



---

## LA COLABORACIÓN CIENTÍFICA / SCIENTIFIC COLLABORATION

---

### Principales parámetros para el estudio de la colaboración científica en *big science*

Eva Ortoll\*, Agustí Canals\*, Montserrat Garcia\*, Josep Cobarsí\*

\*Universitat Oberta de Catalunya (UOC)

Correo-e: [eortoll@uoc.edu](mailto:eortoll@uoc.edu), [acanalsp@uoc.edu](mailto:acanalsp@uoc.edu), [mgarciaals@uoc.edu](mailto:mgarciaals@uoc.edu), [jcobarsi@uoc.edu](mailto:jcobarsi@uoc.edu)

Recibido: 16-12-2013; 2ª versión: 08-08-2014; Aceptado: 01-09-2014.

**Cómo citar este artículo/Citation:** Ortoll, E.; Canals, A.; Garcia, M. y Cobarsí, J. (2014). Principales parámetros para el estudio de la colaboración científica en *big science*. *Revista Española de Documentación Científica*, 37(4): e069. doi: <http://dx.doi.org/10.3989/redc.2014.4.1142>

**Resumen:** En varias áreas de la ciencia se ha pasado de trabajar en experimentos reducidos a participar en grandes y complejas colaboraciones. Muchos de los grandes avances científicos recientes como la secuenciación del genoma humano o el descubrimiento del bosón de Higgs se enmarcan en el paradigma denominado *big science*. El estudio de la colaboración científica debe tener en cuenta los factores de todo tipo que influyen en dicha colaboración. Los experimentos de *big science* inciden especialmente en algunos de estos aspectos: volumen de instituciones implicadas, diferencias culturales, diversidad de espacios e infraestructuras o la propia conceptualización del problema de investigación. Atendiendo a estas particularidades, en este trabajo presentamos un conjunto de parámetros para el análisis de la colaboración científica en proyectos *big science*. Ilustramos la utilidad de esos parámetros mediante un estudio comparativo de dos grandes proyectos de *big science*: el experimento ATLAS y el Proyecto Genoma Humano.

**Palabras clave:** colaboración científica; *big science*; cienciometría; redes científicas; organización científica; infraestructura científica; grandes experimentos.

#### Main parameters for the study of scientific collaboration in big science

**Abstract:** In several scientific disciplines research has shifted from experiments of a reduced scale to large and complex collaborations. Many recent scientific achievements like the human genome sequencing or the discovery of the Higgs boson have taken place within the "big science" paradigm. The study of scientific collaboration needs to take into account all the diverse factors that have an influence on it. In the case of big science experiments, some of those aspects are particularly important: number of institutions involved, cultural differences, diversity of spaces and infrastructures or the conceptualization of research problems. By considering these specific factors we present a set of parameters for the analysis of scientific collaboration in big science projects. The utility of these parameters is illustrated through a comparative study of two large big science projects: the ATLAS experiment and the Human Genome Project.

**Keywords:** Scientific collaboration; big science; scientometrics; scientific networks; scientific organization; scientific infrastructure; large experiments.

**Copyright:** © 2014 CSIC. Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution-Non Commercial (by-nc) Spain 3.0.

## 1. INTRODUCCIÓN

La investigación científica es, en esencia, una actividad colaborativa. Hace ya más de medio siglo, Price (1963) apuntaba que la complejidad de las tareas de investigación requiere de un incremento en la colaboración. En las últimas décadas la colaboración científica ha intensificado su dimensión internacional, el tamaño de los equipos de investigación, así como la distancia geográfica entre sus integrantes y su diversidad cultural. Por citar un ejemplo, un estudio basado en 19,9 millones de artículos del Web of Science (1955-2000) demuestra que el tamaño de los equipos de investigación aumenta un 99,4% en los campos de la ciencia y la ingeniería (Wutchy y otros, 2007). Otras investigaciones demuestran que las ratios de colaboración internacional crecen en un 45% en las décadas de 1981 a 1999 (Adams y otros, 2005). Este aumento se observa en las principales disciplinas y varía según los países. Observando los dos periodos que van de 1996 a 2000 y el de 2001 a 2005 la progresión según países es: 30% en Francia, 50% en Reino Unido y 100% en China (Adams y otros 2007). Dada la tendencia generalizada al crecimiento de los grupos de investigación, estudios recientes se han ocupado de analizar si existe relación entre dicho tamaño y la productividad y visibilidad de la investigación. Así el trabajo de Cabezas-Clavijo y otros (2013) constata que el tamaño de los grupos de investigación españoles en ciencias sociales aumenta la eficiencia de la publicación en revistas del primer cuartil.

Las razones que justifican y van vinculadas a dicho incremento son muchas (Duque y otros, 2005; Lee y Bozeman, 2005). Aunque no es objeto de nuestro estudio pormenorizar en ellas, sirva esta observación a modo de ejemplo para referirnos a un tipo específico de colaboración científica: la caracterizada por la gran dimensión de los proyectos en una investigación determinada. Nos estamos refiriendo a la colaboración conocida con el nombre de *big science*. La idea del *big science* no hace referencia exclusiva al tamaño de los equipos y su composición, sino que representa también un estilo de hacer investigación científica caracterizada por usar instrumentos y otros recursos a gran escala (por ejemplo grandes bancos de datos o infraestructuras, grandes presupuestos...). Además, los proyectos de *big science* acostumbra a plantear grandes preguntas de investigación y generalmente están financiados por gobiernos, agencias internacionales y grandes consorcios.

Uno de los aspectos más controvertidos de la *big science* deriva precisamente de la posible intromisión de los gobiernos en la definición de la dirección de la investigación científica. Si la financiación de la ciencia se vehicula cada vez más a través de grandes proyectos propuestos y hasta cierto punto dirigidos por entidades políticas y grandes poderes económicos, se puede restringir la capacidad de la comunidad científica de dirigir su actividad. La cien-

cia puede verse entonces condicionada por agendas que la desvíen de sus objetivos y valores principales. Es el caso del proyecto Manhattan que contribuyó decisivamente al desarrollo de la bomba atómica (Galison, 1997) o, por ejemplo, de la apuesta por la energía de fusión nuclear a través del proyecto ITER (Kinsella, 1996). Aunque no es el objetivo de este trabajo profundizar en este aspecto, veremos que este factor tiene su efecto en los casos de *big science* estudiados aquí, tanto respecto a la neutralidad del conocimiento generado y a su posible apropiación como a sus efectos en la formación de los científicos jóvenes.

Cabe destacar que las políticas científicas de distintos países han apostado en las últimas cuatro décadas por dar soporte a este tipo de proyectos, generalmente multidisciplinares, que han supuesto un incremento de la colaboración interinstitucional e internacional (Dewulf y otros, 2007). De acuerdo con el *OECD Global Science Forum* se puede considerar la *big science* "global" en el sentido que la investigación en áreas como la medicina, la tecnología, las ingenierías, la química, la biología o la física deben sobrepasar las fronteras nacionales, dado que ningún país por sí sólo dispone del tiempo, dinero, ni conocimientos que demandan los proyectos a gran escala (Peters, 2006).

Los experimentos de *big science* tienen lugar, originariamente, en áreas de conocimiento como la física de altas energías, la astronomía, la fusión nuclear o la genética (Galison, 1992). Algunos de los más conocidos proyectos a gran escala son los de física de altas energías, como los que se llevan a cabo en el CERN, el *Hubble Space Telescope* o el *Human Genome Project*. Aunque el concepto de *big science* parece estar ampliamente emplazado en el campo de las ciencias y la tecnología, debemos preguntarnos ¿qué lugar ocupa dicho fenómeno en áreas como las humanidades y las ciencias sociales? Un ejemplo de iniciativas de *big science* en ciencias sociales y humanidades lo encontramos en el proyecto "*Slave Narratives*" en el que participaron un amplio conjunto de investigadores e instituciones para analizar las experiencias de vida narradas por más de 2.300 testimonios y que dio lugar a una publicación de más de 17 volúmenes de libros (Steckel, 2007). Cabe reseñar, sin embargo, que de acuerdo con la lista publicada por la revista *Science* en 2005 sobre las "grandes preguntas de investigación", un bajo porcentaje de las mismas estaba vinculado a las ciencias sociales y las humanidades (Steckel, 2007). Los proyectos de *big science* se proponen a menudo contestar esta clase de "grandes preguntas", por lo que no resulta extraño que hayan estado menos presentes hasta ahora en las ciencias sociales y las humanidades, aunque esto puede cambiar con el auge de las llamadas "ciencias sociales computacionales" basadas en el estudio de la gran cantidad de datos que se generan sobre sistemas sociales en la actualidad (Cioffi-Revilla, 2010).

Para poder abordar la mencionadas “grandes preguntas”, en muchas ocasiones los proyectos de *big science* llevan implícita la creación de grandes infraestructuras para alojar equipamientos, tecnologías e instrumentos específicos y complejos, sirvan de ejemplo experimentos como los que se alojan en el CERN. Pero los proyectos de *big science* también pueden tener lugar en espacios físicos naturales, por ejemplo en emplazamientos arqueológicos singulares como el de Atapuerca, que ha dado origen a un proyecto a gran escala en el que participan más de 900 investigadores de 33 nacionalidades distintas (Lozano y otros, 2014). En otras ocasiones la colaboración adopta un carácter más distribuido basándose en redes de comunicaciones que permiten acceder a grandes volúmenes de datos, como es el caso de las iniciativas en biología (Vermeulen y otros, 2013).

El objetivo de nuestro estudio es proponer los parámetros que adquieren una especial relevancia cuando se estudia la colaboración científica en proyectos a gran escala. Una vez expuesta la metodología, el artículo se vertebra principalmente en tres secciones: en la primera sección se analiza el concepto de colaboración científica a partir de los artículos de revisión identificados; en la segunda sección se discute acerca de dichos planteamientos en el contexto de proyectos a gran escala, proponiendo un conjunto de parámetros que pueden ser utilizados para el análisis de la colaboración científica en estos ámbitos y en la tercera se aplican dichos parámetros al análisis de dos proyectos de gran escala en ámbitos de conocimiento asentados.

## 2. METODOLOGÍA

La metodología utilizada en el presente trabajo consiste en un análisis de la literatura sobre el concepto de colaboración científica y sobre proyectos de *big science*. Para ello se realiza una búsqueda bibliográfica en las bases de datos ISI WEB of KNOWLEDGE y SCOPUS.

A fin de analizar cómo se ha definido y estudiado el concepto “colaboración científica”, en la primera parte del trabajo se localizan tres artículos correspondientes a la ecuación de búsqueda que pretende identificar “artículos de revisión sobre colaboración científica”. Los trabajos abarcan distintos períodos temporales y de su análisis se desprende cierta complementariedad y evolución. Así pues, analizamos el concepto de colaboración científica a partir de los trabajos de Katz y Martin (1997); Sonnenwald (2007) y Bozeman y otros (2013).

Por otra parte, se identifican diversos trabajos que abordan el estudio de la colaboración en experimentos de *big science* en distintos contextos y disciplinas. Se seleccionan aquellos trabajos que contemplan el análisis de proyectos de *big science*, siendo objeto de estudio aspectos tales como: el planteamiento de la colaboración, la organización o

la evaluación de los resultados. Ello lleva a descartar aquellos trabajos que describen los resultados estrictamente científicos asociados a los problemas de investigación de los proyectos en particular.

Finalmente, a partir del estudio de los trabajos mencionados se propone un sistema de parámetros relevantes para el estudio de la colaboración científica en proyectos a gran escala y se aplica dicho sistema al estudio de dos casos paradigmáticos: la física de altas energías, a través del experimento ATLAS realizado en el CERN, y la genómica, a partir del Proyecto Genoma Humano.

## 3. COLABORACIÓN CIENTÍFICA

Aunque el concepto de colaboración científica no es nuevo, Finholt (2002) apunta que la colaboración a gran escala en la actividad científica se considera un hecho a tener en cuenta desde que en 1997 Richard Zare escribe en una editorial de la prestigiosa revista *Science* que: “el futuro del progreso científico requerirá mecanismos que den soporte a mega-colaboraciones para resolver problemas críticos.”

Las investigaciones sobre colaboración científica adoptan distintas aproximaciones para conceptualizarla. Tal como ya apuntan Katz y Martin (1997) el estudio y el enfoque sobre el concepto de colaboración científica pueden variar según las instituciones, disciplinas, sectores, países y tradición bajo la que se contemple.

A priori, el concepto de colaboración científica excluye la diferenciación entre investigación a pequeña o mediana escala y la de amplia escala o *big science*. Ello parece lógico, dado que el tamaño y el contexto en el cual tiene lugar la colaboración forman parte de las facetas utilizadas para su estudio. Sin embargo, tal como apunta Sonnenwald (2007), a medida que el número de participantes y la complejidad del trabajo científico crecen, la complejidad de los factores que intervienen en la colaboración también aumenta y se hace necesario plantear el rol que alcanzan dichos factores.

A continuación exponemos los factores que conforman el concepto de colaboración científica a partir de los trabajos de revisión identificados.

En 1997 Katz y Martin definen la colaboración científica partiendo de una extensión del mismo concepto de “colaboración”. De acuerdo con los autores, si la colaboración sugiere el trabajo conjunto de unos individuos para alcanzar un objetivo común, por extensión, la colaboración científica supone el “trabajo conjunto de investigadores para conseguir un objetivo común que se traduce en la creación de nuevo conocimiento científico”. Por su parte, 10 años más tarde, Sonnenwald (2007) define la colaboración científica como “la interacción que tiene lugar en un contexto social entre dos o más científicos que les facilita compartir significados y la consecución de tareas con relación a

un objetivo común y subordinado. Los científicos que colaboran también aportan objetivos adicionales e individuales a la colaboración". El contexto social adquiere especial relevancia en el discurso de Sonnenwald. Recientemente, en la misma línea que Sonnenwald (2007), Bozeman y otros (2013) definen la colaboración científica como "un proceso social en el cual los individuos aúnan su capital humano con el objetivo de producir conocimiento".

El trabajo de Katz y Martin (1997) aborda el concepto de colaboración científica a partir de la unidad esencial de análisis, que consiste en determinar quién se puede considerar "colaborador" en una investigación. Para estos autores el nivel básico de colaboración lo constituyen los individuos y el concepto se va extendiendo a otras unidades mayores (grupos, departamentos, instituciones, países...). Esta idea de "colaborador" es utilizada posteriormente por Bozeman y otros (2013) para identificar uno de los tres grandes grupos de elementos a partir de los que se articula el análisis de la colaboración: atributos de los colaboradores, atributos de la colaboración y atributos organizativos. En una línea similar Sonnenwald (2007) define el concepto de colaboración basándose en tres constructos a partir de los cuales desarrolla los posteriores indicadores: comportamiento humano, tareas en el proceso de colaboración y contextos sociales donde tiene lugar la colaboración. Precisamente los contextos sociales (que según la autora abarcan desde los procesos de *peer-review* hasta las políticas científicas) se utilizan para categorizar los tipos de colaboración, considerando los aspectos relacionados con la disciplina, la geografía y el tipo de organización los que más peso tienen.

En cuanto a los factores que motivan el trabajo conjunto, Katz y Martin (1997) constatan la tendencia a identificar la motivación para colaborar con aspectos relacionados con los costes de instrumentación, necesidad de especialización, aspectos políticos, fomento de la interdisciplinariedad, o naturaleza social de la investigación. Como elementos para medir dicha colaboración señalan aspectos como las publicaciones en coautoría, aunque ponen de manifiesto las limitaciones de dicho indicador. Por último, apuntan como beneficios de la colaboración compartir y transferir conocimiento, visibilidad, e impacto, entre otros. Por su parte, Sonnenwald (2007) elabora una propuesta en la que los factores para analizar y entender la complejidad de la colaboración científica se asocian a una visión temporal del proceso científico que se corresponden con las etapas de: fundación, formulación, sostenimiento y conclusión. En cada una de estas etapas se incluyen subindicadores o parámetros que afectan e influyen en el proceso de colaboración y en sus resultados. Por último, Bozeman y otros (2013) consideran los atributos de la colaboración científica anteriormente mencionados (colaboradores, proceso de colaboración y elementos organizacionales) como los elementos básicos que definen la colaboración. Bozeman y su equipo

enfatan el impacto de los resultados obtenidos distinguiendo si éstos están orientados a mercado, orientados a conocimiento o resultados intermedios. Al igual que Sonnenwald (2007), la propuesta de Bozeman y otros (2013) añade a cada conjunto de atributos diversos subparámetros incluidos en el marco conceptual de la colaboración científica.

En definitiva, vemos que el concepto de colaboración científica no está exento de complejidad si atendemos a todos los elementos que lo configuran. En todo caso, observamos que los trabajos que conceptualizan la colaboración científica, analizan en mayor o menor medida las siguientes dimensiones: el trabajo conjunto orientado a alcanzar unos objetivos comunes, los procesos de colaboración y el contexto social en el que tienen lugar, la tipificación de los colaboradores, los factores que motivan la colaboración, y los resultados o beneficios de dicha colaboración.

Así pues, una vez expuesto cómo distintos autores han avanzado en los marcos conceptuales para el estudio de la colaboración científica, veamos cómo se plantean dichas cuestiones en los proyectos de *big science*.

#### 4. LA COLABORACIÓN CIENTÍFICA EN *BIG SCIENCE*

La revisión del concepto de colaboración científica, a partir de los trabajos de Katz y Martin (1997), Sonnenwald (2007) y Bozeman y otros (2013) nos sirve como punto de partida para caracterizar los elementos de la colaboración científica en los proyectos a gran escala. Un primer análisis del concepto de colaboración científica en los proyectos a gran escala sugiere la existencia y el reconocimiento de aspectos comunes con las definiciones y aproximaciones que hemos analizado. A pesar de ello, determinadas facetas asociadas a dicho concepto, y sus correspondientes indicadores, adquieren especial relevancia en los proyectos de *big science*. La tabla 1 sintetiza los principales parámetros e indicadores identificados.

Así, tal como hemos mencionado, las facetas utilizadas para analizar la colaboración científica se pueden resumir en los apartados siguientes: a) factores que motivan la colaboración, b) atributos de los colaboradores, c) atributos del proceso de la colaboración, d) factores organizativos y e) beneficios y resultados.

En cuanto a los **factores que motivan la colaboración**, los proyectos de *big science* se originan, mayoritariamente, debido a: 1) la complejidad de los problemas y preguntas de investigación que exigen contar con múltiples actores para que dichas preguntas puedan resolverse (Cozzens y otros 2011) y 2) la promoción de este tipo de proyectos por parte de gobiernos o consorcios debido a razones de naturaleza política, militar, social o de estrategia regional (Aronova y otros 2010; Hallonsten, 2012). Una vez establecidas dichas motivaciones se hace impres-

**Tabla I.** Parámetros para el análisis de la colaboración científica en *big science*

Colaboración científica: parámetros de análisis	Colaboración científica: parámetros de especial relevancia en <i>big science</i>
Motivos para colaborar	Requerimiento de grandes equipos, infraestructuras y recursos Necesidad de resolver problemas de investigación complejos Aspectos políticos, económicos, militares y sociales impulsados por gobiernos, industria y consorcios
Atributos de los colaboradores	Investigación multisectorial e importancia de los partenariados público-privado Investigación multicultural (nacional, sectorial y disciplinar) Industria como proveedor y desarrollador de tecnología
Atributos del proceso de colaboración	Normas en la constitución y estabilidad de los grupos Nuevas formas de comunicación y trabajo en equipo Gestión de datos y resultados (acceso, explotación y propiedad) Criterios para el desarrollo de la carrera profesional
Aspectos organizativos	Gestión de recursos humanos distribuidos y multi-institucionales Coordinación administrativa Control presupuestario
Resultados y beneficios	Nuevas normas de coautoría y atribución del mérito Nuevos indicadores de rendimiento, contribución e impacto Intereses de múltiples y diversos <i>stakeholders</i>

creditable garantizar la financiación que de estabilidad a este tipo de proyectos dado que, normalmente, los objetivos marcados se alcanzan a largo plazo (Aronova y otros 2010; Cozzens y otros 2011; Berger y Cozzens, 2009). Además, en muchos casos se requiere contar con grandes infraestructuras que dan sentido al proyecto (Aronova y otros 2010). Tal como apunta Peters (2006), los gobiernos plantean sus políticas científicas internacionales como un factor que impulsa la ventaja competitiva nacional y de ahí que se interesen por incentivar la colaboración científica en proyectos a gran escala de dimensión internacional. Este planteamiento, asumiendo sus beneficios, podría preocupar respecto a la pureza, neutralidad y naturaleza social del conocimiento científico generado en el marco de dichos proyectos.

Por lo que se refiere a **la naturaleza y atributos de los colaboradores**, en general en los proyectos a gran escala se observan dos particularidades: 1) la participación de integrantes provenientes de distintos sectores, tales como universidades, institutos de investigación, industria (como proveedora o desarrolladora de tecnología) y los propios gobiernos a través de agencias de investigación nacionales o regionales (Aronova y otros, 2010; Vuola y Hameri, 2006; Beaver 2001; Genuth y otros, 2000) y 2) la naturaleza interdisciplinar de la mayoría de equipos (Dewulf y otros, 2007). Estos dos aspectos llevan asociados otros parámetros como la diversidad de culturas organizativas que intervienen en el trabajo conjunto (Welsh y otros 2006), los distintos intereses finales por parte de los *stakeholders* implicados (Aronova y otros,

2010; Austin y otros, 2012; Genuth y otros, 2000) y la diversidad de marcos teóricos y métodos con los que se identifican las distintas disciplinas involucradas (Dewulf y otros 2007).

Respecto a los **atributos del proceso de la colaboración** se incluyen: a) las normas en la constitución y estabilidad de los grupos b) las nuevas formas de comunicación y trabajo en equipo, c) la gestión de datos y resultados (acceso, explotación, y propiedad) y d) los criterios para el desarrollo de la carrera profesional.

Debido a la complejidad en la implementación de este tipo de proyectos, en los que intervienen diversidad de actores como gobiernos u otras instituciones, en calidad de entidades financiadoras y proveedoras de recursos, los distintos estilos de gobernanza o coordinación de trabajos pueden influir tanto en los mecanismos de constitución como en la estabilidad de los equipos. Teniendo en cuenta este marco, se deben establecer mecanismos para crear confianza a pesar de la distancia y la diversidad de culturas (Sonnenwald, 2007) y prever riesgos de conflicto de intereses entre investigadores, tensiones entre las demandas de los equipos de trabajo y la idiosincrasia de cada institución participante. (Hackett, 2005; Shrum 2000). En este sentido algunos trabajos apuntan a la necesidad de disponer de procedimientos definidos y guías de actuación (Aronova y otros, 2010; Austin y otros, 2012). Se sugiere que en el contenido de dichas guías se establezcan las reglas de autoría y citación (Aronova y otros, 2010), y también que se creen comités de ética que resuelvan los conflictos que

puedan surgir en relación a la propiedad del conocimiento y el uso fraudulento del mismo (Smart y otros 2012).

Por otra parte, aunque la mayoría de estudios ponen acento en los intereses específicos de los departamentos, centros e institutos participantes (Beaver, 2001) también se deben considerar aspectos individuales relacionados con la carrera profesional de los investigadores (Bozeman y otros 2013; Creus y Canals 2013; Wagner y Leydesdorff 2005) que adquieren nuevos matices en dichos contextos. Como aspectos que pueden influir en la productividad individual se han señalado las diferencias en los contextos regionales e institucionales de los países desarrollados y los que están en vías de desarrollo (Duque y otros, 2005; Shrum, 2000). Además, deben tenerse en cuenta los requerimientos del sistema nacional de ciencia e innovación al que cada investigador se circunscribe y los indicadores propios de cada país (Hollanders y Es-Sadki, 2013).

Respecto a los **aspectos organizativos**, los proyectos a gran escala, dispersos geográficamente, en su interior pueden organizarse internamente por grupos de trabajo (Smart y otros, 2012) y la constitución de éstos puede ser debida al tipo de problema de investigación definido (Duque y otros, 2005), a patrones culturales similares, basados en el idioma y, también por condicionantes como el reconocimiento, reputación o las estructuras de recompensa (Wagner y Leydesdorff, 2005). En estos procesos de colaboración cobran especial relevancia la distancia geográfica y la ubicación física de las instalaciones. Hay autores que indican la importancia de la proximidad geográfica para innovar, debido a la interacción cara a cara, la difusión del conocimiento tácito, la creación de confianza y reducción de incertidumbre (Lauto y Valentin, 2013). Los criterios de constitución de los proyectos marcan, o deberían marcar, la coordinación administrativa y presupuestaria de los mismos (Aronova y otros, 2010; Austin y otros, 2012).

Por último, en cuanto a **los beneficios y los resultados**, el análisis del éxito y de los resultados de una misma colaboración puede ser diferente según se considere desde el punto de vista del individuo o el de las instituciones. Los estudios de colaboración interinstitucional acostumbran a medir los resultados en términos de productividad de artículos o de patentes, volumen de financiación obtenida o transferencia de conocimiento realizada, mientras que los individuales se centran más en la productividad de artículos especialmente en coautorías orientados a obtener impacto y reconocimiento que contribuya a mejorar la carrera académica del investigador (Bozeman y otros, 2013; Cozzens y otros, 2011). Tal como apunta Zamora-Bonilla (2013) los investigadores persiguen el reconocimiento de haber llevado a cabo descubrimientos importantes y se debaten entre formar parte de un gran equipo que pue-

de lograr grandes avances o participar en equipos más pequeños que les aportará publicaciones más inmediatas. En dichas publicaciones es más fácil que se ponga de manifiesto el mérito individual de un investigador aunque sus descubrimientos sean menos relevantes. Según Zamora-Bonilla (2013), los investigadores muchas veces optan por la segunda opción. Esta afirmación parece no cumplirse siempre en los proyectos de *big science*, ya que las coautorías de los artículos científicos son objeto de regulación en muchos de estos proyectos y en muchos casos la totalidad de los participantes firman las publicaciones (Bozeman y otros, 2013; Austin y otros, 2012), por lo tanto, el mérito de la investigación se atribuye al conjunto y no a los individuos. Este hecho nos parece especialmente relevante y nos invita a plantearnos las siguientes preguntas: ¿La colaboración en *big science* precisa de nuevos indicadores para evaluar el mérito de las contribuciones particulares al conjunto? ¿cómo dichos indicadores se traducen en la evaluación de las carreras individuales de los investigadores? ¿Debemos reflexionar sobre los criterios actuales relativos a la propiedad de las ideas científicas y avanzar en nuevos paradigmas para evaluar los procesos de colaboración? Un primer cambio que ha originado la colaboración en *big science* son las fuentes de datos utilizadas tradicionalmente para analizar el impacto, contribución y niveles de colaboración de una investigación. Así por ejemplo, si tradicionalmente las redes de coautoría utilizan bases de datos bibliográficas en las que se analizan las publicaciones en revistas académicas, las bases de datos internas (Canals y otros, 2013) o los e-prints (Luna y Collazo, 2005) están adquiriendo un importante rol en los estudios de redes de colaboración, podríamos decir subcolaboraciones, en relación al conjunto.

Además, el éxito y los resultados de la colaboración se miden también desde otras tres perspectivas. En primer lugar, en términos de retorno de la inversión elaborada por agencias de investigación o gobiernos participantes en los consorcios. En segundo lugar, la capacidad de los proyectos de *big science* de trabajar con los departamentos de I+D de las industrias punteras en su ámbito, y de promover la innovación en la industria, mediante la integración de este sector en los proyectos de investigación. Por último, la capacidad de las industrias punteras de lograr los retos tecnológicos planteados por los proyectos a gran escala a un precio razonable (Vuola y Hameri, 2006).

## 5. ANÁLISIS COMPARATIVO DE ATLAS Y EL PROYECTO GENOMA HUMANO

Como ilustración del uso del sistema de parámetros desarrollados en el apartado anterior, en esta sección analizaremos los casos de dos proyectos de *big science* bien conocidos. El primero es el experimento ATLAS en el ámbito de la física de altas energías y el segundo el Proyecto Genoma Humano.

ATLAS es uno de los dos grandes experimentos que se llevan a cabo en el colisionador de partículas LHC construido en las instalaciones del laboratorio de física de altas energías del CERN situado en la zona fronteriza entre Suiza y Francia, cerca de la ciudad de Ginebra (ATLAS Experiment, 2008). El experimento consiste en la construcción y posterior operación del detector ATLAS, probablemente el aparato más complejo construido jamás por el ser humano. La colaboración involucra más de 3000 investigadores de unas 170 instituciones procedentes de 40 países y presenta una gran complejidad organizativa (Boisot y otros, 2011). En 2012 se detectó en ATLAS la partícula conocida como el bosón de Higgs (Aad y otros, 2012), lo que constituyó una corroboración del modelo estándar de la física de partículas elementales y llevó a la concesión del premio Nobel de física en 2013.

El Proyecto Genoma Humano (HGP) se constituyó a iniciativa de un grupo de investigadores pertenecientes a los más prestigiosos institutos de genética y biología molecular de Estados Unidos y Europa que propusieron la secuenciación del genoma del ser humano (McElheny, 2010). Bajo los auspicios y la financiación de grandes agencias científicas como el National Health Institute (NIH) y el Department of Energy (DOE) de los Estados Unidos se consiguió en el año 2000 un primer esbozo del genoma humano (International Human Genome Sequencing Consortium, 2001), que se completó definitivamente en 2003 (Collins y otros, 2003). El HGP fue una iniciativa del sistema público de ciencia, que sin embargo tuvo que competir con iniciativas privadas como, especialmente, la de la empresa Celera Genomics liderada por J. Craig Venter, que llegó a resultados similares al mismo tiempo que el HGP (Venter y otros, 2001; Venter, 2007).

En la Tabla 2 se analizan los dos proyectos de *big science* anteriores atendiendo a los distintos parámetros propuestos anteriormente en este trabajo. Puede verse cómo el análisis permite diferenciar perfectamente los dos proyectos que, aún estando claramente dentro del ámbito de la *big science*, tienen características muy diferentes. Así pues, se destaca el distinto nivel de coordinación necesario entre las instituciones participantes, las implicaciones a nivel social, económico y político de los proyectos, el nivel de multidisciplinariedad requerido, el sistema de financiación o los efectos sobre la carrera de los investigadores. Se constata, por ejemplo, que mientras en ATLAS son preponderantes los aspectos de organización y coordinación y el respeto a las normas no escritas del sistema científico internacional, en el HGP aparecen problemas derivados de aspectos éticos y de tener que enfrentarse a la competencia del sector privado, con las implicaciones que ello conlleva a nivel de mantener los estándares científicos, de problemas de propiedad intelectual y de posible comercialización de los datos resultantes.

## 6. CONCLUSIONES

A medida que aumenta la complejidad de los retos científicos y tecnológicos de nuestra sociedad, aumenta la complejidad de los proyectos de investigación. En este contexto observamos la necesidad de establecer alianzas entre distintos actores involucrados en los procesos de investigación e innovación. Ello conlleva, por un lado poner en contacto una amalgama de actores procedentes de distintos sectores (academia, industria, y agencias gubernamentales), y por otro lado establecer consorcios que aunque comparten objetivos comunes, cuentan también con objetivos más partidistas que pueden provocar conflictos de intereses. Estos elementos, superan, de algún modo, el tradicional concepto de colaboración científica.

En consecuencia, de manera creciente se forman más consorcios con una amplia variedad de actores para colaborar en proyectos científicos de gran envergadura. En estos consorcios hay que armonizar los objetivos comunes con los intereses de cada uno de los actores que componen el consorcio.

Unido a lo anterior, otra característica que cobra relevancia es la armonización de las culturas organizativas existentes dentro de un proyecto, fruto de la diversidad de investigadores procedentes de distintos países, de diversas organizaciones con objetivos y *stakeholders* distintos, con diversas disciplinas con marcos y metodologías propias.

En definitiva, la colaboración científica en proyectos de grandes dimensiones pone de manifiesto la necesidad de centrarse en diversos elementos. En primer lugar, es importante prestar atención a la motivación de cada actor para participar en dichos proyectos unido a los beneficios y resultados que se esperan. Dicha motivación no es únicamente personal tiene también relación con las normas y presiones ejercidas por el sistema de investigación y curricular establecido en el país al que pertenece cada investigador. En este sentido, será necesario avanzar para valorar la participación individual en este tipo de proyectos. En segundo lugar, de cara a la eficiencia de los trabajos, se requiere armonizar la cultura organizativa de procedencia y gestionar la que se pueda crear de nuevo. Unido a lo anterior, es relevante coordinar los procesos de colaboración y facilitar las tareas teniendo en cuenta la diversidad de ubicación geográfica y la gestión de los recursos.

Por otro lado, parece claro que los tradicionales indicadores y recursos de información utilizados para medir la colaboración (por ejemplo las coautorías de las publicaciones); la atribución del mérito académico; los procesos de progresión en la carrera académica individual o los mecanismos de comunicación no resultan suficientes en el contexto de proyectos de *big science*.

A partir del análisis ilustrativo realizado con los casos del experimento ATLAS y el Proyecto Geno-

**Tabla II.** Estudio comparativo de los proyectos ATLAS y Genoma Humano a partir de los parámetros para el análisis de la colaboración científica en *big science*

Parámetros de análisis	Parámetros de especial relevancia en <i>big science</i>	Experimento ATLAS en el LHC del CERN	Proyecto Genoma Humano
	Requerimiento de grandes equipos, infraestructuras y recursos	Gran detector construido en el colisionador LHC. Infraestructura común (LHC Computing GRID) de almacenamiento, distribución y análisis de datos. Desarrollo de herramientas de simulación.	En un principio no se requerían grandes equipos más allá de los que ya poseían los institutos participantes, sin embargo el desarrollo de técnicas más automatizadas de secuenciación los requirió. Se necesitó desarrollar una potente infraestructura de tratamiento de datos. El recurso principal es el tiempo de los investigadores.
Motivos para colaborar	Necesidad de resolver problemas de investigación complejos	Detección de nuevas partículas no presentes en el universo actual que corroboren las teorías físicas más avanzadas.	La secuenciación del genoma del <i>homo sapiens</i> .
	Aspectos políticos, económicos, militares y sociales impulsados por gobiernos, industria y consorcios	CERN como símbolo de la colaboración internacional para el avance de la ciencia. Sin aplicaciones militares. Colaboración con la industria, pero evitando la apropiación de la innovación.	Soporte de los gobiernos, especialmente de Estados Unidos. Liderazgo del National Health Institute (NIH) y del Department of Energy (DEO). Beneficios sociales centrados en el estudio de las enfermedades de componente genético y el desarrollo de posibles curas. Interés de las empresas biofarmacéuticas. Gran importancia de los aspectos éticos.
	Investigación multisectorial e importancia de los partenariados público-privado	Colaboración de más de 174 universidades, centros e institutos de investigación. Gobiernos y agencias estatales como financiadores. CERN como un miembro más de la colaboración, aunque con un papel relevante.	Colaboración de un número importante de institutos (unos 40 aproximadamente), sobre todo estadounidenses y europeos, pero con una participación mayoritaria de cinco grandes centros.
Atributos de los colaboradores	Investigación multicultural (nacional, sectorial y disciplinar)	Además de física de partículas elementales, requiere desarrollos en ingeniería, informática, materiales, electrónica, etc. Investigadores de 40 países de cinco continentes. Distintas culturas y tipos de organización.	Además de la contribución básica de la genética y de las técnicas de biología molecular, se requiere una aportación importante de técnicas de programación para desarrollar aplicaciones que permitan unir las múltiples secuencias de ADN encontradas para formar el genoma.
	Industria como proveedor y desarrollador de tecnología	Participación de grandes empresas y PYMES como partners en la innovación tecnológica.	La industria (especialmente la empresa Celera Genomics) juega un papel decisivo al provocar un cambio en la estrategia del proyecto, al apostar por una estrategia distinta basada en técnicas alternativas y la utilización de nuevas tecnologías más rápidas.

Atributos del proceso de colaboración	Normas en la constitución y estabilidad de los grupos	Acuerdo de constitución basado en la confianza (ATLAS Memorandum of Understanding, 1995). Interés común en el avance de la ciencia. Estructura flexible y adaptable a las distintas fases del proyecto y las circunstancias.	Un comité formado por los líderes de los principales centros coordina el proyecto. Se escoge un líder del proyecto como cabeza visible con un cierto poder, pero las decisiones importantes se discuten en el comité. El comité reparte las tareas de cada centro, y a partir de ahí cada uno trabaja independientemente hasta que envía los resultados parciales de secuenciación al sistema informático común.
	Nuevas formas de comunicación y trabajo en equipo	Organización poco jerárquica basada en la cultura de la investigación científica: consideración de todas las opiniones, decisiones tomadas por consenso, valoración de los argumentos por su racionalidad científica.	Al trabajar cada centro o instituto independientemente, éste no es un aspecto clave.
	Gestión de datos y resultados (acceso, explotación y propiedad)	Datos abiertos y accesibles a toda la comunidad científica. Sin posibilidad de reclamar propiedad intelectual.	Los datos obtenidos por el proyecto se hacen públicos inmediatamente en Internet y no se puede reclamar propiedad intelectual sobre ellos. En cambio, en su proyecto alternativo Celera Genomics pretende construir un modelo de negocio basado en la explotación de los datos del genoma humano.
	Criterios para el desarrollo de la carrera profesional	Prestigio adquirido dentro del experimento en base a las aportaciones personales. Mecanismos informales de reconocimiento dentro de la comunidad.	Al dividir el trabajo entre los distintos grupos, es aún posible hasta cierto punto identificar las contribuciones personales, aunque la gran expectación creada por el proyecto hace que en algunos casos particulares lleguen a la prensa. La presión de la competencia por parte del sector privado puede perjudicar la formación de los investigadores jóvenes participantes.
Aspectos organizativos	Gestión de recursos humanos distribuidos y multi-institucionales	Gestión académica tradicional dentro de los distintos institutos. Gestión participativa, poco jerárquica y basada en argumentos científicos en el plano inter-institucional.	Una vez distribuidas las tareas y los fondos, la organización de los recursos radica en cada centro.
	Coordinación administrativa	El experimento posee una estructura administrativa propia.	Más allá del comité, no existe una estructura administrativa importante.
	Control presupuestario	La colaboración controla su presupuesto a través de la figura del <i>Resources Coordinator</i> .	Una vez obtenidos los fondos, cada centro controla también su presupuesto, aunque se establecen unos objetivos generales de coste de secuenciación por nucleótido.
Resultados y beneficios	Nuevas normas de coautoría y atribución del mérito	Publicaciones firmadas por todos los miembros de la colaboración por orden alfabético. Se considera que el mérito debe ser compartido por todos los miembros de la colaboración.	Excepto en unas pocas publicaciones sobre el proyecto en conjunto, los artículos con los resultados parciales del proyecto son firmados por los investigadores que han participado en esa parte.
	Nuevos indicadores de rendimiento, contribución e impacto	Rendimiento difícil de evaluar, por ser un experimento singular. Se puede comparar a su experimento "hermano" CMS. La contribución individual (o institucional) sólo se puede evaluar con acceso a datos internos. El impacto científico está claro, el tecnológico sólo se puede evaluar adecuadamente en el largo plazo.	Por lo dicho anteriormente, se mantienen los indicadores habituales en el ámbito. Por tratarse de un proyecto distribuido, el rendimiento puede valorarse comparando la actuación de los distintos centros. Posteriormente se puede comparar también con la alternativa desarrollada por Celera Genomics. En el caso de contribuciones relevantes a nivel de proyecto general, éstas se realizan normalmente por parte de los líderes de los centros y son conocidas por la comunidad. El impacto del proyecto va a proceder del estudio posterior del genoma en su conjunto, y no puede ser atribuible a miembros específicos del proyecto.
	Intereses de múltiples y diversos stakeholders	El retorno a las agencias de investigación o gobiernos es básicamente a través de la contribución al avance de la ciencia. Las empresas colaboradoras pueden desarrollar conocimiento propio y aumentar su prestigio, aunque no se benefician de los resultados principales del experimento.	Gran interés de los sistemas nacionales de salud y de la población en general por la posibilidad que abre el conocimiento del genoma para el conocimiento y posible curación de muchas enfermedades. El proyecto tiene importantes implicaciones también para las empresas del sector biofarmacéutico y puede tenerlas también para las mutuas aseguradoras.

ma Humano, creemos que el sistema de parámetros propuesto en este trabajo puede constituir una herramienta útil para la caracterización de los proyectos científicos a gran escala.

## 7. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la participación y ayuda en la presente investigación de la Colaboración ATLAS y del CERN.

Agradecen también la ayuda financiera de la Generalitat de Catalunya al grupo de investigación KIMO (2009-SGR-00032) y del MINECO a través de la financiación de los proyectos KESIR (CSO2009-09194) y KIBIS (CSO2012-33959).

## 8. BIBLIOGRAFÍA

- Aad, G.; Abajyan, T.; Abbott, B.; Abdallah, J.; Abdel Khalek, S. (y otros) (2012). Observation of a new particle in the search for the Standard Model Higgs boson with the ATLAS detector at the LHC. *Physics Letters B*, vol. 716(1), 1-29. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.physletb.2012.08.020>
- Adams, J. D.; Black, G. C.; Clemmons, J. R.; Stephan, E. (2005). Scientific teams and institutional collaborations: Evidence from US universities, 1981-1999. *Research Policy*, vol. 34(3), 259-285. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.respol.2005.01.014>
- Adams, J. D.; Gurney K.; Marshall S. (2007). Patterns of international collaboration for the UK and leading partners. *Report commissioned by the UK Office of Science and Innovation, Evidence Ltd.*; June.
- ATLAS Experiment (2008). Exploring the mystery of matter. Kimber: Papadakis.
- Aronova, E.; Baker, K.S.; Oreskes N. (2010). Big Science and Big Data in Biology: From the International Geophysical Year through the International Biological Program to the Long Term Ecological Research (LTER) Network, 1957-Present. *Historical Studies in the Natural Sciences*, vol. 40(2), 183-224. doi: <http://dx.doi.org/10.1525/hsns.2010.40.2.183>
- Austin, M. A.; Hair, M. S.; y Fullerton, S. M. (2012). Research guidelines in the era of large-scale collaborations: an analysis of Genome-wide Association Study Consortia. *American Journal of Epidemiology*, vol. 175(9), 962-969. doi: <http://dx.doi.org/10.1093/aje/kwr441>
- Beaver, D. D. (2001). Reflections on scientific collaboration (and its study): past, present, and future. *Scientometrics*, vol. 52(3), 365-377. doi: <http://dx.doi.org/10.1023/A:1014254214337>
- Berger, E. M.; y Cozzens, S. E. (2009, October). International research collaboration in small and big science: Comparing global research output between biofuels and neutron scattering. In *Science and Innovation Policy*, pp. 1-7. Atlanta, EEUU: IEEE.
- Boisot, M. H.; Nordberg, M.; Yami, S.; Nicquevert, B. (2011). Collisions and collaboration: the organization of learning in the ATLAS experiment at the LHC. Oxford, U.K.: Oxford University Press. doi: <http://dx.doi.org/10.1093/acprof:oso/9780199567928.001.0001>
- Bozeman, B.; Fay, D.; Slade, C.P. (2013). Research collaboration in universities and academic entrepreneurship: the-state-of-the-art. *The Journal of Technology Transfer*, vol. 38(1), 1-67. doi: <http://dx.doi.org/10.1007/s10961-012-9281-8>
- Cioffi-Revilla, C. (2010). Computational social science. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics*, vol. 2(3), 259-271. doi: <http://dx.doi.org/10.1002/wics.95>
- Cabezas-Clavijo, A.; Jiménez-Contreras, E.; Delgado López-Cózar, E. (2013). ¿Existe relación entre el tamaño del grupo de investigación y su rendimiento científico? Estudio de caso de una universidad española. *Revista Española de Documentación Científica*, vol. 36 (2), 1-11.
- Canals, A.; Ortoll, E.; Nordberg, M. (2103). Redes de colaboración en big science: el experimento ATLAS en el CERN. En González Alcaide, G.; otros. *La colaboración científica: una aproximación multidisciplinar*, pp. 237-251 Nau Llibres: Valencia, España.
- Collins, F. S.; Morgan, M.; Patrinos, A. (2003). The Human Genome Project: Lessons from Large-Scale Biology. *Science*, 300 (286).
- Cozzens, S.; Bal, R.; Berger, E.; Thakur, D.; Wang, J. (2011). Changing Roles for the Global South in International Collaborative Learning. *Institutions and Economies* (formerly known as *International Journal of Institutions and Economies*), vol. 3(3), 445-466.
- Creus, A.; Canals, A. (2013). Las grandes colaboraciones científicas desde la perspectiva de los individuos. En González Alcaide, G.; otros. *La colaboración científica: una aproximación multidisciplinar*, pp. 405-414. Nau Llibres: Valencia, España.
- Dewulf, A.; François, G.; Pahl-Wostl, C.; Taillieu, T. (2007). A framing approach to cross-disciplinary research collaboration: experiences from a large-scale research project on adaptive water management. *Ecology and Society*, vol. 12(2), 14.
- Duque, R. B.; Ynalvez, M.; Sooryamoorthy, R.; Mbatia, P.; Dzorgbo, D-B.S.; Shrum, W. (2005). Collaboration Paradox Scientific Productivity, the Internet, and Problems of Research in Developing Areas. *Social Studies of Science*, vol. 35(5), 755-785. doi: <http://dx.doi.org/10.1177/0306312705053048>
- Finholt, T. (2002). Collaboratories. *Annual Review of Information, Science and Technology*, vol. 36, 73-108. <http://dx.doi.org/10.1002/aris.1440360103>
- Galison, P. (1992). Big Science: The Growth of Large Scale Research. Stanford, CA.: Stanford University Press.
- Galison, P. (1997). Image and logic. Chicago, IL.: The University of Chicago Press.

- Genuth, J.; Chompalov, I.; Shrum, W. (2000). How experiments begin: The formation of scientific collaborations. *Minerva*, vol. 38(3), 311-348. doi: <http://dx.doi.org/10.1023/A:1026573717027>
- Hackett, E. J. (2005). Essential Tensions Identity, Control, and Risk in Research. *Social Studies of Science*, vol. 35(5), 787-826. doi: <http://dx.doi.org/10.1177/0306312705056045>
- Hallonsten, O. (2012). Continuity and Change in the Politics of European Scientific Collaboration. *Journal of Contemporary European Research*, vol. 8(3), 300-319.
- Hollanders, H.; Es-Sadki, N. (2013). Innovation union scoreboard 2013. *Report prepared for the European Commission, Maastricht Economic and Social Research Institute on Innovation and Technology (UNU-MERIT), Maastricht*. Disponible en: [http://ec.europa.eu/enterprise/policies/innovation/files/ius-2013\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/enterprise/policies/innovation/files/ius-2013_en.pdf) [Consulta: julio 2014].
- International Human Genome Sequencing Consortium (2001). Initial sequencing and analysis of the human genome. *Nature*, 409(6822), 860-921. doi: <http://dx.doi.org/10.1038/35057062>
- Katz, J. S.; y Martin, B. R. (1997). What is research collaboration?. *Research Policy*, vol. 26(1), 1-18. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0048-7333\(96\)00917-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0048-7333(96)00917-1)
- Kinsella, W. J. (1996). A "fusion" of interests: Big science, government, and rhetorical practice in nuclear fusion research. *Rhetoric Society Quarterly*, vol. 26(4), 65-81.
- Lauto, G.; y Valentin, F. (2013). How Large-Scale Research Facilities Connect to Global Research. *Review of Policy Research*, vol. 30(4), 381-408. doi: <http://dx.doi.org/10.1111/ropr.12027>
- Lee, S.; y Bozeman, B. (2005). The impact of research collaboration on scientific productivity. *Social studies of science*, vol. 35(5), 673-702. doi: <http://dx.doi.org/10.1177/0306312705052359>
- Lozano, S.; Rodríguez, X-P.; Arenas, A. (2014). Atapuerca: evolution of scientific collaboration in an emergent large-scale research infrastructure. *Scientometrics* 98: 1505-1520. doi: <http://dx.doi.org/10.1007/s11192-013-1162-x>
- Luna, M.E.; Collazo, F. (2005). Repercusión de un descubrimiento Big Science de acuerdo a dos modelos de comunicación científica: el caso del QUARK TOP. *Revista Española de Documentación Científica*, vol. 28 (1), 11-21.
- McElheny, V. K. (2010). *Drawing the map of life: Inside the Human Genome Project*. New York: Basic Books.
- Peters, M.A. (2006). The Rise of Global Science and the Emerging Political Economy of International Research Collaboration. *European Journal of Education*, vol. 41 (2), 225-244. doi: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1465-3435.2006.00257.x>
- Price, D. J. d. S. (1963). *Little Science, Big Science*. New York: Columbia University Press.
- Shrum, W. (2000). Science and Story in Development The Emergence of Non-Governmental Organizations in Agricultural Research. *Social Studies of Science*, vol. 30(1), 95-124. doi: <http://dx.doi.org/10.1177/030631200030001004>
- Smart, J.; Scott, M.; McCarthy, J.B.; Tan, K.T.; Argyrakis, P.; Bishop, S.; Conte, R.; Havlin, S.; San Miguel, M.; Stauffacher, D. (2012). Big science and big administration. *European Physical Journal-Special Topics*, 214(1), 635. doi: <http://dx.doi.org/10.1140/epjst/e2012-01708-x>
- Steckel, R.H. (2007). Big Social Science History. *Social Science History*, 31:1, pp. 1-35. <http://dx.doi.org/10.1215/01455532-2006-012>
- Sonnenwald, D. H. (2007). Scientific Collaboration. *Annual Review of Information, Science and Technology*, vol. 41, 643-680. doi: <http://dx.doi.org/10.1002/aris.2007.1440410121>
- Venter, J. C. (2007). *A life decoded. My genome: my life*. New York: Penguin.
- Venter, J. C.; Adams, M. D.; Myers, E. W.; Li, P. W.; Mural, R. (y otros) (2001). The Sequence of the Human Genome. *Science*, vol. 291(5507), 1304-1351. doi: <http://dx.doi.org/10.1126/science.1058040>
- Vermeulen, N.; Parker, J.N.; Penders, B. (2013). Understanding life together: a brief history of collaboration in biology. *Endeavour*, 37(3), 162-171. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.endeavour.2013.03.001>
- Vuola, O.; Hameri, A. (2006). Mutually benefiting joint innovation process between industry and big-science. *Technovation*, vol. 26(1):3-12. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.technovation.2005.03.003>
- Welsh, E.; Jirotko, M.; Gavaghan, D. (2006). Post-genomic science: cross-disciplinary and large-scale collaborative research and its organizational and technological challenges for the scientific research process. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, vol. 364(1843), 1533-1549.
- Wagner, C. S.; Leydesdorff, L. (2005). Network structure, self-organization, and the growth of international collaboration in science. *Research Policy*, vol. 34(10), 1608-1618. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.respol.2005.08.002>
- Wutchy, S, Jones, BF; y Uzzi, B. (2007). The increasing dominance of teams in production of knowledge. *Science*, vol. 316: 1036-1039. doi: <http://dx.doi.org/10.1126/science.1136099>
- Zamora-Bonilla, J. (2013). Lo que la coautoría nos dice sobre la epistemología de los artículos científicos. En González Alcaide, G.; otros. *La colaboración científica: una aproximación multidisciplinaria*, pp. 29-38. Nau Llibres: Valencia, España.
- Zare, R.N. (1997). Knowledge and Distributed Intelligence. *Science* 275:1047.