimentación interna y modelos anatómicos. En particular, se menciona la utilidad de la impresora para el prototipado rápido. Pero de acuerdo a Emilio Sacristán “lo más nuevo en nuestro laboratorio [...] es que ya llevamos trabajando en varios proyectos para bioimpresión”. Dichos proyectos tienen como objetivo la elaboración de tejido cartilaginoso, óseo y cardíaco.

Debe destacarse además, que las actividades no sólo han empleado la máquina en su forma final, sino que se ha trabajado sobre las tecnologías básicas que conforman la impresión 3D. En palabras del entrevistado: “nosotros aquí tenemos proyectos que son de software, proyectos que son de hardware, proyectos que son quirúrgicos, proyectos que son de imagen”.

Sobre el periodo de tiempo de los proyectos, se menciona que se tiene “desde investigación de concepto hasta ya pruebas clínicas”. Esto significa que se ven involucrados con los tres tipos de I+D.

Tabla 15: Sumario de entrevistas en la UAM-I

	Emilio Sacristán
Proyectos relacionados a bioimpresión 3D o aplicaciones médicas de impresión 3D realizados	<ul style="list-style-type: none"> • Instrumentos quirúrgicos • Dispositivos médicos • Objetos para experimentación interna • Modelos anatómicos • Tejido cartilaginoso, óseo y cardíaco
Dificultades enfrentadas (respecto a temporalidad)	n/a
Estadios y/o tipos de investigación	“Desde investigación de concepto hasta ya pruebas clínicas”.

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO V: RESULTADOS

En el capítulo anterior se describieron los resultados de publicaciones, patentes y entrevistas para identificar el tipo de I+D realizada en la UoM, UNAM y UAM-I. A partir de esto, a continuación, se posicionan las actividades de I+D de cada universidad sobre *la curva de la sonrisa* para dar paso a un estudio comparativo (primera parte). Posteriormente, se identifican dificultades enfrentadas y motivantes en las actividades de I+D de los grupos de investigación, con el fin de entender sus intereses (segunda parte). **Esto tomando en consideración el trabajo de Gibbons et al (1997) para facilitar el entendimiento de la dinámica de las actividades de I+D en bioimpresión 3D.** Finalmente, se analiza qué se puede aprender del caso inglés (tercera parte).

1. Posicionamiento y comparativo de las actividades de I+D en bioimpresión 3D

De acuerdo a los resultados presentados en el capítulo anterior, en el periodo 2001-2018, la UoM se vio vinculada a 24 publicaciones relacionadas a bioimpresión 3D, además con un aumento en el número de publicaciones desde 2015, mientras la UNAM realizó 1 publicación en 2017 y 1 en 2018. Esto demuestra que la UoM se ha encontrado trabajando en el campo por más tiempo que la UNAM, presentando más resultados de investigación a lo largo del periodo de 15 años. Esto apoya la idea bajo la cual se pretende aprender de la experiencia del caso inglés, ya que la UoM es pionera en investigaciones relativas a impresión 3D y tiene ya una trayectoria importante demostrada por la cantidad de publicaciones realizada; mientras que los esfuerzos de investigación de la UNAM apenas se están concretando en publicaciones.

En la UoM, se publican, *Articles* y *Conference Papers* con un número promedio de citas por documento de 17; mientras en la UNAM las dos publicaciones son de tipo *Article* y se citaron en promedio 3.5 veces. Puede decirse entonces, que el conocimiento generado tanto por la UoM como por la UNAM es reconocido por la comunidad dedicada al campo, al ser citados. El número de citas por documento es superior en el caso la UoM ya que posee una trayectoria más longeva en actividades de I+D en bioimpresión 3D.

En cuanto al tipo de documento, si bien, los primeros resultados publicados por parte de la UNAM son de tipo *Article*, todavía no se puede establecer que sólo este tipo de documento es el que se busca publicar, debe considerarse la posibilidad de también publicar *Conference Papers*; esto debido a que permiten, de manera más directa, la transmisión e intercambio de conocimiento entre personas de la **comunidad, lo cual** es importante al considerar que la bioimpresión 3D, en tanto que ciencia biomédica, se inclina al modo II de producción de conocimiento, el cual requiere se comparta la información entre los grupos de trabajo dedicados al campo.

El ejercicio bibliométrico también permitió conocer el número promedio de investigadores involucrados en las publicaciones. Los grupos de trabajo son más grandes en el caso de la UNAM (8 por publicación) que en la UoM (6 por publicación). En ambos casos, esto se alinea con la lógica del modo II de producción de conocimiento, en el cual es necesario realizar un esfuerzo grupal (Gibbons, 1997).

El ejercicio patentométrico ofreció además una pista adicional sobre las actividades de investigación de ambas universidades. Se corrobora que las actividades de investigación de la UoM son más maduras que las de la UNAM pues la universidad se ve vinculada a tres patentes, mientras la UNAM no presentó resultados. Dos de estos resultados referencian un resultado de investigación localizado en el ejercicio bibliométrico, mientras en el tercero la UoM es cesionaria de la patente. Dicha patente se otorgó en 2017 mientras la aplicación se hizo en 2009. Debe entonces considerarse que pueden pasar varios años entre el registro y la concesión de patente.

Respecto a los tipos de I+D identificados en cada universidad en sus publicaciones y patentes, la UoM muestra estar realizando investigación básica, investigación aplicada y desarrollo experimental. Predomina la investigación básica, asociada a 22 resultados, contra 2 resultados reflejo de investigación aplicada y 1 resultado de desarrollo experimental. En el caso de la UNAM, los 2 resultados obtenidos reflejan investigación básica. Sumando a la información cualitativa, los entrevistados de la UoM indican que la investigación llevada a cabo es básica y aplicada, y los de la UNAM indican se realiza investigación básica,

investigación aplicada y desarrollo experimental. Parece entonces que tanto en la UoM como en la UNAM se están realizando los tres tipos de I+D, pero la UoM tiene actividades más establecidas.

En entrevistas, se identificaron además ciertas similitudes en las actividades de I+D de la UoM y la UNAM. En ambos casos se menciona hay colaboración con médicos. Sin embargo, en el caso de la UoM la colaboración se hace con médicos trabajando en la Escuela de Medicina y hospitales de la UoM, mientras en el caso de la UNAM se colabora únicamente con hospitales. Debe entonces considerarse, en esta última, si es adecuado ampliar las colaboraciones con la Facultad de Medicina de la universidad misma. Cabe mencionar que, de acuerdo a Marco Domingos, la colaboración con médicos es esencial en actividades de investigación, ya que son los que esclarecen cuál es la necesidad real: “si quieres desarrollar algo con aplicación clínica, siempre necesitas empezar hablando con un médico doctor. Necesitas entender la necesidad médica”.

Otra similitud encontrada se refiere a las líneas principales de trabajo. Tanto en la UoM como en la UNAM son: tejido óseo, tejido humano y andamios; con miras a proyectos en tintas, biotintas o hidrogeles. No obstante, la UoM se dedica a más líneas que la UNAM (9 contra 5).

Finalmente, en ambos casos las actividades están madurando al punto que se fusionan con otras aplicaciones médicas además de la fabricación de tejidos y órganos característica de bioimpresión 3D. En ambas universidades hay proyectos relacionados a la creación de microchips orgánicos o prótesis (auriculares y oculares); pero también hay aplicaciones trabajadas únicamente por una de las universidades: desarrollo de fármacos en la UoM.

Respecto a la dinámica existente entre investigación básica, investigación aplicada y desarrollo experimental; de acuerdo a los resultados de la UoM, dado que una publicación reflejo de investigación básica fue referenciada en dos patentes que protegían un desarrollo experimental, puede decirse que sí se encontraron evidencias de que el conocimiento generado a partir de investigación básica se emplea en desarrollo experimental. Esta dinámica se confirma en las entrevistas, donde se menciona que se espera los esfuerzos

actuales de investigación básica escalen a pruebas clínicas, es decir, a un desarrollo experimental.

Adicionalmente, de acuerdo al *abstract* de la patente donde la UoM es concesionaria, pareciera que la investigación aplicada se basa en conocimiento fundamental de investigación básica. La misma dinámica es reflejada en publicaciones, el *abstract* de la publicación reflejo de investigación aplicada indicando la necesidad de realizarse investigación básica.

Otra dinámica identificada en el caso inglés es la necesidad de profundizar la investigación básica o de reforzar la investigación aplicada con más investigación básica. Esto se señala en el *abstract* de tres publicaciones de investigación básica que precisan la necesidad de realizar todavía más investigación básica (de abreviatura *Influence of pore size, Inkjet printing* y *Bioprinting: Inkjet*) y en entrevistas, donde se habló de **la necesidad de irse a conocimiento fundamental.**

Esto confirma la hipótesis según la cual la investigación de la UoM da señales de una direccionalidad a actividades de mayor valor agregado en el desarrollo de aplicaciones médicas de impresión 3D al profundizarse la investigación básica, la cual genera un nivel de valor superior y, a su vez, retroalimenta los otros tipos de investigación llevadas a cabo.

Además, se alinea a las dinámicas planteadas por Gibbons et al (1997) según los cuales actividades de modo II pueden dar paso a una genuina investigación básica, haciendo que la solución de un problema pueda convertirse en el lugar cognitivo desde el cual se efectúen avances posteriores. Inclusive, algunos resultados de la producción transdisciplinar de conocimiento pueden entrar a formar parte de toda una serie de ciencias disciplinares como lo plantea Marco Domingos: “nos dimos cuenta que para desarrollar un tejido se debe entender la biología celular básica. La razón por la que se debe entender esto es porque por muchos años se ha hecho la investigación en 2D y ahora necesitamos hacerla en 3D. Eso es un área de investigación completamente nueva que va a tomar años antes de que se entiendan sus mecanismos”. Hay entonces la necesidad misma de replantear el conocimiento de áreas base. Como mencionan Gibbons et al (1997, p. 22): “en las ciencias

biomédicas, las teorías se desarrollan en el contexto de aplicación, y éstas continúan fecundando líneas de progreso intelectual que se hallan al margen de las estructuras disciplinares. En el modo II, las cosas se hacen de modo diferente y cuando se han hecho suficientes cosas de modo diferente, está uno autorizado para decir que ha surgido una nueva forma”.

En lo referente a la UNAM, se identifica una única dinámica entre los tres tipos de investigación, al indicarse en las entrevistas que los proyectos se escalan desde modelos *in vitro*, asociados a investigación básica, hasta pruebas clínicas, asociados a desarrollo experimental. Por tanto la investigación básica lleva a desarrollo experimental.

Pero dado que es ésta la única dinámica identificada, pareciera que los esfuerzos se están dirigiendo a actividades de menor valor agregado, al dejarse de lado el proceso de retroalimentación y replanteamiento de áreas de conocimiento fundamentales. **Se buscan aplicar los resultados de los esfuerzos actuales de investigación sin profundizar la investigación básica en áreas clave (como por ejemplo, biología celular básica en 3D), cuando la misma genera un conocimiento necesario para la investigación aplicada y desarrollo experimental.**

2. Dificultades enfrentadas y motivantes

En la sección anterior se han logrado identificar el tipo de las actividades de I+D, y dinámicas entre los distintos tipo de I+D, que se realizan en la UoM y UNAM. Asimismo, se apuntaron algunas características de las actividades de investigación de las universidades a partir de la información de entrevistas. Asimismo, en entrevistas, se encontraron hallazgos adicionales que es importante resaltar y comparar al referirse a las dificultades enfrentadas y motivantes.

Sobre las dificultades enfrentadas: tanto Tony Khalil, Brian Derby, Marco Domingos, Cristina Piña como Juan Manuel Pérez abundan sobre aspectos científicos o técnicos que en realidad demuestran que **las actividades se encuentran intentando traspasar la frontera de conocimiento**. La dificultad planteada es lograr seguir avanzando en los descubrimientos, para que el proyecto a su vez siga adelante.

Por otro lado, **Brian Derby habla de** una **falta de sensibilización en los periodos de tiempo requeridos para llevar a cabo las actividades de I+D**. Dificultad también apuntada por Cristina Piña del lado de la UNAM.

Otra dificultad apuntada por Brian Derby, son las **trabas regulatorias**. De manera más amplia el entrevistado dice: “el uso de la impresión 3D para regenerar es algo todavía lejano, porque hay demasiadas trabas regulatorias, no solo para ir de animal a animal, sino para ir en fase 1, 2 o 3. Los mecanismos regulatorios no hacen esto de manera eficiente. No se adecúa al propósito de la impresión 3D o de la ingeniería de tejidos. Esto es cierto para el sistema europeo y norteamericano, y probablemente en el mexicano también. Es sólo que **la regulación no se está moviendo con la tecnología**”. De manera similar, Marco Domingos habla de la **preocupación que hay por cumplir con los requerimientos metodológicos de las pruebas**. En lo que refiere al caso de la UNAM, también se enfrentan dificultades en las pruebas, pero sobre todo porque se han hecho adaptaciones: “lo hacemos muy piadosamente, muy metódicamente, no dejamos que pase ningún error. Después en las pruebas *in vivo* se usa el modelo de rata, porque es mucho más sencillo tener ratas que otro animal. Solamente cuando sabemos que ya va bien, y si hay suficientes recursos en el grupo de investigación, se podría hacer la prueba en cerdo. Sin embargo, muchas veces se pasa a pruebas ya clínicas en ciertos pacientes”.

Finalmente **Brian Derby habla de** la **dificultad de encontrar un financiamiento transdisciplinar**, desde fuentes que apoyen diversas disciplinas, y que **puede haber dificultades en proyectos transdisciplinarios** conseguir ser publicados en lo que la gente percibe como “*journals* de alto impacto”. Esto nuevamente nos habla de cómo la bioimpresión 3D pertenece al modo II de producción de conocimiento, al compartirse por vías “no tan formales”. La traba consiste entonces en que se está tratando de entender la bioimpresión desde el modo de producción I cuando en realidad los avances en el campo se realizan de acuerdo al modo de producción II.

Hasta este momento, hemos visto entonces dificultades compartidas por la UoM y la UNAM; pero hay problemas enfrentados en la UNAM que no fueron mencionados en las

entrevistas de los investigadores de la UoM. Por ejemplo, Leopoldo Ruíz indica: “el principal tema es económico, porque trabajar con algunos materiales puede llegar a ser costoso. Mantener los equipos funcionando puede costar miles de dólares al año. Eso involucra entender que se tienen que mantener. Una cosa es tener el equipo y otro mantenerlo”. Del mismo modo Cristina Piña comenta respecto a la falta de recursos: “no teníamos dinero para comprar una buena máquina. La máquina que pudimos comprar costó 14,000 pesos o algo así. Las buenas máquinas cuestan más de un millón de dólares. Se nos tapaba cada cinco minutos. Juan se la pasaba destapando la máquina. Hasta que ideó un montón de cosas que la mejoraron. Y después empezó a trabajar con polímeros y ya puede hacer una cantidad impresionante de cosas”. Cabe mencionar que aquí se observa algo que no se da en la UoM: el trabajo de **mejoramiento de la máquina**.

Pareciera además que **la escasez de recursos también influye en el tipo de investigación realizada**. Leopoldo Ruíz también comentó que: “en muchos de los casos más bien primero buscamos el recurso y teniendo el recurso se hace el proyecto” y que se deben “buscar recursos de muchas fuentes para conseguir ese faltante para mantener funcionando el laboratorio. Eso nos obliga, un poco, a que los proyectos que seleccionamos, que se ejecuten, vengán acompañados de algo a cambio. Un recurso que permita complementar ese diferencial”. Por tanto, pareciera que para tener este recurso, fuera necesaria la aplicación más pronta del conocimiento generado, lo cual remite a la realización de investigación aplicada y desarrollo experimental, sesgando las actividades de investigación básica que presentan resultados en plazos más largos. Algo similar es comentado por Cristina Piña: “yo pedí un proyecto, y tardaron dos años en liberarme el dinero. Yo había pedido un horno a 1500 grados. Nada más porque le caí bien al señor de los hornos, nos aguantó el precio dos años. Pero nadie hace eso”. Esto llevó a la investigadora a pedir proyectos más cortos, pero la misma doctora menciona que esto traba la investigación llevada a cabo porque lo que más necesita es tiempo. Es decir, que apoyen las actividades de investigación de manera prolongada y constante.

Asimismo, la entrevistada menciona que el mismo problema de **la falta de recursos económicos lleva a la pérdida de recursos humanos**: “tengo alumnos que vienen con

muchas ganas de trabajar que se quedan aquí hasta 24 horas a veces. Que le echan la vida a los proyectos, pero son humanos. Entonces llega hasta dónde ellos quieren, o hasta donde ellos pueden. Si el proyecto resulta sumamente atractivo, yo espero que haya becas de fuera, no sé de dónde, pero que puedan seguir haciendo esto. Porque la gente aquí termina y se va, y tú empiezas en ceros con alguien que viene a hacer su servicio social y aprende a aprender los diferentes lenguajes. Cuando ya tenías aquí un experto y se va, cuando a veces ni siquiera consigue trabajo de lo que es experto”.

Adicionalmente, se menciona **hay una peor formación de los recursos humanos**. La entrevistada comenta: “Mira, es una pena, pero los chicos salen cada vez peor preparados. No se puede. A mí no me alcanza el tiempo para preparar a seis personas nuevas. Tenemos muchas cosas. No necesitamos tener los grandísimos laboratorios. Pero sí necesitamos gente que estudie y la mayor parte de los chicos vienen con muchos problemas económicos en sus familias. Entonces, apenas están avanzando cuando de pronto se tienen que ir a trabajar. Tienen beca, pero a veces no es suficiente. Entonces hay muchas **cosas del orden social y económico que no permiten que esto llegue a mucho**, por un lado, y, por otro lado, **salen y no encuentran trabajo**”. Lo cual habla de un entorno socioeconómico y políticas de ciencia y tecnología no favorables.

Pero, además, hay una **falta de coordinación en las actividades cotidianas mismas de investigación**. Como menciona Cristina Piña: “hay veces que estás haciendo un cultivo celular para probar tus materiales, y llega la señora de la limpieza, abre la incubadora, y se contamina. Y tienes que volver a empezar. Entonces, a pesar de que hemos metido muchas reglas, siempre hay el factor improvisado que a lo mejor atora. O se fue la luz. Afortunadamente, aquí muy pocas veces se va la luz, porque el instituto tiene fuentes para entrar inmediatamente, pero nos ha sucedido”. Leopoldo Ruíz comentó en el mismo sentido que existe “la dificultad de sincronizar esquemas de trabajo. Un ejemplo: hacer un informe con manejo de bitácoras. Puede sonar muy trivial pero cuando se presentan resultados, y cada quien los presenta de una manera particular, entonces no existe un adecuado flujo de información”. No hay un seguimiento de las reglas o hay una carencia de las mismas.

Finalmente, un comentario a destacar es el de Juan Manuel Pérez, el cual, refiriéndose a la aprobación de pruebas, indica que: “es muy difícil que la empresa solicite el desarrollo [de pruebas]. Normalmente lo que hacen es importar las tecnologías”. **Esto significa que no se realizan o afinan las pruebas preclínicas o clínicas porque las empresas no esperan este tipo de actividades se realicen en México. Las pruebas se realizan en otros países y una vez aprobadas se exportan los resultados de investigación, lo cual provoca no se entienda a profundidad el tema dadas las condiciones de transferencia de información. Hay una brecha tecnológica fundamentada en una brecha de conocimiento.**

El tema es entonces de gobernanza, pues al instaurarse un **sistema nacional de innovación en el cual no se prioriza el desarrollo de la tecnología de bioimpresión 3D**, resulta evidente que no se busquen resolver los problemas estructurales que frenan esto, a diferencia del caso inglés.

Respecto a motivantes en las actividades de I+D, por parte de la UoM, Tony Khalil indica: “creo que lo que estamos intentando hacer es mejorar la industria del cuidado de la salud y promover un nivel de vida más alto [...] hacer las cirugías más fáciles para los pacientes, ya sea con nuevos tratamientos o resolviendo el problema de transferencia de órganos. Así que, se trata de salvar vidas”. Brian Derby por otro lado, comenta que los cirujanos con los que se encuentra trabajando se ven motivados por resolver problemas en “trauma, ambos habiéndose involucrado en la cirugías después del atentado en Manchester. También se encuentran trabajando en accidentes automovilísticos”. El último entrevistado, Marco Domingos, indica que: “todo proyecto necesita ser dirigido por una necesidad médica, y tiene que ser desarrollada de tal modo que se asegure su acceso a todo el mundo”.

Del lado de la UNAM, tanto por parte de Juan Manuel Pérez como por parte de Cristina Piña, se indica que **los motivantes son de índole personal**. De manera resumida la doctora indica que: “a mi laboratorio no llega alguien que hace su servicio social y se va a trabajar a una empresa. A mi laboratorio llegan personas que quieren ayudar: “sabe qué, que mi familia, que mis primos, que les pasó, que el corazón de mi abuela”. Eso lo viven tan intensamente que se vienen a trabajar acá”.

Pero, **en lo que refiere a motivantes**, Leopoldo Ruíz apunta más bien una dificultad. El entrevistado dice: “yo creo que lo más importante es la motivación, la zanahoria, y la zanahoria pueden ser muchas cosas, desde el impacto económico, el social, el intelectual, etc. Desafortunadamente, creo que en este momento estamos muy **extraviados con el tema de innovación, disrupción, emprendimiento**. Aplaudo completamente estas acciones, pero considero que debemos centrarnos en resolver problemas que afectan a la sociedad mexicana. Hacer investigaciones en temas de agua, energía, salud, criminalidad, etc. Y sobre estos, estoy seguro que todas las áreas del conocimiento tienen algo que aportar”.

En suma, en el caso inglés se percibe que la motivante de las investigaciones es promover una mejora en la salud de las personas. En la UNAM también se tiene esta motivante pero abordada de un modo diferente en el laboratorio de Cristina Piña: lo que motiva los avances son experiencias personales, que escalan a buscar un bienestar en otras personas que se vean afectadas por el mismo problema, pero no se partió en un inicio de buscar la mejora en salud de la población en términos generales, como en la UoM. Esto es coherente con el comentario de Leopoldo Ruíz. En realidad no se está buscando primero resolver un problema de bienestar general. Esto indica que la UNAM, contrario a la UoM, no está siendo del todo coherente, en motivantes, con la responsabilidad y reflexividad social del modo de producción de conocimiento II.

3. ¿Qué se puede aprender del caso inglés?

Otro hallazgo importante que vale la pena rescatar, proviene de los comentarios que hicieron los entrevistados de la UoM respecto a qué se necesita para lograr avances en las actividades de I+D en bioimpresión 3D. Tony Khalil, indica que **es necesario haya un especialista** al cual dirigirse en caso de duda. Brian Derby, habla de cómo la clave del éxito es **tener buenos vínculos con biología y medicina**, porque muchos grupos no tienen la parte clínica. Marco Domingos también menciona que **las colaboraciones son muy importantes** en bioimpresión 3D. Es necesario **tener un grupo fuerte que sostenga la parte de biomateriales y biología celular** si se busca una aplicación en medicina

regenerativa. Sumando lo anterior a lo rescatado en la sección 1 y 2 del capítulo, se puede aprender del caso inglés lo siguiente:

- Tanto las publicaciones de tipo *Article* como las publicaciones de tipo *Conference Paper* son de valor, por lo cual no se debe descartar alguno de los dos tipos de documentos al momento de buscar la difusión de los resultados de investigación. Esto cuidando que el número de citas sea importante, pues esto significa el conocimiento generado es reconocido por la comunidad científica de bioimpresión 3D.
- Los grupos de trabajo implican el trabajo de varios investigadores, especializados en las distintas áreas de conocimiento requeridas por el proyecto, ya que la I+D en bioimpresión 3D es transdisciplinar.
- Se realizan los tres tipos de I+D identificados por el Manual de Frascati.
- Hay un esfuerzo conjunto de escalar los descubrimientos de investigación básica a desarrollo experimental y profundizar la investigación en temas fundamentales.
- La colaboración con médicos, tanto de la escuela misma de medicina de la universidad como hospitales, es necesaria, para asegurarse que la investigación está resolviendo un problema real y para recibir retroalimentación respecto a pruebas clínicas.
- Se recomienda guiarse por las líneas de trabajo ya planteadas (tejido óseo; aplicaciones clínicas; tejido humano; tintas, biotintas o hidrogeles; andamios; regeneración de piel; aplicaciones biomédicas; aplicaciones en ingeniería de tejidos u órganos y prótesis) considerando que las principales son tejido óseo, tejido humano y andamios; con miras a proyectos en tintas, biotintas o hidrogeles.
- No debe descartarse dirigir la bioimpresión 3D a otras aplicaciones médicas. En particular resaltan proyectos ligados a la creación de microchips orgánicos o prótesis y desarrollo de fármacos.
- Las motivantes son de orden social, buscando mejorar la salud y bienestar de las personas.

En términos generales, los aspectos anteriores reflejan que se investiga de acuerdo a la coherencia del modo II de producción de conocimiento. Esto se refleja en un pasaje de entrevista del doctor Marco Domingos: “si quieres dirigirte al cliente, debes identificar la necesidad médica, y después traer al proyecto las diferentes capacidades de investigación. Diferentes áreas de investigación, como materiales, biología celular o ingeniería; de tal modo que se desarrolle un proyecto con impacto científico que pueda medirse en publicaciones. Pero también que tenga un impacto en la sociedad. Generar beneficios para los pacientes pero también en términos de la industria. Por tanto, si se quiere desarrollar la industria biotecnológica, se deben hacer investigación de impacto”. Dicha visión, probablemente ha sido la que ha fomentado las actividades de I+D en la UoM maduren de tal modo que se ha vuelto un referente en el campo.

En lo referente a la UNAM, se han comparado anteriormente algunos de los aspectos que se resaltan en el caso inglés, aunque la comparación es limitada considerando que la UNAM apenas se encuentra reflejando los esfuerzos de investigación en bioimpresión 3D. No obstante, hay aspectos a rescatar sobre la UNAM que permiten tener una guía respecto a los que parecen ser propios del contexto mexicano.

- Hay una falta de sensibilización respecto al tiempo requerido para presentar resultados.
- Pueden existir trabas regulatorias las cuales, en su defecto, deben aprender a superarse por medio de adaptaciones para que no frenen el proyecto (p.e. al pasar de pruebas preclínicas en animales pequeños a pruebas clínicas, sin pasar por pruebas preclínicas en animales medianos o grandes).
- Hay una falta de recursos económicos para llevar adelante los proyectos y trabas en la misma recepción de los apoyos relacionadas al tiempo de entrega de los recursos.
- La misma falta de recursos económicos lleva a una pérdida de recursos humanos, los cuales desertan las actividades de investigación.
- Hay un problema en la formación de recursos humanos, los cuales se encuentran menos preparados.

- Pueden existir problemas de coordinación al realizar las actividades de investigación, las cuales deberán resolverse implementando un sistema de gestión eficiente.

Debe considerarse además que la falta de recursos económicos, o la deficiencia en la prestación de los mismos, puede provocar las actividades de I+D se inclinen a ser de tipo investigación aplicada o desarrollo experimental, pues requieren menos tiempo y, en términos generales, los apoyos otorgados en proyectos de corto plazo han sido más efectivos para llevar a cabo las actividades de investigación. Esto implica que existe la posibilidad de que las actividades se dirijan a un tipo de I+D que generan un menor valor, considerando, en contraparte, que en casos como el de la UoM se están realizando esfuerzos en profundizar la investigación básica, promoviendo por tanto, una mayor generación de valor.

Considerando lo anterior para el caso de la UAM-I, de acuerdo a la información dada por el entrevistado se puede comentar lo siguiente:

- Hay toda una trayectoria en la elaboración de instrumentos quirúrgicos, dispositivos médicos y modelos anatómicos, la cual se puede aprovechar considerando que la aplicación médica de bioimpresión 3D no es excluyente.
- Dicha trayectoria ha procurado que la UAM-I se vea familiarizada con las regulaciones ligadas a pruebas preclínicas y clínicas, lo cual puede facilitar la superación de dicha problemática.
- Los proyectos que se planea llevar a cabo implican la colaboración con el Instituto Nacional de Rehabilitación (INR), lo cual implica hay contacto con médicos, los cuales, como se ha mencionado anteriormente, son agentes clave en los grupos de investigación. Aunque esto no debe descartar la posibilidad de realizar colaboraciones con hospitales o inclusive con la carrera de medicina de la UAM Xochimilco.
- Las líneas que se plantea trabajar se alinean a las principales líneas de trabajo identificadas en la UoM y la UNAM: tejido óseo y tejido humano (cartilaginosa y

cardíaco). Aunque, no debe descartarse la posibilidad de explorar otras líneas de investigación, inclusive debería considerarse ir concentrando esfuerzos en líneas de trabajo potenciales como tintas, biotintas e hidrogeles.

- Los proyectos que se han llevado a cabo contemplan que es necesario que los equipos sean conformados por investigadores especializados en las distintas áreas requeridas. Hay familiaridad con el hecho que se trata de un campo transdisciplinar. Además, se llevan ya los tres tipos de I+D, por lo cual podría esperarse se desarrolle tanto investigación básica, como investigación aplicada y desarrollo experimental en bioimpresión 3D
- Emilio Sacristán menciona: “el tipo de investigación que nosotros hacemos es muy cara y dependemos mucho de fondos de investigación del gobierno. Aquí en México los fondos de gobierno son de la misma talla para todos y salen una vez al año. Entonces típicamente aquí, aunque sí hay proyectos que pueden ser multianuales, la mayoría de los proyectos financiados por el gobierno son anuales. Quiere decir que por ahí de febrero te están avisando, por ahí de abril o mayo estás firmando y apenas a finales de mayo o junio estás empezando los trabajos. Y luego trabajamos a toda marcha hasta diciembre cuando hay que entregar resultados. No todos los proyectos tienen una duración de más o menos un año, porque no todos están financiados por el gobierno, pero el gobierno nos pone en esa dinámica. Aunque sí tenemos otros proyectos que no vienen de ahí, hay proyectos multianuales. Tenemos un poco de todo”. Por tanto, debe tenerse cuidado en no dirigirse únicamente a proyectos de corto plazo dado el manejo de recursos. Aunque parece no se están descartando proyectos de más largo plazo.
- Los aspectos recurso económico y procesos regulatorios, si bien han sido ya enfrentados y superados en proyectos anteriores, siguen siendo un problema importante. En palabras del entrevistado: “la dificultad principal siempre es el dinero. Dónde está, dónde y cómo lo ejercemos, y de dónde lo sacamos. Casi siempre los investigadores terminamos poniendo de nuestra bolsa y luego vemos cómo le hacemos para recuperar nuestro dinero, si es que podemos [...] La segunda

es, que nos retrasan los procesos regulatorios, los permisos para hacer pruebas en humanos, en animales. Tenemos que pasar por comités de ética, a veces se tardan mucho, a veces los procesos son muy lentos, juntar toda la documentación, hacerlo todo bien”.

- Asimismo, en el caso de la UAM-I, se hacen comentarios respecto a la escasez de fondos de apoyo y una falta de sensibilización en los tiempos requeridos para presentar resultados: “creo que como país, una de las cosas que más necesitamos ahorita es que se creen fondos de inversión específicos que se decidan por especialistas [porque] el que no conoce bien el tema en el que se está metiendo, le tiene miedo a lo que no conoce. Entonces es muy difícil financiar este tipo de proyectos, todo lo que es biomédico. Tienen por un lado mercados muy atractivos, son mercados muy grandes, de muchísimo dinero, con un potencial de negocio muy grande. Pero requieren muchos más años de I+D y hay que invertir mucho más. Los experimentos son mucho más caros, y toma mucho más tiempo realizarlos. Los sistemas de apoyo que existen en México no contemplan eso y muchos de los fondos de inversión tampoco. No solo fondos de inversión, también yo hablaría de fondos de proyectos. Típicamente son para proyectos de 1 año, mientras estas cosas son proyectos de 3-4 años. Entonces lo que hacemos nosotros es que lo partimos en 4 pedacitos y pedimos fondos de 1 año. Pero luego, si por alguna razón en uno de los años no se nos da el fondo, se detiene el proyecto de investigación. Sería mucho mejor poder pedir un proyecto de 4 años porque es lo que te va a tomar hacer las pruebas. Pero no existen programas así de específicos y sí, todo lo que es ciencias de la salud sí requiere fondos con tiempos más largos y montos más grandes. [Se requieren en la definición de estos fondos] especialistas que entienden las necesidades del sector, porque sí es un mundo lleno de minas, es un campo minado muy peligroso. Entonces sí necesitas gente que de verás conoce cómo se debe de hacer y no tenemos tanta experiencia en México”.
- **Sobre la** formación de recursos humanos, no parece ser un problema enfrentado en el caso de la UAM-I. Inclusive se menciona la ventaja de trabajar con ingenieros

biomédicos, siendo este el punto fuerte del laboratorio, pero también con toda clase de especialidades diferentes (veterinarios, psicólogos, médicos con especialidades diferentes, toda clase de ingenieros y diseñadores industriales). No obstante, esto no debe hacer que se pierda de vista la necesidad de tener expertos en biomateriales e ingeniería celular.

Finalmente hay que tener en cuenta que la UAM-I posee ciertas ventajas en relación a los casos presentados. Por ejemplo se cuenta con una incubadora que permite escalar los proyectos a empresas, lo cual, podría facilitar se generen patentes asociadas a la universidad. Aunque no debe olvidarse el valor de presentar tanto de *Articles* como *Conference Papers*.

Otra ventaja es que se cuenta con sistemas avanzados de imagenología médica. Esto no solo ha hecho que los médicos por sí solos se acerquen al laboratorio, sino que además permite escalar las actividades de bioimpresión 3D al área de software. Fenómeno también encontrado en la UoM de acuerdo al *abstract* de la publicación de abreviatura *A correlative imaging*. Emilio Sacristán de hecho comenta: “nosotros aquí tenemos proyectos que son de software, proyectos que son de hardware, proyectos que son quirúrgicos, proyectos que son de imagen³²”.

Por último, de acuerdo a lo indicado con el entrevistado, hay todo un sistema de colaboración, no solo con otras universidades, como se da en el caso de la UoM y la UNAM, sino con otro tipo de agentes: con empresas.

³² En la UoM, tres publicaciones indican que se realizan esfuerzos en imagenología: *A correlative imaging*, *Combined stress* y *Complete integration*.

CONCLUSIONES

En conclusión, en el trabajo se logró hacer un comparativo de las actividades de I+D de la UoM, UNAM y UAM-I considerando el tipo de investigación llevada a cabo, el valor agregado asociado a cada uno de ellas y otras características respecto a las dinámicas de trabajo como son: áreas, líneas y aplicaciones médicas de la investigación, motivantes y problemas enfrentados. De este modo, se logran rescatar varios aspectos que permiten aprender de cada caso para guiar esfuerzos futuros.

Sobre los tipos de investigación, se puede concluir, que en las tres universidades se está realizando investigación básica, investigación aplicada y desarrollo experimental. En el caso de la UoM y la UNAM, en bioimpresión 3D directamente, en la UAM-I, en otras aplicaciones médicas de impresión 3D, teniendo en mira dirigirse próximamente a bioimpresión 3D. La diferencia existente en las actividades de I+D de la UoM y la UNAM consiste principalmente en la dinámica de los tres tipos de I+D. Si bien en ambos casos hay indicios de la aplicación del conocimiento de investigación básica para desarrollo experimental, en la UoM, además, se está profundizando la investigación básica. Esto corrobora la hipótesis del trabajo según la cual, la investigación de la UoM se dirige a actividades de mayor valor agregado en el desarrollo de aplicaciones médicas de bioimpresión 3D, siendo que, de acuerdo al marco conceptual propuesto, las actividades de investigación básica generan un valor mayor al de investigación aplicada, la cual, a su vez, genera más valor que el desarrollo experimental. Considerando entonces la *curva de la sonrisa* como diagrama analítico, la UoM parece estar preparando una inserción a actividades de I+D de un mayor valor agregado, y priorizando la generación de un conocimiento fundamental en áreas clave para su futura aplicación comercial. Por otro lado, la UNAM parece estar preparando una inserción a actividades de I+D de un menor valor agregado al priorizarse una aplicación comercial temprana y no una profundización de las actividades de investigación básica.

Asimismo, sobre la fuente de estas conclusiones, la UoM dio señales de estar realizando los tres tipos de investigación de acuerdo a datos cuantitativos y cualitativos. En la UNAM, en

la parte de resultados de bibliometría sólo se dan indicios de investigación básica, mientras que en las entrevistas se menciona se están realizando los tres tipos de investigación. No obstante, esto es hasta cierta medida entendible por el hecho que la UoM posee una trayectoria de 15 años (o más) en el campo, mientras la inserción de la UNAM se hizo en años recientes.

Se ha identificado que las actividades de la UoM son coherentes de acuerdo a la lógica del modo II de producción de conocimiento. **Es entonces importante considerar, de acuerdo a la experiencia de esta universidad, que la bioimpresión 3D (en tanto que ciencia biomédica) requiere que sus actividades de investigación se desenvuelvan de acuerdo a las características de este modo II. Querer realizar las actividades de investigación de acuerdo al modo I puede provocar trabas en los avances de los proyectos.**

Respecto a las áreas de investigación, se lograron localizar dos áreas clave en bioimpresión 3D de acuerdo a la experiencia de la UoM: biomateriales y biología celular. Es importante resaltar este aspecto considerando que de acuerdo a la trayectoria narrada en entrevistas, el laboratorio de la doctora Cristina Piña se ha acercado al tema de bioimpresión 3D pasando de la física en medicina a biomateriales. Por parte del Laboratorio Nacional de Manufactura Aditiva y Digital (MADiT), el acercamiento ha sido en relación a la priorización del tema de manufactura aditiva; específicamente con vías de aplicación en sector automotriz, aeroespacial y biomédico, pero la trayectoria parece dirigirse por la parte ingenieril. Cristina Piña indica que el doctor Leopoldo Ruíz es experto en manufactura aditiva mientras que en su laboratorio se especializan en temas de biología y materiales. Por parte del Centro Nacional de Investigación en Imagenología e Instrumentación Médica (CI3M), la decisión de inclinarse a temas de bioimpresión 3D viene por la ampliación de las aplicaciones médicas que se contempla tratar; puesto que a la fecha ya han trabajado sobre instrumentos quirúrgicos, dispositivos médicos y modelos anatómicos. Esto representa una oportunidad si se considera que en el presente trabajo se descubrió que la aplicación médica de bioimpresión 3D no consiste exclusivamente en la elaboración de tejidos y órganos (Kolesky et al, 2014; Jose et al, 2016; Madrycky et al, 2017; Grand View Research, 2018).

Adicionalmente, se localizó una aplicación médica no contemplada de acuerdo a Ventola (2014): desarrollo de dispositivos médicos (electrónicos).

Sobre las líneas de investigación. Se lograron localizar nueve líneas de investigación a partir del caso inglés (tejido óseo; aplicaciones clínicas; tejido humano; tintas, biotintas o hidrogeles; andamios; regeneración de piel; aplicaciones biomédicas; aplicaciones en ingeniería de tejidos u órganos y prótesis) de las cuales tres se posicionan como principales (tejido óseo, tejido humano y andamios). Dichas líneas también son centrales en la investigación llevada a cabo en la UNAM y corresponden a las que la UAM-I busca abordar. Cabe mencionar, que tanto en el caso de la UoM como en la UNAM, se está reconociendo la necesidad de realizar investigación en tintas, biotintas o hidrogeles. Es importante considerar dicho aspecto para el caso UAM-I, pues se podría inclinar desde etapas tempranas a un área potencial.

En el aspecto motivantes, se rescata que en la UoM lo que guía las actividades de investigación es la búsqueda por una mejora general en la salud, y por tanto bienestar, de las personas. Esto teniendo en cuenta que se reconozca el problema del lado médico. En el caso de la UNAM, la intención es similar, pero partiendo de casos micro, personales a los investigadores, que benefician al público que enfrenta los mismos problemas. De ahí que se considere como dificultad el tema de motivante, el cual parece enfocarse en el aspecto de tecnología disruptiva más que en el de bienestar general. En el caso de la UAM-I, no se menciona de manera directa qué motiva las actividades de investigación; sin embargo, no se pierde de vista el hecho que son proyectos con mercados atractivos, grandes, con potencial de negocio. Otro hallazgo importante relacionado a motivantes, es la identificación de los médicos como agentes clave que hacen el puente entre el proyecto y las necesidades reales del sector salud.

En términos generales pareciera que la investigación de la UNAM, y futuros esfuerzos planteados por la UAM-I, se alinean a la tendencia en este tipo de actividades. De ahí que se localicen similitudes de la UNAM y la UAM-I con la UoM respecto a tipos de investigación, aplicaciones médicas, líneas de trabajo y dificultades enfrentadas respecto a

sobrepasar la frontera de conocimiento, la falta de sensibilidad de los tiempos requeridos para presentar resultados, y las trabas regulatorias. No obstante, se identifican dos problemas mayores contextuales en los casos mexicanos que influyen en el cómo se llevan a cabo los proyectos. Por una parte, la falta de recursos económicos frena los avances de investigación, en cuestión de tiempo, pero también por la pérdida de recursos humanos. **Por otro lado, la forma en la que se otorgan apoyos a las actividades de investigación no es adecuada respecto a los requerimientos de tiempo de las mismas. Los programas proveen apoyo durante periodos cortos de un año cuando la investigación llevada a cabo requiere al menos de cuatro años de trabajo.** Esto ha provocado se fragmenten los proyectos en distintas etapas, con el riesgo de perder la financiación del mismo si no se renueva. Además, esto puede acarrear como consecuencia, que los proyectos tiendan a realizar investigación aplicada o desarrollo experimental, ya que estas actividades requieren menos tiempo, siendo que la bioimpresión 3D requiere de investigación básica para generar avances que además generen un mayor nivel de valor.

El presente trabajo ha construido un enfoque que combina distintos **conceptos** (tipología de las actividades de I+D³³, modo I y II de producción de conocimiento³⁴ y *curva de la sonrisa*³⁵) para lograr analizar a profundidad las actividades de I+D en bioimpresión 3D³⁶. A partir de este análisis, es posible apuntar qué se puede aprender de la experiencia de la UoM, en tanto que universidad pionera en este tipo de actividades; y de la UNAM, siendo una de las universidades mexicanas que se encuentra realizando actividades avanzadas en este campo. El estudio se abordó a partir de una metodología mixta, que permitió rescatar aspectos macro, cuantitativos; y micro, cualitativos, de la situación; explorando la utilidad de herramientas cuantitativas, como bibliometría y patentometría, para ponderar las aportaciones de los resultados de investigación; y aprovechar la información de entrevistas

³³ Pappas & Remer, 1985; Drongelen & Cook, 1997; Kim & Oh, 2002; OECD, 2015.

³⁴ Gibbons et al, 1997.

³⁵ Fernandez-Stark et al, 2011; Baldwin, 2012; Baldwin & Low, 2013; Low 2013; Moavenzadeh, 2015; Gereffi & Fernández-Stark, 2016 ; Rehnberg & Ponte , 2018.

³⁶ Jose et al, 2016; Rodríguez et al, 2017.

a investigadores líderes para conocer detalles sobre cómo ha sido el proceso de desarrollo de la tecnología.

Cabe resaltar que el análisis a profundidad que se hizo de la etapa de I+D puede realizarse en otras etapas productivas descritas por la *curva de la sonrisa* como adquisición, producción, distribución, marketing y servicios. Esto permitiría dar profundidad al análisis de la cadena global de valor, no sólo para el caso de bioimpresión 3D, sino para otras tecnologías. De este modo, se lograría tener un panorama más amplio sobre los procesos de escalamiento de la industria.

Respecto a las limitantes del trabajo que se han presentado. Por una parte debe considerarse que se trata de un trabajo exploratorio debido a que apenas se aborda el caso de tres universidades. Sería entonces interesante, en trabajos posteriores, realizar el mismo tipo de ejercicio considerando más universidades.

La elección del agente universidad se hizo ya que la bioimpresión 3D es una tecnología disruptiva que apenas se encuentra en etapas tempranas. En este sentido, podría ser enriquecedor ver en años posteriores cuál ha sido la evolución de la misma, sin tener que limitar el estudio a universidades, considerando otros agentes que ya se hayan establecido, como por ejemplo, empresas. Esto no sólo podría arrojar más resultados, sino que además permitiría referirse a una cadena global de valor ya establecida, en lugar de una cadena global de valor futura.

Otro aspecto a retomar es la terminología de búsqueda utilizada en las bases de datos bibliométricas y de patentes, la cual debería replantearse considerando (1) sus limitantes **respecto al número** de términos empleados, la forma en que fueron asociados y el idioma, y (2) que han surgido nuevos términos relacionados a bioimpresión 3D (como *bioplotting*).

Finalmente, hay otros aspectos a considerar dentro de las actividades de I+D en bioimpresión 3D. Por ejemplo, podrían profundizarse los temas de capacidades de investigación, áreas fundamentales, o, inclusive, hacer la evaluación de aspectos sistémicos del desarrollo de la tecnología y de la gobernanza.

Considerando que “el poder de gobernar la red y la distribución de ganancias se sustenta en las capacidades intangibles [...] de los países desarrollados para invertir en investigación y desarrollo, diseño de producción, creación de marcas y estrategias de comercialización” (Reyes & Rozo, 2015, p. 12). Por lo cual, el dedicarse a actividades de I+D es una vía por medio de la cual los países se pueden colocar en una posición estratégica a nivel global.

Esto apoyándose en políticas de gobierno que ofrezcan puntos de apalancamiento ya que “para lograr que las cadenas globales de valor contribuyan a un mayor estado de desarrollo es pertinente que el Estado oriente el funcionamiento de las cadenas globales de valor por medio de políticas industriales” (Reyes & Rozo, 2015, p. 31). **Deben entonces coordinarse aspectos locales (tipo de escalamiento, contexto institucional local y partes interesadas de la industria) guardando una perspectiva global. Es decir, vislumbrando la gobernanza, distribución geográfica de las actividades de producción, así como la lógica de entrada y salida, de la futura cadena global de valor de bioimpresión 3D, de acuerdo a la *curva de la sonrisa*.**

BIBLIOGRAFÍA

- Baldwin, R. (2012). “Global supply chains: why they emerged, why they matter, and where they are going”. *CEPR Discussion Papers*, 9103, pp. 1-32.
- Baldwin, R. & Low, Patrick. (2013). “Changing features of global value chains”. En Elms, Kay, D. & Low, P. (editores), *Global value chains in a changing world*, WTO Publications, Fung Global Institute, Temasek Foundation Centre for Trade & Negotiations, pp. 11-82.
- Cohen D., M. Sargeant & Somers, K. (2014). “3-D printing takes shape”. *McKinsey Quarterly*. [<https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/3-d-printing-takes-shape>]
- Columbus, L. (2015). “2015 Roundup of 3D printing forecasts and estimates”. *Forbes*. [<https://www.forbes.com/sites/louiscolombus/2015/03/31/2015-roundup-of-3d-printing-market-forecasts-and-estimates/#3071ec251b30>]
- Drongelen I.; Cook A. (1997). “Design principles for development of measurement systems for research and development processes”. *R&D Management*, 27 (4), pp. 345–57.
- Fernandez-Stark, K., Frederick S. & Gereffi G. (2011). *Globalization, Governance and Competitiveness*. Duke University Center.
- Gereffi, G. & Fernández-Stark, K. (2016). *Global value chain analysis: a primer*. Duke CGGC.
- Gibbons, M.; Limoges, H.N.; Schwartzman, S; Scott, P. & Trow, M. (1997). *La nueva producción del conocimiento. La dinámica de la ciencia y la investigación en las sociedades contemporáneas*. Pomares-Corredor.
- Grand View Research (2015). “3D Bioprinting Market Analysis By Technology (Magnetic Levitation, Inkjet Based, Syringe Based, Laser Based), By Application (Medical, Dental, Biosensors, Consumer/Personal Product Testing, Bioinks, Food And Animal Product Bioprinting) And Segment Forecast”.
- Grand View Research (2018). “3D Bioprinting Market Size Worth \$6.6 billion by 2014”.

- Hood, W.H. & Wilson, C.S. (2001). "The literature of bibliometrics, scientometrics, and infometrics". *Scientometrics*, vol. 52, n° 2, pp. 291-314.
- Jose, R.R.; Rodríguez, M.J.; Dixon, T.A.; Omenetto, F.; & Kaplan, D.L. (2016). "Evolution of Bioinks and Additive Manufacturing Technologies for 3D Bioprinting". *American Chemical Society. Biomaterials Science & Engineering*, 2, pp. 1662-1678.
- Kelle, U. (2001). "Sociological Explanations between Micro and Macro and the Integration of Qualitative and Quantitative Methods". *Qualitative Social Research*, vol. 2, n°1, , pp. 1-22.
- Kim, B. & Oh, K. (2002). "An effective R&D performance measurement system: survey of Korean R&D researchers". *OMEGA*, vol. 30, pp. 19-31.
- Kolesky, D.B.; Truby, R.L.; Gladman, A.S.; Busbee, T.A.; Homan, K.A. & Lewis, J.A. (2014). "3D Bioprinting of Vascularized, Heterogeneous Cell-Laden Tissue Constructs". *Advanced Materials*, 26, pp. 3124-3130.
- Low, P. (2013). "The role of services in global value chains". *Fung Global Institute*, pp. 1-15.
- Mandrycky, C.; Wang, Z.; Kim, K.; Kim, D.. (2017). "3D Bioprinting for Engineering Complex Tissues". *Biotechnol Adv.*, 34(4), pp. 422-434.
- Miravalls, J. (2014). "El padre de la impresora 3D gana el Oscar europeo de los inventores". *El Mundo*.
[<http://www.elmundo.es/ciencia/2014/06/17/53a012fc22601dc46a8b457a.html>]
- Miyamoto, O. S. (2015). "Impresión 3D. Hágalo usted mismo".¿*Cómo ves?*.
[<http://www.comoves.unam.mx/numeros/articulo/203/impresion-3d-hagalo-usted-mismo>]
- Moavenzadeh, J. (2015). "The 4th industrial revolution: reshaping the future of production". En WTO, *DHL Global Summit*.
- OECD (2015). *Frascati Manual: Guidelines for collecting and reporting data on research and experimental development*.

- OECD & EUROSTAT (2018). *Oslo Manual: Guidelines for Collecting, Reporting and Using Data on Innovation. 4th Edition*.
- Pappas R.A.; Remer D.S. (1985). "Measuring R&D productivity". *Research Management*, 28(3), pp. 15–22.
- Rehnberg, M. & Ponte, S. (2018). "From smiling to smirking? 3D printing, upgrading and the restructuring of global value chains". *Global Networks*, 18, 1, pp. 57-80.
- Rodríguez, M.; Rio R.M.; Garechana, G. (2017). "Scientometric and patentometric analyses to determine the knowledge landscape in innovative technologies: The case of 3D Bioprinting". *PLOS ONE*, 12(6), pp. 1-22.
- Reyes, J.D. & Rozo, C. (2015). "Cadenas globales de valor y Transferencia de tecnología. Un enfoque teórico". *DPE Documentos de Trabajo*, n°3, pp. 1-36.
- Schwab, K. (2016). *The fourth industrial revolution*. World Economic Forum.
- Stamford, C. (2015). "Gartner Says Worldwide Shipments of 3D Printers to Reach More Than 490,000 in 2016". *Gartner*.
[<https://www.gartner.com/newsroom/id/3139118>]
- Universidad Autónoma Metropolitana. (2016). "Desarrolla el CI3M de la UAM Aplicaciones médicas del más alto nivel". *Semanario de la UAM*, vol. XXII, n°3, pp. 4-5.
- Vanti, N. (2000). "Métodos cuantitativos de evaluación de la ciencia: bibliometría, cienciometría e informetría". *Investigación bibliotecológica*, vol. 14, n° 29, pp. 10-23.
- Vazhnov, A. (2013). *Impresión 3D. Cómo va a cambiar el mundo*. Baikal.
- Ventola, C.L. (2014). "Medical applications for 3D printing: current and projected uses". *Pharmacy and Therapeutics*, vol. 39 n°10, pp. 704-711.

ANEXOS

ANEXO 1: TERMINOLOGÍA DE BÚSQUEDA DE PUBLICACIONES EN SCOPUS

(((TITLE-ABS-KEY((cell OR bone OR cartilage OR tissue OR organ OR scaffold* OR bioscaffold* OR "bio scaffold" OR bio-scaffold OR biomimetic* OR skin) PRE/1 (PRINT*))) OR (TITLE-ABS-KEY((TISSUE PRE/0 ENGINEER*) OR "REGENERATIVE MEDICINE" OR BIOMEDIC* OR (CANCER PRE/0 MODEL*) OR BIOMANUFACTUR*))) AND (TITLE-ABS-KEY((((("THREE DIMENSIONAL" OR 3D OR 3-D OR "3 D" OR THREE-D OR "THREE D" OR ADDITIVE OR FREEFORM OR DESKTOP) PRE/1 (PRINT* OR MANUFACTUR* OR FABRICAT*)) OR ((RAPID PRE/0 PROTOTYP*) OR "LAYER BY LAYER" OR LAYER-BY-LAYER)))))) OR (TITLE-ABS-KEY(BIO-FABRICAT* OR (BIO PRE/0 FABRICAT*) OR BIOFABRICAT* OR BIOPRINT* OR (BIO PRE/0 PRINT*) OR BIO-PRINT* OR BIOINK OR BIO-INK OR "BIO INK")))) AND NOT (TITLE-ABS-KEY (STEREOSCOPIC* OR "OXIDATION PRODUCT" OR (STREAMING PRE/0 INTERACTIVE) OR NANOWEB OR "NANO WEB" OR NANO-WEB OR "NON HALOGEN" OR NON-HALOGEN OR ((FOOD* OR FEED* OR LIQUID*) W/2 ADDITIVE*) OR "MEDIA ACCESS CONTROL" OR "MULTI-WAFER 3D CAM CELL" OR 3-SIGMA OR "THREE SIGMA" OR "3 SIGMA" OR THREE-SIGMA OR (RHEOLOG* PRE/1 ADDITIVE*) OR (VIBRATION PRE/1 ISOLATOR*) OR TOILET OR PAPER OR TRANSISTOR* OR "LIGHT EMITTING" OR DIODE OR "SOLAR CELL" OR SPECTOPHOTOM* OR SPECTROSCOP*)) AND (LIMIT-TO(PUBYEAR,2018) OR LIMIT-TO(PUBYEAR,2017) OR LIMIT-TO(PUBYEAR,2016) OR LIMIT-TO(PUBYEAR,2015) OR LIMIT-TO(PUBYEAR,2014) OR LIMIT-TO(PUBYEAR,2013) OR LIMIT-TO(PUBYEAR,2012) OR LIMIT-TO(PUBYEAR,2011) OR LIMIT-TO(PUBYEAR,2010) OR LIMIT-TO(PUBYEAR,2009) OR LIMIT-TO(PUBYEAR,2008) OR LIMIT-TO(PUBYEAR,2007) OR LIMIT-TO(PUBYEAR,2006) OR LIMIT-TO(PUBYEAR,2005) OR LIMIT-TO(PUBYEAR,2004) OR LIMIT-TO(PUBYEAR,2003)) AND (LIMIT-TO(DOCTYPE,"ar") OR LIMIT-TO(DOCTYPE,"cp"))

ANEXO 2: TERMINOLOGÍA DE BÚSQUEDA DE PATENTES EN USPTO

((BIO-FABRICAT\$ OR BIOFABRICAT\$ OR BIO-PRINT\$ OR BIOPRINT\$ OR BIO-INK OR BIOINK) OR ((THREE-DIMENSIONAL OR (THREE AND DIMENSIONAL) OR 3-D OR 3D OR THREE-D OR (THREE AND D) OR ADDITIVE OR FREEFORM OR DESKTOP) AND (PRINT\$ OR MANUFACTUR\$ OR FABRICAT\$)) OR ((RAPID AND PROTOTYP\$) OR LAYER-BY-LAYER OR (LAYER AND LAYER))) AND (((CELL OR BONE OR TISSUE OR ORGAN OR BIO-SCAFFOLD\$ OR BIOSCAFFOLD\$ OR BIO-MIMETIC\$ OR BIOMIMETIC\$ OR SKIN OR CARTILAGE OR SCAFFOLD\$) AND PRINT\$) OR ((TISSUE AND ENGINEERING\$) OR (REGENERATIVE AND MEDICINE) OR BIOMEDIC\$ OR (CANCER AND MODEL\$) OR BIOMANUFACTUR\$)) AND ((ICN/(GB OR MX)) OR (AAO/(GB OR MX)) OR (ACN/(GB OR MX))) AND (ISD/(1/\$/2003->7/\$/2018))

ANEXO 3: TERMINOLOGÍA DE BÚSQUEDA DE PATENTES EN USPTO POR PARTES

Grupo “tecnología” 1, considerando Reino Unido y México el periodo de tiempo 2003-2018:

(BIOFABRICAT\$ OR BIOPRINT\$) AND (((CELL OR BONE OR TISSUE OR ORGAN OR BIOSCAFFOLD\$ OR BIO-MIMETIC\$ OR BIOMIMETIC\$ OR SKIN OR CARTILAGE OR SCAFFOLD\$) AND PRINT\$) OR ((TISSUE AND ENGINEERING\$) OR (REGENERATIVE AND MEDICINE) OR BIOMEDIC\$ OR (CANCER AND MODEL\$) OR BIOMANUFACTUR\$)) AND ((ICN/(GB OR MX)) OR (AACO/(GB OR MX)) OR (ACN/(GB OR MX))) AND (ISD/(1\$/2003->7\$/2018))

Grupos tecnología 2 y 3 considerando la UoM³⁷ en el periodo 2003-2018:

((((THREE-DIMENSIONAL OR (THREE AND DIMENSIONAL) OR 3-D OR 3D OR THREE-D OR (THREE AND D) OR ADDITIVE OR FREEFORM OR DESKTOP) AND (PRINT\$ OR MANUFACTUR\$ OR FABRICAT\$)) OR ((RAPID AND PROTOTYP\$) OR LAYER-BY-LAYER OR (LAYER AND LAYER))) AND (((CELL OR BONE OR TISSUE OR ORGAN OR BIOSCAFFOLD\$ OR BIO-MIMETIC\$ OR BIOMIMETIC\$ OR SKIN OR CARTILAGE OR SCAFFOLD\$) AND PRINT\$) OR ((TISSUE AND ENGINEERING\$) OR (REGENERATIVE AND MEDICINE) OR BIOMEDIC\$ OR (CANCER AND MODEL\$) OR BIOMANUFACTUR\$)) AND ((IN/(UOM OR MANCHESTER)) OR (AANM/(UOM OR MANCHESTER)) OR (AN/(UOM OR MANCHESTER))) AND (ISD/(1\$/2003->7\$/2018))

Grupos tecnología 2 y 3 considerando la UNAM y UAM-I de acuerdo a las siguientes 3 categorías:

- *Inventor*³⁸

((((THREE-DIMENSIONAL OR (THREE AND DIMENSIONAL) OR 3-D OR 3D OR THREE-D OR (THREE AND D) OR ADDITIVE OR FREEFORM OR DESKTOP) AND (PRINT\$ OR MANUFACTUR\$ OR FABRICAT\$)) OR ((RAPID AND PROTOTYP\$)

³⁷ Se buscaron los términos UOM o MANCHESTER en el nombre de *Inventor*, *Applicant* o *Assignee*

³⁸ Se buscaron los términos UNAM, UAM o UNIVERSIDAD en el nombre de *Inventor*, delimitando los resultados a México

OR LAYER-BY-LAYER OR (LAYER AND LAYER))) AND (((CELL OR BONE OR TISSUE OR ORGAN OR BIOSCAFFOLD\$ OR BIO-MIMETIC\$ OR BIOMIMETIC\$ OR SKIN OR CARTILAGE OR SCAFFOLD\$) AND PRINT\$) OR ((TISSUE AND ENGINEERING\$) OR (REGENERATIVE AND MEDICINE) OR BIOMEDIC\$ OR (CANCER AND MODEL\$) OR BIOMANUFACTUR\$)) AND (IN/(UNAM OR UAM OR UNIVERSIDAD)) AND (ICN/MX)

- *Applicant*³⁹

(((THREE-DIMENSIONAL OR (THREE AND DIMENSIONAL) OR 3-D OR 3D OR THREE-D OR (THREE AND D) OR ADDITIVE OR FREEFORM OR DESKTOP) AND (PRINT\$ OR MANUFACTUR\$ OR FABRICAT\$)) OR ((RAPID AND PROTOTYP\$) OR LAYER-BY-LAYER OR (LAYER AND LAYER))) AND (((CELL OR BONE OR TISSUE OR ORGAN OR BIOSCAFFOLD\$ OR BIO-MIMETIC\$ OR BIOMIMETIC\$ OR SKIN OR CARTILAGE OR SCAFFOLD\$) AND PRINT\$) OR ((TISSUE AND ENGINEERING\$) OR (REGENERATIVE AND MEDICINE) OR BIOMEDIC\$ OR (CANCER AND MODEL\$) OR BIOMANUFACTUR\$)) AND (AANM/(UNAM OR UAM OR UNIVERSIDAD)) AND (AACO/MX)

- *Assignee*⁴⁰

(((THREE-DIMENSIONAL OR (THREE AND DIMENSIONAL) OR 3-D OR 3D OR THREE-D OR (THREE AND D) OR ADDITIVE OR FREEFORM OR DESKTOP) AND (PRINT\$ OR MANUFACTUR\$ OR FABRICAT\$)) OR ((RAPID AND PROTOTYP\$) OR LAYER-BY-LAYER OR (LAYER AND LAYER))) AND (((CELL OR BONE OR TISSUE OR ORGAN OR BIOSCAFFOLD\$ OR BIO-MIMETIC\$ OR BIOMIMETIC\$ OR SKIN OR CARTILAGE OR SCAFFOLD\$) AND PRINT\$) OR ((TISSUE AND ENGINEERING\$) OR (REGENERATIVE AND MEDICINE) OR BIOMEDIC\$ OR (CANCER AND MODEL\$) OR BIOMANUFACTUR\$)) AND (AN/(UNAM OR UAM OR UNIVERSIDAD)) AND (ACN/MX)

³⁹ Se buscaron los términos UNAM, UAM o UNIVERSIDAD en el nombre de *Applicant*, delimitando los resultados a México

⁴⁰ Se buscaron los términos UNAM, UAM o UNIVERSIDAD en el nombre de *Assignee*, delimitando los resultados a México

ANEXO 4: GUÍA DE ENTREVISTAS

- 1- Nombre y presentación de la persona entrevistada
- 2- ¿A qué aplicaciones médicas de impresión o bioimpresión 3D se dedica el o los proyectos de investigación que ha llevado a cabo?
- 3- Profundizar en la o las aplicaciones médicas.
- 4- ¿En qué etapa se encuentra el o los proyectos?
- 5- ¿Cuántas personas trabajan en el o los proyectos?
- 6- ¿Cómo se contactaron las personas involucradas?
- 7- ¿Cuáles son las características principales de su formación (grado y área)?
- 9- ¿Qué habilidades han desarrollado las personas involucradas?
- 10- ¿Cómo las han desarrollado?
- 11- ¿Qué conocimientos han tenido que aprender?
- 12- ¿Cómo se han educado en estas áreas?
- 13- ¿Considera que se necesitan más personas trabajando en el o los proyectos?
- 14- ¿Cuáles han sido las principales dificultades enfrentadas (en trabajo en equipo y en acceso o uso del equipo)?
- 15- ¿Con qué equipo cuentan y su valor estimado?
- 16- ¿Cómo se han hecho de él?
- 17- ¿Cuáles son las principales vías de financiamiento?
- 18- En su opinión ¿Qué es lo más importante/Qué falta para lograr avances en este campo?

ANEXO 5: ABREVIATURA DE LOS TÍTULOS DE PUBLICACIONES Y CONFERENCIAS

Título	Abreviatura título
3D-printed poly(ϵ -caprolactone)/graphene scaffolds activated with p1-latex protein for bone regeneration	3D printed scaffolds
Laser Ablation of Poly(lactic acid) Sheets for the Rapid Prototyping of Sustainable, Single-Use, Disposable Medical Microcomponents	Laser Ablation
Structural Evolution of PCL during Melt Extrusion 3D Printing	Structural Evolution
A new photocrosslinkable polycaprolactone-based ink for three-dimensional inkjet printing	A new ink
Three-dimensional printed bone scaffolds: The role of nano/micro-hydroxyapatite particles on the adhesion and differentiation of human mesenchymal stem cells	Three-dimensional printed bones
3D cell bioprinting of self-assembling peptide-based hydrogels	3D cell bioprinting
Influence of pore size and fibre orientation on stem cell proliferation in a 3D printed polycaprolactone scaffold	Influence of pore size
Effect of in vitro enzymatic degradation on 3D printed poly(ϵ -caprolactone) scaffolds: Morphological, chemical and mechanical properties	Effect of in vitro
A review on skin regeneration and silk fibroin	A review
A correlative imaging based methodology for accurate quantitative assessment of bone formation in additive manufactured implants	A correlative imaging
The effect of defects on the mechanical response of Ti-6Al-4V cubic lattice structures fabricated by electron beam melting	The effects
Bone Tissue Engineering: 3D PCL-based Nanocomposite Scaffolds with Tailored Properties	Bone Tissue
A perspective: Potential growth in the global magnesium industry - Where is our research leading US?	A perspective
Comparison of Three-dimensional Extruded Poly (ϵ -Caprolactone) and Polylactic acid Scaffolds with Pore size Variation	Comparison
Fabrication of ZrO ₂ -SiO ₂ binary oxide Scaffold for Bone Tissue Engineering applications	Fabrication
Design Consideration for ACL Implants based on Mechanical Loading	Design consideration
Additive manufacturing of electron® 43 alloy using laser powder bed and directed energy deposition	Additive manufacturing

Thermal analysis of an extrusion system of a 3-D bioprinter	Thermal analysis
Combined elastic and shear stress solicitations for topological optimisation of micro-CT based scaffolds	Combined stress
Osteogenic differentiation of adipose-derived mesenchymal stem cells into Polycaprolactone (PCL) scaffold	Osteogenic
Combination of 3D extruded-based poly (ϵ -caprolactone) scaffolds with mesenchymal stem/stromal cells: Strategy optimization	Combination
Complete integration of technology for improved reproduction of auricular prostheses	Complete integration
Inkjet printing biomaterials for tissue engineering: Bioprinting	Inkjet printing
Bioprinting: Inkjet printing proteins and hybrid cell-containing materials and structures	Bioprinting: Inkjet
Bioprinting: A beginning	Bioprinting: A beginning
Characterisation of collagen scaffolds using x-ray microtomography	Characterization
Polycaprolactone- and polycaprolactone/ceramic-based 3D-bioplotting porous scaffolds for bone regeneration: A comparative study	Polycaprolactone
Progress on the use of commercial digital optical disc units for low-power laser micromachining in biomedical applications	Progress

Fuente: Elaboración propia

ANEXO 6: TERMINOLOGÍA DE BÚSQUEDA DE AUTORES EN OTRAS

REFERENCIAS

- 3D-printed poly(ϵ -caprolactone)/graphene scaffolds activated with p1-latex protein for bone regeneration
Caetano G.F., Wang W., Chiang W.-H., Cooper G., Diver C., Blaker J.J., Frade M.A., Bártolo P.

OREF/(CAETANO AND WANG AND CHIANG AND COOPER AND DIVER AND BLAKER AND FRADE AND BARTOLO)

- Laser Ablation of Poly(lactic acid) Sheets for the Rapid Prototyping of Sustainable, Single-Use, Disposable Medical Microcomponents
Ongaro A.E., Keraite I., Liga A., Conoscenti G., Coles S., Schulze H., Bachmann T.T., Parvez K., Casiraghi C., Howarth N., La Carubba V., Kersaudy-Kerhoas M.

OREF/(ONGARO AND KERAITE AND LIGA AND CONOSCENTI AND COLES AND SCHULZE AND BACHMANN AND PARVEZ AND CASIRAGHI AND HOWARTH AND CARRUBA)

- Structural Evolution of PCL during Melt Extrusion 3D Printing
Liu F., Vyas C., Poologasundarampillai G., Pape I., Hinduja S., Mirihanage W., Bartolo P.

OREF/(LIU AND VYAS AND POOLOGASUNDARAMPILLAI AND PAPE AND HINDUJA AND MIRIHANAGE AND BARTOLO)

- A new photocrosslinkable polycaprolactone-based ink for three-dimensional inkjet printing
He Y., Tuck C.J., Prina E., Kilsby S., Christie S.D.R., Edmondson S., Hague R.J.M., Rose F.R.A.J., Wildman R.D.

OREF/(HE AND TUCK AND PRINA AND KILSNY AND CHRISTIE AND EDMONDSON AND HAGUE AND ROSE AND WILDMAN)

- Three-dimensional printed bone scaffolds: The role of nano/micro-hydroxyapatite particles on the adhesion and differentiation of human mesenchymal stem cells
Domingos M., Gloria A., Coelho J., Bartolo P., Ciurana J.

OREF/(DOMINGOS AND GLORIA AND COELHO AND BARTOLO AND CIURANA)

- 3D cell bioprinting of self-assembling peptide-based hydrogels
Raphael B., Khalil T., Workman V.L., Smith A., Brown C.P., Streuli C., Saiani A., Domingos M.

OREF/(RAPHAEL AND KHALIL AND WORKMAN AND SMITH AND BROWN AND STREUILI AND SAIANI AND DOMINGOS)

- Influence of pore size and fibre orientation on stem cell proliferation in a 3D printed polycaprolactone scaffold
Vyas C., Caetano G., Poologasundarampillai G., Hoyland J., Bártolo P.J.

OREF/(VYAS AND CAETANO AND POOLOGASUNDARAMPILLAI AND HOYLAND AND BARTOLO)

- Effect of in vitro enzymatic degradation on 3D printed poly(ϵ -caprolactone) scaffolds: Morphological, chemical and mechanical properties
Ferreira J., Gloria A., Cometa S., Coelho J.F.J., Domingos M.
OREF/(FERREIRA AND GLORIA AND COMETA AND COELHO AND DOMINGOS)
- A review on skin regeneration and silk fibroin
Chen Z.-D., Li Y., Tsigkou O., Liu X.-Q.
OREF/(CHEN AND LI AND TSIGKOU AND LIU)
- A correlative imaging based methodology for accurate quantitative assessment of bone formation in additive manufactured implants
Geng H., Todd N.M., Devlin-Mullin A., Poologasundarampillai G., Kim T.B., Madi K., Cartmell S., Mitchell C.A., Jones J.R., Lee P.D.
OREF/(GENG AND TODD AND POOLOGASUNDARAMPILLAI AND KIM AND MADI AND CARTMELL AND MITCHELL AND JONES AND LEE)
- The effect of defects on the mechanical response of Ti-6Al-4V cubic lattice structures fabricated by electron beam melting
Hernández-Nava E., Smith C.J., Derguti F., Tammam-Williams S., Leonard F., Withers P.J., Todd I., Goodall R.
OREF/(SMITH AND DERGUTI AND LEONARD AND WITHERS AND TODD AND GOODALL)
- Bone Tissue Engineering: 3D PCL-based Nanocomposite Scaffolds with Tailored Properties
Ronca D., Langella F., Chierchia M., D'Amora U., Russo T., Domingos M., Gloria A., Bartolo P., Ambrosio L.
OREF/(RONCA AND LANGELLA AND CHIERCHIA AND RUSSO AND DOMINGOS AND GLORIA AND BARTOLO AND AMBROSIO)
- A perspective: Potential growth in the global magnesium industry - Where is our research leading US?
Alderman M.
OREF/ALDERMANN
- Comparison of Three-dimensional Extruded Poly (ϵ -Caprolactone) and Polylactic acid Scaffolds with Pore size Variation
Moura C.S., Ferreira F.C., Bártolo P.J.
OREF/(MOURA AND FERREIRA AND BARTOLO)
- Fabrication of ZrO₂-SiO₂ binary oxide Scaffold for Bone Tissue Engineering applications
Subramaniyan V., Sanjeevi K., Derby B.
OREF/(SUBRAMANIYAN AND SANJEEVI AND DERBY)
- Design Consideration for ACL Implants based on Mechanical Loading
Roldán E., Reeves N.D., Cooper G., Andrews K.
OREF/(ROLDAN AND REEVES AND COOPER AND ANDREWS)
- Additive manufacturing of electron® 43 alloy using laser powder bed and directed energy deposition
Tandon R., Wilks T., Gieseke D.-I.M., Noelke D.-I.-C., Kaierle S., Palmer T.

OREF/(TANDON AND WILKS AND GIESEKE AND NOELKE AND KAIERLE AND PALMER)

- Thermal analysis of an extrusion system of a 3-D bioprinter
Ribeiro G.S., Silva J.V.L., Freitas D., Bartolo P., Almeida H., Silveira Z.C.

OREF/(RIBEIRO AND SILVA AND FREITAS AND BARTOLO AND ALMEIDA AND SILVEIRA)

- Combined elastic and shear stress solicitations for topological optimisation of micro-CT based scaffolds
Almeida H.A., Bártolo P.J.

OREF/(ALMEIDA AND BARTOLO)

- Osteogenic differentiation of adipose-derived mesenchymal stem cells into Polycaprolactone (PCL) scaffold
Caetano G.F., Bártolo P.J., Domingos M., Oliveira C.C., Leite M.N., Frade M.A.C.

OREF/(CAETANO AND BARTOLO AND DOMINGOS AND OLIVEIRA AND LEITE AND FRADE)

- Combination of 3D extruded-based poly (ϵ -caprolactone) scaffolds with mesenchymal stem/stromal cells: Strategy optimization
Moura C.S., Da Silva C.L., Bártolo P.J., Ferreira F.C.

OREF/(MOURA AND BARTOLO AND FERREIRA)

- Complete integration of technology for improved reproduction of auricular prostheses
Watson J., Hatamleh M.M.

OREF/(WATSON AND HATAMLEH)

- Inkjet printing biomaterials for tissue engineering: Bioprinting
Saunders R.E., Derby B.

OREF/(SAUNDERS AND DERBY)

- Bioprinting: Inkjet printing proteins and hybrid cell-containing materials and structures
Derby B.

OREF/(DERBY AND BIOPRINTING⁴¹)

- Bioprinting: A beginning
Mironov V., Reis N., Derby B.

OREF/(MIRONOV AND REIS AND DERBY)

- Characterisation of collagen scaffolds using x-ray microtomography
Smith P.J., Sachlos E., McDonald S., Reis N., Derby B., Mummery P.M., Czernuszka J.T.

OREF/(SMITH AND SACHLOS AND MCDONALD AND REIS AND DERBY AND MUMMERY AND CZERNUSZKA)

⁴¹ Al apuntar a demasiados resultados (560), en este caso se combinó el nombre de autor con una palabra clave del título del artículo para afinar la búsqueda.

- Progress on the use of commercial digital optical disc units for low-power laser micromachining in biomedical applications
Cruz-Ramírez A., Sánchez-Olvera R., Zamarrón-Hernández D., Hautefeuille M., Cabriaes L., Jiménez-Díaz E., Díaz-Bello B., López-Aparicio J., Pérez-Calixto D., Cano-Jorge M., Vázquez-Victorio G.

OREF/(HAUTEFEUILLE AND CABRIALES)

- Polycaprolactone- and polycaprolactone/ceramic-based 3D-bioplotted porous scaffolds for bone regeneration: A comparative study
Gómez-Lizárraga K.K., Flores-Morales C., Del Prado-Audelo M.L., Álvarez-Pérez M.A., Piña-Barba M.C., Escobedo C.

OREF/(ESCOBEDO AND SCAFFOLDS⁴²)

⁴² Al apuntar a demasiados resultados (113), en este caso se combinó el nombre de autor con una palabra clave del título del artículo para afinar la búsqueda.