

# EXPLORACIÓN Y EXPLOTACIÓN DE PARADIGMAS TECNOLÓGICOS. EL CASO DEL DISCO ARTIFICIAL

Barberá, D.<sup>(P)</sup>; De los Reyes, E.; Jiménez, F.

## Abstract

Technological paradigms are heuristic models which guide organizations in their learning and searching process for solutions of technological problems, as the seminal contribution of Giovanni Dosi puts it. In the organizational learning literature, this model of solution is divided in exploration paradigms and exploitation paradigms. Although Dosi's analysis identifies properly the exploitation paradigms, it does not happen the same with the exploration paradigms. This article pretends to identify and analyse the heuristic behaviour of two technological paradigms (both exploration and exploitation ones), used to solve a specific technological problem: the substitution of a diseased intervertebral disk with an artificial prostheses. For this we will study carefully the design characteristics of both paradigms; also, a quantitative analysis of a patent citation database of this kind of artefacts is performed.

*Keywords: technological paradigm, artificial disc, product design*

## Resumen

Los paradigmas tecnológicos son los modelos heurísticos que guían a las organizaciones en los procesos aprendizaje y búsqueda de soluciones de problemas tecnológicos, según la formulación original de Giovanni Dosi. En la literatura de aprendizaje organizacional, estos modelos de solución se dividen en paradigmas exploratorios y paradigmas de explotación. Aunque el análisis de Dosi identifica correctamente los paradigmas de explotación, no sucede lo mismo con los de exploración. Este trabajo pretende identificar y analizar el comportamiento heurístico de dos paradigmas, uno exploratorio y otro de explotación empleados para solucionar un problema tecnológico concreto: la sustitución de un disco intervertebral enfermo por una prótesis artificial. Para ello se emprenderá el estudio detallado de las características de diseño de ambos paradigmas protésicos y un análisis cuantitativo de una base de datos de citas de patentes de este tipo de artefactos.

*Palabras clave: paradigma tecnológico, disco artificial, diseño de producto*

## 1. Introducción

En su seminal artículo de 1982, Giovanni Dosi [1] propuso trasladar algunas de las nuevas nociones filohistóricas de la filosofía de la ciencia desarrollada por T.S. Kuhn [2] al ámbito del estudio de la evolución tecnológica. Si para Kuhn un paradigma científico es el conjunto de teorías de las que se derivan el tipo de problemas que van a ser estudiados por la actividad científica normal, para Dosi un paradigma tecnológico es “un modelo y un patrón de soluciones para resolver *ciertos* problemas tecnológicos, basados a su vez en *ciertos* principios derivados de las ciencias naturales y en *ciertas* tecnologías materiales” (la cursiva del original remarca el carácter particular de cada paradigma). Además de esta adaptación de los conceptos de la filosofía de la ciencia al ámbito tecnológico, el trabajo de Dosi tuvo una temprana y profunda influencia en el estudio del cambio tecnológico por parte de la economía evolucionista. Dicha corriente propone que el estudio del comportamiento de los agentes económicos en contextos continuamente cambiantes, como es el caso del contexto del cambio tecnológico, debe basarse en los procesos de *aprendizaje* y de *búsqueda*

fundamentados en la racionalidad limitada de los agentes [3], en vez del supuesto y a la vez inevitable estado de racionalidad perfecta idéntico en todos los casos propuesto por la economía neoclásica. En este sentido, los paradigmas tecnológicos constituirían el conjunto de reglas heurísticas que guían estos procesos de aprendizaje y de búsqueda en el ambiente del cambio tecnológico, que a su vez conformarán las trayectorias tecnológicas seguidas por los agentes económicos involucrados en el proceso de innovación. En la economía moderna, estos agentes pueden identificarse sin dificultad con las organizaciones [4].

Estos procesos de aprendizaje y de búsqueda organizacionales han sido caracterizados como procesos de exploración o explotación [5]. El aprendizaje mediante explotación consiste en el *refinamiento* y extensión del conocimiento ya existente con anterioridad en forma de competencias o tecnologías presentes en la organización [6]. Por el contrario, el aprendizaje mediante exploración consiste en la *combinación* de conocimiento existente con nuevo conocimiento [7]. En cuanto al proceso de búsqueda, mientras que los procesos de explotación abarcan *búsquedas locales* en el espacio tecnológico cercanas al lugar de partida en el que se encuentra el agente, los procesos de exploración emprenden ‘saltos largos’ a zonas *lejanas* del espacio tecnológico [8]. De este modo, los paradigmas tecnológicos exploradores y de explotación pueden ser caracterizados por sus propiedades heurísticas de aprendizaje y búsqueda: mientras que los paradigmas de explotación aprenden mediante el refinamiento del conocimiento existente y emprenden búsquedas locales, los paradigmas exploratorios aprenden mediante la combinación de conocimiento nuevo y ya existente y buscan en zonas alejadas del espacio tecnológico.

El trabajo original de Dosi identifica los paradigmas de explotación, relacionando la dirección del cambio tecnológico con la historia y los ámbitos de experiencia de las organizaciones y, por tanto, con el conocimiento existente que las actividades de explotación refinan [1: 1982:155]. Sin embargo, no considera los paradigmas exploratorios, situando su origen en los avances científicos que actúan a modo de *deus ex machina* neutral que reconduce la evolución del conocimiento tecnológico. Esta exogenización de los paradigmas exploratorios supone una de las limitaciones más importantes del análisis de Dosi [9], puesto que no permite estudiar las relaciones entre las estrategias heurísticas de los procesos de exploración y explotación, esenciales para entender el resultado del proceso de creación de nuevo conocimiento.

Esta tendencia a la “exogenización” de los paradigmas exploratorios puede ser debida al ambiguo carácter del fenómeno de la innovación, central en el proceso de creación de nuevo conocimiento. La innovación es intrínsecamente incierta en su naturaleza e impacto, puesto que si conociéramos estas características, ya habría sucedido y dejaría de ser innovación [10]. Sin embargo, la aparición de novedades tecnológicas dista mucho de asemejarse a un fenómeno puramente estocástico y suele surgir en zonas muy determinadas del espacio tecnológico, independientemente del grado de novedad respecto al estado del arte del conocimiento que conlleven [11]. Estas propiedades aparentemente paradójicas se explican en parte si consideramos la creación de conocimiento mediante la exploración como un fenómeno que emerge debido a la *interacción* entre las organizaciones y los otros agentes que forman con ellas el sistema de innovación. Así, en vez de adjudicar a la “ciencia” en abstracto el papel de “caja negra” donde se produce de manera inexplicada el nuevo conocimiento, se confía esta tarea al estudio del *aprendizaje por interacción* entre agentes –que sin duda pueden ser instituciones científicas, pero también usuarios o proveedores [12]. En otras palabras, el “nuevo conocimiento” que en sus actividades exploratorias combina un agente con el que él mismo ya posee (el conocimiento “existente”), no es más que el conocimiento que posee otro agente del sistema; la esencia del aprendizaje organizacional mediante la exploración, como confirman diversos trabajos

empíricos dedicados a las joint ventures [13], es la combinación por interacción entre conocimientos poseídos por diferentes agentes.

Por tanto, para estudiar los paradigmas exploratorios deberemos atender a las relaciones de interacción entre los agentes que forman el sistema innovación que estamos analizando. Estas relaciones son de marcado carácter sectorial [14], por lo que para localizar las más relevantes podemos acudir a la taxonomía popularizada por Pavitt [15], que clasifica los sectores industriales en cuatro grandes grupos según los agentes que interactúan en el proceso de innovación: (1) Sectores dominados por la oferta, (2) Sectores de “oferta especializada”, (3) Sectores de “escala intensiva” y (4) Sectores basados en la ciencia.

Este trabajo pretende identificar y analizar el comportamiento heurístico de los paradigmas exploratorios y de explotación empleados para solucionar un problema tecnológico concreto: la sustitución de un disco intervertebral enfermo por una prótesis artificial. Conforme a lo dicho anteriormente, en el apartado 2 el estudio en detalle del caso del disco artificial nos conducirá a identificar los paradigmas tecnológicos exploratorios y de explotación según el tipo de conocimiento existente en el sector y los patrones de interacción entre agentes, que nos conducirán al conocimiento ‘nuevo’ que debe ser combinado. En el apartado 3, el análisis de una base de datos de patentes de este tipo de artefactos nos permitirá profundizar en las reglas heurísticas de aprendizaje y búsqueda de ambos tipos de paradigmas. Finalmente, en el apartado 4 expondremos las principales conclusiones y limitaciones de nuestro estudio.

## **2. La identificación de los paradigmas exploradores y de explotación: un caso de estudio.**

### **2.1 Introducción**

La artroplastia del disco intervertebral (la sustitución de la articulación del disco anatómico por un artefacto implantable) es un procedimiento quirúrgico empleado en el tratamiento de la enfermedad degenerativa del disco (Degenerative Disc Disease, en adelante DDD). La DDD constituye la mayor causa de dolor e incapacidad en los países desarrollados [16].

La artroplastia de disco intervertebral ha sido propuesta como una alternativa más eficaz al procedimiento quirúrgico que, desde finales de la década de los 70, viene empleándose sistemáticamente en el tratamiento de la DDD, la artrodesis o fusión ósea [17]. La artrodesis consiste en la extracción del disco enfermo y en la creación de un puente óseo entre las dos vértebras adyacentes al mismo. Al eliminar el movimiento anormal del disco degenerado, elimina también el dolor que este movimiento anómalo provoca. Pero fusionar dos vértebras antes articuladas supone diversas alteraciones biomecánicas en el comportamiento de la columna vertebral: (1) el movimiento de la articulación instrumentada debe ser incorporado a los discos de las articulaciones vertebrales adyacentes; y (2) las cargas absorbidas<sup>1</sup> por el disco ahora inmovilizado deben ser a su vez absorbidas por los discos de las articulaciones adyacentes. Estas alteraciones cinemáticas y dinámicas pueden provocar lo que se ha dado en llamar el “síndrome de degeneración de los discos adyacentes”. Tras una fusión, el exceso de movimiento y carga provoca la aparición de la DDD en los discos adyacentes al nivel fusionado y, con ella, la frecuente necesidad de su tratamiento quirúrgico [18]. El procedimiento del disco artificial pretende evitar estas complicaciones asociadas a la fusión vertebral.

---

<sup>1</sup> El disco es una articulación ‘cartilaginosa’, esto es, poseedora de propiedades viscoelásticas que le permiten absorber parte de la carga a la que está sometido. Por el contrario, la cadera es una articulación ‘sinovial’, sin comportamiento dinámico, cuya única función es restringir los grados de libertad del movimiento entre los componentes de la articulación (el fémur y la pelvis).

Si se examina con cierto detalle la historia del disco artificial, un hecho sobresale por su particularidad. Como se ha explicado anteriormente, el disco artificial debe cumplir dos funciones para prevenir la aparición de la DDD en los niveles adyacentes al originalmente sintomático: no debe alterar (1) las condiciones cinemáticas y (2) dinámicas de los discos anatómicos de esos niveles. Sin embargo, hasta la fecha todos los discos artificiales que han llegado a la fase de comercialización en el mercado sólo cumplen la primera de esas funciones: la conservación del comportamiento cinemático de los discos adyacentes. Ninguno de estos artefactos presentan propiedades viscoelásticas [19], puesto que están constituidos por articulaciones entre materiales (polietileno de ultra-alto peso molecular, aleaciones de Cromo-Cobalto, acero...) que tienen una capacidad de absorción de cargas mucho menor que la del disco anatómico.

Desde la propia literatura médica se ha formulado una hipótesis para explicar esta circunstancia [20]: los diseños para la sustitución del disco han sido profundamente influenciados por la extraordinaria eficacia de los implantes desarrollados para la sustitución de la articulación de la cadera. Durante la primera mitad de los años sesenta, Sir John Charnley, un cirujano inglés, diseñó la prótesis que más tarde se convertiría en el tratamiento estándar para las enfermedades degenerativas de esta articulación. La prótesis de cadera de Charnley (y los subsiguientes diseños que mejoraron incrementalmente sus características originales) estaba constituida por la articulación de piezas semi-esféricas fabricadas con materiales rígidos. Esta rigidez no implicaba una deficiencia funcional, puesto que la articulación anatómica de la cadera no posee las propiedades de absorción de carga del disco intervertebral (ver la nota 1).

Por lo tanto, transferir los principios de la prótesis de cadera a la prótesis de disco (como es el caso de los discos artificiales comercializados hasta ahora) implica asumir un déficit funcional relevante: si el disco artificial implantado no puede absorber cargas, la correspondiente sobrecarga deberá ser absorbida por los discos adyacentes, lo que puede conducir a la degeneración de estos discos [21]. Esta posibilidad de degeneración adyacente es precisamente la causa principal por la que la artrodesis (la extirpación del disco enfermo y la fusión vertebral de las vértebras contiguas) es considerada como un procedimiento subóptimo para el tratamiento de la DDD.

Con todo, en la historia del disco artificial podemos encontrar una considerable actividad tecnológica pasada y presente que se afana en otra dirección distinta a la del disco artificial "tipo cadera", aunque no haya obtenido el mismo éxito en el mercado. El trabajo de Szpalski et al. [22] revisa no sólo discos comercializados, sino también diversos artefactos que fueron únicamente probados in vitro, en modelos animales o en pruebas clínicas con humanos que no llegaron a la última fase de comercialización. Estos autores concluyen que los diseños de disco artificial pueden dividirse en dos "principios": los diseños "tipo cadera", de los que ya hemos tratado, y los diseños "con absorción de carga", artefactos estos últimos que permiten la reproducción de las propiedades viscoelásticas del disco anatómico. Esta clasificación es análoga a la realizada por otros autores embarcados en el estudio de la historia del disco artificial, como Lee y Goel [23]. En este trabajo se empleará el término "paradigma" en vez de "principio" para aludir a los modelos de solución "tipo cadera" y "de absorción de carga".

## 2.2 El paradigma de explotación

Cuando hemos caracterizado las actividades de explotación, hemos hablado de búsqueda local y de refinamiento y extensión del conocimiento existente para definir la heurística del paradigma explorador. Lo distintivo aquí parece ser la existencia previa de conocimiento; por tanto, al tratar de identificar las actividades de explotación en la invención del disco artificial, debemos concentrarnos en aquellas que empleen un conocimiento ya poseído por el agente innovador.

Como hemos mencionado anteriormente, gran parte de los discos artificiales concebidos (y la totalidad de los comercializados hasta la fecha) “emplean los principios de diseño utilizados habitualmente en la artroplastia de la cadera” [24], ya que el paradigma “tipo cadera” para discos artificiales consiste esencialmente en adaptar los componentes de una prótesis de cadera a la anatomía de la columna vertebral [25]. Esta reutilización de principios tecnológicos para emplearlos otra aplicación distinta a la original se corresponde la condición de ‘preexistencia’ de conocimiento tecnológico que caracterizaba a los paradigmas de explotación. En los párrafos siguientes intentaremos justificar históricamente las razones que condujeron a los agentes que desarrollaron prótesis dentro del paradigma de explotación “tipo cadera” a refinar el conocimiento desarrollado previamente durante el diseño de las prótesis de cadera.

En el apartado 2.1 ya señalamos que la prótesis de cadera tal y como la conocemos actualmente fue desarrollada por Sir John Charnley, un cirujano inglés, durante los años sesenta. Toda la industria de implantes ortopédicos fue profundamente influenciada por el desarrollo de esta prótesis, hasta el punto que para algunos autores la historia de esta industria comprende la época pre- y post-Charnley. El descubrimiento de Charnley supuso además la base para el posterior desarrollo de las prótesis de rodilla, hombro y codo [24]

La primera prótesis de disco que se comercializó en el mundo (y única hasta el año 1999), fue la denominada SB Charité, cuya concepción se remonta a 1982. El diseño estaba compuesto por dos plataformas metálicas incrustadas en las vértebras adyacentes al disco extraído, y articuladas mediante un cuerpo de UHMWPE. Una empresa alemana, dedicada desde finales de los años 60 al diseño y fabricación de prótesis de cadera (Waldemar Link) formó parte del equipo de diseño junto a los cirujanos Karen Büttner-Janz y Kurt Schellnack. Este es un punto clave de la historia: a mediados de los 80, las prótesis de cadera ya disfrutaban de un sólido éxito clínico gracias a las capacidades tecnológicas acumuladas desde la invención de Sir John Charnley. Waldemar Link utilizó largamente su experiencia en prótesis de cadera para solucionar los problemas que surgieron durante el diseño y fabricación de esta prótesis de disco “tipo cadera”: tras dos series clínicas que abarcaron un total de 49 operaciones, las revisiones posteriores demostraron que el material elegido para las plataformas metálicas (acero inoxidable) era inadecuado debido al excesivo número de plataformas que se fracturaban durante los meses siguientes a las intervenciones. En la siguiente iteración del diseño de la prótesis, Waldemar Link propuso la utilización de una aleación de Cromo-Cobalto que desde finales de los años 70 se había empleado con éxito en las prótesis de cadera. El nuevo material acabó con las fracturas de las plataformas y el implante empezó a comercializarse en 1987 en Europa [26].

En definitiva, el paradigma que hemos denominado “tipo cadera” permitió que las actividades de creación de conocimiento (refinamiento y extensión de conocimiento existente y búsqueda local) en la invención de una nueva prótesis para el reemplazo de una articulación distinta (el disco artificial) se beneficiaran de la explotación del conocimiento tribológico que había sido desarrollado previamente y con gran éxito para las articulaciones sinoviales como la cadera y la rodilla [20]. Por ello en adelante identificaremos a este paradigma como “paradigma de explotación”.

### **2.3 El paradigma exploratorio**

Al definir las actividades de exploración en el primer apartado, hemos señalado la búsqueda lejana y la recombinación de conocimiento nuevo y ya existente como las propiedades heurísticas características del paradigma explorador. También hemos discutido que, aunque el conocimiento sea nuevo y el locus de la búsqueda se sitúe a cierta “distancia tecnológica” [27] de la zona conocida por el agente innovador, eso no quiere decir que la selección de conocimiento nuevo a explorar y la zona del espacio tecnológico donde buscar sean casuales: existirán zonas con mayor probabilidad de ser exploradas en los procesos de

búsqueda. Estas zonas se corresponden con la situación de los agentes externos al agente innovador que forman parte de la base de conocimiento específica del sector [14].

La industria del equipamiento médico ha sido conceptualizada a menudo como un input de capital dentro del sector de los servicios médicos [28]. Además, numerosos trabajos empíricos consideran el equipamiento médico como una de las áreas en las que la innovación procedente del usuario es más importante [29]. Por lo tanto parece justificado incluir este sector como uno de los que constituyen la categoría de “oferta especializada” en la taxonomía de Pavitt (1984) referenciada anteriormente: las empresas de estos sectores trabajan en estrecha colaboración con los usuarios. Más en concreto, en el caso del equipamiento quirúrgico, recientes estudios empíricos han demostrado que los cirujanos son fuentes de creación de paradigmas con alto impacto [30]. En las tecnologías médicas, los usuarios son profesionales que emplean estas tecnologías como parte de su actividad y que pueden aplicar sus conocimientos de la profesión para desarrollar soluciones innovadoras a sus necesidades. Las propiedades físicas de la columna vertebral pueden ser consideradas como la “ciencia básica” de la cirugía de columna, puesto que suponen el conocimiento profesional indispensable para interpretar, analizar y, si fuera necesario, corregir las patologías de esta parte del cuerpo [31]. Respecto al disco intervertebral, sus propiedades viscoelásticas son conocidas desde 1954, cuando los cirujanos Hirsch y Nachemson [32] publicaron sus resultados tras realizar ensayos de compresión en columnas cadavéricas humanas. Nachemson [33] fue el que más tarde propuso por vez primera la sustitución del disco intervertebral, publicando los resultados de sus primeras pruebas con prótesis de silicona, que quedaron inservibles tras ensayos biomecánicos que aplicaban treinta mil ciclos de una carga que simulaba el deambular humano.

Basalla [34] ha demostrado que el origen de ciertas invenciones es la imitación de objetos naturales (o, como este autor los denomina, “naturfactos”). En el caso de las prótesis, esta fuerza mimética es todavía más poderosa, puesto que el artefacto es concebido para reemplazar funcionalmente a un “naturfacto” como es un órgano del cuerpo humano. Este mecanismo imitativo puede observarse nítidamente en el trayecto que siguió Nachemson desde la descripción original de las propiedades de absorción de carga del disco intervertebral en 1954 hasta llegar a las primeras pruebas de una prótesis artificial en 1962. Este conocimiento biomecánico, en posesión de los usuarios avanzados que, como los cirujanos, son los encargados de crear novedad en el sistema de innovación de esta industria, es la zona lejana del espacio tecnológico en la que el sector emprenderá la búsqueda combinatoria que caracteriza a los paradigmas exploradores.

### **3. Las propiedades heurísticas de los paradigmas exploradores y de explotación: análisis de una base de datos de citas de patentes.**

#### **3.1 Diseño de la investigación, datos y análisis.**

Si en el apartado anterior hemos emprendido un estudio de caso para identificar los paradigmas exploratorios y de explotación en la invención del disco artificial, en este por el contrario emplearemos métodos cuantitativos para estudiar las propiedades heurísticas de estos dos tipos de paradigmas.

Para ello, emplearemos los resultados del análisis de una base de datos de citas de patentes de discos artificiales. La base de datos consta de 303 patentes de discos artificiales registradas entre 1972 y 2004, localizadas tras una búsqueda por palabras clave de patentes europeas, norteamericanas y mundiales en las bases de datos de la Oficina Norteamericana de Patentes (USPTO) y la Oficina Europea de Patentes (EPO). Después de revisar la información técnica gracias al concurso de dos expertos (un cirujano vertebral y un ingeniero de diseño de discos artificiales) se ha incluido cada patente dentro de una de

estas dos clasificaciones: paradigma “tipo cadera” y paradigma “de absorción de carga”. De este modo, podemos emprender un “análisis más rico del que pueden capturar [las categorías listadas por el Sistema Internacional de Clasificación de Patentes (IPC)]” [35:1026].

Las patentes contienen, además de una descripción detallada del artefacto o proceso patentado, citas a una o más patentes; estas citas tienen principalmente una finalidad legal, puesto que indican que partes del conocimiento descrito son reclamadas como patentables, y que partes han sido reclamadas anteriormente por otras patentes. Además de esta interpretación, numerosos autores han propuesto (ver [36] para una revisión) que la cita a una patente anterior indica que el conocimiento desarrollado en dicha patente ha sido de algún modo útil para “construir” el conocimiento descrito en la patente que contiene la cita.

Estas observaciones nos pueden ser útiles a la hora de estudiar las propiedades heurísticas de los paradigmas exploradores y de explotación. En efecto, si las citas de una patente a patentes anteriores suponen una “construcción” del conocimiento de la aquella sobre éstas, podemos suponer que estas patentes citadas se encuentran en las proximidades del espacio tecnológico multidimensional [10] de la patente que realiza las citas. De hecho, una de las características de la creación de nuevo conocimiento tecnológico es la *necesidad* de que su vecindad en el espacio tecnológico esté ocupada por lugares ya descubiertos [11], que podemos fácilmente identificar con las patentes citadas.

En el apartado 1 hemos mencionado algunas de los inconvenientes de los paradigmas exploratorios: el resultado de las búsquedas en zonas alejadas del espacio tecnológico es más incierto que en el caso de la explotación, en la que las búsquedas se realizan en zonas contiguas al espacio tecnológico en el que se sitúa originalmente el agente innovador. Esta incertidumbre puede verse reflejada en el mayor éxito de la patente de explotación en situarse en zonas cuya vecindad está ocupada por lugares ya descubiertos, lo que se reflejará en un mayor número de patentes citadas. Por lo tanto, nuestra Hipótesis 1 puede tomar la siguiente forma:

*Hipótesis 1. Las patentes pertenecientes al paradigma de explotación citan más patentes que las patentes pertenecientes al paradigma explorador.*

Por otro lado, esta contigüidad en el espacio tecnológico puede adquirir diferentes significados según las dimensiones del espacio tecnológico que estudiemos. Las citas que incluye una patente son consignadas por el examinador y por los inventores de la patente. Jaffe et al. [36] proponen (tras a entrevistar a una muestra de inventores y examinadores de patentes) que las citas de patentes se refieren a dos tipos de “construcciones” diferentes sobre el conocimiento anterior. Una es una construcción “relacionada con la aplicación” y otra “relacionada con la tecnología”. Si la patente X cita a la patente Y, puede ocurrir que la patente X represente un modo alternativo de hacer algo que la patente Y ya hacía con anterioridad (por ejemplo, la patente Y concierne a una trampa de ratones cuyo muelle está hecho de titanio para así mejorar sus prestaciones; la patente X se refiere a una trampa de ratones cuyo muelle está hecho de zirconio para así mejorar sus prestaciones). Alternativamente, puede ocurrir que la patente X haga algo diferente que la patente Y, pero que utilice un método similar al que empleaba la patente Y con otro propósito (por ejemplo, la patente Y concierne a una trampa de ratones cuyo muelle está hecho de titanio para así mejorar sus prestaciones; la patente X se refiere a un bolígrafo que contiene un muelle de titanio para así mejorar sus prestaciones). Consideraremos la primera de las posibilidades como cita “relacionada con la aplicación” y a la segunda como cita “relacionada con la tecnología”.

Según esta clasificación, las citas de paradigmas exploratorios a paradigmas de explotación y viceversa quedarían dentro de las citas descritas como “relacionadas con la aplicación”, puesto que, como hemos visto en el apartado 2.1, ambas tecnologías son exclusivas: si un

artefacto se guía por el principio operacional de uno de los paradigmas (la cinemática del sólido rígido o el comportamiento de los materiales viscoelásticos) no puede referirse al otro, de modo que las citas cruzadas entre paradigmas no pueden nunca ser “relacionadas con la tecnología”. Esta circunstancia parece referirse a la “inconmensurabilidad” de los paradigmas tecnológicos, otra traslación recientemente apuntada por Dew [37] de los conceptos desarrollados por Kuhn para los paradigmas científicos. Si suponemos que en esta dimensión del espacio tecnológico (la “relacionada con la aplicación”) no es válida la condición de incertidumbre que acompaña a la tecnología exploradora –ya que la aplicación común (la sustitución de un disco enfermo) es perfectamente conocida para ambos paradigmas- no existe en principio ninguna razón para que el número de citas “relacionadas con la aplicación” de un paradigma a otro difiera según el sentido de la cita (de exploración a explotación y viceversa). De este modo, la Hipótesis 2 puede formularse de la siguiente manera.

*Hipótesis 2. El número de citas cruzadas entre paradigmas es el mismo independientemente si la cita es realizada desde el paradigma de explotación al explorador o en el sentido contrario.*

Esta distinción entre las citas “relacionadas con la tecnología” y aquellas “relacionadas con la aplicación” puede servirnos también para construir nuestra tercera hipótesis. Según el marco teórico que hemos expuesto en el apartado 1, los paradigmas de explotación refinan el conocimiento existente, mientras que los paradigmas exploratorios emplean conocimiento nuevo para combinarlo con el ya existente. Si por conocimiento existente entendemos aquel que está “relacionado con la tecnología” en las citas de patentes, el paradigma de explotación deberá citar exclusivamente en este ámbito, puesto que su actividad heurística se limita a refinar el conocimiento tecnológico que ya posee el agente innovador. Por tanto, en el caso del paradigma de explotación, además de las citas “relacionadas con la aplicación” que hemos expuesto anteriormente, el resto de citas serán intra-paradigmáticas, es decir, consistirán en patentes del paradigma de explotación que citan a otras patentes del mismo paradigma, haciendo referencia así al refinamiento tecnológico que apuntamos.

En el caso del paradigma explorador, el elemento de “conocimiento existente” quedará así mismo cubierto por las citas “relacionadas con la aplicación” y con las citas intra-paradigmáticas que las patentes exploradoras realicen sobre otras patentes exploradoras. Sin embargo, el elemento de “conocimiento nuevo” necesario para la combinación que caracteriza la heurística exploradora no puede verse representado en ninguna de estas dos categorías. Las citas correspondientes al conocimiento nuevo, por tanto, aludirán a aquellas patentes extra-paradigmáticas que no se refieran a discos artificiales, puesto que la “relación con la tecnología” debe extenderse a otros ámbitos tecnológicos para que la combinación de conocimientos tenga éxito. Las Hipótesis 3 y 4 reflejan esta circunstancia.

*Hipótesis 3. Las patentes del paradigma de explotación citan, además de a las patentes del paradigma exploratorio “relacionadas con la aplicación”, exclusivamente a otras patentes del mismo paradigma.*

*Hipótesis 4. Por el contrario, las patentes del paradigma explorador citan, además de a las patentes del paradigma de explotación “relacionadas con la aplicación”, a patentes del paradigma explorador y a patentes de otras tecnologías que no pertenecen a ninguno de los dos paradigmas.*

### 3.2 Resultados

La Tabla 1 muestra los resultados de nuestro análisis.

	Número	Número de citas	Media	Citas a patentes paradigma de explotación	Citas a patentes paradigma explorador	Citas a patentes extra-paradigmáticas
Patentes del paradigma explotación	161	457	2,83	227 (49,67%)	54 (11,82%)	176 (38,51%)
Patentes del paradigma explorador	150	336	2,24	34 (10,12%)	130 (38,69%)	172 (51,19%)

Tabla 1. Estadísticos descriptivos de la base de datos de citas de patentes

La Hipótesis 1 se ve confirmada por las estadísticas descriptivas que se detallan en la Tabla 1, puesto que la media de citas del paradigma de explotación es mayor que la media de citas del paradigma explorador. Esta diferencia ha sido confirmada con los resultados obtenidos al aplicar la técnica de análisis de varianza entre las dos series a un nivel significativo de 0.10.

Los resultados mostrados en la tabla nos permiten observar que los porcentajes de las citas cruzadas entre paradigmas es muy similar, 11,82 y 10,12 % respectivamente. Adicionalmente, los resultados obtenidos al aplicar la técnica de Análisis de varianza entre las dos series no nos permite rechazar la hipótesis nula de la inconmensurabilidad de ambos paradigmas y la “relación con la aplicación” simétrica entre ellos a un nivel significativo de 0.05, lo que confirma la validez de la Hipótesis 2.

Por el contrario, la Hipótesis 3 es desmentida por estos mismos resultados, puesto que esta hipótesis propone que el paradigma de explotación no realiza citas extra-paradigmáticas, basándose en que la heurística de explotación refina el conocimiento ya existente, y por tanto debería realizar exclusivamente citas “relacionadas con la aplicación” y citas intra-paradigmáticas al referirse a la “relación tecnológica” con otras patentes. Sin embargo, el 38.51% de sus citas se refieren a patentes extra-paradigmáticas que no describen discos artificiales. La Hipótesis 4 comparte argumento deductivo con la tercera y por tanto debe ser también rechazada.

### 4. Discusión y limitaciones

Este trabajo pretende identificar los paradigmas exploratorios y de explotación empleados para solucionar un problema tecnológico concreto (la sustitución del disco anatómico por una prótesis artificial) y analizar las heurísticas de búsqueda y aprendizaje de ambos paradigmas. Con ello nos proponemos profundizar, mediante conceptos provenientes del aprendizaje organizacional y de la teoría conductista de las organizaciones, en el análisis original de Giovanni Dosi sobre los paradigmas tecnológicos a escala sectorial.

Sin embargo, el análisis estadístico contradice nuestra Hipótesis 3 de que los paradigmas de explotación refinan conocimiento. Puesto que la existencia de los dos paradigmas expuesta en nuestro caso de estudio ha sido confirmada por otros historiadores de la evolución del

disco artificial [22] y 23], el problema puede localizarse en nuestra segunda asunción teórica: la identificación del conocimiento con una clase u otra de agente del sistema de innovación (usuario u organizaciones). El concepto de “aprendizaje por interacción” en el sistema de innovación puede ayudar a resolver estos problemas: el tipo de agente que posee el conocimiento puede ser indicativo del tipo de heurística que podemos asignar a un paradigma (exploradora o de explotación), pero sólo desde un análisis *histórico* que determine que tipo de agente poseía *originalmente* el conocimiento, puesto que la misma interacción entre agentes que da lugar al paradigma explorador distribuye el conocimiento a lo largo del sistema de innovación. Este tipo de análisis histórico se adecua bien al estudio de caso que hemos expuesto en el apartado 2, pero en cambio invalida el análisis estático de las citas de patentes del apartado 3. Aunque este tipo de investigación estática ha sido empleada en el estudio de la exploración y explotación empleando bases de datos de patentes (para un estudio reciente de este tipo se puede consultar Lettl et al., [30]), lo cierto es que los marcos dinámicos se adecuan mejor a la esencial historicidad del análisis evolucionista [38].

La incapacidad del análisis estático puede explicar la refutación estadística de algunas de las hipótesis formuladas en el apartado 3. Por ejemplo, la Hipótesis 3 propone que las patentes pertenecientes al paradigma de explotación, al basarse únicamente en el refinamiento del conocimiento existente, citan (además de las patentes del paradigma exploratorio que hemos denominado “relacionadas con la aplicación”, puesto que ambos paradigmas pretenden resolver el mismo problema tecnológico) exclusivamente a otras patentes del mismo paradigma. Sin embargo, aunque el 49,67% de las citas realizadas por patentes de este paradigma son intra-paradigmáticas y el 10.12 % se refieren a patentes “relacionadas con la aplicación”, el 38.51% de estas citas se corresponden a patentes extra-paradigmáticas que no describen discos artificiales, lo que contradice el enunciado de la hipótesis.

Esta circunstancia podía ser analizada con mayor precisión por futuros trabajos que emplearan un marco teórico dinámico: aunque la necesidad de conocimiento intra-paradigmático existe, esta necesidad puede cambiar con el tiempo. En el caso de las patentes más tempranas, no existe conocimiento intra-paradigmático en el que puedan basarse para refinar y extender el conocimiento del paradigma “tipo cadera”. Este conocimiento “existente” deberá entonces referirse a patentes extra-paradigmáticas, como pueden ser las patentes de prótesis de cadera. A medida que avance el desarrollo de la tecnología de discos “tipo cadera”, las patentes de explotación podrán hacer referencia a otras patentes intra-paradigmáticas y dejar de lado progresivamente el conocimiento extra-paradigmático. Este tipo de estudio deberá revisar en detalle no sólo el conocimiento técnico de las patentes de discos artificiales, sino el de las patentes extra-paradigmáticas citadas, para comprobar que se corresponde con el conocimiento *originalmente* poseído por las organizaciones sobre las prótesis de cadera, lo que refuerza la importancia del análisis del conocimiento técnico detallado en las patentes más allá del incluido en la clasificación IPC. Aunque otros trabajos han estudiado la exploración y explotación en bases de datos patentes atendiendo al conocimiento técnico que contiene la patente, este artículo es el primero que realiza un estudio detallado de este tipo.

## Referencias

- [1] Dosi, G. , “Technical paradigms and technological trajectories”, *Research Policy*, Vol. 11(3), 1982, pp147–162.
- [2] Kuhn, T. S., *La estructura de las revoluciones científicas*, México D.F.: Fondo de Cultura Económica. 1969

- [3] Simon, Herbert . "A Behavioral Model of Rational Choice", in *Models of Man, Social and Rational: Mathematical Essays on Rational Human Behavior in a Social Setting*. New York: Wiley, 1957
- [4] Dosi, G. 'The nature of the innovative process', pp. 221-239 in: Dosi, G., Freeman, C. Nelson, R., Silverberg, G., Soete, L. (eds.) *Technical Change and Economic Theory* (London: Pinter), 1988.
- [5] March, J., *Exploration and exploitation in organizational learning* , Organization Science, N°2, 1991, pp. 71-87
- [6] Larrue, P., Coping collectively with the exploration—exploitation trade-off in research consortia. Pp. 150-178. En Saviotti, P. *Applied Evolutionary Economics: New Empirical Methods and Simulation Techniques* Edward Elgar Publishing, 2003.
- [7] Abernathy, W. and Clarck, KB, "Innovation : Mapping the Winds of Creative Destruction, *Research Policy*, 14 1985, pp 3-22
- [8] Hovhannisian, K. Depth and Breadth of Search on a Technology Landscape, DISA, University of Trento, 2004.
- [9] Vence Deza, X. Economía de la innovación y del cambio tecnológico: una revisión crítica. Madrid : Siglo XXI de España, 1995.
- [10] Silverberg, G. y Verspagen, B., Self-organization of R&D search in complex technology spaces, ECIS Working Paper 05.07, 2005
- [11] Silverberg, G. The discrete charm of the bourgeoisie: quantum and continuous perspectives on innovation and growth, *Research Policy*, Vol. 31, no. 8-9: 2002, 1275-1291.
- [12] Kamp, L., Learning in wind turbine development: A comparison between the Netherlands and Denmark, PhD thesis, Utrecht University, 2002.
- [13] Koza, m. P.; Lewin, a. Y. "the co-evolution of strategic alliances". *Organization science*, vol. 9, n° 3, 1998, p. 255-264.
- [14] Malerba, F. Sectoral systems of innovation and production. *Research Policy* 31, 2002, 247-264.
- [15] Pavitt, K., Sectoral patterns of technical change, towards a taxonomy and theory. *Research Policy* 13, 1984, 343-373.
- [16] Errico, T.J.. Lumbar disc arthroplasty. *Clinical Orthopaedics & Related Research* 435, 2005, 106-117.
- [17] Acosta, F.L. Jr, Aryan, H.E., Ames, C.P. Emerging directions in motion preservation spinal surgery. *Neurosurgical Clinical North America* 16(4), 2005, pp. 665-669.
- [18] Denoziere, G., Ku, D.N. Biomechanical comparison between fusion of two vertebrae and implantation of an artificial intervertebral disc. *Journal of Biomechanics*, 39(4), 2006, pp 766-775.
- [19] Oskouian RJ, Whitehill R, Samii A, Shaffrey ME, Johnson JP, Shaffrey C, *The future of spinal arthroplasty: a biomaterial perspective*. *Neurosurgical Focus*, Vol. 15, 2004, 17 3):E2
- [21] McNally DS, Shackelford IM, Goodship AE, Mulholland RC. In vivo stress measurement can predict pain on discography. *Spine*. Nov 15;21(22) 1996, pp 2580-7
- [22] Szpalski, M., Gunzburg, R., Mayer, M. Spine arthroplasty: A historical review. *Euro Spine Journal Supplement* 2, 2002 pp. S65-84.
- [23] Lee, C., Goel, V. Artificial disc prosthesis: design concepts and criteria. *The Spine Journal*, Volume 4, Issue 6, 2004, pp S209-S218

- [24] Fraser, R.D., Ross, E.R., Lowery, G.L., Freeman, B.J., et al. Lumbar disc replacement. AcroFlex design and results. *Spine J* 4, 2004, pp 245S-251S.
- [25] Santos, E.G., Polly, D.W., Mehbod, A., Saleh, K.S. Disc arthroplasty: Lessons learned from total joint arthroplasty. *The Spine Journal* 4, 2004, pp 182S-189S.
- [26] Link, H. D. History, design and biomechanics of the LINK SB Charité artificial disc *Eur Spine J*, 11 (Suppl. 2) 2002, pp S98–S105
- [27] Frenken, K. *Innovation, Evolution and Complexity Theory*. Cheltenham UK and Northampton MA, 2006.
- [28] Gelijns, A., Rosenberg N., Laubach, G. *Implantable and Surgical Medical Devices*. National Academy Press, Washington DC, 1996
- [29] Kahn, A. The dynamics of medical device innovation: An innovator's perspective, in: [28] Genjins A., Halm E. (Eds.) *The Changing Economics of Medical Technology*, The National Academies Press, Washington DC, 89-95, 1991.
- [30] Lettl, C., von Wartburg, I., Rost, K. Technological merit of user invention: achieving impact by exploration or exploitation? Brown-Bag seminar, Prof. G. von Krogh, June 22t, 2006, ETH-Zurich, Switzerland.
- [31] White, A.A., Panjabi, M.M. *Clinic Biomechanics of the Spine*. J.B. Lippincott Co., Philadelphia, PA, 1978.
- [32] Hirsch, C., Nachemson, A. A new observation of the mechanical behaviour of lumbar discs. *Acta Orthopædica Scandinava* 23, 1954, 254.
- [33] Nachemson, A., Some mechanical properties of the lumbar intervertebral disc. *Bull Hosp. Joint Dis.* 23, 1962, pp130-132.
- [34] Basalla, G. *The Evolution of Technology: Cambridge Studies in the History of Science*, Cambridge, 1989.
- [35] Fleming, L., Sorenson, O., Technology as a complex adaptive system: evidence from patent data. *Research Policy* 30(7), 2001, 1019–1039
- [36] Jaffe A. y Trajtenberg, M. Eds. *Patents, Citations and Innovations*. MIT Press, Cambridge, Massachusetts, USA, 2002
- [37] Dew, N. Incommensurate technological paradigms? Quarreling in the RFID industry. *Industrial and Corporate Change* 15(5), 2006, 785-810
- [38] Nelson, R.R., Winter, S.G. *An Evolutionary Theory of Economic Change* (Cambridge MA & London: Belknap Press of Harvard University Press), 1982.

## Agradecimientos

Este trabajo es parte del Plan Nacional de +D+i, 2004-2007 (**SEJ2005-08603/PSIC**), financiado por el Ministerio de Educación y Ciencia (MEC), "Influencia de la cultura organizacional y los flujos de conocimiento en el rendimiento científico de grupos de I+D tecnológicos. Aplicación a la Universidad Politécnica de Valencia."

## Correspondencia (Para más información contacte con):

David Barberá Tomás  
INGENIO (CSIC-UPV) Camino de Vera s/n, 46022 Valencia (España)  
Phone: 686938102  
E-mail: [jobarto@ingenio.upv.es](mailto:jobarto@ingenio.upv.es)