

TESIS DOCTORAL

PERCEPCIÓN SOCIAL DE LA CIENCIA Y PARTICIPACIÓN DIGITAL

IMPACTO DE LA COMUNICACIÓN CIENTÍFICA EN TWITTER

ELENA DENIA

DIRIGIDA POR:
PABLO D'ESTE CUKIERMAN
RICHARD WOOLLEY

SEPTIEMBRE 2020



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

Este trabajo está desarrollado dentro del Proyecto I+D CSO2013-48053-R «Excelencia científica, transferencia de conocimiento, factores organizativos, antecedentes individuales, impacto social» del Centro de I+D INGENIO (UPV) y la Agencia Estatal Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), financiado mediante la ayuda BES-2014-069584 del Ministerio Ciencia, Innovación y Universidades de España (2015-2019). Agradezco la confianza depositada durante los años de investigación.

A mi amada madre, mi guía intelectual.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	11
INTRODUCTION	20
PARTE I — ESTADO DEL ARTE: CIENCIA Y SOCIEDAD INFORMADA	29
Capítulo 1: CIENCIA Y AUDIENCIA	30
1.1. Ciencia: aproximación filosófica y sociológica	30
1.1.1. Conocimiento científico y dimensión social	32
i) Desarrollo científico	32
ii) La ciencia como aproximación a la verdad	34
iii) La ciencia como hecho social	36
iv) El papel de los valores en la práctica científica	40
v) Construcción social del conocimiento	43
1.1.2. Aspectos relevantes de la ciencia moderna	45
i) La institución científica y la Big Science	45
ii) Articular ciencia y política	50
iii) Crisis de legitimación de la ciencia	54
iv) Ciencia y democracia	57
v) Ciencia, mala ciencia y pseudociencia	61
1.2. Comunicación de la ciencia	70
1.2.1. El rol de la comunicación de la ciencia	70
1.2.2. Rasgos distintivos	73
i) Comunicar la ciencia	73
ii) El lenguaje de la comunicación científica	77
1.2.3. Razones aducidas para la popularización de la ciencia	80
1.2.4. Condicionantes actuales del periodismo científico	83
1.2.5. Nuevos retos en la era digital	85
PARTE II — MARCO TEÓRICO: PERCEPCIÓN SOCIAL DE LA CIENCIA	89
Capítulo 2: ESTUDIOS DE PERCEPCIÓN SOCIAL DE LA CIENCIA	90
2.1 De la percepción social de la ciencia a la cultura científica	90
2.1.1 Estudios sobre ciencia y sociedad: presupuestos teóricos	91
i) El problema de la conceptualización de la «alfabetización científica»	93
ii) El modelo del déficit cognitivo	99

iii) El modelo contextual	105
iv) Los tres paradigmas	108
2.1.2. Engagement	113
i) Argumentos justificativos del engagement	118
ii) Concepto y tipología	120
iii) Implementación del engagement	125
iv) Críticas al engagement	128
2.2 Mediciones de referencia	130
2.2.1 Informe Davis (1958)	132
2.2.2 Los Science and Engineering Indicators	136
2.2.3 Encuesta conjunta de Miller y Durant	138
2.2.3 Eurobarómetros	140
2.2.4 Medidas de cultura científica	143
2.2.5 Indicadores de engagement	146
2.3 Hacia la percepción social de la ciencia en el entorno digital	153
2.3.1. Insuficiencias del campo	153
2.3.2. Nuevos enfoques	155
i) Sociedad red	155
ii) Comunicación de la ciencia 2.0	157
iii) Cultura popular	159
PARTE III — CIENCIA EN LA RED: UNIVERSO TWITTER Y ESTUDIOS DE CASO	161
Capítulo 3: PROPUESTA METODOLÓGICA	162
3.1 Twitter como alternativa a las encuestas	162
i) Hacia la participación digital	162
ii) Enfoques de investigación	164
3.2 Universo Twitter	167
3.2.1. Rasgos distintivos	167
i) Uso	167
ii) Características	169
iii) Limitaciones de Twitter para la extracción de datos	171
3.2.2. Twitter como objeto de investigación académica en comunicación	171
i) Tendencias generales	171
ii) Roles de usuario	175

3.2.3. Twitter como herramienta de comunicación científica	176
i) Temas científicos de interés público	177
ii) Agentes. ¿Quién tuitea sobre ciencia?	178
iii) Perspectivas de trabajo	180
3.3. Metodología propuesta	182
3.3.1. Hipótesis de trabajo	183
3.3.2. Categorías de información	183
3.3.3. Tratamiento de datos y definición de parámetros	184
3.3.4. Confiabilidad de la categorización	187
3.3.5. Impacto de la información	187
3.3.6. Representación visual	189
3.3.7. Visión de conjunto del algoritmo	189
Capítulo 4: ESTUDIOS DE CASO	192
4.1 Planteamiento	192
4.1.1. Motivación	192
4.1.2. Selección de las muestras	195
4.2 Aplicación de la herramienta sobre el discurso público de Neil deGrasse Tyson	198
4.2.1. Datos	198
4.2.2. Análisis	199
i) Preferencias en el discurso	199
ii) Impacto en términos de likes y retweets	201
iii) Índices de popularidad y polemicidad	204
iv) Red semántica	205
4.2.3. Discusión	206
4.3 Aplicación de la herramienta sobre otros perfiles	209
4.3.1. Elon Musk	209
i) Datos	209
ii) Análisis	209
iii) Discusión	211
4.3.2. Otros divulgadores	213
i) Datos	213
ii) Análisis	213
iii) Discusión	214

4.3.3. Instituciones NASA y ESA	215
i) Datos	215
ii) Análisis	215
iii) Discusión	217
4.4. Aplicación de la herramienta sobre discusiones descentralizadas	218
4.4.1 Señal WoW!	218
i) Datos	218
ii) Análisis	218
iii) Discusión	219
4.4.2. Oumuamua	220
i) Datos	220
ii) Análisis	221
iii) Discusión	223
Capítulo 5: CONCLUSIONES	224
CONCLUSIONS	241
ANEXO I: ALGORITMO	257
ANEXO II: ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS	264
REFERENCIAS	266

Resumen

La percepción pública de la ciencia es un aspecto social ampliamente estudiado mediante encuestas a la población para evaluar la comprensión de la ciencia y las actitudes hacia la misma. Sin embargo, existen críticas robustas hacia los supuestos teóricos que sustentan el diseño de estos sondeos y hacia la metodología empleada. La presente tesis pretende aportar vías de análisis más innovadoras a la discusión. En primer lugar, se proporciona un marco introductorio que esboza las relaciones más destacables entre ciencia y sociedad en el mundo moderno, incluyendo los enfoques de participación, considerados más democráticos. En segundo lugar, se profundiza en el marco del nuevo escenario de la vida digital, en particular con la finalidad de complementar los estudios clásicos de percepción social de la ciencia con la propuesta de una herramienta metodológica adaptada a la sociedad digital que abra nuevas direcciones de investigación orientadas hacia los espacios de participación ciudadana que constituyen las redes sociales digitales. Para ello, se diseña un algoritmo capaz de analizar tendencias en el impacto de la comunicación de la ciencia en Twitter a partir de conjuntos representativos de tuits utilizando técnicas computacionales de minería de datos, combinadas con una valoración cualitativa de los tipos de contenido —categorizado como: «ciencia», «cultura», «político-social», «creencias», «medios» y «emocional»—. Para probar la herramienta, se examina una variedad de discursos en abierto sobre temas científicos presentes en la plataforma, aplicando el algoritmo sobre perfiles de distinta naturaleza —científicos famosos, instituciones y otros— y sobre conversaciones no centralizadas en usuarios específicos, sino recabando la información relativa a cuestiones científicas de las que los medios se han hecho eco. El resultado es una herramienta de bajo coste fácilmente reproducible por otros investigadores que revela aspectos sobre las estrategias de comunicación científica que generan mayor impacto. Se requerirán estudios más profundos, a gran escala, para corroborar si las tendencias preliminares identificadas con el método de análisis propuesto pueden extrapolarse a un marco más general.

Palabras clave

Percepción social de la ciencia; alfabetización científica; impacto social; engagement; comunicación de la ciencia; periodismo científico; divulgación; redes sociales; Twitter; minería de datos; procesamiento del lenguaje natural.

Perfil de la autora

Graduada en Física. Máster en Periodismo y Comunicación de la Ciencia. Máster en Astrofísica. Máster en Filosofía de la Ciencia. Investigadora en el instituto INGENIO (CSIC-UPV) con un contrato de Formación de Personal Investigador (FPI) del Ministerio de Economía y Competitividad. Técnica de asesoramiento científico para políticos en la iniciativa ciudadana Ciencia en el Parlamento. Divulgadora científica (premio Prismas 2017).

Abstract

Public perception of science is a widely studied social aspect through population surveys to assess understanding of science and attitudes towards it. However, there are strong criticisms of the theoretical assumptions behind the design of these surveys and the methodology used. This thesis aims to provide more innovative ways of analysis to the discussion. Firstly, it provides an introductory framework outlining the most remarkable relationships between science and society in the modern world, including approaches to 'engagement' in science, which are considered to be more democratic. Secondly, it delves into the framework of the new scenario of digital life, in particular with the aim of complementing the classic studies of the social perception of science with the proposal of a methodological tool adapted to the digital society that opens up new directions of research oriented towards the spaces of citizen participation that constitute social networks. To this end, an algorithm is designed that is capable of analyzing the impact of science communication on Twitter from representative sets of tweets using computational data mining techniques, combined with a qualitative assessment of the types of content; categorized as «science», «culture», «political-social», «beliefs», «media» and «emotional». To test the tool, a variety of open discourses on scientific topics present in the platform are examined, applying the algorithm on profiles of different nature (famous scientists, institutions and others) and on conversations not centralized on specific users, but gathering information on scientific issues that have been echoed by the media. The result is a low-cost tool that can be easily reproduced by other researchers and that reveals aspects about the science communication strategies that generate the greatest impact. As a next step, more in-depth, large-scale studies are required to corroborate whether the preliminary trends identified with the proposed method of analysis can be extrapolated to a more general framework.

Keywords

Social perception of science; scientific literacy; social impact; science engagement; science communication; science journalism; science popularization; social networks; Twitter; data mining; natural language processing.

Author's profile

Degree in Physics. MSc in journalism and science communication. MSc in Astrophysics. MSc in Philosophy of Science. Researcher at the INGENIO Institute (CSIC-UPV) with a Formación de Personal Investigador (FPI) contract from the Spanish Ministry of Economy and Competitiveness. Technician of scientific advice for politicians in the citizen's initiative Science in Parliament. Science Communicator (Prismas Award 2017).

Resum

La percepció pública de la ciència és un aspecte social àmpliament estudiat mitjançant enquestes a la població per avaluar la comprensió de la ciència i les actituds de la ciutadania. No obstant això, hi ha crítiques robustes cap als supòsits teòrics que sustenten el disseny d'aquests sondejos i cap a la metodologia utilitzada. La present tesi pretén aportar vies d'anàlisi més innovadores a la discussió. En primer lloc, es proporciona un marc introductori que esbossa les relacions més destacables entre ciència i societat en el món modern, incloent els enfocaments de participació —o *engagement*—, considerats més democràtics. En segon lloc, s'aprofundeix en el marc de el nou escenari de la vida digital, en particular amb la finalitat de complementar els estudis clàssics de percepció social de la ciència amb la proposta d'una eina metodològica adaptada a la societat digital que obri noves direccions de investigació orientades cap als espais de participació ciutadana que constitueixen les xarxes socials. Per a això, es dissenya un algoritme capaç d'analitzar l'impacte de la comunicació de la ciència a Twitter a partir de conjunts representatius de tuits utilitzant tècniques computacionals de mineria de dades, combinades amb una valoració qualitativa dels tipus de contingut —categoritzat com: «ciència», «cultura», «políticocial», «creences», «mitjans» i «emocional»—. Per provar l'eina, s'examina una varietat de discursos en obert sobre temes científics presents a la plataforma, aplicant l'algoritme sobre perfils de diferent naturalesa — científics famosos, institucions i altres— i sobre converses no centralitzades en usuaris específics, sinó recaptant la informació relativa a qüestions científiques de les que els mitjans de comunicació s'han fet ressò. El resultat és una eina de baix cost fàcilment reproducible per altres investigadors que revela aspectes sobre les estratègies de comunicació científica que generen major impacte. Com següent pas, es requereixen estudis més profunds, a gran escala, per corroborar si les tendències preliminars identificades amb el mètode d'anàlisi proposat poden extrapolar-se a un marc més general.

Paraules clau

Percepció social de la ciència; alfabetització científica; impacte social; engagement; comunicació de la ciència; periodisme científic; divulgació; xarxes socials; Twitter; mineria de dades; processament de llenguatge natural.

Perfil de l'autora

Graduada en Física. Màster en Periodisme i Comunicació de la Ciència. Màster en Astrofísica. Màster en Filosofia de la Ciència. Investigadora a l'institut INGENIO (CSIC-UPV) amb un contracte de Formació de Personal Investigador (FPI) de l'Ministeri d'Economia i Competitivitat. Tècnica d'assessorament científic per a polítics en la iniciativa ciutadana Ciència al Parlament. Divulgadora científica (premi Prismes 2017).

INTRODUCCIÓN

Justificación del tema

La percepción pública de la ciencia es un aspecto social ampliamente estudiado a lo largo de los años por las encuestas de los Eurobarómetros en Europa y por las de la *National Science Foundation* en los Estados Unidos, entre las más populares. Esencialmente, el presente proyecto de investigación tiene la finalidad de complementar estos estudios con herramientas más modernas adaptadas a la sociedad digital, proporcionando nuevas vías metodológicas y ofreciendo direcciones de investigación. Se trata de una aproximación hacia lo que pueden revelar los estudios con grandes conjuntos de datos extraídos de los nuevos espacios de participación ciudadana: las redes sociales digitales. En particular, la red social Twitter, que ofrece una interfaz en abierto para la extracción de conjuntos de tuits, es una plataforma idónea ya que el intercambio de información es público y los usuarios pueden participar libremente en el debate expresando opiniones. El impacto de la información científica en la sociedad digital constituye así el hilo conductor de la presente investigación.

Cabe destacar que desde los poderes públicos y el ámbito académico se aboga por una mayor permeabilidad entre ciencia y sociedad, considerándose un objetivo deseable e incluso esencial en el mundo moderno. De hecho, del examen de los informes de los gestores del sector público y a los encargados de formular las políticas científicas, se desprende la idea de que la ciencia debe hacerse *con y para* la sociedad. Así se afirma, por ejemplo, en el programa *Science with and for Society* del programa *Horizon 2020* de la Comisión Europea, que alienta a los actores sociales para que trabajen juntos durante todo el proceso de investigación y desarrollo. No obstante, para poder alinear objetivos, antes es necesario conocer más a fondo cómo se configura la apreciación del público por la ciencia y cuáles son sus reservas, tratar de averiguar las causas de sus actitudes y construir mejores modelos teóricos de comprensión pública de la ciencia incorporando los nuevos enfoques de participación ciudadana.

Para lograrlo, parece razonable impulsar nuevas investigaciones sobre la interacción ciencia-sociedad en el espacio digital que permitan diseñar mejores estrategias para conectarlas, y en última instancia incluirlas en la agenda política. En particular, esta vía tiene como ventajas el fácil acceso a los datos en tiempo real almacenados en internet y un menor coste que los sondeos en la población, además de incorporar herramientas computacionales más sofisticadas que puedan mostrar información más precisa que las encuestas. ¿Cómo se mide la percepción social de la ciencia y qué alternativas ofrecen los medios digitales? ¿Las redes sociales como Twitter revelan aspectos nuevos de las actitudes hacia la ciencia?

Antecedentes y estado actual del tema

El avance progresivo del conocimiento científico y tecnológico ha pasado a convertirse en un factor cultural dominante desde el arranque de la modernidad (Pardo, 2001), fenómeno que conlleva manifestaciones públicas de opinión que no deben ignorarse (Holton, 1993), ya sean de apoyo hacia los logros de la investigación científica o bien de desconfianza en sus resultados. Desde la academia, comúnmente se sugiere que una sociedad avanzada necesita de una población científicamente informada. Para abordar este reto, a lo largo del siglo XX se identifican como estrategias de alfabetización científica la educación formal y la comunicación de la ciencia. Centrándonos en la segunda, se ha aducido que, además de las necesidades culturales que nos definen como seres humanos, la comunicación de la ciencia debe cubrir necesidades personales para desenvolvernos en el mundo tecnológico actual y también cívicas al hacernos partícipes de una sociedad democrática (Lewenstein, 2010). Al respecto, si bien es cierto que se han propuesto distintos modelos para el desarrollo de la ciencia en las sociedades democráticas que responden a sistemas de organización ideales (Kitcher, 2001; Longino, 2001), cada vez más los gobiernos e instituciones tratan de prestar atención a la voz social al elaborar las agendas políticas.

En la segunda mitad del siglo XX los poderes públicos, motivados por la necesidad de orientar políticas científicas, impulsan las encuestas de percepción social de la ciencia para registrar medidas de los ciudadanos sobre su interés, conocimiento y actitudes hacia la ciencia, empezando por el estudio fundacional recogido en el informe Davis (1958) que derivó en los indicadores *Science and Engineering Indicators* de la *National Science Foundation* en Estados Unidos y los Eurobarómetros en Europa; los sondeos periódicos más populares. Cabe resaltar que los presupuestos teóricos para el diseño de las preguntas se basan en el modelo del déficit, según el cual el público tiene una carencia de conocimientos que hay que suplir (Durant, Evans, & Thomas, 1992), aunque a día de hoy se han señalado profundas insuficiencias en dicho modelo. Además, las interpretaciones académicas que inicialmente asociaban las actitudes favorables hacia la ciencia con un mayor nivel de conocimientos son un supuesto que pierde fuelle con ulteriores análisis de los datos. En particular, se ha señalado que la diferencia entre poseer o no más conocimientos científicos estriba en tener una actitud crítica hacia la ciencia, pero no necesariamente positiva (Pardo, 2001).

Es a partir del siglo XXI cuando los esfuerzos por acortar la brecha entre ciencia y sociedad se orientan hacia el fomento del diálogo, la discusión y el debate público (Bauer, Allum & Miller, 2007), procurando la inclusión de la perspectiva social en todo el sistema de producción científica. Se trata en parte de apoyar la contribución del conocimiento público a la investigación, y se fomenta el desarrollo de las capacidades de los científicos para involucrarse con el público (House of Lords, 2000). En concreto, la participación pública en cuestiones de ciencia y tecnología se conceptualiza y populariza bajo el rótulo en inglés *engagement* —que significa «participación», «compromiso», «involucramiento»—, y que

supone un nuevo paradigma para articular el binomio ciencia-público que se abre camino en las agendas políticas de las sociedades occidentales (European Commission, 2008), y que circula en ambos sentidos, contemplando tanto la participación del público en la ciencia como el compromiso de los propios científicos con el público.

Por otro lado, desde la academia se advierte de que es necesaria una mejor comprensión acerca de cómo afectan los nuevos entornos virtuales a la práctica de la comunicación científica (Brossard & Scheufele, 2013). Cabe destacar el potencial de las nuevas tecnologías para conectar comunidades y estimular el intercambio de ideas. Gracias al desarrollo de internet y, en particular, de las redes sociales digitales, vivimos más que nunca en una «sociedad red» que ha modificado las formas de consumo de la información y potenciado la cultura de la participación y la cibercultura (Castells, 2001). En la actualidad, los individuos comúnmente pertenecen a comunidades virtuales que se sustentan sobre una arquitectura de participación, en sistemas diseñados para interactuar y contribuir (O'Reilly, 2007). Así, la comunicación de la ciencia ha experimentado un cambio desde el modelo unidireccional de transmisión de la información científica hasta otro modelo en el que la cultura científica se desarrolla dentro del marco de la participación cooperativa, en el que los ciudadanos pueden ser sus propios prescriptores de contenidos, ser sujetos activos en el proceso de transmisión de la información científica, generar contenidos e incluso implicarse en proyectos científicos. Este escenario —denominado «comunicación de la ciencia 2.0» (Bucchi, 2013)— requiere de nuevos enfoques metodológicos para trabajar con el modelo de sociedad digital que impera en la actualidad, por lo que se ha propuesto utilizar indicadores basados en las nuevas tecnologías que proporcionen herramientas más modernas para estudiar al público, con especial énfasis en la participación de los usuarios en el debate público sobre cuestiones científicas que se produce en las redes sociales. De hecho, se ha señalado que el análisis de las redes sociales puede ser un complemento útil a las encuestas tradicionales de percepción social de la ciencia (Murphy, Hill, & Dean, 2013).

La presente investigación se centra en la red social Twitter, un objeto de investigación emergente que ha inspirado distintas clases de estudios en comunicación de la ciencia y suscitado numerosos análisis sociológicos (Murthy, 2012), y que cuenta con un elevado potencial para revelar tendencias en el impacto de la información transmitida —por ejemplo, la reacción del público frente a determinadas controversias científicas— dado que la actualidad científica aparece fuertemente vinculada a esta red social. Un aspecto que se investigará, en particular, es la idea de que una comunicación de la ciencia para la que se construye un discurso emocional despierta una vinculación especial con el público (Kaiser, Durant, Levenson, Wiehe, & Linett, 2014)

Hipótesis de trabajo

H1: Investigar la respuesta del público a los debates sobre ciencia a través de redes sociales como Twitter revelará información más afinada acerca de las actitudes hacia la ciencia y de la imagen de los científicos que tiene la sociedad.

H2: Las manifestaciones públicas de interés en Twitter sobre cuestiones científicas se producen mayormente cuando estas van asociadas a otros factores como los culturales o los socio-políticos, no tanto a inquietudes por adquirir conocimiento científico neutro.

H3: Las estrategias de comunicación de la ciencia en Twitter que incluyen un discurso personal con cierta carga de opinión y emocional, tienen un impacto sensiblemente superior.

Estas hipótesis dan pie a plantearse la siguiente pregunta: ¿qué despierta el interés en la ciencia, los propios avances y descubrimientos científicos o bien los aspectos ligados a la vida diaria de los seres humanos como factores culturales, políticos e incluso emocionales?

Objetivos

Objetivo general: Estudiar el impacto de la información científica en Twitter mediante una propuesta metodológica que revele aspectos hasta ahora inexplorados de las actitudes del público hacia la ciencia.

Objetivos específicos:

- Proporcionar una visión de conjunto amplia sobre la ciencia como actividad humana y sobre la comunicación de la misma al público general.
- Destacar las cuestiones relevantes conocidas, desconocidas y controvertidas sobre la investigación en percepción social de la ciencia.
- Sintetizar los principales modelos teóricos de comprensión pública de la ciencia que subyacen a las encuestas de percepción social y caracterizar los nuevos enfoques de participación ciudadana.
- Discutir críticamente las aproximaciones metodológicas empleadas para medir «interés», «conocimiento» y «actitudes» hacia la ciencia a través de sondeos a la población y resaltar las alternativas que ofrecen los medios digitales: ¿pueden dar respuesta a preguntas inabordables con metodologías tradicionales?
- Revisar los principales estudios disponibles sobre Twitter como herramienta de comunicación científica para identificar la manera apropiada de guiar nuevos estudios empíricos.
- Diseñar un algoritmo como propuesta de método de investigación para analizar conjuntos de tuits extraídos de conversaciones sobre ciencia que permita evaluar el impacto de la comunicación científica en Twitter.

- Aplicar el algoritmo llevando a cabo estudios de caso apropiadamente escogidos para evaluar su eficacia, utilidad y limitaciones, además de revelar algunas tendencias preliminares en la comunicación de la ciencia.
- Sintetizar conclusiones, tanto a nivel teórico como a nivel técnico —a partir de la herramienta desarrollada—, así como específicas de los casos de estudio seleccionados. En base a ello, sugerir nuevas vías de investigación futura.

Metodología

Para el presente proyecto de investigación se han llevado a cabo las siguientes acciones: (1) tres revisiones bibliográficas con distinto nivel de profundidad; (2) diseño de un método para estudiar el impacto de la comunicación de la ciencia en Twitter; (3) aplicación del método sobre casos concretos; (4) reflexión crítica y conclusiones derivadas de lo anterior. A continuación se desglosa la metodología de investigación en cada caso.

Para el trabajo de revisión bibliográfica más exhaustivo se han llevado a cabo búsquedas sistemáticas a través de diferentes repositorios —como la *Web of Science*, *Scopus* y *Dialnet*— que han sido completadas y afinadas rastreando vínculos en artículos publicados, bajo un criterio de relevancia basado en la popularidad de los trabajos —número de citas— y en la diversidad metodológica y de supuestos teóricos, con el fin de ofrecer una visión de conjunto de los posibles enfoques que puede adoptar un investigador en el campo y facilitar así el diseño de nuevos estudios. Las cuatro fases del método incluyen: búsqueda, evaluación, análisis y síntesis (Grant & Booth, 2009). Las revisiones, que responden a diferentes propósitos específicos, consisten en:

- Realizar un estudio de la bibliografía general sobre el desarrollo de la ciencia en las sociedades modernas para poner de manifiesto las cuestiones centrales que conciernen a la compleja relación entre la ciencia y la sociedad, y posteriormente esclarecer los mecanismos existentes para la popularización de la ciencia.
- Realizar una revisión descriptiva para resumir y analizar la información disponible sobre los estudios de percepción social de la ciencia, tanto a nivel teórico como práctico; resaltando los sondeos punteros y los principales modelos teóricos que los sustentan, con el fin de averiguar qué se investiga, cuál es el alcance de las herramientas y qué aspectos permanecen desconocidos o dudosos. Una mirada crítica a los estudios publicados permitirá reconocer sus limitaciones y debilidades para tratar de superarlas con nuevas herramientas.
- Realizar una revisión técnica sobre la investigación académica que se lleva a cabo en Twitter, caracterizando y resaltando los principales recursos metodológicos empleados; y posteriormente una segunda revisión de la investigación académica específica sobre comunicación científica en Twitter, ilustrando las distintas modalidades de estudio, referenciando resultados relevantes de diferentes equipos para sintetizar la evidencia disponible sobre el tema.

En segundo lugar, se diseña una propuesta metodológica basada en los estudios empíricos revisados en los que se analizan conjuntos de tuits. Para ello, se ha elaborado un algoritmo para analizar grandes conjuntos de datos que devuelve grados de «interés», «popularidad» y «polemicidad» de la información liberada en Twitter en los discursos públicos sobre ciencia, y que facilita estudios correlacionales mediante los cuales comprender el impacto de los distintos elementos del discurso. Dicho impacto de la información se calcula en términos de *retweets* y *likes*, y a su vez esta se clasifica por categorías: —«ciencia», «cultura», «político-social», «creencias», «medios» y «emocional»—. También se investigan las coincidencias de palabras en una red semántica mediante representación visual para evaluar el grado de centralidad de los conceptos que generan mayor impacto en los usuarios receptores.

En tercer lugar, se ha puesto en práctica el algoritmo desarrollado sobre distintos conjuntos de datos, por ejemplo utilizando el discurso de diferentes divulgadores famosos o de instituciones científicas, así como de temas de actualidad específicos presentes en los medios de comunicación, todos extraídos del ámbito de la astronomía mediante la API de Twitter. En particular, se ha realizado un análisis centrado en los conceptos científicos de estos discursos, así como de otros tipos de información clasificada en las categorías citadas.

Por último, se ofrece una reflexión crítica para extraer un conjunto de conclusiones en base a los resultados de la revisión teórica y la aplicación práctica del método propuesto. Se recupera en ella una perspectiva general de las relaciones entre ciencia y sociedad y, en particular, de las posibilidades de medición de la percepción social de la ciencia en la sociedad digital que ofrece la herramienta propuesta, también aplicable a otros ámbitos del conocimiento.

Limitaciones del estudio y consideraciones éticas

Twitter ofrece una interfaz de programación (API) gratuita que ofrece el acceso a millones de tuits, incluyendo metadatos para cada uno. Con cada consulta a perfiles concretos, esta interfaz permite la extracción de conjuntos de alrededor de 3.000 tuits, los cuales constituyen muestras aleatorias de conjuntos más grandes, por lo que existen limitaciones en cuanto a la información que el investigador puede recabar. Si se emplean palabras clave, en cambio, la cifra es superior y puede alcanzar los 150.000.

Cabe señalar que la ética sobre el uso de Twitter como fuente de datos para investigaciones académicas no está bien definida. Este proyecto se desarrolla a la luz del enfoque ético de la plataforma, que pone a disposición grandes conjuntos de datos justificando la legalidad de esta práctica dada la naturaleza pública de las publicaciones en Twitter. No obstante, el uso de estos datos en artículos de investigación ha sido cuestionado al no contar con el consentimiento informado de los usuarios (Williams, Burnap & Sloan, 2017). Una descripción de los problemas legales, éticos y de privacidad específicos que pueden surgir sobre el uso de datos en Twitter puede encontrarse en (Ahmed, Bath, & Demartini, 2018).

Por último, deben mencionarse las siguientes limitaciones propias del diseño de la investigación: (1) los estudios de casos se centran en el ámbito de las ciencias espaciales; (2) asociar la participación en ciencia con la publicación en las redes sociales puede ser discutible; (3) el análisis del contenido se realiza a través de los tweets de los comunicadores y no de los comentarios del público.

Diseminación de resultados y transferencia

Los resultados teóricos de la investigación se han divulgado mediante su mención en charlas públicas impartidas en distintas universidades y dentro del marco de actividades de divulgación de distinta índole —radio, festivales de la ciencia, etc.—. Además, se han presentado algunos de los resultados preliminares en distintos congresos para la obtención de *feedback* y el intercambio de ideas, resultando en una red de contactos académica en el ámbito de estudio que favorecerá futuras colaboraciones.

Comunicaciones en congresos

Denia, E. (2017, July). Cultura científica en la era de Twitter. Poster session presented at the IV Congreso Iberoamericano de Filosofía de la Ciencia y la Tecnología, Salamanca, SP.

Denia, E. (2017, June). Scientific Culture in the era of Twitter. Case of study: Earth-like planet in Proxima Centauri. Poster session presented at the IV Meeting of PhD Students at UPV, Valencia, SP.

Denia, E. (2016, September). Public attitudes toward science on Twitter. Communication presented at the international workshop Meaning and Measures of Scientific Culture, Oviedo, SP.

Denia, E. (2016, September). Mapping scientific controversy on Twitter: the Maya city hoax. Poster session presented at the 21st International Conference on Science and Technology Indicators, Valencia, SP.

Denia, E. (2016, April). On the social perception of science in Twitter: a proposal for a real-time indicator. Communication at the Eu-SPRI Forum Early Career Researcher Conference (ECC), Valencia, SP.

Denia, E. (2016, July). On the public attention to Science in Twitter. Communication presented at the conference Science in Public: Past, Present and Future, Canterbury, UK.

Artículos publicados en revistas de impacto

Denia, E. (2020). El impacto del discurso científico en Twitter: El caso de Neil deGrasse Tyson. *Comunicar: Revista Científica de Comunicación y Educación*, 28(65). <https://doi.org/10.3916/C65-2020-02>

NOTA: La revista ha dado su consentimiento expreso para reproducir el contenido del artículo como parte de esta tesis. En concreto, está incluido en los apartados 3.3., 4.1.1. y 4.2.

Denia, E. (2020). Twitter como objeto de investigación en comunicación de la ciencia. *Revista Mediterránea de Comunicación*, 0. Recuperado de <https://www.mediterranea-comunicacion.org/article/view/16403>

NOTA: La revista ha dado su consentimiento expreso para reproducir el contenido del artículo como parte de esta tesis. En concreto, está incluido en los apartados 3.1. y 3.2.

Se espera publicar a medio plazo otras contribuciones científico-técnicas derivadas del proyecto de investigación en las revistas *Science Communication* y *Public Understanding of Science*. Por otro lado, uno de los organismos clave que puede estar interesado en la explotación de los resultados del proyecto es la Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología (FECYT).

Estructura del documento

Para contextualizar el propósito de la tesis, en el capítulo 1 se sintetiza a modo de introducción el contexto general del desarrollo científico en sociedades humanas y los aspectos más relevantes que involucran al público. En el capítulo 2 se configura el marco teórico conceptual al definirse el estado actual del campo de la percepción social de la ciencia, las lagunas que existen y el vacío que se pretende llenar con el proyecto, de manera que se delimita y define el problema de investigación. El capítulo 3 es una propuesta metodológica y contiene el diseño de un algoritmo complejo para abordar el problema. El capítulo 4 muestra la aplicación del algoritmo a estudios de caso específicos pertenecientes al ámbito de la ciencia. El capítulo 5 sintetiza las principales ideas del proyecto en su conjunto y recoge las conclusiones específicas halladas mediante el estudio.

Estructura de la tesis

PARTE I — ESTADO DEL ARTE: CIENCIA Y POPULARIZACIÓN

Capítulo 1 En el primer capítulo se plantea qué es el conocimiento científico —en sentido filosófico—, y cómo se construye en las sociedades humanas —sociológico—. Después se examina la comunicación científica como nexo de unión entre el conocimiento científico y la sociedad, señalando los condicionantes actuales y los nuevos retos en la sociedad digital.

PARTE II — MARCO TEÓRICO: PERCEPCIÓN SOCIAL DE LA CIENCIA

Capítulo 2 El capítulo 2 contiene una revisión de los principales modelos teóricos que describen la relación entre ciencia y sociedad, que sirven de base para las mediciones de «conocimiento», «interés» y «actitudes» del público hacia la ciencia, que se realizan dentro del marco de los estudios de percepción social de la ciencia. Para ello, se exponen y analizan los distintos enfoques teóricos y los antecedentes que existen sobre la problemática de las mediciones. Se identifican las premisas y conclusiones más relevantes de estas mediciones, señalando las limitaciones estructurales e instrumentales del método tradicional mediante encuestas y caracterizando el modelo del *engagement*. Queda abierta la cuestión sobre si la ciencia realmente interesa o solo cuando la información se presenta de forma atractiva.

PARTE III — CIENCIA EN LA RED: UNIVERSO TWITTER Y ESTUDIOS DE CASO

Capítulo 3 ¿Cómo se pueden abordar las limitaciones citadas en el anterior capítulo mediante el uso de Twitter? ¿Qué puede aportar Twitter a la discusión? En el capítulo 3 se propone el uso de la red social Twitter como herramienta de medición complementaria, dado su carácter público y su potencial para escuchar «lo que está pasando» en el mundo. La plataforma se presenta como objeto de investigación y como herramienta de comunicación científica, cobrando además un sentido especial en el escenario actual de *engagement* descrito por el modelo teórico imperante en la actualidad.

Por otro lado, se presenta la propuesta metodológica, en la que se proponen dos nuevos índices para estimar el impacto de la información en Twitter; uno en términos de «popularidad» y otro de «polemicidad». ¿En qué medida este impacto depende de contenidos adicionales no científicos?

Estructura de la tesis

Capítulo 4 En el capítulo 4 se realizan estudios empíricos para probar la herramienta y arrojar los primeros resultados. Se analizan así conjuntos de tuits para averiguar: (1) el interés relativo de los usuarios en la información científica de los discursos públicos en Twitter, dimensionada respecto a otros tipos de información; y (2) el impacto que genera la misma en términos de *likes* y *retweets*. La unidad de estudio es la palabra, es decir, términos clave empleados en los tuits. El análisis se realiza, por un lado, sobre el discurso de diferentes tipo de perfiles relacionados con la ciencia, y por el otro, sobre cuestiones de interés general en el momento en que son noticia. Si bien los ejemplos se acotan al ámbito de las ciencias espaciales, el potencial de la herramienta no se limita al mismo.

CONCLUSIONES

Capítulo 5 En el capítulo 5 se compendian las principales premisas y conclusiones de los anteriores capítulos y se le da un sentido al trabajo en su conjunto, buscando la completitud del proyecto. Se plantean las limitaciones y las perspectivas de la investigación futura.

Consideraciones finales

Puede llamar la atención que a lo largo de la presente tesis se emplee un anglicismo: *engagement*. Esta decisión es deliberada tras profundizar sobre el significado de un término tan poliédrico para el cual la lengua castellana no contempla sus distintas acepciones y que encuentro relevantes para las reflexiones de este proyecto de investigación. Por otro lado, el empleo del término «impacto» a lo largo del estudio empírico se sustenta sobre indicadores simples como el número de *likes* o de *retweets* acumulados en las muestras de datos extraídas de Twitter, no haciendo alusión a la complejidad conceptual que habitualmente se maneja en sociología alrededor de la palabra. Quizá sería más correcto hablar de una aproximación al impacto, en concreto de las características que generan una mayor difusión o circulación de la información, sin embargo se utilizará el término en aras de una mayor sencillez expositiva.

Queda señalar que para los estudios de caso he utilizado conjuntos de datos extraídos del discurso sobre cuestiones del campo de las ciencias espaciales —tal y como se ha señalado más arriba—, dado que mi formación en astrofísica me permite discriminar mejor la información a la hora de perfeccionar la herramienta computacional. Sin embargo, es claro que el potencial de la herramienta no se limita a este ámbito del conocimiento sino que es escalable y aplicable a otros trabajos que pueden continuar completando la comprensión del complejo escenario de la comunicación de la ciencia.

INTRODUCTION

Thesis title: Social perception of science and digital engagement: Impact of science communication on Twitter

Justification of the topic

The public perception of science is a social aspect widely studied over the years by the Eurobarometer surveys in Europe and by the National Science Foundation surveys in the United States, among the most popular. Essentially, the present research project aims to complement these studies with more modern tools adapted to the digital society, providing new methodological paths and offering research directions. It is an approach to what studies with large data sets extracted from the new spaces of citizen participation can reveal: digital social networks. In particular, the social network Twitter, which offers an open interface for extracting sets of tweets, is an ideal platform since the exchange of information is public and users can freely participate in the debate by expressing opinions. The impact of scientific information in the digital society is thus the main focus of this research.

It should be noted that the public authorities and academia are advocating greater permeability between science and society, which is considered a desirable and even essential objective in the modern world. In fact, paying attention to the reports of public sector managers and science policy makers, the idea that science must be done *with* and *for* society emerges. This is stated, for example, in the European Commission's *Science with and for Society* programme in the Horizon 2020 framework, which encourages social actors to work together throughout the research and development process. However, in order to align objectives, it is first necessary to understand more fully the public's appreciation of science as well as its reservations, to try to find out the causes and to build better theoretical models of public understanding of science by incorporating new approaches to citizen engagement.

To achieve this, it is considered necessary to promote new research on the interaction between science and society in the digital space that will allow the design of better strategies for joint work and to be able to include them in the political agenda. In particular, this route has the advantages of easy access to real-time data stored on the Internet and a lower cost than surveys in the population, as well as incorporating more sophisticated computer tools that can show more precise information than surveys. How do we measure the social perception of science and what alternatives do digital media offer? Do social networks such as Twitter reveal new aspects of attitudes towards science?

Background and current status of the issue

The progressive advancement of scientific and technological knowledge has become a dominant cultural factor since the onset of modernity (Pardo, 2001), a phenomenon that entails public manifestations of opinion that should not be ignored (Holton, 1993), either in support of the achievements of scientific research or in distrust of its results. From the academy, it is commonly suggested that an advanced society needs a scientifically informed population. To address this challenge, throughout the 20th century, formal education and science communication are identified as strategies for scientific literacy. Focusing on the latter, it has been argued that in addition to the cultural needs that define us as human beings, science communication should cover personal needs to perform in today's technological world and also civic needs by involving us in a democratic society (Lewenstein, 2010). Although it is true that different models have been proposed for the development of science in democratic societies that respond to ideal organizational systems (Kitcher, Philip 2001, Longino, Helen 2001), more and more governments and institutions are trying to pay attention to the social voice when elaborating political agendas.

Thus, motivated by the need to guide science policies, in the second half of the 20th century public authorities promoted surveys on the social perception of science in order to record citizens' measures of their interest, knowledge and attitudes towards science, starting with the foundational study included in the Davis report (1958) that led to the *Science and Engineering Indicators* of the National Science Foundation in the United States and the Eurobarometers in Europe, among the most popular periodic surveys. It should be noted that the theoretical assumptions for the design of the questions are based on the deficit model, according to which the public has a lack of knowledge that must be filled (Durant et al., 1992), although to date profound deficiencies in this model have been pointed out. Moreover, academic interpretations that initially associated favorable attitudes towards science with a higher level of knowledge are an assumption that loses ground with further analysis of the data. In particular, it has been pointed out that the difference between having more scientific knowledge lies in having a critical attitude towards science, but not necessarily a positive one (Pardo, 2001).

It is from the 21st century onwards that efforts to bridge the gap between science and society are oriented towards promoting dialogue, discussion and public debate (Bauer et al., 2007), seeking to include the social perspective in the entire system of scientific production. This is partly to support the contribution of public knowledge to research, and to encourage the development of scientists' capacities to engage with the public (House of Lords, 2000). Specifically, public participation in science and technology issues is conceptualized and popularized under the label of *engagement* —which means «participation», «commitment», «involvement»— and which implies a new paradigm to articulate the science-public binomial that is making its way into the political agendas of Western societies (European Commission,

2008), and which in fact circulates in both directions: public participation in science, and scientists' engagement with the public.

On the other hand, academics warn that a better understanding is needed of how the new virtual environments affect the practice of science communication (Brossard & Scheufele, 2013). The potential of new technologies to connect communities and enhance the exchange of ideas should be highlighted. Thanks to the development of the Internet and, in particular, of digital social networks, we are living more than ever in a «network society» that has changed the ways in which information is consumed and has strengthened the culture of participation and cyberculture (Castells, 2001). Today, individuals commonly belong to virtual communities that are based on an architecture of participation, on systems designed to interact and contribute (O'Reilly, 2007). Thus, science communication has undergone a change from the unidirectional model of scientific information transmission to another model in which scientific culture is developed within the framework of cooperative participation, in which citizens can be their own content prescribers, be active subjects in the process of scientific information transmission, generate content and even get involved in scientific projects. This scenario —called «science communication 2.0» (Bucchi, 2013)— requires new methodological approaches to work with the model of digital society that prevails at present, so it has been proposed to use indicators based on the new technologies that provide more modern tools to study the public, with special emphasis on the participation of users in the public debate on scientific issues that takes place in social networks. In fact, it has been pointed out that the analysis of social networks can be a useful complement to traditional surveys of the social perception of science (Murphy et al., 2013).

The present project focuses on the social network Twitter, an emerging research object that has inspired different kinds of studies in communication and has given rise to numerous sociological analyses (Murthy, 2012), and which has a high potential for evaluating the impact and public reaction to certain public scientific controversies given that current scientific events appear to be strongly linked to this social network. One aspect that will be investigated in particular is the idea that a communication of science for which an emotional discourse is constructed, awakens a special connection with the public (Kaiser et al., 2014).

Hypothesis

H1: Researching public response to science debates through social networks such as Twitter will reveal more insightful information about attitudes towards science and the image of scientists in society.

H2: Public expressions of interest in science on Twitter occur mostly when information is associated with other factors such as cultural or socio-political ones, rather than with concerns about acquiring neutral scientific knowledge.

H3: Science communication strategies on Twitter that include a personal discourse with a certain amount of opinion and emotion have a significantly greater impact.

These hypotheses give rise to the following question: what awakens interest in science, scientific advances and discoveries by themselves, or aspects linked to the daily lives of human beings as cultural, political and even emotional factors?

Objectives

General objective: To study the impact of scientific information on Twitter through a methodological proposal that reveals yet unexplored aspects of public attitudes towards science.

Specific objectives:

- To provide a broad overview of science as a human activity and its communication to the general public.
- To highlight the relevant known, unknown and controversial questions about research in the social perception of science.
- To synthesise the main theoretical models of public understanding of science that underlie social perception surveys and to characterise new approaches to engagement in science.
- To critically discuss the methodological approaches used to measure «interest», «knowledge» and «attitudes» towards science through surveys of the population and to highlight the alternatives offered by digital media: can they provide answers to questions that cannot be addressed by traditional methodologies?
- To review the main studies available on Twitter as a tool of scientific communication to identify the appropriate way to guide new empirical studies.
- To design an algorithm as a research method proposal to analyze sets of tweets, extracted from public discourses about science, to evaluate the impact of science communication on Twitter.
- Apply the algorithm by conducting appropriate case studies to evaluate its effectiveness, usefulness and limitations, as well as reveal preliminar trends on science communication.
- Synthesize conclusions, both at a theoretical and technical level —and from the tool developed—, as well as specific to the selected case studies. Based on this, suggest new ways of future research.

Methodology

For the present research project, the following actions have been carried out (1) three literature reviews with different levels of depth; (2) design of a method to study the impact of science communication on Twitter; (3) application of the method on specific cases; (4) critical reflection and conclusions derived from the above. The research methodology in each case is detailed below.

For the most exhaustive bibliographic review work, systematic searches have been carried out through different repositories —such as the Web of Science, Scopus and Dialnet—, which have been completed and refined by tracing links in published papers, under a relevance criterion based on the popularity of the works —number of citations— and on the methodological diversity and theoretical assumptions, in order to offer an overview of the possible approaches that a researcher in the field can adopt and thus facilitate the design of new studies. The four phases of the method include: search, evaluation, analysis and synthesis (Grant & Booth, 2009). The reviews, which serve different specific purposes, consist of:

- Conduct a study of the general literature on the development of science in modern societies to highlight the central issues concerning the complex relationship between science and society, and subsequently clarify the existing mechanisms for the popularization of science.
- To carry out a descriptive review to summarise and analyse the information available on studies of the social perception of science, both at a theoretical and practical level; highlighting the leading surveys and the main theoretical models behind them, in order to find out what is being researched, what the scope of the tools is and what aspects remain unknown or doubtful. A critical look at the published studies will allow us to recognize their limitations and weaknesses in order to try to overcome them with new tools.
- To carry out a technical review of the academic research on Twitter, characterizing and highlighting the main methodological resources used; and subsequently a second review of the specific academic research on science communication on Twitter, illustrating the different modalities of study, showing the results of different research teams to synthesize the available evidence on the subject.

Secondly, a methodological proposal is designed based on the empirical studies reviewed in which sets of tweets are analysed. To this end, an algorithm has been developed to analyze large datasets that returns degrees of «interest», «popularity» and «polemicity» of the information released on Twitter in public discourses on science, and that facilitates correlational studies through which to understand the impact of elements of the discourse. The impact of information is calculated in terms of *retweets* and *likes*, and is classified by categories —«science», «culture», «political-social», «beliefs», «media» and «emotional»—.

Word matches in a semantic network are also investigated through visual representation to assess the degree of centrality of the concepts that generate the greatest impact on users.

Thirdly, the algorithm developed on different datasets has been implemented, for example using the discourse of different popular science communicators or scientific institutions, as well as specific current topics present in the media, all of them extracted through the Twitter API. In particular, an analysis has been carried out focusing on the scientific concepts of these discourses, as well as other types of information classified in the above-mentioned categories.

Finally, a critical reflection is offered in order to draw a set of conclusions based on the results of the theoretical review and the practical application of the proposed method. It recovers a general perspective of the relations between science and society and, in particular, of the possibilities of measuring the social perception of science in the digital society.

Limitations of the study and ethical considerations

Twitter offers a free programming interface (API) that provides access to millions of tweets, including metadata for each one. With each query to specific profiles, this interface allows the extraction of sets of about 3,000 tweets, which are random samples of larger sets, so there are limitations on the information that the researcher can collect. If keywords are used, however, the output is higher and can reach 150,000 tweets.

It should be noted that the ethics of using Twitter as a source of data for academic research is not well defined. This project is developed in light of the ethical approach of the platform, which makes available large data sets justifying the legality of this practice given the public nature of Twitter publications. However, the use of these data in research articles has been questioned as it does not have the informed consent of the users (Williams, Burnap & Sloan, 2017). A description of the specific legal, ethical, and privacy issues that may arise from the use of data on Twitter can be found (Ahmed, Bath, & Demartini, 2018).

Finally, the following limitations of research design should be mentioned: (1) the case studies focus on the field of space sciences; (2) associating participation in science with publication on social networks is questionable; (3) content analysis is done through the tweets of the communicators and not through public comments.

Dissemination of results

The theoretical results of the research have been disseminated by mentioning them in public talks given in different universities and within the framework of different dissemination activities –radio, science festivals, between others—. In addition, some of the preliminary results have been presented in different conferences to obtain feedback and exchange ideas,

resulting in a network of academic contacts in the field of study that will encourage future collaborations.

Conferences

Denia, E. (2017, July). Cultura científica en la era de Twitter. Poster session presented at the IV Congreso Iberoamericano de Filosofía de la Ciencia y la Tecnología, Salamanca, SP.

Denia, E. (2017, June). Scientific Culture in the era of Twitter. Case of study: Earth-like planet in Proxima Centauri. Poster session presented at the IV Meeting of PhD Students at UPV, Valencia, SP.

Denia, E. (2016, September). Public attitudes toward science on Twitter. Communication presented at the international workshop Meaning and Measures of Scientific Culture, Oviedo, SP.

Denia, E. (2016, September). Mapping scientific controversy on Twitter: the Maya city hoax. Poster session presented at the 21st International Conference on Science and Technology Indicators, Valencia, SP.

Denia, E. (2016, April). On the social perception of science in Twitter: a proposal for a real-time indicator. Communication at the Eu-SPRI Forum Early Career Researcher Conference (ECC), Valencia, SP.

Denia, E. (2016, July). On the public attention to Science in Twitter. Communication presented at the conference Science in Public: Past, Present and Future, Canterbury, UK.

Papers

Denia, E. (2020). El impacto del discurso científico en Twitter: El caso de Neil deGrasse Tyson. *Comunicar: Revista Científica de Comunicación y Educación*, 28(65). <https://doi.org/10.3916/C65-2020-02>
NOTE: The journal has given its express consent to reproduce the content of the article as part of this thesis. Specifically, it is included in sections 3.3., 4.1.1. and 4.2.

Denia, E. (2020). Twitter como objeto de investigación en comunicación de la ciencia. *Revista Mediterránea de Comunicación*, 0. Recuperado de <https://www.mediterranea-comunicacion.org/article/view/16403>
NOTE: The journal has given its express consent to reproduce the content of the article as part of this thesis. Specifically, it is included in sections 3.1. and 3.2.

Other scientific-technical contributions derived from the research project are expected to be published in the medium term in the journals *Science Communication* and *Public Understanding of Science*.

On the other hand, one of the key bodies that may be interested in exploiting the results of the project is the Spanish Foundation for Science and Technology (FECYT).

Structure of the document

To contextualize the purpose of the thesis, chapter 1 summarizes as an introduction the general context of scientific development in human societies and the most relevant aspects involving the public. Chapter 2 configures the conceptual theoretical framework by defining the current state of the field of social perception of science, the gaps that exist and the void that the project is intended to fill, so that the research problem is delimited and defined. Chapter 3 is a methodological proposal and contains the design of a complex algorithm to address the problem. Chapter 4 shows the application of the algorithm to specific case

studies. Chapter 5 synthesizes the main ideas of the project as a whole, and includes the specific conclusions found through the study.

Structure of the thesis

PART I — STATE OF THE ART: SCIENCE AND POPULARIZATION

Chapter 1 In the first chapter, we ask what scientific knowledge is—in the philosophical sense—and how it is built in human societies—sociological—. It then examines science communication practices as a link between scientific knowledge and society, pointing out the current conditions and new challenges in the digital society.

PART II — THEORETICAL FRAMEWORK: SOCIAL PERCEPTION OF SCIENCE

Chapter 2 Chapter 2 contains a review of the main theoretical models describing the relationship between science and society, which support the measurements of public «knowledge», «interest» and «attitudes» towards science, carried out within the framework of studies of the social perception of science. To this end, the different theoretical approaches and existing research and background on the problem of measurements are presented and analysed. The most relevant premises and conclusions from measurements are identified, pointing out the structural and instrumental limitations of the traditional method through surveys and characterizing the engagement model. The question remains open as to whether science is really interesting or just when the information is presented in an attractive way.

PART III — UNIVERSE AND CASE STUDIES

Chapter 3 How can the limitations cited in the previous chapter be addressed through the use of Twitter? What can Twitter bring to the discussion? Chapter 3 proposes the use of the social network Twitter as a complementary measurement tool, given its public nature and its potential to listen to *what's going on* in the world. The platform is presented as an object of research and a tool for science communication, and it also takes on a special meaning in the current scenario of engagement described by the prevailing theoretical model. On the other hand, the methodological proposal is presented, in which two new indexes are proposed to estimate the impact of information on Twitter; one in terms of «popularity» and the other in terms of «polemicity». To what extent does this impact depend on additional non-scientific content?

Chapter 4 In Chapter 4, empirical studies are carried out to test the tool and give the first results. Sets of tweets are thus analysed to find out: (1) the relative interest of the users in the scientific information of the public speeches on Twitter, dimensioned with respect to other types of information; and (2) the impact that it generates (in terms of *likes* and *retweets*). The unit of study is the word, that is, key terms used in the tweets. The analysis is carried out, on the one hand, on the discourse of different kind of profiles related to science, and on the other hand, on issues of general interest present at media news. Although the examples are limited to the field of space sciences, the potential of the tool is not limited to it.

CONCLUSIONS

Chapter 5 Chapter 5 summarizes the main premises and conclusions of the previous chapters and gives meaning to the work as a whole, seeking the completeness of the project. The limitations and perspectives of future research are raised.

Final considerations

It may be interesting to note that throughout this thesis, mostly written in Spanish, an Anglicism is used: *engagement*. This decision is made after studying in depth the meaning of such a polyhedral term for which the Spanish language does not contemplate its different meanings, which I consider relevant for the reflections of this research project. On the other hand, the use of the term "impact" throughout the empirical study is based on simple indicators such as the number of likes or retweets accumulated, without referring to the conceptual complexity of the term in sociology. Perhaps it would be more correct to speak of an approach to impact, specifically of the characteristics that generate greater dissemination or circulation of information, but the term will be used for the sake of greater simplicity of presentation.

It should be noted that for the case studies I have used data sets extracted from the discourse on issues in the field of space sciences, given that my training in astrophysics allows me to better discriminate information when perfecting the computational tool. However, it is clear that the potential of the tool is not limited to this area of knowledge but is scalable and applicable to other work that can continue to complete the understanding of the complex scenario of science communication.

PARTE I — ESTADO DEL ARTE: CIENCIA Y SOCIEDAD INFORMADA

Capítulo 1:

CIENCIA Y AUDIENCIA

1.1. Ciencia: aproximación filosófica y sociológica

Para situar al lector y poder abordar aspectos complejos de la relación entre ciencia y sociedad, antes es necesario detenerse en qué se entiende por ciencia y cómo se desarrolla la actividad científica en sociedad. En esta sección se ofrece una perspectiva introductoria a estas cuestiones. En concreto, la dimensión social del conocimiento científico puede trazarse mediante la confluencia de tres campos: la filosofía de la ciencia, la sociología de la ciencia y la historia de la ciencia. En palabras del filósofo de la ciencia contemporáneo Philip Kitcher:

Las perspectivas históricas, filosóficas y sociológicas pueden ofrecer: 1) valiosos análisis de cómo ha surgido el entendimiento científico contemporáneo, 2) aclaraciones conceptuales y metodológicas, especialmente en áreas de disputa teórica, 3) una mayor conciencia de las presiones sociales que afectan a ciertos tipos de investigación científica, y 4) investigaciones sobre el impacto de los hallazgos científicos en los individuos y en la sociedad, que pueden servir de base para una política científica más racional. (Kitcher, 1998: 33).

En particular, la investigación histórica revela que el concepto de ciencia que tenemos hoy en día poco tiene que ver con el concebido por los pensadores griegos en su «filosofía natural», puesto que la empresa científica moderna trata de conocer cómo suceden las cosas más allá de la concepción aristotélica acerca de cómo son —es decir, cuál es su esencia—. En nuestra visión actual del mundo científico la ciencia trata de comprender, explicar, predecir y dominar el mundo. Además, uno de los aspectos cruciales que resaltan los académicos en la discusión acerca de cómo se construye el conocimiento científico es que la ciencia moderna se desarrolla en comunidades, es decir, que no debe ignorarse la dimensión social de ese conocimiento. Es por ello que las aproximaciones sociológicas abordan, más allá del hecho científico, el estudio de cómo se desenvuelve el trabajo científico en comunidad.

Debe resaltarse que la época moderna ha supuesto un cambio en la concepción social de la ciencia, en gran parte por la multiplicación de los descubrimientos científicos y de las técnicas empleadas para el ejercicio de la ciencia. La investigación deja de ser tarea de unos pocos filósofos iluminados con tiempo libre. Como se verá a lo largo del capítulo, algunos autores ponen el acento en que los recursos para llevar a cabo la investigación científica proceden, precisamente, de la sociedad. Además, las aplicaciones derivadas de la ciencia han modificado sustancialmente las condiciones materiales de la sociedad, gracias a inventos como la imprenta, la brújula, el telescopio y posteriormente la máquina de vapor, entre otros

dispositivos que de forma determinante dibujaron el mundo moderno y que a su vez han sido fundamentales para la difusión del conocimiento y para globalizar la práctica científica.

De forma conveniente para esta tesis, la filosofía de la ciencia ofrece una reflexión acerca de la actividad científica al ser la disciplina encargada de elucidar cómo debe proceder la ciencia, qué métodos de investigación emplear y cuánta confianza debemos depositar en dichos métodos (Okasha, 2016). Es por ello que se recurrirá a algunas de sus propuestas teóricas en el presente capítulo, dada su utilidad para conceptualizar las relaciones entre ciencia y sociedad.

También debe mencionarse de manera introductoria la idea de que existe una brecha entre ciencia y sociedad que debe investigarse, una propuesta que cobra protagonismo en los círculos académicos del siglo pasado a partir del artículo *The Supreme Intellectual Obligation* (1934) del filósofo americano John Dewey, donde subraya la idea de que cuanto mayor es la especialización en ciencia, mayor es el distanciamiento entre el público y la comunidad científica¹, debido tanto a la necesidad de reclusión física y mental por parte del científico como a la complejidad de su lenguaje, inaccesible para el gran público (Dewey, 1934). El título del artículo alude a la obligación moral del científico de dar a conocer su actividad al mundo. En este sentido el autor señala que:

[...] la responsabilidad de la ciencia no puede satisfacerse con métodos educativos que se preocupan principalmente por la autoperpetuación de la ciencia especializada, sin influir en los más mayores para que adopten en la propia composición de sus mentes las actitudes de apertura de espíritu, integridad intelectual, observación e interés por poner a prueba sus opiniones y creencias que son características de la actitud científica. (Dewey, 1934: 307).

Desde las ciencias humanas, también la idea de que hay un divorcio entre ciencia y sociedad se popularizó con la polémica que levantó del científico y novelista Charles P. Snow en la *Rede Lecture* de 1959, una conferencia en la que denunciaba la enemistad manifiesta y rechazo recíprocos entre la cultura científica y la cultura humanista o literaria (Snow, 1959). Además de poner de manifiesto la confrontación entre las dos culturas, incidió en que había un grave problema de comunicación entre ambos polos y percibió esas posturas antagonistas como especialmente contraproducentes en una sociedad democrática². En su célebre crítica, Snow acuñó la expresión de «las dos culturas» para expresar esa disociación entre sendos saberes:

Los intelectuales literarios en un polo, y en el otro los científicos, y como más representativos, los físicos. Entre ambos polos, un abismo de incomprensión mutua;

¹ Para Dewey es deseable promover la «actitud científica», entendida como «la voluntad de utilizar el método científico y el equipo necesario para poner en práctica esa voluntad» (Dewey, 1934: 307), pasando por mantener una actitud abierta, ser intelectualmente íntegro, observar e interesarse y en poner a prueba opiniones y creencias.

² Recuperando este debate, en 1995 surgió el término «tercera cultura», entendida como una necesidad por aunar saberes para el desarrollo intelectual del individuo de la sociedad occidental, participe en un mundo en el que la ciencia y la tecnología están presentes en la vida diaria (Brockman, 1995).

algunas veces (especialmente entre los jóvenes) hostilidad y desagrado, pero más que nada falta de entendimiento recíproco. Tienen una imagen singularmente deformada y falseada los unos de los otros. (Snow, 1959: 2).

A este respecto, otros pensadores han alegado que la ciencia se presenta como una empresa que desafía a la autoridad pero que, paradójicamente, es dogmática. A título de ejemplo, léase la réplica de Bruno Latour a las hipótesis de Snow:

Los científicos pisan fuerte en las conferencias hablando sobre "construir un puente sobre la brecha entre las dos culturas", pero cuando logran que gente de fuera empiece a construir ese mismo puente, retroceden con horror y tratan de imponer la más extraña de todas las mordazas a la libre expresión desde Sócrates: ¡Sólo los científicos pueden hablar sobre la ciencia! (Latour, 1999: 17).

En efecto, la idea de la polarización entre ciencias y humanidades, sobre la que Snow demandaba el reconocimiento mutuo del aporte cultural y la igualdad intelectual de las dos actividades, abrió un amplio debate y gozó de una extraordinaria repercusión. Para algunos, de hecho, todavía se encuentra plasmada en el sistema de educación moderno (Okasha, 2016).

1.1.1. Conocimiento científico y dimensión social

i) Desarrollo científico

Aunque no es objeto del presente trabajo realizar una descripción del desarrollo histórico de la ciencia, a título ilustrativo puede resultar esclarecedor ofrecer algunas pinceladas. En particular, el origen de la ciencia moderna suele datarse con la revolución copernicana, a raíz de la publicación en 1543 del libro *De Revolutionibus*, de Nicolás Copérnico, en el que su autor atacaba el modelo geocéntrico del universo y ofrecía en su lugar una descripción matemática de los movimientos en la bóveda celeste que situaba al Sol en el centro del cosmos, exponiendo un modelo *heliocéntrico*. Más adelante, Johannes Kepler proporcionaría un ajuste mucho más preciso que el de Copérnico al trazar las órbitas planetarias en forma de elipses en vez de circulares, formulando las leyes que llevan su nombre. Estas aportaciones impulsaron el posterior desarrollo de la física —entendida por muchos como la ciencia natural más fundamental³— y de la ciencia en general.

Más adelante, Galileo Galilei contribuyó decisivamente al modo de proceder científico al normalizar la aplicación de las matemáticas al estudio del mundo material —el «mecanicismo»—, uniendo física y ciencias exactas. Además, resaltó la importancia de realizar experimentos, que debían ser reproducibles por distintos experimentadores, para

³ Naturalmente, el desarrollo de la ciencia no solo se produce en el ámbito de la física. En el ámbito de la biología también pueden datarse eventos decisivos, como la obra de Darwin, que provocó una gran consternación en la Inglaterra victoriana, el descubrimiento del ADN en 1953, o más recientemente el *Proyecto Genoma Humano*.

poner a prueba hipótesis de partida, por lo que aportó un enfoque empírico al estudio de la naturaleza que fue crucial para el posterior desempeño de la ciencia tal y como la conocemos hoy en día. De esta manera logró llevar a la práctica la concepción de la ciencia como instrumento para dominar la naturaleza, una idea también contenida en las obras de Francis Bacon y René Descartes (Bacon, 1620; Descartes, 1637)⁴.

La confianza en los métodos de la ciencia aumentó con rapidez⁵ gracias al éxito rotundo de las posteriores aportaciones de Sir Isaac Newton, inventor del cálculo. Newton demostró que tanto las leyes de Kepler del movimiento planetario —propias del dominio celeste— como la ley de Galileo de la caída libre —vigente en el dominio terrestre— eran consecuencia de sus propias leyes del movimiento y la gravitación, proporcionando un marco mucho más general. Sus teorías adquirieron gran popularidad y aceptación entre la sociedad ilustrada, e incluso llegaron a difundirse en varios idiomas —véase 1.2—. De esta manera, la concepción de la ciencia iba tomando forma en la sociedad⁶.

Debe matizarse que, por aquel entonces, la distinción entre ciencia y filosofía natural continuaba difusa. Fue en 1833 cuando el pensador William Whewell acuñó el término «científico» —*scientist*— para designar a los «filósofos naturales» (Encyclopædia Britannica, 1911). Concibió el progreso científico mediante la analogía de un río y sus afluentes, imaginando que los descubrimientos confluyen y evocando así una imagen de la ciencia como el resultado de una unificación. Por otra parte, ya a principios de ese mismo siglo el fundador de la filosofía positiva, Auguste Comte, había tratado de encontrar una definición precisa para demarcar la ciencia de lo no-científico, una iniciativa que resultó infructuosa. De hecho, aún a día de hoy, no contamos con un criterio claro para establecer la distinción —véase 1.2.2.—.

En los siguiente apartados se exponen las corrientes de pensamiento predominantes que, a partir del siglo XX⁷, tratan de explicar cuál es el papel del desarrollo científico en las sociedades modernas, un ejercicio útil a efectos prácticos de esta tesis. A grandes rasgos, por un lado está la idea de la ciencia entendida como un proceso acumulativo de conocimientos que supone una aproximación progresiva a la verdad, mientras que por el otro, en contraposición, se propone que es el resultado de una sustitución de cosmovisiones, enmarcadas en contextos socio-políticos concretos, que se produce mediante el mecanismo de los cambios revolucionarios —propuesto por Thomas Kuhn—. Esta segunda opción abre las puertas, a su vez, a lo que se conoce como «sociología del conocimiento científico», cuya versión más radical, como veremos, es la del relativismo.

⁴ La idea de que la función de la ciencia es dominar la naturaleza viene heredada del «instrumentalismo» de la obra de Francis Bacon. Por su parte, Descartes había desarrollado la filosofía «mecanicista», disolviendo la visión aristotélica del mundo.

⁵ Una confianza que, cabe señalar, se deterioró con dos desarrollos revolucionarios de la física del siglo XX: la teoría de la relatividad y la mecánica cuántica.

⁶ La segunda parte de este capítulo se centra en la popularización de la ciencia, un ejercicio en gran parte responsable de las imágenes sociales sobre la misma y sobre los científicos.

⁷ Momento en el que se producen las reflexiones más prolíficas e incluyentes a gran escala.

ii) La ciencia como aproximación a la verdad

Entre 1924 y 1936, un grupo de filósofos, científicos, matemáticos y lingüistas se reunieron regularmente en el seminario de matemáticas de la Universidad de Viena para discutir acerca de la naturaleza de la ciencia. El grupo, orquestado por el físico y filósofo Moritz Schlick, se conoció como el Círculo de Viena —*Wiener Kreis* en alemán—. Durante aquellos encuentros se gestó la postura filosófica de gran influencia en el siglo XX conocida como «empirismo lógico» —también «positivismo lógico» o «neopositivismo»—. Famosos pensadores como Rudolf Carnap, Otto Neurath, Kurt Gödel o David Hilbert formaron parte del Círculo, también abierto a la participación de estudiantes y doctorandos (Stadler, 2015)⁸.

De acuerdo con la postura del Círculo, el método científico es la única forma válida de conocimiento, que además está limitada por lo empírico y verificable. Los partidarios moderados otorgaban más importancia al elemento empírico, y los radicales al lenguaje simbólico y la lógica. A pesar de que había discrepancias entre los integrantes del Círculo, se pueden identificar algunos temas centrales que definen su postura filosófica sobre lo que llaman la «concepción científica del mundo», recogidos en un manifiesto de 1929 (Carnap, Hahn, & Neurath, 1929).

[...] no hay ningún camino hacia el conocimiento genuino que no sea el camino de la experiencia; no hay ningún reino de ideas que esté por encima o más allá de la experiencia. Sin embargo, el trabajo de las investigaciones "filosóficas" o "fundacionales" sigue siendo importante de acuerdo con la concepción científica del mundo. Porque la aclaración lógica de los conceptos, afirmaciones y métodos científicos libera a uno de los prejuicios inhibidores. (Carnap et al., 1929: 13).

El positivismo lógico ofrece una visión normativa, formalista e idealizada del conocimiento científico, basando la estructura de las teorías en los cálculos lógicos. Para el Círculo, la filosofía debe encargarse de analizar los enunciados de la ciencia a través de la lógica, de traducirlos a un lenguaje libre de términos subjetivos útil para hacer predicciones comprobables y común a distintas disciplinas científicas (Cuevas, 2016). Aunque el Círculo de Viena se disolvió tras el asesinato de Schlick en 1936 por un ex alumno, y en 1939 la mayoría de los integrantes se habían exiliado tras el auge del movimiento Nazi, la denominada «concepción heredada», la escuela sucesora que auspiciaba sus ideas, gozó posteriormente de gran influencia.

⁸ Otros filósofos lo visitaron ocasionalmente —Alfred Tarski, Hans Reichenbach, Carl Gustav Hempel, Willard Quine, Ernest Nagel— o tuvieron contacto cercano —Karl Popper, Ludwig Wittgenstein—. En los seminarios, debatían sobre obras influyentes como el *Principia Mathematica* de Alfred Whitehead y Bertrand Russell o el *Tractatus logico-philosophicus* de Ludwig Wittgenstein, una obra compleja de tan solo 70 páginas que fue objeto de discusión recurrente en las reuniones.

Por otra parte, el filósofo Karl Popper⁹ criticó duramente la visión del empirismo lógico y defendió una perspectiva provisional de las teorías, el «falsacionismo», una postura según la cual la ciencia no avanza confirmando teorías, sino demostrando que no contradicen la experiencia¹⁰. De acuerdo con Popper, si bien los enunciados de la ciencia son universales, estos no pueden verificarse de forma definitiva mediante experimentos porque no estamos en disposición de comprobar todos los casos que acontecen en el mundo y bastaría encontrar un solo caso contrario a la hipótesis inicial para refutarla —o «falsarla», en la jerga técnica —¹¹, por lo que las teorías científicas deben considerarse provisionales, siendo el método de la ciencia el del ensayo-error.

La ciencia no es un sistema de enunciados seguros y bien asentados, ni uno que avanzase firmemente hacia un estado final. Nuestra ciencia no es conocimiento (episteme): nunca puede pretender que ha alcanzado la verdad, ni siquiera el sustituto de ésta que es la probabilidad. [...] La ciencia nunca persigue la ilusoria meta de que sus respuestas sean definitivas, ni siquiera probables; antes bien, su avance se encamina hacia una finalidad infinita —y, sin embargo, alcanzable—: la de descubrir incesantemente problemas nuevos, más profundos y más generales, y de sujetar nuestras respuestas siempre provisionales a contrastaciones constantemente renovadas y cada vez más rigurosas. (Popper, {1934} 1962: 259-262).

Para el autor, aún cuando encontramos una experiencia que es contraria a la teoría, la complejidad del entramado de enunciados científicos que la conforman y que están conectados entre sí lleva a retocarla en vez de descartarla por completo, no abandonándose una teoría hasta que se dispone de otra mejor. Como nota de interés, puede añadirse que Popper reprochó a los integrantes del Círculo que estos trataran de demarcar la ciencia de la metafísica —con ayuda de la lógica a través de un análisis del lenguaje—, pero no de otras cosas como la pseudociencia, incluyendo las teorías de Sigmund Freud, Karl Marx o Alfred Adler (Thornton, 2019).

En cualquier caso, la réplica más contundente se forjó en torno a la idea de considerar la ciencia como un ejercicio aséptico y deshumanizado en el que se iban acumulando conocimientos en su aproximación hacia la verdad, pero en contraposición a las verdades eternas postuladas por el positivismo lógico emergió una crítica que recibió atención creciente en los círculos académicos hacia esa concepción formal de la ciencia que dejaba de lado su naturaleza social, cultural e histórica, es decir, el hecho de que la ciencia es resultado de la acción humana. Esta era, según Watson (2002), la región más sombría; la que incluye el contexto, la rivalidad, la ambición y los objetivos encubiertos, elementos que quedaban a un lado en la concepción del Círculo de Viena por su carácter inapropiado. Sin embargo:

⁹ El positivismo lógico también recibió otras críticas de filósofos como Wittgenstein —en sus *Investigaciones filosóficas*—, Quine —en su obra *Desde un punto de vista lógico*— o Hempel —en *Problemas y cambios en el criterio empirista del significado*—.

¹⁰ También diseñada para abordar el problema de la inducción, la actividad intelectual que se encarga de extraer enunciados generales a partir de enunciados particulares —la ciencia natural se basa en razonamientos inductivos—.

¹¹ Según este punto de vista, las teorías y leyes científicas no pueden demostrarse, solo pueden «falsarse».

[...] la ciencia es una actividad desordenada, emocional, obsesiva y, en consecuencia, netamente humana. Lejos de ser una empresa calma, reflexiva y por completo racional, realizada por sujetos desapasionados cuyo principal interés es la verdad, la ciencia ha demostrado no ser muy diferente de otras actividades. (Watson, 2002: 523).

Una de las posturas intelectualmente más determinantes para esta nueva concepción de la ciencia como hecho social fue la desarrollada por Thomas Kuhn.

iii) La ciencia como hecho social

En 1962 el físico e historiador de la ciencia Thomas Kuhn cambió radicalmente la concepción de la ciencia con la publicación de la obra *La estructura de las revoluciones científicas* (Kuhn, 1962). Su propuesta sobre la construcción de la ciencia en sociedad supuso un giro respecto a la concepción heredada, ese saber acumulativo cuyos presupuestos gozaban de objetividad y neutralidad. En su ensayo, Kuhn puso de manifiesto el papel decisivo del desarrollo histórico de la ciencia y la retrató como una actividad colaborativa llevada a cabo en comunidades de científicos, en sociedades humanas, por lo que consideró que no debería ignorarse el contexto de los descubrimientos.

En particular, el autor estaba interesado en cómo se producen los cambios científicos —por ejemplo, el tránsito de la mecánica newtoniana a la teoría general de la relatividad—, y la noción central de su legado es la de «paradigma científico», que ejerce de marco teórico hegemónico y que designa una concepción del mundo que domina durante una época histórica, por ejemplo, el geocentrismo frente al heliocentrismo. En cada paradigma se construyen ciertas teorías científicas, se plantean determinados problemas a resolver y se desarrolla la actividad de acuerdo con ciertos métodos de investigación establecidos. Para Kuhn, la ciencia se divide en períodos estables en los que los científicos trabajan dentro de lo que denomina «ciencia normal». El paradigma imperante está presente en los libros de texto del momento, y «Estudiándolos y haciendo prácticas con ellos es como aprenden su profesión los miembros de la comunidad correspondiente»¹² (Kuhn, 2004: 80). Así, se prepara al estudiante para entrar a formar parte como integrante de la comunidad científica, con la que trabajará bajo los mismos presupuestos. Ante este panorama de consenso, Kuhn se pregunta por qué una comunidad científica da por buena determinada teoría y no otra, y advierte de que:

[...] los estudiantes de ciencias aceptan teorías por la autoridad del profesor y de los textos, no a causa de las pruebas. ¿Qué alternativas tienen, o qué competencia? Las aplicaciones mencionadas en los textos no se dan como pruebas, sino debido a que el aprenderlas es parte del aprendizaje del paradigma dado como base para la práctica corriente. (Kuhn, 2004: 80).

¹² Kuhn no proporciona una definición cerrada de la noción de paradigma. Admite, además, que pueden haber paradigmas propios de pequeñas comunidades debido al fenómeno de la especialización científica. Por ejemplo, si preguntamos si un átomo de Helio es una molécula, posiblemente el químico y el físico darán respuestas distintas.

Con determinado paradigma la comunidad científica adquiere un criterio específico para seleccionar aquellos problemas que puede suponerse que tienen solución. Sucede también que la investigación científica descubre con frecuencia fenómenos nuevos e inesperados, lo que Kuhn denomina «anomalías», que son inexplicables en el marco de investigación de la ciencia normal. Progresivamente, el paradigma imperante va acumulando anomalías y la práctica de la ciencia coloca parches en su actividad normal de resolución de problemas hasta que, en cierto momento, cristalizan dando lugar a una crisis en un sector de la ciencia. Cuando hay desacuerdo, los científicos se devanan los sesos buscando reglas, una tentativa que no se emplea cuando hay acuerdo¹³, y cuando se produce un fracaso persistente en la justificación de resultados nacen nuevas teorías¹⁴, una etapa generalmente precedida por un periodo de inseguridad profesional para la que el investigador no está preparado por su paradigma y que constituye una de las claves para que se produzca un cambio en la visión del mundo.

A veces, un problema normal, que debería resolverse por medio de reglas y procedimientos conocidos, opone resistencia a los esfuerzos reiterados de los miembros más capaces del grupo dentro de cuya competencia entra. Otras veces, una pieza de equipo, diseñada y construida para fines de investigación normal, no da los resultados esperados, revelando una anomalía que, a pesar de los esfuerzos repetidos, no responde a las esperanzas profesionales. (Kuhn, 2004: 5-6).

Situaciones como esta desembocan en una «revolución científica»; en el nacimiento de un nuevo paradigma que explica la realidad científica de una forma radicalmente distinta. Los cambios de paradigma suelen ser propiciados por investigadores jóvenes, mientras que el científico veterano no es dado a cambiar de parecer, y el paradigma antiguo acaba superándose con una nueva generación de científicos. De hecho, la transición de un paradigma en crisis al siguiente está lejos de ser una ampliación del antiguo paradigma, es más bien una reconstrucción del campo de estudio, ya que Kuhn concibe el proceso de cambio como una suerte de evolución, donde las ideas más aptas sobreviven y las menos prósperas se extinguen.

Con su célebre obra, Kuhn expresa la insuficiencia de entender la ciencia como una acumulación de hechos, teorías y métodos reunidos en el libro de texto que progresa con incrementos sucesivos y se enfrenta a diferentes obstáculos y supersticiones. La concepción de la ciencia se presenta en este caso como una tradición y no tanto como una cultura como proponía Snow (1959). Quizá la característica más llamativa de los paradigmas es que son «incomensurables», es decir, no puede establecerse un diálogo entre uno y su sucesor porque cada uno tiene su propia escala de valores y su propio sistema racional. Tampoco hay un punto de vista imparcial para escoger entre uno u otro porque, aunque la experiencia es

¹³ Kuhn lo expresa como sigue: «el periodo anterior al paradigma sobre todo, está marcado regularmente por debates frecuentes y profundos sobre métodos, problemas y normas de soluciones aceptables» (Kuhn, 2004: 87).

¹⁴ La proliferación de versiones de una teoría, para Kuhn, es un síntoma muy usual de crisis.

una condición necesaria y supone un criterio de aceptación o rechazo, hay otros criterios dependientes de intereses, influencias sociales, poder, creencias, visión del mundo, etc. Finalmente, una revolución científica se produce cuando un paradigma se impone sobre otro y lo sustituye.

Desde la publicación del ensayo de Kuhn, otros pensadores han profundizado aportando distintos matices sobre el desarrollo científico en sociedad, por ejemplo, ahondando en la idea de que los propios métodos y conceptos de la ciencia también están sujetos al cambio histórico. En este sentido, el filósofo Dudley Shapere aclara que:

El cambio científico no es simplemente una alteración sucesiva de creencias sustantivas ocasionadas por nuevos descubrimientos acerca del mundo; el cambio científico y la innovación se extienden también a los métodos, las reglas de razonamiento y los conceptos empleados en la ciencia y al hablar de ella. Incluso los criterios que determinan qué es una 'teoría' científica o una 'explicación' cambian; por lo tanto, la idea de que nociones tales como teoría o explicación son 'conceptos metacientíficos' a rechazar, con significados independientes de las creencias científicas (Shapere, 1984: 207).

A nivel filosófico, el giro historicista ha sido objeto de acaloradas discusiones, algunas de ellas de gran calado entre el acervo intelectual del momento y con gran influencia hasta la actualidad.

Una figura central en el debate¹⁵ fue la del filósofo austríaco Paul Feyerabend, con su propuesta radical del «anarquismo epistemológico» bajo la famosa consigna «todo vale» —o al menos, cabría matizar, todo vale si sirve a las necesidades materiales y humanas, como por ejemplo, la religión—. Se trata de un autor que debe citarse por su notable influencia en la reflexión académica sobre la ciencia concebida como un constructo social. Llevó sus ideas al extremo con distintas obras, todas ellas de título llamativo, como la célebre *Contra el método* (1975) —cuyas primeras palabras revelan la esencia de su propuesta: «la ciencia es una empresa esencialmente anarquista» (Feyerabend, {1975} 1986: 1)—, o sus trabajos posteriores *Adiós a la razón* (1987) y *Cómo defender a la sociedad de la ciencia* (1975).

Feyerabend denuncia que el científico ignora que «la voz de la razón» es producto del entrenamiento recibido, concebido como un lavado de cerebro, una mera maniobra política. Así, el método científico sería fraudulento dado que:

[...] refuerza un conformismo oscurantista, mientras habla de la verdad; conduce a un deterioro de las capacidades intelectuales, del poder de la imaginación, mientras habla de conocimiento profundo; destruye el don más precioso de la juventud —su enorme poder de imaginación— y habla de educación. (Feyerabend, {1975} 1986: 29).

¹⁵ Hubieron otras muchas reflexiones relevantes dentro del campo, como por ejemplo las de Stephen Toulmin o Ludwik Fleck.

A la vez que el autor presenta algunos argumentos interesantes sobre los que reflexionar, la lectura de la obra de Feyerabend lleva con frecuencia a la confusión intelectual, pues en ella habitan multitud de elucidaciones sorprendentes como la que sigue: «Recuérdese siempre que las demostraciones y la retórica que se emplean en este libro no expresan ningún tipo de 'convicciones profundas' que yo sustente. Simplemente muestran cuán fácil resulta dominar a la gente de una forma racional» (Feyerabend, {1975} 1986: 17). Sumado a ello, Feyerabend sitúa al mismo nivel el conocimiento científico y el pensamiento mágico —pseudociencia, religión, magia negra, etc— como formas válidas de acercarse al mundo, y «De este modo puede ocurrir que el conocimiento de hoy pase a constituir los cuentos de hadas del mañana, y que el mito más ridículo se convierta eventualmente en la pieza más sólida de la ciencia» (Feyerabend, {1975} 1986: 36). En general, las aportaciones de Feyerabend han trascendido a diferentes campos del conocimiento, y su cruzada anticientífica ha sido compartida por otros intelectuales, en especial desde el ámbito de la sociología, como veremos.

Por otra parte, las contribuciones del filósofo y matemático húngaro Imre Lakatos, centrado en escudriñar los mecanismos de progreso de la ciencia, también gozaron de gran influencia, pero en este caso se circunscribieron esencialmente al ámbito filosófico. En su propuesta se recogen aspectos de la teoría de Kuhn a la vez que se cuestiona a Popper aduciendo que el estudio histórico de la ciencia muestra que los científicos no hacen uso de la falsación como criterio para descartar teorías. Su postura filosófica es, en cambio, la del «falsacionismo sofisticado». Para Lakatos la unidad de análisis es lo que denomina «programa de investigación científica», que contiene distintas teorías que comparten un núcleo firme de axiomas y principios con un «cinturón protector» compuesto por un conjunto de hipótesis auxiliares que pueden reemplazarse sin colocar al núcleo en entredicho y que permiten falsarlo. Nótese que Lakatos sí sostuvo una visión acumulativa del progreso científico, en el sentido de que cada programa de investigación debería ser capaz de explicar más cosas que el anterior y de predecir hechos nuevos, y ante dos teorías rivales, a través de la experiencia, una es aceptada mientras que la otra es refutada. Así, de acuerdo con el autor, «Los mayores logros científicos son los programas de investigación que pueden evaluarse en términos de cambios progresivos y degenerativos de los problemas; y las revoluciones científicas consisten en un programa de investigación (adelantando en progreso) que reemplaza a otro» (Lakatos, 1970: 99).

Recapitulando, a modo de conclusión puede resultar útil la lectura de Cuevas (2016):

Quizá la posición más sensata sea la ecléctica: en ocasiones la ciencia progresa de manera acumulativa, y en otras de forma revolucionaria. Si somos realistas, podemos pensar que ese progreso se dirige hacia la verdad, mientras que si somos instrumentalistas o pragmatistas, tenderemos a considerar que el progreso se produce gracias a que la ciencia resuelve de manera cada vez más eficiente diferentes problemas empíricos o conceptuales. (Cuevas, 2016: 197).

En cualquier caso, si bien la concepción de la ciencia como hecho social suscitó grandes reflexiones dentro del campo de la filosofía y resquebrajó las férreas posturas del positivismo lógico, queda mencionar que una de las consecuencias más sonadas del consensualismo¹⁶ de Kuhn es que abrió la veda a los llamados «nuevos sociólogos de la ciencia», quienes se apropiaron del campo conocido como *Ciencia, Tecnología y Sociedad* (CTS) —una corriente de investigación que apareció en los años 70 encargada de indagar en las relaciones entre ciencia y política para comprender mejor el desarrollo de la ciencia en sociedad¹⁷— y defendieron posturas radicales sobre el carácter relativo del conocimiento científico. Antes de abordar los entresijos del discurso de los relativistas radicales, no obstante, veamos qué reflexiones de enjundia aportó el ámbito de la sociología clásica en la comprensión del ejercicio científico.

iv) El papel de los valores en la práctica científica

Resulta oportuno complementar la aproximación filosófica a la ciencia con el enfoque sociológico, para el que autores de gran influencia han abogado por entender la práctica científica como una actividad que no está exenta de valores e intereses. En concreto, se ha enfatizado la idea de que las instituciones sociales no carecen de principios —que además pueden diferir entre sí—. Siguiendo esta línea de razonamiento, se desarrolló la sociología de la ciencia a partir de los trabajos de Robert Merton sobre lo que denominó la «estructura social de la ciencia» (Merton, 1942). Este sociólogo concibió la ciencia como una institución social, siendo su objeto de estudio la comunidad científica, para la que trató de comprender diversos aspectos como su sistema de organización social, las conexiones entre actores en forma de negociaciones y alianzas, los mecanismos de legitimación y de reclutamiento, sin dejar de lado, además, las consideraciones históricas y las controversias científicas. Para la escuela mertoniana, el foco de atención debe situarse tanto en el proceso de producción de conocimiento como en el comportamiento de los científicos, que compiten y cooperan entre sí.

Se sientan así las bases para el análisis institucional de la ciencia, siendo un aspecto central en la obra de Merton el estudio de los valores y las normas que rigen la actividad científica. El autor diferenció entre las «normas éticas» y las «normas técnicas» —que a su vez presentan cierta dependencia entre sí—. Las primeras regirían el comportamiento y proporcionarían una garantía moral, mientras que las segundas actuarían en el plano cognitivo mediante reglas lógicas y metodológicas. A grandes rasgos, también se puede diferenciar entre el valor epistémico y el valor no-epistémico de la ciencia (McMullin, 1982), siendo el primero relativo al conocimiento científico *per se* mientras que el segundo es un valor externo, de carácter

¹⁶ La ciencia entendida como una cuestión de consenso tiene otros antecedentes, como la idea que sostuvo Charles Sanders Peirce de la epistemología social de la ciencia: «La opinión que está predestinada a ser aceptada en última instancia por todos los que investigan es lo que entendemos por verdad, y el objeto representado es el real» (Peirce, 1868: 133).

¹⁷ Esta corriente configuró un amplio marco de estudio también conocido como *Estudios sociales de la ciencia*.

social, que puede trazarse en base a intereses políticos —por ejemplo, entre los valores no-epistémicos estarían los valores políticos, morales, sociales o religiosos—.

En particular, Merton se interesó por la vertiente ética y trató de identificar las normas sociales que guían el trabajo científico y lo regulan, lo que denominó el «*ethos* científico», definido como «ese complejo, con resonancias afectivas, de valores y normas que se consideran obligatorios para el hombre de ciencia» (Merton, 1977: 357). Se trataría de un tipo de normas tácitas condicionadas por los valores de la institución¹⁸ (Merton, 1980).

De acuerdo con sus hallazgos teóricos, las normas que rigen la conducta del científico son: (1) el «universalismo», es decir, la idea de que la ciencia se rige por criterios universales o impersonales; (2) el «comunismo» o «comunalismo», para el que los avances de la ciencia son bienes que pertenecen a la comunidad científica producidos por, en y para la sociedad; (3) el «desinterés», dado que se investiga para el beneficio común de acuerdo con valores altruistas e integridad, y no por intereses particulares; (4) el «escepticismo organizado», que se presenta, por ejemplo, en la evaluación sistemática de las producciones científicas; y (5) el «reconocimiento», un valor que incorporó más tarde al reflexionar sobre las nociones de originalidad en el trabajo científico —los descubrimientos inéditos— y de humildad —el reconocimiento del trabajo de predecesores y colegas¹⁹, así como de las limitaciones de la propia labor del investigador— (Merton, {1957} 1968). Este último valor es el único que admite asociar un nombre al descubrimiento científico.

Para Merton estas normas pueden generar tensiones en la estructura social de la ciencia. Como ejemplo paradigmático de ello merece citarse el sistema de recompensas mediante el cual se regula esa estructura normativa y que sirve de estímulo a los científicos, una práctica que puede derivar en «manía» por publicar o en secretismo, y que puede corromper al científico e inducir al fraude y al plagio, e incluso liberar calumnias y difamaciones por disputas entre científicos o rivalidades. Las normas técnicas y éticas, junto a ese sistema de recompensas, someten el comportamiento de los científicos al control social y constituyen, por tanto, un modelo de democracia. No obstante, estudiando estos mecanismos Merton detectó algunos problemas que presentaba el sistema de la ciencia, y así introdujo, por un lado, el concepto de «efecto mateo», para el que a veces se concede un éxito desproporcionado al científico famoso mientras que las contribuciones de otros científicos obtienen menor crédito (Merton, 1968), y por el otro, el de «obliteración por incorporación», para ilustrar la situación de que el nombre del científico que realiza un gran descubrimiento se olvide eclipsado por la tremenda importancia del mismo (Merton, {1957} 1968). En la actualidad, estas observaciones siguen a la orden del día en forma de preocupaciones entre

¹⁸ También llamado por Merton «imperativos institucionales».

¹⁹ Al respecto puede mencionarse la famosa frase de Isaac Newton, que decía: «si he visto más lejos es porque me sostenía a hombros de gigantes».

los académicos ante el funcionamiento, para la gran mayoría pernicioso, del sistema de publicaciones científicas (Neill, 2008).

Por otro lado, como es natural, el modelo propuesto por Merton no está exento de crítica. Para Stein (1962) en el medio industrial el científico empleado no es libre respecto a la elección del objeto de la investigación, a lo que Mulkay (1976) añade que las normas que propone Merton son los valores defendidos por los propios científicos en sus discursos, pero que no se dan estrictamente en la práctica. Otro reproche es que no tiene en cuenta las distintas situaciones históricas a la hora de definir las normas de la ciencia (Barnes & Dolby, 1970), que por ejemplo serían distintas para una ciencia desarrollada de forma *amateur* en los siglos XVII y XVIII que para otra por profesionales académicos en los siglos XIX y XX, o bien la desarrollada a gran escala en equipos numerosos —véase 1.1.2.—.

Otro autor digno de mención que teorizó sobre estas cuestiones fue Michael Polanyi, quien también señaló la importancia del conocimiento tácito en el ejército de la ciencia y sostuvo que los científicos se guían por una «conciencia científica» que es intuitiva y constituye una fuente de inspiración para su trabajo. Polanyi construyó una teoría política y económica en la que se refirió a una «República de la Ciencia», en la que hay una autoridad científica que guía la sociedad y la gobierna, y en la que el desarrollo científico se ve influenciado por la curiosidad intelectual, los mecanismos propios de la comunidad científica —que además no dejan fuera a quien merece pertenecer a la misma— y el grado de tolerancia de esa misma sociedad.

La República de la Ciencia es una sociedad de exploradores. Tal sociedad se esfuerza hacia un futuro desconocido, que cree que es accesible y que vale la pena alcanzar. En el caso de los científicos, los exploradores se esfuerzan por alcanzar una realidad oculta, en aras de la satisfacción intelectual. Y a medida que se satisfacen, iluminan a todos los hombres y, por lo tanto, ayudan a la sociedad a cumplir con su obligación de superación intelectual. [...] Tal ajuste puede incluir rivalidades y respuestas opuestas que, en la sociedad en su conjunto, serán mucho más frecuentes de lo que son dentro de la ciencia. Aun así, todas estas iniciativas independientes deben aceptar como guía una autoridad tradicional, imponiendo su auto-renovación y cultivando la originalidad entre sus seguidores (Polanyi, 1962: 72).

Como nota de interés, para Polanyi la ciencia se deviene de la sociedad religiosa, la cual evoca una búsqueda de la verdad, siendo la noción de «verdad trascendental» la propia del cristianismo, también ligada a la libertad y a la justicia.

Con todo, atendiendo a la dimensión social de la ciencia, ya se ha puesto de manifiesto que deben considerarse factores políticos, históricos, económicos y culturales que influyen la práctica científica. Conviene aclarar, además, que si bien Merton y otros excluyeron el estudio del contenido científico de sus análisis —la vertiente «técnica»— al considerar que forma

parte del patrimonio de la ciencia, otros académicos de la sociología sí se han aventurado en este terreno, como veremos en el siguiente apartado.

v) Construcción social del conocimiento

En los años 70 el campo de la sociología de la ciencia se alejó de la concepción mertoniana y viró hacia lo que se conoce como la «nueva sociología de la ciencia», detonada por las aportaciones de Kuhn. Ya a partir de los años 60 el campo de la filosofía de la ciencia se había impregnado de la contracultura y surgieron diferentes corrientes de pensamiento agrupadas bajo la denominación común de «posmodernismo», las cuales se intensificaron con el gran arraigo de la obra de Kuhn que, como hemos visto, abrió el estudio de la ciencia a nuevas disciplinas. Estas corrientes posmodernas reinterpretaban los logros de la ciencia de forma inseparable de la vida de los científicos y de las condiciones históricas, hasta el punto de proponer que las teorías científicas eran meros constructos sociales²⁰, siendo esta la interpretación más radical del modelo de Kuhn, en absoluto compartida por el propio autor.

Con notable influencia, surge bajo este supuesto el llamado *Programa Fuerte de la Sociología del Conocimiento Científico*, para el cual el conocimiento científico es conocimiento en tanto que ha sido aceptado por consenso por un cuerpo de científicos o, dicho de otro modo, es una creencia socialmente aceptada (Eriksson, 2007). El Programa Fuerte se centra en cómo se produce el conocimiento científico y en cómo se valida. Contrariamente a la concepción de Merton, según los nuevos sociólogos de la ciencia la «caja negra» (Whitley, 1970) del conocimiento científico puede desentrañarse a través del análisis sociológico. Esta postura sostiene que los resultados de la ciencia dependen del juicio científico, que a su vez está condicionado por circunstancias sociales, ya sean ideológicas, conflictos de interés o similares (Longino, 2019). Léase a título de ejemplo el siguiente texto de uno de sus precursores:

¿Puede la sociología del conocimiento investigar y explicar el contenido y la naturaleza del conocimiento científico? Muchos sociólogos creen que no puede. Dicen que el conocimiento como tal, a diferencia de las circunstancias que rodean su producción, está más allá de su alcance. Limitan voluntariamente el alcance de sus propias consultas. Argumentaré que esto es una traición a su punto de vista disciplinario. Todo el conocimiento, ya sea en las ciencias empíricas o incluso en las matemáticas, debe ser tratado, de principio a fin, como material de investigación. Las limitaciones que existen para el sociólogo consisten en entregar material a las ciencias aliadas como la psicología o en depender de las investigaciones de especialistas en otras disciplinas. No existen limitaciones que radiquen en el carácter absoluto o trascendente del conocimiento científico en sí mismo, o en la naturaleza especial de la racionalidad, validez, verdad u objetividad. (Bloor, {1976} 1991: 3).

²⁰ Thomas Kuhn reformuló su propuesta hasta la extenuación, abrumado por las interpretaciones que otros habían dado a sus teorías.

En líneas generales se distinguen, por un lado, los estudios macrosociales, mientras que por el otro, está la dimensión microsociales de los estudios de laboratorio. Los primeros apuestan por una perspectiva de la ciencia entendida como un fenómeno social a gran escala, por lo que deben investigarse aspectos políticos e ideológicos²¹. Se llevaron a cabo principalmente desde la Escuela de Edimburgo²², la impulsora del Programa Fuerte, y desde la Escuela de Bath²³, otra vertiente de la nueva sociología que cristalizó en el *Programa Empírico del Relativismo* (EPOR) (Pickering, 1984; Shapin & Schaffer, {1985} 2017). Por otra parte, en los estudios microsociales se indaga sobre la vida en el laboratorio, centrándose en investigar las relaciones sociales entre la propia comunidad científica y llevar a cabo estudios «empíricos» dentro de los equipos de investigación (Knorr-Cetina, 1981; Latour & Woolgar, 1986). A modo de ejemplo se puede citar la incursión de Bruno Latour y de Steven Woolgar en el laboratorio de Roger Guillemin del Instituto Salk, durante la cual pasaron dos años estudiando la labor de los científicos —lapso de tiempo en el que Guillemin fue galardonado con el premio Nobel— y sus indagaciones resultaron en la publicación del libro *La vida en el laboratorio: la construcción de los hechos científicos* (1986).

En particular, el programa metodológico de la nueva sociología se guiaría por los siguientes cuatro principios: (1) las explicaciones para las creencias y el conocimiento deben ser causales; (2) la sociología debe ser imparcial con respecto a la verdad o la falsedad, la racionalidad o la irracionalidad y el éxito o el fracaso de la creencia al proporcionar explicaciones; a su vez (3) la explicación debe ser simétrica en el sentido de que el mismo tipo de causas debe explicar las creencias verdaderas y falsas; y por último (4) la sociología del conocimiento debe ser reflexiva en el sentido de que los mismos principios de explicación deberían aplicarse a la sociología misma (Bloor, {1976} 1991). Nótese que, según el principio de simetría, las creencias científicas no difieren de las creencias en otros ámbitos.

Estas corrientes de pensamiento con frecuencia pusieron énfasis en el estudio de controversias científicas, probablemente porque en los climas de tensión pública los factores ideológicos adquieren protagonismo, sin embargo, el resultado fue una visión relativista de la ciencia que, de acuerdo con la acusación de algunos científicos indignados, se fraguó como herramienta de ataque a la validez de la ciencia, y ante este panorama se levantaron voces como la de Gerald Holton acusando a los defensores del relativismo de que su único fin era deslegitimar la ciencia (Santana, 2006).

Si bien las posturas relativistas levantaron una preocupación general entre la comunidad académica y fueron objeto de duras críticas, la contra-respuesta de algunos científicos derivó en las llamadas «guerras de la ciencia», siendo la publicación detonante de las mismas el

²¹ Puede resultar de interés para el lector profundizar en la *Teoría de los intereses de Barnes*, según la cual la actividad científica está guiada por intereses de poder, influencia y prestigio que constituyen el origen de las creencias científicas.

²² Liderada por Barry Barnes y David Bloor.

²³ Liderada por Harry Collins, Trevor Pinch y David Travis.

artículo *La superstición superior, la izquierda académica y sus riñas con la ciencia* (1994)²⁴, de Paul R. Gross y Norman Levitt, donde se alerta sobre los defectos del relativismo empezando por denunciar la falta de conocimientos científicos de los académicos posmodernos y acusándolos, en consecuencia, de su incapacidad para comprender aquello que criticaban e incluso de moverse por razones políticas²⁵.

Por su parte, el físico Alan Sokal envió un artículo a mediados de los años 90 a la revista *Social Text* en el que sostenía una serie de argumentos delirantes apoyados por multitud de referencias bibliográficas —por ejemplo, citando a Bruno Latour, Jacques Lacan, Gilles Deleuze o Jacques Derrida— y en el que utilizó a su vez la apariencia del lenguaje de la física cuántica para supuestamente derrocar la objetividad de la ciencia; lo tituló *Transgressing the boundaries: towards a transformative hermeneutics of quantum gravity* (Sokal, 1996)²⁶. El artículo se publicó íntegro, sin una sola sugerencia de corrección, dando pie a lo que posteriormente se conoció como «el escándalo Sokal» —o «el caso Sokal»—. Además de poner en tela de juicio el trabajo de los intelectuales posmodernos, la publicación levantó la voz de alarma al advertir de que la retórica de la ciencia podía utilizarse para proveer a las pseudociencias con el disfraz de la ciencia y engatusar a un público despistado. Sobre el artículo, el autor reflexiona posteriormente que «la conclusión más sensata de este dilema es que los sociólogos de la ciencia no deberían estudiar las controversias científicas sobre las que carecen de la competencia para hacer una evaluación independiente de los hechos» (Sokal, 1998: 14).

Como nota adicional a la discusión, también en el debate sobre la epistemología social del conocimiento científico surgen con una entidad teórica propia diferentes estudios de perspectiva feminista que han puesto de manifiesto que la profesión científica es una práctica masculinizada, subrayando el hecho de que algunos de los resultados de la ciencia están condicionados por ello (Keller, 1983; Longino, 1990). Un análisis ameno sobre los sesgos de género en los experimentos científicos puede encontrarse en el libro de divulgación *Las 'mentiras' científicas sobre las mujeres* (García Dauder & Pérez Sedeño, 2017).

1.1.2. Aspectos relevantes de la ciencia moderna

i) La institución científica y la *Big Science*

Como se ha señalado, para Robert Merton el sistema social de la ciencia funciona de acuerdo con el *ethos* científico, es decir, con los valores que regulan la actividad científica. Debe

²⁴ Este artículo inspiró la conferencia *The Flight from Science and Reason* —El vuelo sobre la ciencia y la razón— en la *Academia de Ciencias* de Nueva York, organizada por los autores junto a Gerald Holton. Más adelante se publicó un libro con el mismo título.

²⁵ En 1996 la revista *Social Text* publicó como respuesta un especial titulado «*Science Wars*» —Guerras de la Ciencia—, acusando a los científicos de reaccionar contra los recortes en financiación.

²⁶ En castellano, «La transgresión de las fronteras: hacia una hermenéutica transformativa de la gravedad cuántica».

resaltarse asimismo que los intereses científicos están ligados a los valores e intereses de la sociedad, un aspecto que el propio Merton abordó desde su tesis doctoral en 1938; y en este sentido la actividad científica se articularía con la política y la economía (Vinck, 2015). Una pregunta que emerge al respecto es quién debe marcar la agenda científica (Merton, {1957} 1968). Sobre esta cuestión, Merton defiende que debe proporcionarse libertad al investigador y confiar en los mecanismos informales propios de la comunidad científica. Otros autores, en cambio, proponen que es el Estado el que debe planificar el trabajo científico, un punto de vista que acabará por imponerse (Bernal, {1939} 2010) —este debate se examina en detalle en los próximos apartados—.

Ya durante la transición del siglo XIX al XX, la ciencia se desarrolla en las universidades por razones políticas más que científicas, con la finalidad de formar profesionales al servicio del Estado, y en esa línea las instituciones científicas también han servido de instrumentos de política científica para obtener fondos (Vinck, 2015). Resulta así esclarecedor prestar atención a la historia de las universidades para comprender el nuevo rol social del científico.

En el seno de las Universidades, Escuelas y laboratorios, la investigación y la formación se despliegan de forma disciplinar, mientras que la evaluación y la atribución de reconocimiento pasan por una multitud de dinámicas colectivas que movilizan normas de evaluación próximas a las de las antiguas Academias: la perspectiva empírica prevalece sobre el enganche a una teoría existente. La formulación de nuevos consensos científicos no es monopolio de la Academia sino el resultado de la agregación y de la confrontación de múltiples evaluaciones en el seno de revistas y de sociedades científicas, lo cual favorece a las ciencias como actividad distinta y fuente de su propia autoridad. (Vinck, 2015: 32).

A este respecto, autores como Hagstrom (1965) subrayan que la empresa científica consiste en un sistema de intercambio y de reciprocidad entre la comunidad científica cuya finalidad es, en primera instancia, el reconocimiento entre sus colegas. Se forman así redes sociales de científicos que trabajan en equipo y se relacionan a través de encuentros o mediante revistas académicas. En este sentido, puede destacarse el hecho de que los científicos participan en congresos nacionales e internacionales, que son eventos que favorecen la cooperación científica y la creación de sociedades internacionales —como por ejemplo la *Royal Astronomical Society*, fundada en 1909—.

Paralelamente, cada vez hay menos trabajos firmados por un único autor. En particular, los artículos científicos firmados por un solo autor se redujeron a la mitad entre 1920 y 1950 (Vinck, 2015), y la cantidad de revistas académicas había pasado a ser, para entonces, de cerca de cien en 1830 a muchas decenas de miles (De Solla Price, 1965). En su análisis sobre el crecimiento de las ciencias estudiando artículos publicados como archivos cuantificables²⁷, De Solla Price (1965) atribuye a los artículos la capacidad de facilitar la interacción entre

²⁷ Idea que inspiró el campo de la cuantificación.

científicos organizada a través de lo que llama «*the invisible college*», conformado por el circuito de instituciones, centros de investigación, revistas y conferencias. Los científicos de todo el mundo utilizan el artículo como vía de comunicación, hasta el punto de que algunos llegan a firmarse por cientos de científicos en la actualidad²⁸.

Además del número creciente de colaboraciones, la cantidad de investigadores también ha aumentado drásticamente desde finales del XIX, desde apenas 50 mil individuos a un millón a mediados del XX (De Solla Price, 1963), una cifra que ha ascendido hasta 3,5 millones a comienzos del siglo XXI únicamente en los países de la OCDE. Por otro lado, aunque la política y la economía regulen la investigación científica, cabe destacar que los mecanismos de evaluación son colectivos, además de transnacionales, aspectos que la dotan de autonomía.

Para resumir, puede ser útil el análisis de Ben-David (1991) de la dinámica de las ciencias, que sugiere un modelo basado en dos elementos incluyendo, por un lado, el hecho de que la investigación académica tiene lugar en un sistema descentralizado y competitivo, y por el otro, que los criterios de evaluación son transnacionales y por tanto independientes de la organización investigadora que está sujeta a imperativos locales y nacionales.

Queda señalar que las instituciones científicas presentan con frecuencia una complejidad organizativa que no es desdeñable y requieren una recaudación de recursos cuantiosa. Emergen así los proyectos científicos a gran escala que involucran a investigadores de diferentes partes del mundo y a las agendas de investigación propias de sus países, una forma de hacer ciencia que se conoce como *Big Science*.

Sobre este cambio en la manera de hacer ciencia, numerosos autores como Gibbons (1999), Ziman (2003) o Jasanoff (2003) sitúan el giro respecto a cómo se produce el conocimiento científico a partir de la Segunda Guerra Mundial²⁹. Las sociedades industriales exhiben un profundo cambio en la dinámica de la ciencia al emerger proyectos a gran escala financiados por gobiernos nacionales y convenios internacionales que incluyen grupos numerosos de científicos que aportan su experiencia a proyectos de investigación comunes. Ya en el clima preguerra de los años 30 se gesta la idea de responsabilidad social con el ascenso del nazismo, entre otros totalitarismos en el mundo. Algunos científicos se comprometen con la causa de preparar una guerra y orientan así su actividad científica, mientras que otros se organizan internacionalmente para protegerse de las presiones sociales defendiendo una imagen democrática y autónoma de la empresa científica al apelar a su carácter independiente, riguroso y racional.

Fue con el Proyecto Manhattan —activo desde 1942 hasta 1947—, responsable del desarrollo de la bomba atómica, cuando nació esa nueva forma de hacer ciencia. Tras el éxito del

²⁸ Un ejemplo de ello es el artículo que demostró la existencia de ondas gravitacionales en 2016.

²⁹ La Segunda Guerra Mundial fue bautizada por algunos como «la guerra de los físicos» debido al papel que desempeñaron los científicos en el desarrollo de armas nucleares, habiendo sido la Primera Guerra Mundial «la guerra de los químicos» por el papel de las armas químicas.

mismo, los gobiernos se convierten en el principal patrocinador de la ciencia, con especial énfasis en el impulso de proyectos militares de perfil científico, aunque en adelante las investigaciones de la *Big Science* no tendrán porqué estar circunscritas al fenómeno militar (De Solla Price, 1963).

A nivel global, durante las siguientes décadas se siguen pactando entre países otro tipo de proyectos faraónicos pero desvinculados de la naturaleza militar, como la carrera espacial o los aceleradores de partículas. En gran parte por los requisitos financieros de este tipo de proyectos, la configuración de las agendas de investigación recae principalmente en la clase política, una perspectiva que pone en tela de juicio la libertad académica y la independencia personal de los investigadores, puesto que al articularse un Estado que gestiona las investigaciones, la ciencia no queda exenta de factores económicos, sociales o políticos que guíen la actividad científica. Este panorama conduce a plantearse la cuestión acerca de quién toma las decisiones sobre los objetivos y los procedimientos de la investigación, siendo además que las consecuencias de los desarrollos científicos no pasan desapercibidas —véase el apartado sobre la crisis de legitimación de la ciencia—.

A grandes rasgos, la *Big Science* se caracteriza por contar con grupos numerosos de profesionales trabajando conjuntamente, presupuestos masivos —generalmente más allá del alcance de muchos estados— y, a veces, por el uso de dispositivos de gran tamaño en instalaciones grandes, como los aceleradores de partículas en el CERN, o bien en gran número, como los secuenciadores de ADN utilizados en el Proyecto Genoma Humano.

El término Big Science, fue popularizado en el artículo *Impact of large-scale science on the United* (1961), de Alvin Weinberg, donde se describe como la equivalente contemporánea de las pirámides egipcias o las catedrales góticas, a la vez que se alerta de algunas de sus posibles consecuencias.

[...] los aparatos de la Gran Ciencia se necesitan ahora para realizar grandes partes de la investigación básica, y esa investigación básica se hace mejor en conjunto con la educación. Pero creo que hay un grave peligro para nuestras universidades en esta incursión de la Gran Ciencia. Se elige un profesor de ciencia porque está extremadamente bien calificado como científico, como pensador o como profesor. Si se involucra demasiado con la Gran Ciencia tendrá que convertirse en un publicista, si no en un periodista, un administrador, y un inversor de mucho dinero. (Weinberg, 1961: 162).

Por su parte, De Solla Price traza la transición histórica y sociológica de la ciencia a pequeña escala hacia la ciencia a gran escala en una serie de conferencias sobre el lugar que ocupa la ciencia en la sociedad reunidas en el volumen *Little science, big science* (1963) y donde también se resaltan algunas de las problemáticas asociadas.

Se consolida así una nueva forma de hacer ciencia que entra en contradicción con los valores propios de la ciencia propuestos por Merton —por ejemplo, no cumple los criterios de

universalidad, escepticismo organizado o comunalismo— dado que la investigación militar no se realiza en abierto, por lo que los resultados de la ciencia no circulan de forma libre y transparente y por tanto no pueden someterse a la crítica sistemática para que sea universal y replicable.

También se cuestiona el grado de independencia del desarrollo científico, dado que la acción científica presenta una dependencia estructural con los organismos que la financian. En esta línea de razonamiento, el filósofo John Hardwig plantea un dilema filosófico sobre el modo de proceder en los grandes equipos: cada investigador aporta su parcela de conocimiento específico y así unos dependen de otros dándose una situación de confianza mutua en la que, por lo general, uno no puede evaluar la validez del trabajo de sus colegas (Hardwig, 1985). Es decir, cada especialista se ocupa de su parte y por tanto ningún integrante del equipo comprende completamente el experimento, de modo que el esfuerzo científico se sustenta sobre las bases de la confianza y de la autoridad.

Otro factor preocupante es que bajo este modelo la replicabilidad y la revisión por pares son inabarcables, que son los métodos que utiliza la comunidad científica para otorgar credibilidad al trabajo desempeñado. Los experimentos de la *Big Science* escapan así de una concepción de la ciencia en la que sus resultados se verifican mediante la repetición independiente con el fin de comprobar que son epistémicamente confiables, y por tanto, algunos como Popper han reflexionado que mediante estos mecanismos a gran escala no podemos producir conocimiento exacto o 100% verdadero (Popper, {1934} 1962).

Por otro lado, también se ha puesto en duda la objetividad del científico, dado que a menudo en estos grandes proyectos los individuos responden ante intereses procedentes de benefactores de diversa naturaleza, por ejemplo de académicos e industriales con el foco puesto en las patentes o con intenciones militares, de forma que pueden recibir financiación de diversa índole, proveniente de subvenciones gubernamentales o de donaciones corporativas. En este sentido el intercambio de datos puede verse viciado, además de que la línea divisoria entre financiación pública y privada es, en muchos casos, difusa.

En general, desde que hay relaciones con un Estado que financia las investigaciones, la ciencia no está exenta de factores económicos, sociales, o políticos que guían su *praxis*. Poner el foco en las relaciones ciencia-política, más allá de los valores normativos, permite plantearse la cuestión acerca de quién toma las decisiones en cuestiones como las direcciones de la investigación, los objetivos, los procedimientos para esa toma de decisiones, las consecuencias de los desarrollos científicos o la evaluación de riesgos: ¿Quién debe controlar a los científicos? ¿Los propios científicos?

ii) Articular ciencia y política

Durante la primera mitad del siglo XX, ya se ha comentado que desde los ámbitos de la filosofía y la sociología de la ciencia se discuten los factores internos de la ciencia, hasta entonces concebida como una república de sabios (Polanyi, 1962) que se guía por los valores mertonianos (Merton, {1942} 1973), ese ideal de normas para realizar «buena ciencia» que apela al método científico para corregir los factores externos, a su vez identificados como «mala ciencia» o pseudociencia y considerados ajenos a la ciencia pura. Sin embargo, como se ha expuesto, esta forma normativa de entender la ciencia cambia drásticamente con la publicación *La estructura de la revoluciones científicas* (1962), cuando se insta a considerar ciertos factores externos que influyen en la práctica científica y la sitúan histórica y socialmente, al presentarla como un ejercicio social llevado a cabo en comunidades.

De la confluencia entre las distintas corrientes de análisis aparecen los estudios políticos de la ciencia³⁰, centrados en investigar las conexiones entre ciencia y Estado. A grandes rasgos, la propuesta teórica predominante que da cuenta de las relaciones entre la agenda política y la actividad científica es el denominado «contrato social para la ciencia»³¹, un ideal que estipula cómo se deben regular esas relaciones entre ciencia y gobernanza (Gómez & Canales, 2013) y que se detallará al final de este apartado. Se configura así un campo interdisciplinar que incluye las perspectivas de la filosofía, la historia y la sociología de la ciencia.

La necesidad de articular estas relaciones se desencadena principalmente a raíz de la *Big Science* presentada en el apartado previo, con el legado de las dos guerras mundiales, que contaron con una intervención masiva de los estados para cubrir objetivos científicos con orientación militar, en un modelo de *praxis* científica que involucra grandes equipos y presupuestos elevados, y que requerirá una formulación teórica sobre cómo articularse.

Con la Segunda Guerra Mundial, en Estados Unidos se crean comisiones para la investigación por áreas y algunos científicos se convierten en gestores de la investigación. En el ámbito de la química se investiga sobre inhibidores de armas químicas, máscaras de gas, etc³²; por su parte, en la disciplina biomédica, algunas de estas comisiones asesoran en la gestión en masa de la penicilina, y así la industria farmacéutica se implica para que el medicamento se envíe al frente³³. Por otro lado, en el desierto de los Álamos, un numeroso grupo de científicos se traslada con sus familias para investigar en secreto en el Proyecto Manhattan, que culmina con el lanzamiento de las bombas atómicas en Hiroshima y Nagasaki en agosto de 1945, cuyo impacto sacudió la conciencia del mundo por su poder desmedido para la aniquilación masiva de civiles. Motivados por un sentido de la responsabilidad y del remordimiento, algunos científicos se movilizaron ante el peligro de una guerra nuclear de mayor impacto.

³⁰ Hasta entonces la política y la ciencia eran percibidas como cuestiones contradictorias.

³¹ El nombre es una analogía con el «contrato social» de la teoría política.

³² Tras el legado de la Primera Guerra Mundial, conocida como la guerra de los químicos, en la que desarrolló el gas mostaza.

³³ En particular, aparece una agenda investigadora centrada en la microbiología.

Ante este panorama, el debate estadounidense sobre la forma adecuada de articular ciencia y política se desarrolló entre 1945 y 1950, culminado con la creación la *National Science Foundation* (NSF), en gran medida como resultado del informe *Science, the Endless Frontier* (1945), encargado al ingeniero del *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) y asesor presidencial Vannevar Bush³⁴. Este informe es considerado por numerosos académicos como el origen de la política científica moderna, aunque es justo mencionar que hubieron otras propuestas relevantes, como el programa del senador demócrata Harley Kilgore —uno de los críticos más influyentes hacia el poder desmedido de las corporaciones industriales y la desigualdad de oportunidades— que tenía como objetivo organizar la investigación científica para atender a las necesidades sociales y económicas de la nación, mientras que el de Bush, que acabó por imponerse, tenía como objetivo utilizar los recursos sociales y económicos del país para hacer avanzar la ciencia. En este sentido, el informe de Bush se ha entendido como un arma textual en las batallas políticas del momento sobre la forma, el propósito y la elección de la política federal para la investigación científica y el desarrollo en la era de la posguerra (Kevles, 1977).

En los altos círculos de Washington era bien reconocido el exitoso patrocinio de la ciencia en tiempos de guerra por parte del gobierno de los Estados Unidos, con sus espectaculares resultados en armamento pero también a través de milagrosas penicilinas y sulfamidas. La lógica de Bush era que si la aproximación a la ciencia a través de la movilización y coordinación de grandes recursos por parte del Estado podía ofrecer resultados excepcionales, era razonable pensar que en tiempos de paz funcionaría de igual modo.

En una carta emitida el 17 de noviembre de 1944 en nombre del presidente estadounidense Franklin Roosevelt dirigida a Vannevar Bush, el gobierno solicitó una serie de recomendaciones a través de cuatro preguntas para determinar los pasos a seguir para gestionar la investigación científica tras el período bélico.

Preguntas	
1.	¿Cómo se podría dar a conocer la información científica desarrollada durante la guerra, de acuerdo con la seguridad militar, para promover el bienestar general?
2.	¿Qué se podría hacer para organizar un programa de investigación médica?
3.	¿Qué podría hacer el gobierno para ayudar a la investigación en general en instituciones públicas y privadas?
4.	¿Qué se puede hacer para descubrir y desarrollar el talento científico en la juventud estadounidense?

A modo de respuesta, en el informe *Science —The Endless Frontier* (1945), Bush trazó las relaciones que consideraba deseables entre el gobierno y la ciencia en los Estados Unidos. En el documento se señala que la nación estadounidense no cuenta con una política nacional

³⁴ Director de la *Office of Scientific Research and Development* en EE. UU.

para la ciencia y justifica una demanda de apoyo económico a la investigación por parte del Estado bajo el supuesto de que el progreso científico es esencial en términos de mejora en salud, prosperidad y seguridad nacional. Uno de los axiomas principales del informe es que debe apoyarse la investigación básica efectuada en universidades e institutos de investigación públicos y privados.

Los avances científicos también traerán niveles de vida más altos, conducirán a la prevención o cura de enfermedades, promoverán la conservación de nuestros recursos nacionales limitados y asegurarán los medios de defensa contra la agresión. Pero para alcanzar estos objetivos —asegurar un alto nivel de empleo y mantener una posición de liderazgo mundial—, el flujo del conocimiento científico debe ser a la vez continuo y sustancial. (Bush, 1945).

En general, para expandir las fronteras del conocimiento, «debemos contar con muchos hombres y mujeres formados en la ciencia, porque de ellos depende tanto la creación de nuevo conocimiento como su aplicación a finalidades prácticas» (Bush, 1945). Para lograrlo, el desarrollo de talento científico debe incentivarse mediante becas, además de buscar a los hombres que hayan dado muestras de talento para la ciencia, antes y durante la guerra, y proporcionarles facilidades para licenciarse, lo que fortalecería también la investigación industrial, porque «una nación que dependa de otras para la obtención de sus nuevos conocimientos científicos básicos tendrá un lento progreso industrial y será débil en su posición competitiva en el comercio mundial, independientemente de su destreza mecánica» (Bush, 1945). La forma de canalizar esos apoyos sería, para Bush, la creación de una agencia que presupuestara sus gastos durante un período considerable de tiempo, no sujeta a la revisión en detalle por parte de la legislatura y capaz de resistir presiones políticas, y cuyos objetivos generales serían:

Objetivos	
1.	Desarrollar y promover una política nacional para la investigación y la educación científicas
2.	Apoyar la investigación básica en las organizaciones sin fines de lucro
3.	Desarrollar el talento científico de la juventud norteamericana por medio de becas
4.	Sostener con contratos y otros instrumentos la investigación a largo plazo en cuestiones militares

Se trataría de un organismo integrado por miembros selectos que comprendieran la investigación y la educación científicas, que preservaría la libertad de investigación —dejando el método y alcance en manos de las instituciones— y minimizaría de esta forma la posibilidad de control externo, con una provisión de fondos estable en el tiempo para poder realizar programas a largo plazo³⁵. De hecho, Bush encuentra inverosímil la idea de contratar

³⁵ Evitando, por ejemplo, la revisión anual de proyectos específicos que son obstáculos que retrasan la investigación científica.

a científicos de primera línea, equiparlos con laboratorios y luego no proporcionarles fondos para ejercer su labor.

En resumidas cuentas, Bush defendió que la investigación debía fortalecerse mediante el uso de fondos públicos y demandó un compromiso entre científicos y políticos, prometiendo prosperidad económica y social para la nación americana a cambio de un apoyo económico sustancioso por parte del Estado para la investigación, pero bajo la condición de permitir a los científicos trabajar de forma autónoma e independiente, sin control político, trazando así una frontera bien delimitada entre la labor científica y la política³⁶.

Naturalmente, el planteamiento optimista de la propuesta de Bush ha despertado algunas críticas. Entre ellas, se ha señalado que el informe refleja mayor interés en la promoción de la innovación que en su control (Stokes, 2011) y que la distinción entre ciencia básica y aplicada es un dualismo simplista (Jasanoff, 2003).

El informe de Bush dijo poco acerca de cómo la investigación básica conduciría a avances en ciencia o tecnología aplicada. Ese silencio en sí mismo es revelador. Durante mucho tiempo se supuso que la difusión del conocimiento fundamental que resultaba en aplicaciones era lineal y no problemática. [...] Los avances científicos y técnicos aportan beneficios incuestionables, pero también generan nuevas incertidumbres y fracasos, con el resultado de que la duda socava continuamente el conocimiento y las consecuencias imprevistas confunden la fe en el progreso. (Jasanoff, 2003: 224-228).

Al respecto, cuando los científicos no pueden ofrecer afirmaciones concluyentes porque hay riesgos de incertidumbres, el debate deja de ser estrictamente científico y admite la intervención política. Por ejemplo, en la planificación de una central nuclear, los expertos asesoran sobre el funcionamiento y los riesgos asociados pero no evalúan si merece la pena afrontar tales riesgos. En este sentido el técnico competente no efectúa un juicio político³⁷.

Paralelamente a las deliberaciones de Bush, desde un punto de vista académico, la idea de compromiso mutuo entre la clase política y la comunidad científica vertebró una propuesta teórica formulada también en los años 40 y 50 en Estados Unidos, posteriormente conocida como el «contrato social para la ciencia», para describir las relaciones entre ciencia y política en sociedades democráticas (Jasanoff, 2003); y cuya denominación responde a una analogía con el contrato social de la teoría política, basado en dar libertad a cambio de seguridad.

Se trata de un acuerdo ideal entre gobernanza y comunidad científica según el cual quedan definidos cuáles son los derechos y obligaciones de cada parte: el Estado ofrece financiación y

³⁶ Una de las ideas centrales reflejadas en el documento, es que confiar en las corporaciones industriales puede implicar la distorsión de los problemas de corto alcance a expensas de la investigación fundamental, y la libertad del científico puede disminuir bajo el control comercial. Debe así respetarse un principio de libertad de investigación para obtener logros significativos de los que todas las personas de la nación sean beneficiarias.

³⁷ Para Jasanoff (2003): «En una amplia gama de opciones de políticas, las culturas tecnológicas deben aprender a complementar la preocupación de los expertos por medir los costos y los beneficios de la innovación con una mayor atención a las políticas de la ciencia y la tecnología» (Jasanoff, 2003: 224).

los científicos devuelven conocimientos y desarrollos tecnológicos, sin ningún mecanismo de control político sobre la comunidad científica; en consonancia con lo que Bush plasmó en su propuesta —debe aclararse que las teorizaciones sobre el contrato social también se sustentan sobre las aportaciones de distintos trabajos teóricos como los de De Solla Price (1963), Steelman (1947), Crowther (1949) y Crowther, Howart & Riley (1942)—. El acuerdo se basa en la confianza mutua y en el reconocimiento de la importancia de cada parte, y se construye sobre dos supuestos; por un lado, que hay una frontera nítida entre las instituciones científicas y las políticas, y por el otro, la idea de los científicos son íntegros y productivos (Gómez & Balmer, 2013; Gómez & Canales, 2013).

El contrato social resultaba aceptable dado que los valores subyacentes a ese intercambio ideal formaba parte de la mentalidad de la comunidad científica y política en los países democráticos, pero en la práctica, sin embargo, no siempre se cumplen los valores de integridad científica, para los que el científico trabaja de forma responsable y autónoma (Gómez & Canales, 2013). Por ello, en los años 70 estas teorizaciones se deterioran por los problemas de fraude, corrupción, privilegios, productividad, influencias y otros factores de similar naturaleza. En este sentido, el modelo se debilita en gran parte a causa de las fricciones propias del sistema académico.

Ya en los años ochenta del siglo XX las políticas neoliberales, aplicadas por Ronald Reagan en Estados Unidos y Margaret Thatcher en Gran Bretaña, añadieron otra causa al resquebrajamiento del antiguo contrato social al propiciar «la desregulación de los mercados, la mercantilización de la investigación tecnocientífica, la privatización del conocimiento y la pérdida de autonomía de los científicos. Se implanta así un nuevo contrato entre ciencia y sociedad que favorece el rápido incremento de la financiación privada en I+D» (Alcíbar, 2015: 7). Esta tendencia a privatizar la ciencia continúa hasta el presente, abarcando áreas muy diversas como la computación, la biotecnología y la biomedicina y, en los últimos años, la industria aeroespacial. Una de las consecuencias de esta privatización es la irrupción en la ciencia de profesionales de las relaciones públicas, más interesados en promocionar la imagen corporativa de la institución gestora del conocimiento que en trasladar al ciudadano las incertidumbres de la empresa tecnocientífica. Se produce así un drástico cambio en el control del flujo de información, pasando de ser periodístico a ser institucional (Bauer & Gregory, 2007) —por ejemplo, a través de los dossiers que las propias instituciones mandan a los medios de comunicación; véase 1.2.—.

iii) Crisis de legitimación de la ciencia

A medida que la ciencia se profesionaliza y se especializa (Vinck, 2015), las fronteras entre científicos, divulgadores y público han ido trazándose progresivamente (Shapin, 1990). Ya en el siglo XX, con la explosión tecnocientífica, el nivel de alfabetización de la ciudadanía

incrementa con el nivel de vida, produciéndose además una multiplicación de los medios editoriales junto al nacimiento de nuevos medios como la radio y la televisión —véase 1.2.—.

La ciencia se ha legitimado socialmente tanto por su dimensión estrictamente cognitiva como por las aplicaciones derivadas. Si bien desde finales del siglo XIX se define una demarcación clara entre comunidad científica y público, también se consolida un contrato social implícito entre ciencia y sociedad³⁸ para el que la comunidad científica, dotada de un volumen creciente de recursos financieros y humanos, es autónoma en cuanto a los objetivos y el desarrollo de la investigación, mientras que la sociedad recibe a cambio un torrente de bienes materiales y servicios que elevaban el nivel de vida de la mayoría (Pardo, 2001).

De forma contrapuesta al auge de la autoridad pública de la ciencia, florecieron algunos movimientos sociales y culturales que respondían a una percepción del riesgo en la ciudadanía sobre los resultados del progreso científico-tecnológico. En particular, con la creación de la bomba atómica la ciencia sufre una crisis de legitimación entre el público al despertar su desconfianza ante la dramática constatación de la naturaleza dual del conocimiento científico. A este respecto se ha apuntado que «la ciencia y la tecnología son de doble filo, creando nuevos parámetros de riesgo y peligro a la vez que ofreciendo posibilidades beneficiosas para la humanidad» (Giddens, 1991: 27-28). Es por ello que el contrato social entre ciencia y sociedad entra en crisis a lo largo de la segunda mitad del siglo XX por la demostración de los efectos devastadores del armamento nuclear al final de la Segunda Guerra Mundial.

A ojos de la ciudadanía, la ciencia y la tecnología multiplicaron la capacidad destructiva de los seres humanos respecto a ellos mismos y al planeta en general, y como consecuencia generaron serias dudas acerca de uno de los ideales fundamentales del mundo moderno: que el conocimiento científico y tecnológico es necesariamente beneficioso para la humanidad, y que por ello los estados deben hacer lo posible para promoverlo y desarrollarlo en sus sociedades y entre sus ciudadanos (Escobar, 2017). Cuestiones como la peligrosidad de la energía atómica o, posteriormente, los asuntos medioambientales con la concienciación climática, hacen surgir voces discordantes sobre los beneficios de la ciencia, situándonos en una «sociedad del riesgo» con la industrialización (Beck, 1992) que comporta una desconfianza pública tanto hacia los poderes políticos como hacia los expertos (Giddens, 1990, 1991). No deben así ignorarse las manifestaciones públicas de ambivalencia, crítica y desconfianza hacia la ciencia (Holton, 1993).

Otro acontecimiento histórico determinante fue la puesta en órbita por la Unión Soviética del cohete Sputnik el 4 de octubre de 1957. El evento obtuvo una gran cobertura mediática por parte de la prensa internacional alterando el equilibrio de poder en la guerra fría y

³⁸ Préstese atención a la diferencia: el contrato social tratado en el apartado anterior se daba en ciencia y Estado, mientras que en este caso entre ciencia y sociedad.

contribuyendo a la crisis de confianza en la tecnología, la ciencia, el ejército y la posición política de los estadounidenses. Para la sociedad norteamericana, el lanzamiento supuso una bofetada por sorpresa al orgullo nacional al descubrir que los Estados Unidos no estaban a la vanguardia tecnológica en este campo (Casado, 2007). El ciudadano medio norteamericano sintió su seguridad arrancada de raíz al considerar que los soviéticos podrían vigilar todos sus movimientos y lanzar bombas desde el espacio³⁹.

A nivel político el lanzamiento del Sputnik y los posteriores éxitos soviéticos, como la puesta en órbita de la perra Laika el 3 de noviembre de 1957, tendrían importantes repercusiones en los estadounidenses. En los días siguientes al lanzamiento, la prensa reprochaba al presidente Dwight Eisenhower su supuesta dejadez en el campo de los misiles, y su falta de previsión relativa a la capacidad soviética. John F. Kennedy, en aquel momento candidato demócrata a la presidencia, aprovechó para acusarlo de incompetencia y acuñó la expresión «la brecha de los misiles» que, aunque luego se descubrió falsa, se convertiría en uno de los puntos clave de su campaña electoral calando con fuerza en la opinión pública —«esta es la primera vez que una campaña presidencial ha comenzado en el Espacio exterior, en lugar de en la atmósfera ordinaria» (Casado, 2007)—. Kennedy ganó finalmente la presidencia, inaugurando una nueva etapa de competitividad en la carrera espacial entre las dos superpotencias que culminaría con la llegada del hombre a la Luna en 1969 y que contó con un fuerte apoyo de gran parte del público norteamericano, aunque no estuvo exenta de críticas por parte de un sector que la consideraba un despilfarro de recursos.

Es justo señalar que ciudadanos de todo el mundo vivieron el comienzo de la nueva era espacial con entusiasmo de cara a las perspectivas que se abrían para la humanidad en su conjunto.

Los ciudadanos de todo el mundo miraban al cielo en la noche para ver pasar ese pequeño punto luminoso que representaba el triunfo del ingenio humano, y sintonizaban sus radios para escuchar ese “bip-bip” que, de forma casi mágica, venía del Espacio. (Casado, 2007).

En resumidas cuentas, a lo largo de esta segunda mitad del siglo XX, al tiempo que la ciencia y la tecnología alcanzaban un desarrollo sin precedentes, la crisis de legitimación de la ciencia se iba ahondando. Al mismo tiempo, el interés de la prensa por la carrera espacial o la energía nuclear fue sustituyéndose por temas medioambientales. Otro evento digno de mención fue la publicación del libro *Primavera silenciosa* (1962), de la bióloga estadounidense Rachel Carson, en el que denunciaba los efectos nocivos del empleo masivo de productos químicos, como los pesticidas, para la naturaleza y la salud. El libro recibió muchas críticas por su alarmismo, pero el apoyo popular fue tan grande que, diez años después de su publicación, el Gobierno estadounidense se vio obligado a prohibir el DDT. Su trascendencia

³⁹ Algunos incluso fantaseaban con que el Sputnik era un arma psicológica expresamente diseñada para la intimidación de los pueblos libres de la Tierra.

fue tal que hoy está considerado uno de los principales responsables de la aparición de los movimientos ecologistas a favor de la conservación de la naturaleza. Además, estas críticas tuvieron efectos negativos en el presupuesto público dedicado a la investigación científica.

Tras el fracaso norteamericano en la guerra del Vietnam y la crisis energética de 1973, los llamados «movimientos contraculturales», exhibieron posturas críticas en las que atribuían numerosos efectos indeseados a la ciencia y la tecnología. Entre ellos, causar alienación y deshumanización, reemplazar imágenes del mundo intuitivas o apoyadas en el sentido común por representaciones fragmentarias y abstractas, originar estilos de vida artificiales y antinaturales o alterar gravemente el medioambiente (Pardo, 2001). Nótese que estos movimientos responden a una percepción del riesgo sobre los resultados de la ciencia⁴⁰.

En este contexto de crisis de legitimación de la ciencia, junto a las necesidades de financiación crecientes, es cuando se aviva el interés por los estudios sobre alfabetización científica y se impulsan las encuestas de percepción social de la ciencia, inicialmente en Europa y Estados Unidos, y que siguen vigentes a día de hoy (Bauer et al., 2007). A su estudio está dedicado el capítulo 2 de esta tesis, constituyendo el marco teórico para el presente proyecto de investigación.

iv) Ciencia y democracia

Se ha resaltado hasta el momento que la toma de decisiones en ciencia apela a valores morales, sociales y políticos, y en ese sentido la gobernanza ha adquirido protagonismo en la práctica científica. También se ha mencionado que poner el foco en las relaciones entre ciencia y política, más allá de los valores normativos, conduce a plantearse la cuestión acerca de quién toma las decisiones a la hora de establecer los objetivos de la investigación y la forma apropiada de llevarlos a cabo. Además, desde el punto de vista de la ciudadanía los desarrollos científicos generan consecuencias que no pasan desapercibidas y que producen manifestaciones públicas de opinión, como se ha señalado en el apartado anterior. Es entonces cuando la intervención política cobra especial protagonismo, en particular cuando hay riesgos de incertidumbre y el debate ya no es estrictamente científico.

En el ámbito de la filosofía de la ciencia no solo se ha debatido sobre el papel de la ciencia en la sociedad, también se han abordado otras cuestiones como la de cuál debe ser el papel de los ciudadanos en la toma de decisiones, suscitando profundas reflexiones sobre el ejercicio de la ciencia en sistemas democráticos (Kitcher, 2001; Longino, 1990). Cabe matizar que cuando se habla de democratización de la ciencia, puede entenderse en dos sentidos: bien puede hacer alusión a democratizar la práctica científica a través de la participación pública en los debates sobre ciencia y tecnología e incluso en la elaboración de la agenda política, o bien referirse a democratizar los conocimientos científicos, es decir, hacer circular la

⁴⁰ Este aspecto que se estudiará reiteradamente a través de encuestas a la población impulsadas por los gobiernos en distintos países del mundo —véase capítulo 2—.

información sobre los resultados de la ciencia. La segunda cuestión se aborda en el apartado 1.2. En el primer caso, para democratizar la práctica científica existen diversas propuestas teóricas que atañen al funcionamiento de los grupos de investigación y a la configuración de las agendas. Algunas de las preguntas que preocupan a los académicos son: ¿quién decide qué se investiga y cuántos recursos se destinan para determinado fin? ¿Cómo se debe evaluar la urgencia de los programas de investigación? ¿Qué disputas requieren de un debate público y búsqueda de consenso?

Se ha teorizado así sobre cómo debería ser la *praxis* de la ciencia en una sociedad democrática que aspire a la participación ciudadana y a aplicar los valores de justicia orientando las investigaciones hacia el bien común. Al reflexionar sobre la organización de la ciencia, concebida como parte del conocimiento público que estructura la sociedad, el influyente filósofo contemporáneo Philip Kitcher propone lo que denomina «ciencia bien ordenada»⁴¹, un ideal normativo que se articula en base a la organización de la agenda científica, la aplicación de los resultados de la investigación, el acceso público y las restricciones morales. La ciencia bien ordenada serviría de guía para el adecuado funcionamiento de las instituciones, cuyas etapas ideales serían (Kitcher, 2001): (1) la determinación de la agenda de investigación, incluyendo la asignación de los recursos públicos y privados a los proyectos en una sociedad democrática; (2) la determinación de las obligaciones morales de los actores de la ciencia y las restricciones morales a la investigación; y (3) la aplicación de los resultados de la investigación así como su diseminación en la sociedad democrática.

Por otra parte, cuando Kitcher se pregunta acerca de qué investigaciones deberían llevarse a cabo considerando el supuesto de que la ciencia debe servir a los propósitos de los ciudadanos en una sociedad democrática, resuelve que no existe un estándar absoluto para evaluar los proyectos de investigación y darles prioridad, ya sea mediante un criterio epistémico o bien uno práctico⁴², dado que ambos están relacionados con consideraciones sociales, políticas o éticas (Kitcher, 2001). Si bien es cierto que habitualmente se ha puesto el foco en la vertiente epistémica, Kitcher esgrime que esta se encuentra relacionada con la contextual a pesar de que tradicionalmente se haya defendido la idea de que existen principios internos que justifican la actividad científica al margen de consideraciones externas. Según este enfoque, apelar a ideales abstractos conllevaría el riesgo de aislar el conocimiento científico de sus aplicaciones y, por tanto, de la responsabilidad del científico en cuanto a las consecuencias de su trabajo. Sin embargo, en la sociedad democrática la ciencia no es un mero ejercicio de resolución unívoca de problemas, comporta riesgos sobre los que

⁴¹ Análogo a la sociedad bien ordenada de John Rawls. Dentro del concepto de ciencia bien ordenada está embebido el concepto de sociedad bien ordenada.

⁴² En particular, el filósofo plantea el concepto de «significatividad científica» en sus vertientes práctica y epistémica, para el que, por un lado, habría un estándar epistémico —la discusión tradicional sobre la naturaleza del conocimiento científico— y, por el otro, un estándar práctico, sensible al contexto y al desarrollo histórico y que incluiría otras cuestiones relacionadas con la práctica científica más allá de las reglas exactas de producción del conocimiento (Kitcher, 2001).

hay que decidir y su *praxis* está sujeta a valores e intereses —que además pueden derivar en fraude científico⁴³, como veremos en el siguiente apartado—.

En particular, el autor aboga por prestar atención a las preferencias colectivas de la sociedad cuando no se disponen de estándares absolutos. Existen deficiencias y desacuerdos que generan tensión entre ciencia y democracia como, por ejemplo, las controversias públicas sobre la investigación con células madre o el debate sobre el cambio climático, donde puede no haber consenso en relación con las consecuencias de la investigación. ¿En qué medida el público general debería participar en la organización de la práctica científica? Para Kitcher, debe encontrarse una base para la decisión sobre los juicios de valor en la que haya un compromiso mutuo entre la comunidad científica y la ciudadanía, promoviendo la transparencia y la democracia. Para integrar la participación de los ciudadanos al establecer los fines de la investigación, Kitcher propone un sistema que conste de un cuerpo representativo de la sociedad «bien informado» que reciba asesoramiento y pueda deliberar de forma colectiva en la toma de decisiones. Así, a través de un grupo mixto de expertos científicos y políticos que asesoren y recomienden, que discutan y valoren, las decisiones recaerían en ambos. Nótese que no se propone la participación directa de todos los ciudadanos, sino encontrar una representatividad adecuada.

Quizá la principal dificultad en el modelo propuesto por Kitcher sea que en la discusión pública el consenso es un ideal al no existir, precisamente, ese criterio de objetividad aplicable a los debates científicos complejos. Además, a veces por cuestiones de privacidad intelectual en patentes o situaciones similares no puede suplirse esa falta de acceso a la información. E incluso si fuera posible acceder a toda la información y resolver un problema exclusivamente con criterios científicos, otra de las grandes dudas que suscitaría este ideal es la de cómo asegurarse de que los participantes en el debate público han comprendido la información disponible sobre determinada cuestión.

A modo de crítica, también se ha señalado al respecto que los recursos de los que se disponen, en términos de personal, tiempo y talento son limitados (Weinberg, 1963), y que podrían haber preferencias en la selección de expertos que asesoren al colectivo ciudadano (Roth, 2003). En los modelos reales, la financiación privada tiene gran peso y se omite información crucial, mientras que algunos autores sostienen que para que funcione la propuesta de Kitcher la investigación debe sostenerse principalmente por financiación pública (Mirowski & Sent, 2002). Por otro lado, si bien los efectos de la investigación pueden superar barreras nacionales, cada país toma decisiones democráticas de formas muy diferentes que resultan en políticas también diferentes (Jasanoff, 2005). Sumado a ello, desde el punto de

⁴³ Por ejemplo, Helen Longino ha estudiado el fraude por sexismo. Tanto ella como Kitcher son autores que defienden un ideal de transparencia pública a la hora de dar a conocer los métodos empleados en el ejercicio de la ciencia a la vez que deben explicitarse los juicios y asunciones de los científicos.

vista de los investigadores, más allá de los conflictos de intereses, estos pueden mostrarse insatisfechos con los objetivos impuestos sobre sus investigaciones.

En cualquier caso, la propuesta de Kitcher pasa por la idea de que la participación del público en la ciencia dentro de un modelo de democracia deliberativa requiere de una previa distribución pública de los conocimientos. A este respecto, Kitcher señala que existe una brecha entre la adquisición de información adecuada y las decisiones en torno a un problema, por lo que resulta fundamental mejorar el acceso público y la comprensión de conocimientos científicos.

Mejorar el acceso al conocimiento público en general y a la Ciencia en particular promovería los ideales democráticos de tres maneras: al brindar a las personas mayores oportunidades de promover sus proyectos, brindándoles una comprensión más realista de lo que pueden esperar que proporcione la investigación, y dando sustancia al pensamiento de 'conocimiento puro' como algo valioso para todas las personas. (Kitcher, 2011: 317).

Sobre la posibilidad de participación ciudadana en determinar las direcciones de la investigación, destacan también las aportaciones de Helen Longino. A diferencia de Kitcher, Longino considera que las decisiones deben quedar en manos de los expertos, siendo una cuestión de debate dentro de la propia comunidad científica; además considera que si se someten a discusión pública debe ser en un sentido deliberativo (Longino, 1990). En concreto, para democratizar la práctica científica y configurar las agendas, su propuesta teórica se centra en el funcionamiento de los grupos de investigación y el modo de proceder de las comunidades científicas, las cuales:

(1) tienen que ser un *forum* reconocido públicamente para la crítica de la evidencia, de los métodos y de las suposiciones y razonamientos; (2) ser comprensivas con la crítica —la comunidad no solo tiene que tolerar la disensión, sino que sus teorías y creencias tienen que cambiar a lo largo del tiempo en respuesta a las críticas que van apareciendo; (3) tienen que tener criterios reconocidos públicamente para evaluar las teorías, las hipótesis y las prácticas observacionales [...]; (4) las comunidades se caracterizan por la igualdad en la autoría intelectual. (Cuevas, 2016: 231).

Por su parte, para entender el papel que juegan los valores, Longino también se interesa por el estudio de las situaciones de consenso y disenso. Propone que existen ciertas asunciones de base, una carga ideológica y valorativa que posee cada individuo, y que la mejor manera de filtrar cualquier tipo de asunción ideológica es poner de entrada los valores sobre la mesa. Para la autora debe establecerse una comunidad de diálogo que, a pesar de las dificultades, llegue a acuerdos; mientras que para Kitcher, en cambio, no es una cuestión de diálogo sino de respetar las preferencias de todos.

De forma similar, con el enfoque de la apropiación social del conocimiento científico, Cuevas (2008) precisa que activar el modelo participativo articulando el papel de líderes, ciudadanos,

expertos y medios de comunicación, debe hacerse por motivos tanto políticos como epistémicos y éticos. Para ello, encuentra imprescindible habilitar mecanismos de participación para que los ciudadanos aporten y mejoren sus conocimientos sobre el estado de las cuestiones científico-tecnológicas. No obstante, sobre el papel de la ciudadanía también apunta que:

No se puede en ningún caso obligar a todos los ciudadanos a participar en este tipo de actividades [comisiones de consenso]. Los habrá que prefieran mantenerse al margen y que las soluciones sean aportadas por otros. Sin embargo, si se facilitan nuevos canales de comunicación entre todos los miembros de la sociedad y se toman en cuenta las consideraciones de todos, seguramente habrá una mayor iniciativa ciudadana para colaborar en estos procesos. (Cuevas, 2008: 81).

Estas cuestiones teóricas se volverán a abordar, por un lado, en el contexto de la popularización científica desarrollado en el apartado 1.2., donde se apela a la democratización de la ciencia como una de las razones por las que se justifica el esfuerzo por comunicar la ciencia a la ciudadanía, y por el otro, en el capítulo 2, en referencia al compromiso público —o *engagement*— tratado en un extenso apartado imprescindible para consolidar el marco teórico de la presente tesis.

v) Ciencia, mala ciencia y pseudociencia

Cada vez suscitan mayor interés académico tanto la denominada «pseudociencia» —falsa ciencia que se hace pasar por verdadera— como la «mala ciencia»⁴⁴ (Goldacre, 2008) —ciencia basada en estudios defectuosos y sesgados—, las cuales producen conocimiento falso o de bajo grado de certeza. Tendríamos, por un lado, la problemática de que en la actividad científica en ocasiones se producen malas prácticas, y por el otro, el auge de disciplinas sin base científica que adoptan la terminología de la ciencia y tratan de seducir al público. En el caso de los temas biosanitarios representan un riesgo para la salud, ya que ambas prácticas pueden reemplazar o retrasar los tratamientos convencionales y por tanto ser contraproducentes a la hora de tomar decisiones bien informadas. Sobre la fiabilidad de los contenidos científicos puede resultar de interés la reflexión de John Ziman:

[...] la cuestión de la fiabilidad del conocimiento científico se ha convertido en un problema intelectual grave. Una vez desechada la ingenua doctrina de que toda ciencia es necesariamente verdadera y que todo conocimiento verdadero es necesariamente científico, nos damos cuenta de que la epistemología, —la teoría de los ‘fundamentos del conocimiento’—, no es solo una disciplina académica filosófica. En la práctica, en asuntos de vida o muerte, nuestras bases para la decisión y la acción pueden depender en algún momento de comprender qué es lo que la ciencia nos dice y hasta qué punto debemos creerlo. (Ziman, {1978} 1991: 2)

⁴⁴ Terminología popularizada por Ben Goldacre en su libro *Bad Science* (2008) y en sus columnas de *The Guardian*.

Una comprensión deficiente de la ciencia en el ciudadano medio, debida tanto a insuficiencias educativas como a la propia complejidad de la ciencia contemporánea, conduce a que, en la práctica, los límites de sus dominios sean borrosos para aquel que carece de criterios para identificarlos. En el ámbito de la comunicación de la ciencia, los medios de comunicación no acaban de cumplir la función de filtro al contribuir numerosas veces en la propagación de resultados falsos y dudosos cuando se prioriza la publicación de los estudios más novedosos y especulativos en aras del sensacionalismo periodístico (Cortiñas-Rovira, Alonso-Marcos, Pont-Sorribes, & Escribà-Sales, 2015) —véase 1.2.2.—. En general, internet ha resultado ser un potente amplificador para la propagación de las pseudociencias y de la ciencia dudosa.

En los últimos años se ha puesto el acento en que se precisan estudios más completos y rigurosos para comprender mejor sus efectos negativos sobre el pensamiento crítico, la economía y la toma de decisiones del público (Casino, 2017). Un número creciente de expertos alerta sobre esta falta de investigaciones para esclarecer cómo afectan las pseudociencias y la mala ciencia a la difusión del conocimiento científico y a las capacidades críticas, así como estudios más completos y rigurosos para conocer su impacto en los medios de comunicación y en las redes sociales (Casino, 2017).

Respecto a la pseudociencia, ya se ha adelantado que existe un problema de demarcación entre ciencia y pseudociencia que no ha sido resuelto, ante la dificultad de encontrar un criterio preciso para tal fin. De forma similar, hay filósofos que han tratado de demarcar ciencia y metafísica, siendo estos esfuerzos aplicables, para algunos, a la pseudociencia, por lo que se rescatan a veces reflexiones como la siguiente de Hume sobre la metafísica:

Quando recorremos bibliotecas, convencidos de estos principios, ¿qué estragos debemos hacer? Si tomamos en nuestra mano cualquier volumen; de teología o metafísica escolástica, por ejemplo; preguntémosnos, ¿contiene algún razonamiento abstracto referente a cantidad o número? No. ¿Contiene algún razonamiento experimental relacionado con cuestiones de hecho y existencia? No. Arrójese entonces a las llamas: porque no puede contener nada salvo sofistería e ilusión. (Hume, {1748} 1999: 211).

En efecto, la definición de pseudociencia no resulta fácil epistemológicamente, en parte al tratarse de una definición negativa: «lo que no es, aunque parezca, ciencia» (Armentia, 2002: 561), que además plantea la cuestión sobre qué o quién determina lo que es ciencia. Para algunos autores, como Paul Feyerabend y Larry Laudan, las teorías científicas serían creencias como cualquier otras, por lo que la demarcación devendría imposible. Para otros, los denominados «escépticos» (Lakatos, 1978), solo los propios practicantes de la ciencia pueden juzgar lo que es científico y lo que no; exponentes clásicos de esta corriente serían Merton, Polanyi, Kuhn y Toulmin.

Algunos pensadores han optado por una aproximación demarcacionista según la cual las pseudociencias pueden y deben ser evaluadas mediante el establecimiento de determinados

parámetros. Entre los criterios de demarcación más afamados encontramos el de «falsabilidad» propuesto por Popper —véase 1.1.1.ii— según el cual las teorías no «falsables» son pseudociencia; siendo uno de sus ejemplos preferidos el psicoanálisis de Freud, mientras que cuestiones como la predicción de Albert Einstein de la gravitación, para la cual se prepararon dos expediciones para observar sus efectos en un eclipse en 1909, la harían «falsable». Sin embargo, baste decir que una de las principales objeciones es que la pseudociencia también puede ser «falsable».

Sin ser objeto del presente trabajo detenerse en la polémica suscitada por la búsqueda de este criterio de demarcación entre los filósofos de la ciencia, resulta pertinente considerar un par de ejemplos para atisbar la problemática. Entre los distintos criterios propuestos, el siguiente estipula que una teoría o disciplina que pretende ser científica es pseudocientífica si y solo si (Thagard, 1978):

1. ha sido menos progresiva que otras teorías alternativas durante un largo período de tiempo y enfrenta muchos problemas no resueltos [siendo la progresión una cuestión del éxito de la teoría al añadir a su conjunto de hechos problemas resueltos y explicados]; pero
2. la comunidad de profesionales poco se esfuerza por desarrollar la teoría hacia las soluciones de los problemas que plantea, no muestra interés por la evaluación de la teoría en relación con otras y es selectiva al considerar las confirmaciones y las refutaciones.

(Thagard, 1978: 228)

Por otro lado, en la línea de los escépticos, es interesante la propuesta de Shermer (2011), quien aboga por una solución pragmática y defiende que:

Si una comunidad de científicos adopta de forma activa una idea, y si luego esa idea se propaga a través del campo y es incorporada en las investigaciones que producen conocimiento útil, reflejado en presentaciones, publicaciones y, especialmente, en nuevas líneas de investigación, lo más probable es que sea ciencia. [...] Dejemos que el mercado de consumidores de ciencia decida por ellos mismos qué constituye buena ciencia, empezando por el trabajo de los propios científicos, dejando que los editores, los educadores y los lectores funcionen como filtro. (Shermer, 2011; cit. en Fasce, 2018).

Para el popular filósofo Mario Bunge, no se puede acudir a un único criterio para definir algo tan complejo como la ciencia, por lo que propone ciertas condiciones que considera que un campo de conocimientos debe satisfacer para ser científico, aclarando la diferencia entre la ciencia emergente o «protociencia» y «pseudociencia» (Bunge, 2001). La protociencia sería aquella que satisface casi todos estos criterios y tiende a su total cumplimiento, mientras que la pseudociencia sería aquel campo de conocimientos no científico que es pregonado como científico —ejemplos de ello serían la parapsicología y el psicoanálisis, ambas erróneas desde

el comienzo y que no pueden considerarse ciencias fallidas—. Se trataría de una diferencia de clase y no de grado, como la existente entre ciencia y protociencia.

En síntesis, lo expuesto ofrece una idea de la dificultad en los intentos de demarcación, un problema abandonado por muchos filósofos a día de hoy al considerarlo intratable pero en el que otros persisten alegando que no hay necesidad de demoler todo el proyecto solo porque no se pueda pensar en las condiciones necesarias y suficientes para definir lo que constituye ser «ciencia». En esta línea, se ha sugerido que tal vez tampoco sea imprescindible encontrar criterios necesarios y suficientes para distinguir entre ciencia y pseudociencia, habiendo un continuo suficientemente aceptado que va desde la pseudociencia hasta la protociencia y desde la «ciencia blanda»⁴⁵ hasta la ciencia (Pigliucci, 2013)⁴⁶.

Por otra parte, se ha argumentado que la demarcación puede ser crucial, no solo por razones filosóficas que apelen a la naturaleza de la verdad y el descubrimiento, sino también por razones cívicas, ya que las sociedades emplean importantes cantidades de fondos públicos en investigación científica, y por razones éticas, ya que la pseudociencia amenaza a menudo el bienestar de las personas, a veces fatalmente como en el área de los tratamientos médicos alternativos. También para Bunge (2001) la demarcación resulta muy pertinente tanto por su componente para identificar el fraude intelectual como por la alta prevalencia social de las pseudociencias, especialmente dañinas al afectar a la calidad de vida de los individuos y al desarrollo del conocimiento, ya sea por detraer recursos públicos para investigaciones de dudosa «cientificidad» o bien por arrojar dudas sobre técnicas legítimas —por ejemplo, el descrédito de la frenología causó un gran escepticismo sobre los intentos científicos para cartografiar el cerebro mediante escáneres cerebrales—.

También se ha precisado que el peligro de la pseudociencia radica en la contaminación de nuestra capacidad, tanto individual como social, para la toma de decisiones racionales, y se han resaltado así tres dimensiones clave donde su presencia resulta particularmente problemática (Fasce, 2018): (1) la educativa, sobre la que destaca que los programas de posgrado en pseudociencias se han convertido en un fenómeno recurrente en las universidades, siendo un caso de especial relevancia el de la enseñanza del diseño inteligente; (2) la sanitaria, ámbito en el que el impacto negativo de la medicina alternativa ha sido observado reiteradamente —por ejemplo, en pacientes oncológicos (Johnson, Park, Gross, & Yu, 2017)—⁴⁷; y (3) la social, dado que la pseudociencia afecta y ha afectado históricamente a una amplia variedad de políticas públicas, poniendo como ejemplos el lisenkoísmo, puesto en práctica a gran escala en la agricultura soviética y que causó millones de muertes por

⁴⁵ Ejemplos de ciencias blandas son la sociología, la historia y la antropología, entre otras. Entre las ciencias duras, en cambio, se encuentran la física, la biología y la química.

⁴⁶ Pigliucci (2013) cita el caso del juicio de Dover, donde el juez escuchó a dos filósofos de la ciencia antes de dictaminar que el diseño inteligente no era científico.

⁴⁷ Según recientes encuestas de la Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología (FECYT), más de la mitad de los españoles confían en la homeopatía (2017), incluso la han considerado más científica que la economía (2014) (Fasce, 2018).

inanición, o las políticas eugenésicas basadas en el darwinismo social practicadas a lo largo del siglo XX en países como Estados Unidos o la Alemania nazi.

Colocando el foco sobre en el receptor, se ha resaltado que la pseudociencia se presenta al público principalmente de dos formas (Hansson, 2008); mediante la promoción de una «pseudoteoría» que se desvía de la ciencia —como ejemplos populares pueden citarse la homeopatía, la reflexología, astrología, la ufología, etc—, o mediante el negacionismo científico, que pretende luchar contra alguna teoría científica o rama de la ciencia —como ejemplos tómense el negacionismo del cambio climático, el creacionismo, el movimiento antivacunas, etc—. Ambas modalidades presentan características comunes como el rechazo hacia información que las refuta, el uso de la «falacia de prueba incompleta» —conocida como *cherry picking*—⁴⁸, la falta de voluntad para considerar el conjunto de la evidencia científica, la incapacidad para publicar en revistas especializadas y la propensión a las teorías de la conspiración. Una importante diferencia es que el negacionismo científico normalmente actúa creando falsas polémicas, es decir, afirma que existe una controversia científica donde no la hay.

Por otro lado, emerge la incógnita de por qué estas creencias irracionales proliferan en una era tan desarrollada científicamente como la actual, sobre lo que algunos sugieren que apelar a intuiciones humanas universales proporciona una ventaja significativa respecto al discurso científico, que resulta a su vez contraintuitivo y complejo, de modo que la mayor parte de la población no puede ejercer la «vigilancia epistémica» pertinente hacia el mismo (Braeckman, Boudry, & Blancke, 2017).

También se ha sugerido que para generar la apariencia de autoridad, la pseudociencia utiliza tres estrategias principales: la superioridad dialéctica, el falso apoyo externo, y la falsa superioridad moral y epistemológica (Fasce, 2018). La superioridad dialéctica se ejerce mediante la descontextualización del lenguaje científico y la «logorrea» o tendencia a la verborrea desahogada y sin sentido —véase el caso Sokal ya comentado o la apelación a lo «cuántico» de los movimientos *New Age*—. Por otro lado, el falso apoyo externo se perpetra de varios modos; en ellos mediante la creación de revistas carentes de controles, la indexación de revistas sobre pseudociencia en bases de datos científicas, la publicación de un artículo pseudocientífico en una publicación científica por un fallo en los mecanismos de revisión —por ejemplo el artículo de 1998 en *The Lancet* que relacionaba la vacuna triple vírica con el autismo, y que dio alas al movimiento actual antivacunas (The Lancet, 2010)— o simplemente mediante la exhibición de supuestas titulaciones expedidas por centros no oficiales. Por último, en cuanto a la superioridad moral y epistémica, lo que caracteriza a los practicantes de las pseudociencias —aparte de las posibles motivaciones económicas— es el victimismo, dando una imagen de honestidad respecto a sus prácticas frente a la «mediocre»

⁴⁸ Se seleccionan las certezas «a medida».

ciencia oficial y aparentando estar a mayor altura en términos éticos que los científicos, al presentarse como luchadores sociales.

Pasando ahora a la cuestión de la «mala ciencia», debe aclararse que esta puede practicarse por los científicos de varias maneras, que van desde la directa falsificación de los datos hasta la acumulación de errores y sesgos, ya sean voluntarios o involuntarios. En particular, todas estas prácticas vienen caracterizadas por una deficiente aplicación del método científico y, en consecuencia, por ofrecer resultados falsos o de baja confianza. Las causas son variadas.

Una de las motivaciones para incurrir en la mala ciencia es la propia presión de la carrera científica, para la cual la buena reputación del científico conduce a la obtención de apoyos y fondos, que a su vez depende sustancialmente de la publicación de artículos en revistas de alto impacto —un problema conocido como el «sistema publica o perece»; *publish or perish* (Neill, 2008)— y de la prioridad en los descubrimientos. Como ejemplo paradigmático puede citarse el de James Watson, co-descubridor del modelo de la doble hélice del ADN y quien admitió que Francis Crick y él «se sirvieron» de datos no publicados de Rosalind Franklin y Maurice Wilkins.

Otra motivación vendría por querer defender una determinada convicción teórica, lo que haría caer al investigador en sesgos de confirmación desechando resultados experimentales considerados adversos, y de acuerdo con ello «son numerosos los investigadores que “hacen bricolaje” con sus modelos, instrumentos o datos, escogiendo los mejores tópicos o datos. [...] Las teorías son lanzadas sobre la base de datos “arreglados” a la espera de una verdadera confirmación» (Vinck, 2015: 101). Nótese que cada caso de sesgo de la información puede originar a su vez nuevos sesgos, ya que futuros investigadores apoyaran sus investigaciones en los resultados de estudios previos sesgados.

Sobre la presente discusión, tampoco deben olvidarse los intereses económicos de los científicos. A título de ejemplo, puede citarse una investigación sobre la relación entre las fuentes de financiación y los resultados de 107 estudios clínicos publicados en seis de las revistas más importantes en biomedicina, concluyendo que el 89% de los estudios financiados por compañías farmacéuticas favorecían las nuevas terapias frente al 61% de los estudios financiados mediante otras fuentes (Davidson, 1986). Esta situación se intenta paliar mediante la exigencia de las revistas prestigiosas de una declaración de conflicto de intereses (Campanario, 1999).

En cualquier caso, recuperando el debate general, no existe consenso en la literatura académica respecto a la incidencia de las citadas malas prácticas en la investigación científica. Desde un punto de vista teórico, si bien la idea de la búsqueda de la verdad como guía suficiente para la toma de decisiones científicas ha sido ampliamente criticada (Douglas, 2009) —véase también 1.1.2.iv—, algunos expertos han sugerido que el sistema de recompensas y castigos en ciencia es suficiente para asegurar que no habrán engaños (Hull,

1988) —véase 1.1.1.iv—. Incluso en situaciones en las que los individuos carecen de motivaciones epistémicas, se ha subrayado que «la estructura de recompensas de la comunidad puede organizarse de tal manera que maximice la verdad y fomente el progreso científico» (Kitcher, 1993; cit. en Longino, 2019)⁴⁹. Para Popper:

La historia de la ciencia, como la historia de todas las ideas humanas, es una historia de sueños irresponsables, de obstinación y de error. Pero la ciencia es una de las muy pocas actividades humanas, quizás la única, en la que los errores son sistemáticamente criticados y con bastante frecuencia corregidos a tiempo. (Popper, {1962} 2003: 216).

Sin embargo, en la práctica sí que encontramos casos de fraude o de debilidades metodológicas. Por ejemplo, una investigación en la que se revisaron un conjunto numeroso de estudios en los que se preguntaba a los investigadores por la manipulación de datos, concluyó que un 1,97% de los científicos había inventado, falsificado o modificado los resultados al menos en una ocasión; otro 33,7% reconocía errores menos graves; un 14,1% decía conocer casos de falsificación de datos por parte de compañeros y un 72% había sido testigo de otros actos cuestionables (Fanelli, 2009).

En particular, en el campo de las ciencias biomédicas, ya es un clásico el texto *Why most published research findings are false* (2005) en el que se sugirió que la mitad de los resultados de la investigación en este campo eran falsos o sesgados (Ioannidis, 2005). Aunque se trataba de un artículo de opinión que recibió numerosas críticas y matizaciones al no aportar pruebas sólidas de lo afirmado, su polémica estimación desencadenó numerosos estudios sobre la calidad de la investigación. Al respecto puede consultarse una revisión en Leek (2013) —que además pone de manifiesto la crisis sobre la reproducibilidad de la ciencia moderna—.

Por su parte, en el ámbito de la psicología, también invitan a la reflexión los resultados de una investigación en la que un grupo de 270 investigadores de distintos países intentó repetir los resultados de 100 estudios relevantes en la materia, una práctica que solo resultó posible en un 39% de los casos —e incluso en ocasiones se obtuvieron resultados contrarios a los de la investigación de referencia—; y ello pese a contar con la colaboración de los propios autores de los trabajos revisados (Nosek et al., 2015). Para algunos esta crisis de reproducibilidad existente en muchos campos de la ciencia actual facilita la acción de maquillar o falsificar los datos de las investigaciones, mientras que para otros no implica falsedad, sino que se produce por factores como el alto coste de los estudios que en muchos casos impide recrearlos o el propio sistema de incentivos que favorece la búsqueda de trabajos innovadores a costa de la reproducibilidad.

A este respecto, se publicaron en *Nature* los resultados de una encuesta a 1.576 investigadores que puso de relieve que el 52% de los mismos opinaba que la ciencia vive esta crisis de reproducibilidad en un gradiente, de menos a más, desde la química, la física y la

⁴⁹ De hecho, Kitcher (1993) detecta una tensión entre la racionalidad individual de la actividad científica y la colectiva.

ingeniería hasta la biología, la medicina y otras disciplinas; aunque menos del 31% consideró que la imposibilidad de reproducir los resultados implicara que estos fueran falsos (Baker, 2016).

Relacionado con lo anterior, emerge otra cuestión ya mencionada que puede minar la credibilidad de la ciencia: el estereotipo de que la ciencia se corrige a sí misma, que no es siempre cierto. A veces, los editores de las revistas científicas no están dispuestos a reconocer los errores o lo hacen transcurrido mucho tiempo —*The Lancet* tardó 12 años en retractarse del estudio fallido que asociaba la vacuna triple vírica con el autismo (The Lancet, 2010)—. Además, en este tipo de casos debe advertirse de que aunque se publiquen correcciones y retracciones en una investigación, no garantiza que éstas trasciendan al resto de la comunidad de científicos, quienes pueden continuar citando artículos declarados erróneos.

En general, tanto en las publicaciones científicas como en los medios de comunicación de masas la visibilidad de la mala conducta en la investigación científica ha ido en aumento. Se ha alertado así de que los medios, en aras del sensacionalismo periodístico y mediante titulares categóricos, dan a la ciencia sospechosa el mismo o mayor espacio que a los descubrimientos sustantivos, generando además la impresión de que la ciencia está de alguna manera «rota» (Alberts et al., 2015).

Por último, queda resaltar que, para atenuar la incidencia de mala ciencia, en los últimos años se han multiplicado las propuestas encaminadas a poner más énfasis en aspectos como la metodología y el sistema de incentivos de los investigadores. En particular la ciencia abierta y la investigación reproducible se han convertido en objetivos generales tanto para la comunidad de investigadores como para los gobiernos, los organismos internacionales y las entidades de financiación. Por otro lado, hay quien aboga por cambiar los incentivos para que los científicos sean recompensados por publicar bien y no por publicar con frecuencia (Neill, 2008), debiéndose fomentar así la revisión cruzada y el retiro voluntario de los hallazgos por parte de los investigadores que deseen corregir errores. Además, las unidades de investigación deben mostrarse ágiles e independientes de la fuente de financiación, y tanto los resultados nulos como los resultados estadísticamente significativos deben estar disponibles para la comunidad científica (Alberts et al., 2015). En cuanto a iniciativas concretas pueden destacarse las siguientes:

- La *Office for Research Integrity* (ORI), un organismo gubernamental que funciona en Estados Unidos desde 1993 cuyo cometido es luchar contra el fraude científico y otras formas de mala conducta (U. S. Government, 1993).
- Movimientos impulsados desde la propia comunidad científica como el de la medicina basada en la evidencia, surgido en el área biomédica como un nuevo paradigma científico.

- El concepto de «investigación e innovación responsable» —*Responsible research and innovation* (RRI) (European Commission, 2014b)—, acuñado por la Comisión Europea dentro del objetivo *Science with and for society* (SWAFS) del programa *Horizon 2020* (European Commission, 2014a) —véase 2.1.2—.
- Las directrices de la *Transparency and Openness Promotion Guidelines* (TOP), promovidas en 2015 en Estados Unidos, que proporcionan una plantilla con ocho estándares⁵⁰ para mejorar la transparencia de las publicaciones de revistas científicas (Center for Open Science, 2015) y a las que se han adherido numerosas revistas e instituciones de distintos países.
- La inclusión de cursos de ética científica en los programas universitarios y de formación del personal investigador.
- Las declaraciones sobre integridad científica en la investigación.
- Las plataformas de *software* gratuitas y de código abierto como el *Open Science Frame* (OSF), para gestionar el flujo del trabajo científico y hacerlo más transparente, empleando herramientas como cuadernos de laboratorio abiertos o *software* que rastrea las versiones de cada documento y las contribuciones exactas por cada miembro del equipo.

⁵⁰ Los ocho estándares de transparencia son: (1) Citación; (2) Transparencia de los datos; (3) Transparencia de los métodos analíticos —código—; (4) Transparencia de los materiales de investigación; (5) Transparencia del diseño y el análisis; (6) Pre-registro de los estudios; (7) Pre-registro de los planes de análisis; (8) Replicación.

1.2. Comunicación de la ciencia

1.2.1. El rol de la comunicación de la ciencia

En las actuales sociedades del conocimiento, la ciencia y la tecnología modulan gran parte de la vida cotidiana de los individuos y laten en el fondo de problemas sociales como el cambio climático o la biotecnología. Para algunas personas conocer la ciencia a fondo puede ser crucial, mientras que otras la conciben combinada con otros valores y formas de saber e incluso pueden sentirse abrumadas por sus posibilidades transformadoras. Sin embargo, desde la academia se postula que la formación de una cultura científica en el ciudadano que le lleve a apreciar la ciencia, contextualizarla, comprender el método científico y desarrollar su espíritu crítico, es indispensable para su supervivencia en el mundo moderno; o desde otro punto de vista, se propugna que el desconocimiento por parte de la sociedad civil de los procedimientos científicos y técnicos pone en cuestión los fundamentos de la democracia y puede desembocar en sociedades cada vez más polarizadas, diferenciando entre los individuos que entienden, utilizan y toman decisiones en relación con la ciencia y los que no (Davies & Horst, 2016).

Las razones de la brecha entre ciencia y sociedad parecen ser múltiples. Para empezar, el propio crecimiento acelerado del sistema no ha contribuido al acercamiento entre el mundo científico y la sociedad, tanto por la constante aparición de nuevos conocimientos y aplicaciones como por la progresiva especialización y el uso de formulaciones científicas que requieren un alto grado de abstracción y que no pueden probarse experimentalmente⁵¹. También el modo de hacer ciencia ha experimentado un gran cambio a partir de la Segunda Guerra Mundial, dado que la investigación científica individual o de pequeños grupos ha sido en buena parte sustituida por la llamada *Big Science* —véase 1.1.2.i—, que debido a sus altos presupuestos y su complejidad organizativa depende sustancialmente de las políticas científicas aplicadas por gobiernos e instituciones, y pone, por tanto, en la escena pública la cuestión de cuánto se debe gastar en ciencia y qué tipo de investigaciones deben llevarse a cabo, habiendo al respecto división de opiniones. Se ha instalado, además, el temor en gran parte del público a que la ciencia genere graves amenazas para la población —en particular en campos como la biotecnología o la energía nuclear—, un hecho que invita a escuchar la voz social (Holton, 1993) y a poner en práctica el diálogo. Además, queda mencionar que la proliferación de temas esotéricos y pseudocientíficos involucra a los medios de comunicación, incluyendo tanto los tradicionales como las actuales redes sociales digitales, que favorecen la multiplicación de *fake news*, un hecho que para algunos académicos contribuye a minar el espíritu crítico de los individuos —véase 1.1.2.v—. Como nota adicional, es fácil ver que estas

⁵¹ No obstante la distancia entre la ciencia y la sociedad se va acortando en determinados sectores, como es el caso de la medicina, la biotecnología, la informática y el medioambiente, que suscitan el interés de grupos ciudadanos cada vez más amplios y a veces son objeto de debates apasionados (Casamiglia, 1997).

consideraciones ponen de manifiesto que la comunicación de la ciencia se enfrenta a un público heterogéneo —de hecho, algunos expertos abogan por utilizar el rótulo «los públicos de la ciencia» en lugar de referirse al público de la ciencia como ente genérico (Francescutti, 2014)—.

Ante este panorama, entra en juego el rol que se considera deseable que desempeñe la comunicación de la ciencia. Esta sería la encargada de realizar la labor mediadora de acercar la ciencia a una parte mayoritaria de la sociedad, de forma alternativa o bien complementaria a la educación formal. Para justificarlo, se han aducido diferentes razones por las que debería promocionarse la comunicación científica —en el apartado 1.2.3. se profundiza sobre este aspecto—, entre las que pueden citarse que debe formar parte del acervo cultural básico de cualquier persona, servir para reflejar la complejidad y especialización de la ciencia moderna, cubrir la necesidad de que los propios científicos conozcan los avances en otros campos e incluso fomentar la transparencia de la investigación financiada con dinero público (González-Alcaide, Valderrama-Zurián, & Aleixandre-Benavent, 2009).

En concreto, se sugiere que la comunicación de la ciencia, en sus dos vertientes de divulgación y periodismo científico, es la actividad que más ha contribuido a construir una imagen pública de la ciencia y de los científicos, así como a afianzar su legitimidad social y a acometer una labor propagandística en su favor (Lafuente & Elena, 1996: 55). En la presente tesis, no obstante, en menor medida también se hace alusión al término «popularización científica», mucho más genérico, que además de englobar los conceptos anteriores abarca otros formatos indirectos, como la literatura o el cine, también responsables de generar imágenes de la ciencia y de los científicos en la sociedad.

Nótese, por otra parte, que tanto el «periodismo científico» como la «divulgación científica» son dos actividades enmarcadas en el concepto más amplio de «comunicación pública de la ciencia» o simplemente de «comunicación de la ciencia», que además incluye la difusión entre expertos —una modalidad que queda fuera de los límites del presente proyecto—. En cualquier caso, debe incidirse en que no se dispone de una definición única y universalmente aceptada para estos conceptos, y de hecho ha existido cierta confusión terminológica para referirse a la práctica mediante la que se pretende la comunicación pública de la ciencia: divulgación, difusión de la ciencia, diseminación científica, popularización, vulgarización, periodismo científico... No es propósito de esta tesis precisar los matices de cada término, que además varían según el autor, en cambio, sí se abordan las cuestiones generales que participan en la construcción de la relación entre la ciencia y el público a través del nexo de unión que constituye la comunicación de la ciencia; y para el caso que nos ocupa, bastará centrarse, fundamentalmente, en el periodismo científico y la divulgación de la ciencia.

Respecto a los mismos, es claro que si bien las modalidades de divulgación y periodismo científico comparten la finalidad de hacer llegar al público lego el conocimiento científico,

difieren en los medios para hacerlo dado que el término «periodismo científico» queda reservado a la difusión de la ciencia en los medios de comunicación de masas. En todo caso, conviene precisar que la distinción entre la divulgación y el periodismo científico es reciente, ya que, si bien existía algún antecedente previo desde finales del siglo XIX, es en el período comprendido entre las dos guerras mundiales cuando surge la figura profesional del periodista científico, produciéndose su consolidación definitiva tras la Segunda Guerra Mundial (De Semir & Revuelta, 2002).

En particular, en las últimas décadas la revolución digital ha producido cambios drásticos en la práctica de la comunicación de la ciencia, tanto en lo que respecta a los medios de comunicación clásicos como a la aparición de nuevos enfoques, actores y vías, y si bien se han destacado diversas ventajas de esta revolución en el ecosistema de la ciencia —como el uso que hacen centros de investigación y universidades públicas de la web 2.0 para la divulgación de sus investigaciones y el diálogo con los ciudadanos (López-Pérez & Olvera-Lobo, 2016) e incluso el acceso de los investigadores a los repositorios digitales y la facilidad de interconexión entre ellos (Torres-Salinas, Robinson-García, & Cabezas-Clavijo, 2011)—, dicha revolución ha introducido también factores de incertidumbre, como la incógnita sobre el futuro papel de los medios clásicos en la comunicación de la ciencia y, como ya se ha señalado, las preocupaciones acerca de la amplificación producida en las redes sociales de las pseudociencias y de cuestiones científicas cuya veracidad es dudosa.

Por otra parte, en el ámbito académico hay un reconocimiento creciente de que la relación entre ciencia y público está en una fase crítica, ya que si bien los temas relacionados con la ciencia están más accesibles que nunca en los medios tradicionales y en las redes digitales, encuestas como los Eurobarómetros o los indicadores de la Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología (FECYT) en España siguen arrojando resultados que sugieren que el público muestra un interés continuo en la ciencia pero posee escasos conocimientos y que incluso los que más saben mantienen actitudes ambivalentes o negativas sobre sus consecuencias —véase capítulo 2—. Además, parece que tampoco los científicos saben mucho sobre el público (Burns, O'Connor, & Stocklmayer, 2003).

Debe aclararse, por último, que a diferencia de la educación, la comunicación de la ciencia no cuenta con el compromiso del alumno, y por tanto no hay proceso de aprendizaje sometido a evaluación. Se trata, en cambio, de un público voluntario con distintos intereses y formación, por lo que sus objetivos estarían enfocados en captar la atención y lograr la comprensión del receptor, afrontando el desafío de conservar la información veraz del discurso científico buscando la inteligibilidad pero sin caer en la trivialización. Estas cuestiones se desarrollan en los próximos apartados.

1.2.2. Rasgos distintivos

i) Comunicar la ciencia

En el ejercicio de comunicar la ciencia, resulta útil prestar especial atención al periodismo científico, en tanto que constituye una parte importante del ecosistema de la comunicación de la ciencia y además ha sido objeto de mayor controversia por las relaciones polémicas entre los profesionales de la información y los científicos, por lo que puede reflejar las principales tensiones y problemáticas que presenta la difusión del conocimiento tecnocientífico en la sociedad. De forma ilustrativa, entre otras definiciones propuestas, el periodismo científico ha sido descrito como «una fuente de enseñanza y aprendizaje que busca hacer comprensible, para un público amplio, las investigaciones científicas y tecnológicas, cuya importancia radica en que se constituye en una verdadera herramienta de alfabetización científica por su fácil acceso a grandes grupos sociales con diferentes niveles educativos» (Calvo Hernando, 2001: 18). La cuestión de la alfabetización en ciencia del público adulto se tratará extensamente en el capítulo 2.

Una consideración de suma importancia es la de Moreno-Castro (2010), quien advierte de que la ciencia que se difunde a través de los medios de comunicación social es una «construcción periodística de la ciencia» o «ciencia mediática», en la que la producción del conocimiento científico sufre un proceso selectivo en función de distintos criterios relacionados con cuestiones económicas y sociales —por ejemplo, se escogen contenidos basándose en su espectacularidad, también por intereses de anunciantes, entre otros motivos—. Resulta pertinente la distinción de la autora al identificar varios modos de difusión, incluyendo la ciencia como cultura, la ciencia como servicio, la ciencia como espectáculo, la ciencia como adorno, la ciencia como controversia y la ciencia como ficción. En particular, el discurso del periodista científico puede articularse en cualquiera de los cuatro géneros periodísticos —informativo, interpretativo, de opinión o de entretenimiento—, siendo el formato predominante el de la noticia, sobre la cual son habituales las presiones de tiempo y espacio y prima la inmediatez —véase 1.2.4.—.

Concretamente, los propósitos del discurso divulgativo de la ciencia en los medios son diversos, Alcívar (2004) los resume de forma esclarecedora en los siguientes: (1) informar sobre aquellos aspectos de los «descubrimientos científicos» y de las «innovaciones tecnológicas» que puedan resultar de utilidad a los destinatarios de la información; (2) señalar los impactos y las consecuencias positivas y negativas que la aplicación del conocimiento y el desarrollo científico y tecnológico tiene sobre la sociedad; (3) constituir un aparato crítico de la actividad tecnocientífica; (4) difundir un conjunto de reglas de conducta a seguir en determinados casos sobre la base de los conocimientos científicos y tecnológicos; y (5) entretener, recurriendo para ello a los aspectos intrínsecamente más enigmáticos de la ciencia.

Nótese que en los medios se produce una recontextualización del discurso científico a un lenguaje más simple y más rico en figuras retóricas, como la metáfora, la hipérbole, la sinécdoque, el símil o la comparación, entre otras —en el siguiente apartado se profundiza en el uso del lenguaje, en especial el metafórico—. No obstante, la cuestión de cuánto se debe simplificar el hecho científico es objeto de debates intensos, en especial entre los científicos, quienes ven a menudo imperfecciones y sensacionalismos en la traducción periodística de sus investigaciones y desapruaban a los periodistas que anteponen el titular y el gancho de la pieza informativa (Rosen, Guenther, & Froehlich, Cassany, Cortiñas, & Elduque, 2018; 2016).

Existe una discrepancia sobre la función que debe desempeñar el periodismo de ciencia, ya que para muchos científicos solo debe ser un medio para hacer accesible la ciencia al público y ofrecer una imagen positiva de la misma, mientras que un sector creciente de expertos aboga por un análisis más crítico que vaya más allá de una imagen idealizada de la ciencia considerada como una autoridad definitiva que presenta un cuerpo de conocimientos no problemático y obviando el desacuerdo dentro de la propia comunidad científica o las controversias (Wynne, 1992). La presentación de la ciencia como una ciencia de certezas y de los científicos como personas con valores superiores correspondería a un periodismo científico ejercido bajo los parámetros del llamado modelo del déficit —véase 2.1.1.ii—, según el cual el público sería un ente pasivo con vacíos en el conocimiento que pueden y deben llenarse (Durant et al., 1992); al tiempo que el conocimiento científico se describe como consolidado y definitivo, y su divulgación se concibe como un flujo unidireccional que va desde la autoridad científica, pasando por determinados mediadores, hasta los ciudadanos. Tal y como se expone ampliamente en el capítulo 2, este modelo ha recibido repetidas críticas por su supuesto carácter ideológico y gran parte de los expertos lo han dado por superado a favor del llamado modelo contextual, que pretende ofrecer una visión de la relación entre ciencia y público que incluya la dimensión social e institucional de la experiencia científica y las respuestas del público hacia ella. A este segundo enfoque respondería la actitud más crítica por parte del periodismo científico que pretende comunicar aspectos de la ciencia sujetos a controversia e incertidumbre.

El comunicador debería, según este enfoque, transmitir al público que «la ciencia entraña también escepticismo, teorías provisionales, preguntas sin respuestas, y no trata del significado de la vida» (Turney, 2006: 27). En esa línea, se dice que «el periodismo científico debe estar encaminado a que los ciudadanos entiendan los problemas tecnocientíficos que les afectan con la menor ambigüedad posible y, por tanto, informar al público sobre los riesgos de dependencia tecnológica» (Moreno-Castro, 1999: 99). En general, Turney (2006) señala que todas las narraciones sobre ciencia expresan una opinión acerca del estado del conocimiento científico oscilando entre la ciencia como descubrimiento —que apela a la imagen del científico como buscador heroico de la verdad— y la ciencia como construcción —ese edificio levantado por el ser humano que es histórico, no atemporal—. Y precisamente, la «ciencia de oráculo», aquella que pretende ofrecer las mejores respuestas a cualquier

pregunta sobre la vida o el universo, es la que puede resultar decepcionante para el lector. En este contexto, el periodismo científico cumple la importante función social de reelaborar en clave periodística conocimientos científicos que presentan, a menudo, un alto grado de complejidad y abstracción conceptual y metodológica (Cassany et al., 2018), aunque no siempre alcanza la expectativas esperadas.

Frente al bombardeo de noticias científicas en los medios, centradas en la búsqueda de la novedad y cuyas exigencias de audiencia las impulsan a veces hacia el sensacionalismo y hacia un tratamiento superficial de los temas, la divulgación pura tiende más hacia la ponderación y el matiz, selecciona contenidos más trascendentes, ofrece mayor profundidad en los temas y propone posturas más críticas. En contrapartida, también exige del lector un mayor esfuerzo intelectual y, a veces, un cierto nivel de formación previo. De igual forma que el periodismo científico, la divulgación de la ciencia implica labores de contextualización y de traducción para recrear la ciencia ante los legos, siendo también su principal dificultad la de conciliar interés con rigor. La información no solo versa sobre los contenidos de la ciencia, sus efectos sociales o su financiación, también sobre su naturaleza y su forma de practicarse, sin olvidar los enfoques biográficos o históricos como la «crónica social» sobre los investigadores y las comunidades científicas. A título ilustrativo, en la Tabla 1 se recogen los rasgos distintivos de la divulgación y del periodismo científico. Conviene efectuar, no obstante, algunas aclaraciones a continuación.

	Periodismo científico	Divulgación
Agentes	Periodistas científicos	Múltiples: Científicos, periodistas, historiadores, sociólogos de la ciencia, filósofos.
Canales	Medios de comunicación de masas: prensa escrita y digital, radio, televisión	Múltiples: Suplementos en prensa, revistas especializadas, programas de radio y televisión, Internet, libros, documentales, museos, planetarios, conferencias...
Contenidos	Descubrimientos científicos e innovaciones tecnológicas Ciencia como institución social Generalmente con un componente de actualidad	Muy amplios: El conjunto de conocimientos científicos, la naturaleza, de la ciencia, su forma de practicarse, sus efectos sociales o su financiación, sin olvidar los enfoques biográficos o históricos.
Lenguaje	Reformulación discursiva	Reformulación discursiva
Discurso	Dentro de los géneros periodísticos. Con predominio del formato noticia Labores de contextualización más o menos amplias según el formato Recursos de apoyo audiovisual en televisión y medios digitales	Labores de contextualización para otorgar al profano una perspectiva lo suficientemente amplia. Empleo de elementos narrativos Otros recursos de apoyo: material audiovisual, apelación al humor...

Direccionalidad de la comunicación	Unidireccional —del periodista al público— en los medios tradicionales Con cierto grado de interactividad (comentarios) en los medios digitales.	Unidireccional y asimétrica —del divulgador al público— en el modelo del déficit. Bidireccional en el modelo contextual.
Estrategias de comunicación	Sujetas a presiones de tiempo y espacio	No sujetas a las presiones de tiempo y espacio que afectan al periodismo científico.
Público	Heterogéneo e indiferenciado	Diverso: desde científicos de otros campos a legos por lo que cabe diferenciarlos y hacer divulgación a distintos niveles. Con interés por la ciencia. Toma la iniciativa para demandar la información en situaciones de percepción de riesgos —reales o imaginarios—.
Fuentes	Agencias de prensa, departamentos de comunicación de los centros de investigación, revistas científicas, entrevistas con actores de la ciencia, nuevos medios	Libros, manuales, nuevos medios (blogs, redes sociales, etc)

Tabla 1. Rasgos distintivos del periodismo científico y de la divulgación de la ciencia.
Elaboración propia.

En cuanto a los contenidos, se ha sugerido que al definir el objetivo de la divulgación — también aplicable al periodismo—, se sustituya la idea de comunicar conocimiento por la de compartir la cultura científica a los efectos de incluir no solo los descubrimientos científicos sino también sus aspectos filosóficos, políticos, sociales e incluso las historias personales; sin ignorar que «los hechos científicos que se difunden a través de los medios de comunicación forman parte del acervo cultural de una sociedad» (Moreno-Castro, 2010: 110). Además, se afirma que «la discusión social sobre ciencia es vital para cualquier cultura moderna, y es de gran importancia identificar las condiciones cambiantes en que se produce esta discusión sobre ciencia en diferentes contextos. Claramente, los periodistas científicos juegan un papel fundamental» (Bauer, Howard, Romo Ramos, Massarani, & Amorim, 2013: 1) —por su parte, también aplicable a la divulgación—. Otras cuestiones debatidas son las de cuánta ciencia y qué tipo de ciencia debe transmitirse al público (Popli, 1999), habiendo sobre ello división de opiniones.

Respecto al vehículo de transmisión, desde el campo de la teoría de la información se advierte de que la elección de un canal no es neutral, de modo que cada uno alberga un público potencial al que alcanzar y permite transmitir los contenidos de formas distintas. Por ejemplo, para Moreno-Castro (2010), la radio sería más idónea para fines divulgativos que la televisión, por su menor coste y porque pueden abarcarse temas más abstractos no limitados por el componente visual. Por su parte, LaFollette (2013) precisa sobre el formato que, aunque la ciencia sea de vital importancia en el mundo real, no ha dominado el contenido de

los medios de comunicación, y que en su momento la televisión impuso un filtro para la ciencia de forma que los científicos debieron competir por la atención de la audiencia en los términos establecidos por los transmisores: mirar directamente a la cámara y mantener la explicación técnica breve y «al grano». En este sentido las formas de comunicar la ciencia se adaptan a requisitos impuestos por las estrategias propias de la comunicación, que son ajenas a la esencia de la ciencia:

La necesidad de atraer la mayor audiencia posible empujó a la versión de la ciencia de la televisión, ya sea destinada a la educación o a la ficción, aún más hacia el sensacionalismo, la política, las celebridades y la representación y lejos de la discusión de ideas, lejos de lo real, lejos de la atención al pensamiento y al razonamiento que hay detrás de las conclusiones y recomendaciones científicas. (LaFollette, 2013: 229).

ii) El lenguaje de la comunicación científica

Ya se ha comentado que el lenguaje divulgativo supone una «traducción» o reformulación discursiva que se vale de distintos recursos expresivos. En sí mismo, el lenguaje especializado de la ciencia encierra un alto grado de abstracción y con frecuencia utiliza sistemas formales de representación como las matemáticas, siendo estas cualidades las que lo diferencian y hacen valioso como herramienta de comunicación entre expertos, precisamente las mismas que lo hacen prácticamente ininteligible para el público lego. Por su parte, la comunicación la ciencia pretende trasladar «al lenguaje de todos lo que ha sido concebido y elaborado en el lenguaje de unos pocos» (Calvo Hernando, 1992: 19).

Para superar esta dificultad, la comunicación de la ciencia emplea su propia retórica, que no puede ser sin más la de la ciencia ya que, como se ha señalado, tiene como objetivo llegar a un público amplio, voluntario y con distintos grados de interés y bagaje cultural. El comunicador realiza una reformulación discursiva tratando de transformar el lenguaje técnico de la ciencia en un texto asequible para amplias audiencias, tarea que no consiste en adaptar o resumir la información sino en reelaborarla realizando un esfuerzo creativo en el que el dominio del idioma y de sus recursos expresivos suponen herramientas fundamentales. Si bien la información que transmite no es nunca original, sí debe serlo el modo en que la presenta y recrea. Desde la perspectiva del análisis del discurso, el lenguaje pasa a ser el común, sujeto a todas las características de ambigüedad y polisemia propias del mismo, y en este sentido se convierte «en una entidad abierta y heterogénea, con posibilidad de asociar su contenido con temas de la vida en general y de combinarse con imágenes, fotografías, dibujos, infografías, ilustraciones o cuadros» (Calsamiglia, 1997: 12).

En este sentido, el problema que supone la pérdida de información del discurso original puede relativizarse si se asume que la función del comunicador no equivale a la de un educador civil que aspira a formar al público de forma paralela o alternativa a las instituciones educativas. Así, concebir esta clase de comunicación como una mera tarea de traducción de

textos científicos a un lenguaje común resultaría insuficiente, al tiempo que dejaría fuera de escena los rasgos culturales que emergen cuando la ciencia entra en contacto con la sociedad en su conjunto y contribuyen a configurar las imágenes de la ciencia (Montañés, 2011).

También conviene advertir que la tarea de la comunicar la ciencia, al recontextualizar un conocimiento previamente construido por los científicos, genera un discurso que no debe compararse con los «parámetros de objetividad» que la propia ciencia emplea para producir resultados fiables, porque incorpora nuevas estructuras narrativas y recursos retóricos que, si bien no son ajenos al discurso científico, cubren un amplio espectro de formas literarias presentes en novelas, imaginarios colectivos y mitos (Alcíbar, 2004). En particular, se emplean recursos expresivos como las comparaciones, las metáforas y las metonimias, así como una sintaxis no sujeta al orden canónico neutral, con uso de interrogaciones, admiraciones y cambios en el orden de las palabras que enfatizan y focalizan el interés.

De entre todos los recursos al alcance del divulgador, la metáfora —y en menor medida el símil y la comparación— constituye una poderosa herramienta creativa. Aporta un punto de fantasía que redundante en un sentimiento de placer para el receptor, crea cierta sensación de intimidad entre las dos partes de la comunicación —emisor y receptor— y construye conocimiento al entablar relaciones entre los conceptos nuevos y los ya conocidos (Cortiñas Rovira, 2008; Liakopoulos, 2002). Cabe señalar, no obstante, que la propia retórica de la ciencia también incluye tales recursos; por ejemplo, la metáfora del «Big Bang» —que hace alusión al estallido primigenio que dio comienzo al universo— se acuñó en un programa de divulgación de la *BBC* radio, propuesta en tono desdeñoso por Fred Hoyle.

De hecho, si se revisa la historia de la ciencia aparecen multitud de imágenes basadas en metáforas. Se ha lexicalizado, por ejemplo, la metáfora del agujero negro propuesta por el físico John Wheeler en 1969, incorporándose a la terminología científica en el campo de la astrofísica y facilitado la creación de nuevas imágenes, por ejemplo en torno a la noción de «agujero de gusano». Otros ejemplos son la concepción del universo como un artefacto de relojería por parte de los científicos de los siglos XVII y XVIII, imaginar la electricidad como un fluido al hablar de «corriente» eléctrica, tratar el ADN con términos propios de la teoría de la información tales como «código» o «información genética», describir el cerebro humano como un procesador de información o hablar de Internet como una autopista de la información, por citar algunos. Así, aunque los propios textos científicos se caracterizan por la precisión, la ausencia de ambigüedad y la literalidad de su lenguaje, la utilización de metáforas es común tanto en el lenguaje divulgativo como en el científico (De Bustos, 2000).

En particular, desde el ámbito de la lingüística cognitiva se ha reconocido la función de la metáfora en la adquisición de conocimientos científicos, e incluso algunos teóricos van más allá de reconocer sus funciones heurísticas o didácticas y sostienen que el sistema conceptual humano tiene un carácter esencialmente metafórico y que son estos conceptos metafóricos

los que organizan nuestra percepción, nuestro comportamiento y nuestras relaciones con los demás (Lakoff & Johnson, 1987). En este sentido, una metáfora no sería simplemente una palabra, una expresión o incluso una oración, sino algo difuso que da lugar a una red de asociaciones y referencias, y en consecuencia lo metafórico estaría presente en la ciencia a través de una variedad de formas, como pueden ser los modelos, las analogías o las situaciones concretas que sirven de inspiración o iluminación a los científicos (Montuschi, 2000). En relación con ello resulta notorio que, en el campo de la neurociencia, experimentos con escáneres cerebrales han demostrado que metáforas como «voz de terciopelo» activan nuestra corteza sensorial, mientras que si se refieren al movimiento, como en la frase «lanzó la pelota», es nuestra corteza motora la que se activa.

Por otra parte, para integrar una información dada en la estructura cognitiva previa del sujeto que aprende, debe contextualizarse. Sobre la función cognoscitiva de la narrativa, desde el campo de la psicología contemporánea se ha sugerido que el aprendizaje se produce, en gran medida, mediante símiles, por asociación y comparación con experiencias anteriores, siendo que conceptos y estructuras de pensamiento previas condicionan la comprensión del mundo en que vivimos. En concreto, se han propuesto dos modalidades de pensamiento o funcionamiento cognitivo: la paradigmática y la narrativa (Bruner, 1988, 1990). La modalidad paradigmática o lógico-científica intenta establecer un sistema matemático formal de descripción y explicación; se ocupa de causas generales, está dirigida por hipótesis, emplea la categorización y su lenguaje se rige por requisitos de coherencia y no contradicción. Con ella resolvemos la mayoría de los problemas prácticos de la vida diaria. La modalidad narrativa, en cambio, se ocupa de las intenciones y acciones humanas y consiste contar historias —a uno mismo o a otros— mediante las cuales vamos construyendo un significado que hace que nuestras experiencias adquieran sentido. Con ella, las historias se registran en la memoria y cuentan con un significado emocional y motivacional.

En el caso de las ideas científicas, debe resaltarse que con frecuencia expresan fenómenos contraintuitivos o nuevos tipos de entidades que van más allá de los sentidos⁵², por lo que tanto los recursos retóricos como una estructura textual en la que predomine la narración se consideran fundamentales.

Por último, queda advertir que el lenguaje utilizado en las teorías científicas exitosas termina imponiéndose con el tiempo en el vocabulario convencional, al pasar a formar parte del conocimiento común a través de procesos de divulgación científica.

⁵² Turney (2006) indaga en esas dificultades conceptuales: «¿Qué tipo de cosas son entidades científicamente definidas (átomos o genes) que nadie puede ver? ¿Qué significa imaginar la gravedad como una distorsión del espacio-tiempo alrededor de un objeto sólido? ¿Cuáles son las partículas virtuales, los túneles de electrones, los estados evolutivamente estables o los enlaces de hidrógeno? Y si queremos saber sobre cualquiera de estas cosas, ¿cómo reconocemos una buena explicación cuando la vemos?» (Turney, 2006: 28).

1.2.3. Razones aducidas para la popularización de la ciencia

Son varios los motivos que respaldan la idea de que dar a conocer la ciencia a la sociedad es algo favorable. En términos generales, los beneficios de que la sociedad comprenda la ciencia pueden agruparse, según Thomas y Durant (1987), en las siguientes nueve categorías: «para la ciencia, las economías nacionales, la influencia y el poder nacional, los individuos, el gobierno democrático, la sociedad en su totalidad, beneficios intelectuales, estéticos, y morales» (Montañés, 2011: 200-201).

Concretando, por su parte (Ziman, 2003) defiende que además de los beneficios instrumentales, debemos a la ciencia numerosos beneficios públicos intangibles sin los que nuestra cultura contemporánea se hundiría en el oscurantismo y la tiranía.

Por encima de todo, la vida humana resultaría insufriblemente gris sin las maravillas desenterradas por la curiosidad científica. Los fascinantes descubrimientos de la cosmología, la física de partículas, la tectónica de placas, el comportamiento animal, la ciencia cognitiva, etc., no son meros lujos culturales que sólo pueden ser apreciados por los cognoscenti. A largo plazo, son ampliamente difundidos y se tornan parte de la conciencia colectiva, de la mentalidad de nuestra civilización. El utilitarismo no deja lugar a semejantes frivolidades, pero todos sabemos, en el fondo de nuestros corazones, que éstos son bienes intangibles que nos proporcionan tanto sustento como el alimento y la bebida. (Ziman, 2003: 11).

En consonancia con ello, es común el razonamiento de que todo ser humano debería ser partícipe en mayor o menor grado de las respuestas ofrecidas por la ciencia y de su empeño por conocer el mundo, y que negar a una persona el conocimiento científico supondría privarla de una de las mayores fuentes de enriquecimiento intelectual. Además, la conciencia científica actual propia de la sociedad se caracteriza por considerar temas de preocupación pública relacionados con la salud, las fuentes de energía o el cambio climático, que como se ha señalado, en última instancia influyen decisiones científicas que afectan al futuro de los ciudadanos y que además conducen al desarrollo de razonamientos morales. Respecto a lo último, se ha destacado que:

Los ciudadanos que no son capaces de razonar moralmente estarán muy poco equipados para pensar acerca de diferentes panoramas de futuro. En este sentido, no puede haber una población con sentido común científico que no tenga sentido común moral, y no puede haber un discurso democrático que no sea también un discurso moral (Prewitt, 1997: 62).

En síntesis, puede hablarse así de los beneficios intelectuales y morales que comportaría una buena comprensión pública de la ciencia.

Por otra parte, se reivindica el derecho legítimo del ciudadano a recibir información significativa sobre cómo se gestionan los impuestos que aporta a su sistema político, y se

alerta de que no debe ignorarse la circunstancia de que la investigación es financiada en gran parte por dinero público, lo que exigiría una política de transparencia. Se esgrime así que la comunicación de la ciencia debe convertirse en garante de la democracia en la medida de sus posibilidades, y de acuerdo con ello el desconocimiento por parte de la sociedad civil de los procedimientos científicos y técnicos pondría en cuestión los propios fundamentos de la democracia.

Estas consideraciones, sumadas al citado hecho de que los resultados de la ciencia y la tecnología tienen consecuencias directas en su día a día, son las que conducen a la idea repetida a lo largo de este texto de que la ciudadanía potencialmente intervenga en los procesos para la toma de decisiones y pueda manifestar sus preferencias a la hora de financiar proyectos⁵³ —véase 1.1.2.iv—; planteamiento que a su vez exige la formación del público lego con el fin proporcionarle los elementos de juicio suficientes que le permitan participar en la configuración de políticas científicas y en los debates con posturas controvertidas (Montañés, 2011). Es aquí donde entraría en juego, junto a la educación formal, la importancia de la comunicación de la ciencia. Nótese que este escenario, por otro lado, entraña la dificultad de asegurarse de que el ciudadano que participa en las decisiones realmente comprende la ciencia y por tanto sea capaz de evaluarla con los menores sesgos posibles.

Por estas cuestiones, se entiende que la popularización científica reportaría beneficios para el fortalecimiento de los gobiernos democráticos, además de que «una información científica rigurosa, comprensible y de calidad es, además, un indicador del desarrollo social» (Cassany et al., 2018: 9). En particular, también se ha señalado que la economía nacional se vería beneficiada en una sociedad en la que los ciudadanos comprendan que el desarrollo científico y tecnológico es un factor de primer orden para situar a su país en la vanguardia económica (Ziman, 2003). Ante este panorama, las instituciones públicas buscan cada vez más el compromiso del investigador con la difusión pública de los resultados de sus investigaciones, en especial si están adscritos a una universidad pública o a un centro de investigación financiado con dinero público al considerar que deben rendir cuentas acerca de su actividad investigadora.

Adicionalmente, otro de los argumentos clave más extendidos en defensa de la divulgación de los conocimientos científicos es que la ciencia obtiene beneficios a consecuencia del fomento de vocaciones entre los jóvenes. A ello se añade el hecho de que los propios científicos se sirven de la popularización para renovar, ampliar, y actualizar sus conocimientos sobre áreas distintas de las suyas, o de su misma área pero de distinta especialización. Nótese que la

⁵³ Sobre ello, Ares (2010) plantea el dilema de que, como demócrata, si bien es la ciudadanía la que paga sus impuestos y por tanto resulta razonable que escoja las direcciones de la investigación, como investigador está convencido de que la mayor parte de los grandes descubrimientos nunca se habrían subvencionado si hubieran dependido del voto de los ciudadanos, eso sí, siendo la causa principal el desconocimiento de las ideas básicas de la ciencia, el funcionamiento de la misma y saber diferenciar lo que es ciencia de lo que no lo es.

complejidad y la elevada especialización de la ciencia moderna implica la necesidad de que los propios científicos conozcan los avances en otros campos del saber para fomentar la fertilización cruzada entre disciplinas, uno de los motores más potentes de la innovación.

A modo de resumen, resultan claros los argumentos esgrimidos por Alcívar (2017), quien además sostiene que la divulgación interviene de una forma nada despreciable en los procesos de producción del conocimiento científico, hasta el punto de considerarla una parte sustancial del *continuum* que es la práctica científica⁵⁴.

1. Permite que el ciudadano comprenda y aprecie la naturaleza y el funcionamiento del pensamiento científico, así como los resultados de la investigación, de tal forma que su cultura científica se incremente y, con ello, se mejore su capacidad para tomar decisiones más fundamentadas y críticas.
2. Ayuda activamente —en bastante mayor proporción que el discurso estrictamente especializado— a promover las vocaciones científicas y técnicas. Para que el sistema I+D perviva es imprescindible la renovación continua de sus recursos humanos. La capacidad para atraer la atención, indagar en los límites y misterios de la ciencia y la tecnología, estimular la imaginación y el gusto por la aventura o explorar los beneficios sociales que reporta la investigación, hacen de la divulgación científica un formato idóneo para despertar vocaciones. [...]
3. Favorece el que posibles inversores en I+D y gestores de la política científica admitan la necesidad de financiar determinadas líneas de investigación, puesto que con formatos divulgativos se les pueden presentar tanto los fundamentos científico-técnicos como los previsibles beneficios económicos de la investigación. Los empresarios y los políticos son agentes tecnocientíficos no expertos que, sin embargo, acaparan poder para tomar decisiones que afectan al destino de la investigación. [...]
4. Contribuye de forma decisiva a delimitar la ciencia de los escarceos de naturaleza pseudocientífica. [...]
5. Favorece la fertilización cruzada entre disciplinas. [...]
6. Desempeña un relevante papel cuando es necesario definir y delimitar nuevos nichos de investigación, aún no explotados, como es el caso de la nanotecnología. [...]
7. Contribuye a explorar ideas heterodoxas que de otra manera no verían la luz. Por ejemplo, hay científicos, sobre todo séniors y anglosajones, que escriben libros divulgativos para expresar ideas que de otra manera no podrían publicar por ser especulaciones o poner en entredicho algún paradigma dominante [...].

(Alcívar, 2017)

⁵⁴ La idea de que se trata de un *continuum* ha sido ampliamente desarrollada por Hilgartner (1990).

Recapitulando, las razones aducidas para la popularización de la ciencia son de diversa índole, esencialmente: para comprender el gran influjo en nuestras vidas cotidianas que tienen la ciencia y la tecnología; por los beneficios intelectuales, estéticos y morales; para fomentar vocaciones entre los jóvenes; para situar a un país en la vanguardia económica; por su labor propagandística —por ejemplo, para atraer a posibles inversores en I+D y gestores de la política científica—; porque la investigación es financiada en gran parte por dinero público, lo que exige una política de transparencia; para que los propios científicos conozcan los avances en otros campos del saber —renueven, amplíen y actualicen sus conocimientos, favoreciendo también la fertilización cruzada entre disciplinas—; para construir una imagen pública de la ciencia y de los científicos, así como a afianzar su legitimidad social; porque el acceso a la información facilita la posterior participación del público en la toma de decisiones; y en general, porque contribuye a la democracia. A fin de cuentas, las actitudes públicas hacia la ciencia dependen del papel social que se le atribuya, una cuestión íntimamente relacionada con la comunicación de la ciencia. Se dice además que en la moderna «sociedad de la información» el conocimiento es poder (Ziman, 2003):

[...] los diversos grupos que forman hoy la sociedad civil tienen una acuciante necesidad de conocimiento imparcial, fidedigno y científicamente contrastado en una amplia variedad de materias muy técnicas, conocimiento que sólo puede provenir de personas e instituciones razonablemente independientes del control del Estado y las empresas. (Ziman, 2003: 16).

1.2.4. Condicionantes actuales del periodismo científico

Desde las últimas décadas del siglo XX, la ciencia ha perdido protagonismo en los medios de comunicación de masas. Respecto a la prensa escrita, multitud suplementos de ciencia van desapareciendo y otros reducen su contenido científico a temas fundamentalmente relacionados con la salud, la alimentación y la medicina, al tiempo que aumenta, por un lado, la publicación de teorías y consejos pseudocientíficos, y por el otro, la cobertura de las noticias sobre errores científicos, abusos de competencias y actuaciones deshonestas (Franklin, 1998).

Es por ello que numerosos estudios académicos hacen referencia a una crisis del periodismo científico en los medios (Amend & Secko, 2012; Bauer et al., 2013). Como factores decisivos, se han destacado el impacto de las tecnologías digitales sobre el mundo de la comunicación —véase el siguiente apartado— y los efectos de la crisis económica de 2008 que produjo una precarización de la profesión concretada en la disminución de plantillas y en el despido de profesionales consolidados siendo en muchos casos sustituidos por becarios y/o profesionales sin experiencia (Bauer et al., 2013)

Esta crisis de los medios, junto con las características del actual desempeño de la práctica científica, hacen que este tipo de periodismo se desarrolle sujeto a determinados

condicionantes. En primer lugar, destacan las crecientes presiones de tiempo y espacio que sufren las noticias de ciencia y la creciente cantidad de información que llega a los medios remitida por las fuentes primarias, circunstancia que provoca una «angustia de la información» (García Agustín, 2012) que perjudica el análisis y la contextualización de la noticia científica y favorece un sesgo a favor de la «noticiabilidad». Como consecuencia los medios difunden, en no pocas ocasiones, informaciones sobre supuestos avances espectaculares que luego resultan fallidos (Alcíbar, 2004) y que pueden distorsionar la formación de la opinión pública sobre cuestiones de ciencia.

La situación anterior se agrava por la utilización de las mismas fuentes genéricas por parte de la mayoría de medios de comunicación; agencias de información y comunicados de prensa de revistas científicas que ofrecen los contenidos ya tamizados y filtrados, entrañando el peligro de convertir a los periodistas en meros portavoces. En relación con ello, se ha sugerido que la deficiente formación de muchos profesionales deriva en una incapacidad para discriminar la credibilidad de otras fuentes, así como para hacer inteligible la información científica a sus audiencias (García Agustín, 2012). De acuerdo con ello, en un informe en el que se investiga sobre las condiciones y prácticas de trabajo, ética profesional y expectativas futuras de la profesión, Bauer et al. (2013) aportan el dato de que solo entre un 20% y un 25% de un total de casi mil periodistas científicos encuestados goza de una formación académica que combina conocimientos de comunicación y de ciencia. Sobre esto, hay quien rompe una lanza en favor de los «buenos» profesionales de la información y declara que: «los verdaderos héroes son los informadores que poseen suficientes conocimientos científicos y que saben escribir con amenidad y claridad suficientes para describir con eficacia al público en general los temas científicos» (Paulos, 1996).

Otro factor a considerar que condiciona el ejercicio de la comunicación de la ciencia es el actual sistema de embargo, consistente en el envío de comunicados de prensa sobre nuevos descubrimientos a periodistas acreditados por parte de las revistas científicas que pronto aparecerán en ellas, a condición de que no se difundan hasta el momento de su publicación. Este sistema ha recibido numerosas críticas por parte de los analistas de la comunicación científica por considerar que reprime el periodismo competitivo y reemplaza el escrutinio periodístico externo por el propio proceso interno, a veces defectuoso, de la revisión por pares en la ciencia (De Semir, 2011). En este sentido, se ha llegado a calificar como un sistema de «esposas de terciopelo», aduciendo que es contrario al interés público ya que aparta a los periodistas de la investigación y desvía la atención hacia una ciencia que puede ser dudosa (Kiernan, 2006).

Por otro lado, también se ha manifestado la preocupación de que usualmente cuando se incluyen puntos de vista distintos en las noticias de ciencias, el enfoque sea claramente

polarizador (Mellor & Webster, 2017)⁵⁵. Esta falta de equilibrio conduciría a una imagen de la ciencia como sinónimo de verdad incontestable, contribuyendo a las expectativas públicas poco realistas de que la ciencia pueda proporcionar respuestas definitivas a problemas complejos. En el otro extremo, cuando la ciencia se presenta como una cuestión de opinión, se le negaría su capacidad de proporcionar una base de conocimiento sólido respaldado por datos confiables.

Por último, cabe señalar que a menudo los temas de ciencia trascienden el puro interés científico y alcanzan una repercusión económica, política y social importante, sobre todo en el campo de las ciencias biomédicas o medioambientales. Por ello, en los últimos años han cobrado importancia las consideraciones éticas relativas al medio de comunicación, y se ha señalado que por sus necesidades de financiación pueda llegar a tomar partido por un punto de vista particular por la influencia de los anunciantes o favorecer los temas sobre los que el público se muestra más interesado, comprometiendo la calidad de la labor periodística y poniendo en entredicho su función social. En particular, el propio periodista puede verse influido por las campañas de marketing de las corporaciones. Por ejemplo, muchas empresas farmacéuticas proporcionan a los profesionales carpetas de información sobre la próxima aprobación de un medicamento incluyendo resúmenes de prensa con un enfoque ya predeterminado, lo que comprometería su imparcialidad. Otro aspecto ya mencionado que involucra cuestiones éticas es la creciente visibilidad en los medios de la mala conducta en la investigación científica por su corte sensacionalista (Alberts et al., 2015).

1.2.5. Nuevos retos en la era digital

Sin duda, el fenómeno más influyente en el ejercicio de la comunicación en las sociedades modernas es el desarrollo de Internet, que ha supuesto un crecimiento exponencial de la comunicación online que facilita el acceso instantáneo a la información así como el intercambio de ideas entre usuarios⁵⁶. El sistema para gestionar la información, la *World Wide Web*⁵⁷, que hoy se identifica con Internet, junto con los avances en computación y la drástica reducción de costes de los ordenadores, ha transformado nuestra cultura material en otra organizada en torno a las tecnologías de la información (Castells, 2001). Estas tecnologías han manejado la información de forma más simétrica e interactiva, al tiempo que han posibilitado la segmentación de las audiencias según sus intereses —es decir, la obtención de información «a medida» del consumidor—, permitiendo la formación de comunidades virtuales centradas en temas específicos a través de redes sociales como Twitter, Youtube o Facebook, y eliminando intermediarios entre los productores de la información y sus receptores (López-Pérez & Olvera-Lobo, 2019; Weigold & Treise, 2004) —véase capítulo 3—.

⁵⁵ Aquí subyace la idea de que el público se siente atraído por historias dramáticas y sin ambigüedades por lo que la controversia polarizada tendría más impacto que tratar de comunicar la incertidumbre.

⁵⁶ En este contexto, se emplea con frecuencia el término «usuarios» en vez de «público».

⁵⁷ Desarrollada en el CERN.

En lo que se refiere a la difusión de la actividad científica, sucede que, si bien los medios convencionales siguen desempeñando un papel decisivo, hoy en día deben reinventarse en su versión digital además de competir con la abundante información digital de carácter gratuito emitida tanto por la propia comunidad científica como por una diversidad de agentes comunicadores que mantienen blogs, webs, canales de videos científicos y otros espacios virtuales con fines similares. Por su parte, estos agentes tienen la ventaja de poder profundizar en los contenidos y no verse necesariamente constreñidos por criterios de actualidad en la selección de la información, aunque requieren un grado de implicación mayor por parte del receptor y, a veces, cierto bagaje científico o tecnológico previo. Los datos estadísticos de acceso de los espacios virtuales mejor posicionados indican un interés creciente por estas formas de divulgación en determinados estratos de la población, especialmente entre adolescentes y adultos jóvenes. A título de ejemplo, puede citarse el perfil divulgador del astrofísico Neil de Grasse Tyson, con más de 13 millones de seguidores en Twitter en el año 2020, o a nivel español, el éxito del canal de divulgación de la ciencia *QuantumFracture* con 2,15 millones de suscriptores, también en 2020.

Si bien diversos estudios han avalado que, ante la duda en torno a un tema científico, la mayoría de la población busca la respuesta en la red (Nielsen & Schrøder, 2014), debe aclararse que todavía hoy los medios online más utilizados por el público general son los sitios web de los medios de comunicación convencionales, mientras que los visitantes de sitios especializados parecen limitarse a un tipo de público «entusiasta de la ciencia», y también a aquellos comprometidos con una causa científica concreta (Ranger & Bultitude, 2016; Riesch & Mendel, 2014).

En particular, las repercusiones de la comunicación digital y de la eclosión de las redes sociales, son de diversa índole. Por ejemplo, la radio se ha visto revitalizada por las nuevas tecnologías, que han permitido la radiodifusión digital con una audiencia que puede ser mundial, una mayor participación del oyente por las características propias del entorno digital —comentarios, foros, etc— y una desvinculación de la tiranía de los horarios con la aparición de los podcast —como ejemplo de éxito puede citarse el programa *Star Talk* de Neil deGrasse Tyson—. Sin embargo, respecto a las noticias y secciones de ciencia en la prensa —tanto impresa como online—, esta ha sufrido una pérdida de peso y contenido en las secciones de ciencia, y la precarización de la profesión se ha visto agudizada por la transición digital, que ha supuesto un cambio en los modelos de negocio de las empresas periodísticas.

Como aspectos no tan positivos de la comunicación de la ciencia en el entorno digital —véase 2.3.2.ii—, Bucchi (2013) alerta de que el modo en que se altera el proceso de comunicación conduce a que la calidad de la información no pueda garantizarse del mismo modo que en la comunicación tradicional. La red constituye, en este sentido, un potente amplificador para los defensores de cualquier idea, incluidas las que son deliberadamente falsas, lo que contribuye al crecimiento de la desconfianza entre los expertos y el público lego (Lafuente, 2006).

También se ha destacado, por otra parte, que la capacidad de los medios online para involucrar al público en conversaciones científicas puede ser limitada y que la red exagera la polarización sobre temas controvertidos, pudiendo un pequeño número de comentarios agresivos afectar la forma en que la audiencia sopesa ciertas afirmaciones científicas (Anderson, Brossard, Scheufele, Xenos, & Ladwig, 2013).

Además, la necesidad creciente de atraer audiencias —y con ellas financiación— ha llevado a los medios a favorecer la difusión de determinados temas de ciencia por ser más controvertidos o por su espectacularidad. Es lo que Schäfer (2009) ha llamado la «mediatización de la noticia», es decir, el hecho de que ciertos temas gocen de una cobertura mayor y más pluralizada en términos de actores —en el sentido de que no son únicamente los científicos quienes aparecen en los medios para tratar asuntos de ciencia—. Paralelamente, Ovejero (2001) señala la posibilidad de que también se hayan convertido en un escenario de disputas académicas ante la opinión pública para batallar por los recursos que reclama la ciencia moderna.

Por otra parte, las instituciones tratan de hacer participar a los laicos en el gobierno de la ciencia y en la producción de conocimiento, ya sea por razones normativas e instrumentales o como herramienta para aumentar el apoyo público a la ciencia bajo el pretexto de mejorar la democracia (Peters, 2013). Así, el movimiento de *Public Engagement* originado en el Reino Unido propugna la comunicación directa y el diálogo entre científicos y miembros del público —aspecto que se examina ampliamente en 2.1.2.—, y buena parte de los científicos se sienten atraídos hacia este requerido compromiso social. Respecto a ello, puede matizarse que las motivaciones de los científicos son variadas; algunos persiguen un mayor control sobre la información sin interferencias de mediadores, mientras que otros consideran que el dialogo directo es más efectivo para instruir o persuadir al público.

Por último, debe señalarse que existen grandes dificultades en la tarea de medir el impacto de la comunicación de la ciencia —«Queda por medir el impacto de la popularización de la ciencia tanto en los hombres como en las mujeres, ya sea comercial o ideológicamente, ya sea como educación o como entretenimiento» (Cooter & Pumfrey, 1994: 237)—. A través de los medios tradicionales como prensa, museos, televisión o eventos puntuales, se puede estimar una idea general de su éxito, por ejemplo, midiendo la audiencia cuando se emite un documental, el número de visitas a un museo o el volumen de ventas de determinados libros. En los entornos virtuales, se empiezan a poner en práctica nuevos indicadores, como las consultas y comentarios en un blog o el impacto de la información científica en espacios públicos como Twitter. A esta labor se dedica la parte original del presente proyecto de investigación.

Previamente, es necesario abordar en el próximo capítulo la manera en que efectúan las mediciones sobre el impacto de la ciencia en la sociedad, tradicionalmente llevadas a cabo

mediante encuestas poblacionales en las que se ha trata de medir el interés por la ciencia del ciudadano medio, así como sus actitudes hacia la misma. Estas cuestiones pueden enmarcarse dentro de los llamados estudios de percepción social de la ciencia, que proporcionarán a esta tesis el marco teórico apropiado para poder interpretar el impacto de la difusión de la ciencia al público general en circunstancias concretas de investigación y en relación con determinados parámetros —véanse los capítulos 3 y 4—.

PARTE II — MARCO TEÓRICO: PERCEPCIÓN SOCIAL DE LA CIENCIA

Capítulo 2:

ESTUDIOS DE PERCEPCIÓN SOCIAL DE LA CIENCIA

2.1 De la percepción social de la ciencia a la cultura científica

El avance progresivo del conocimiento científico y tecnológico, de acuerdo con lo expuesto en el capítulo previo, ha pasado a convertirse en un factor cultural dominante desde el arranque de la modernidad, y en este sentido la ciencia ha constituido uno de los elementos centrales que sostienen nuestro complejo modo de vida. Las iniciativas para llevar a cabo los estudios de percepción social de la ciencia giran en torno a la idea de que existe una brecha entre ciencia y sociedad que debe acortarse, plasmada por el filósofo John Dewey¹ en un artículo en el que fomentó la «actitud científica» (Dewey, 1934) y fue detonante en Estados Unidos las primeras encuestas entre algunos docentes para medir conocimientos de ciencia y del método científico en alumnos de diferentes niveles educativos, realizando sondeos de carácter local (Miller, 1983).

Por otro lado, a lo largo del siglo pasado la ciencia ha atravesado un proceso de deslegitimación, tanto por la toma de conciencia del público acerca de sus peligros a partir de la era atómica como por la influencia de corrientes intelectuales como el ecologismo o el postmodernismo. También las crecientes necesidades de financiación que ha requerido la práctica científica moderna, en equipo y con grandes instalaciones, ha propiciado que una parte del público ponga en cuestión el gasto en ciencia.

En este contexto se impulsan por medio de encuestas a los ciudadanos, inicialmente en el ámbito anglosajón, los estudios de alfabetización científica auspiciados por los poderes públicos, en gran parte con el fin de justificar las inversiones gubernamentales en ciencia. Estas iniciativas tienen además la pretensión de definir qué se entiende por una persona alfabetizada científicamente, y se sustentan bajo la premisa de que una mayor alfabetización

¹ Recuérdese que los motivos que aduce Dewey (1934) para explicar ese incremento en la brecha entre ciencia y sociedad son:

- La profesión científica precisa de cierta reclusión física y mental por parte del científico.
- La dinámica de la investigación científica requiere de cierto grado de especialización.
- El lenguaje científico, inaccesible para el gran público, es imprescindible para el desarrollo de la investigación científica.

conduce a un mayor grado de aprobación de la actividad científica, una idea posteriormente cuestionada con análisis más minuciosos a partir de los datos de los sondeos.

En este capítulo se pretende, en primer lugar, revisar las principales formulaciones teóricas surgidas en torno a la investigación académica sobre las relaciones entre ciencia y sociedad que avalan la elaboración de encuestas de percepción social de la ciencia. En segundo lugar, se exponen los estudios empíricos más significativos que se corresponden con estos supuestos teóricos, para posteriormente señalar su limitada utilidad en el nuevo modo de organización social que constituye la actual sociedad de la información, tanto por el diseño conceptual en torno a las mediciones como por los instrumentos empleados y por la debilidad de las premisas de partida. Como resultado, se pone el acento en las posibilidades de análisis que ofrece la emergencia de las redes sociales como prolíficas fuentes de datos, que permiten su explotación masiva y a bajo coste, aspecto que cristaliza en el capítulo 3 con la propuesta de una nueva herramienta metodológica, ya no basada en encuestas sino en mediciones automatizadas de grandes conjuntos de datos.

Esta propuesta está a su vez embebida dentro del marco que proporciona el modelo teórico más moderno que da cuenta de las relaciones que se consideran deseables entre ciencia y ciudadanía, también detallado en este capítulo, denominado comúnmente con el término en inglés *engagement* —entendido en el ámbito de estudio como «participación», «compromiso» y/o «involucramiento»— en ciencia, que supera la idea de la alfabetización científica y apuesta por involucrar a los distintos agentes sociales —políticos, científicos y ciudadanos— en el diálogo sobre ciencia. Se amplía asimismo la pretensión de medición al concepto más amplio de «cultura científica», en el que se incluye la dimensión social combinando medidas objetivas de indicadores de ciencia y tecnología —por ejemplo, el rendimiento científico de un país— con los indicadores subjetivos de percepción social de la ciencia, siendo conveniente también considerar en los análisis rasgos contextuales de la comprensión pública de la ciencia en distintas sociedades y localizados en distintos momentos del tiempo.

2.1.1 Estudios sobre ciencia y sociedad: presupuestos teóricos

El interés por los estudios de percepción social de la ciencia se aviva en el ámbito anglosajón en el mencionado contexto de crisis de legitimación de la ciencia —y expuesto ampliamente en el capítulo 1— junto a las citadas necesidades de financiación crecientes para el ejercicio de la ciencia moderna. Entre la literatura especializada existe consenso en situar el origen de estos estudios con el documento *The Public Impact of Science in the Media* (1958), también denominado informe Davis; un análisis que recoge los resultados de las encuestas a la

población estadounidense llevadas a cabo en el año 1957² y que es considerado el documento fundacional que inspira los sondeos posteriores.

De acuerdo con los principales estudios empíricos de este tipo —examinados en la segunda parte del presente capítulo— puede extraerse que, a grandes rasgos, sus objetivos formales consisten en la estimación de: (1) el grado de *interés* del público por la ciencia; (2) las *fuentes* y modos de adquisición de la información; (3) el *conocimiento* de la ciencia —tanto de contenidos como de método, y en etapas posteriores de los estudios también sobre su funcionamiento institucional—; y (4) las *actitudes* o predisposiciones ante la ciencia, incluyendo tanto expectativas como reservas.

Para entender los propósitos de las mediciones, antes resulta imprescindible referirse a los presupuestos teóricos que sustentan el diseño de las preguntas, así como su evolución conceptual a lo largo del tiempo, dado que a partir de ellos se interpreta la naturaleza y el tipo de resultados obtenidos. A ello está dedicada la primera parte de este capítulo. En cambio, la discusión sobre el diseño de las encuestas y las principales interpretaciones de los datos se abordará en la segunda.

Ya desde sus inicios, las premisas implícitas en estos estudios giran en torno a una serie de principios que estructuran las encuestas siendo su principal preocupación la estimación del grado de consentimiento del público con la ciencia bajo el supuesto central, posteriormente cuestionado, de que las actitudes favorables hacia la ciencia dependen del grado de conocimiento en la siguiente dirección: a mayor conocimiento científico, mayor aprecio por la ciencia. Se parte así de una concepción en la que se otorga la máxima importancia a cuantificar la alfabetización científica (Montañés, 2011).

Si bien a partir de 1970 estos estudios se sistematizan, la reflexión teórica sobre los mismos no se produce hasta la década de 1980, cuando alcanzan un carácter multidisciplinar que engloba, además de iniciativas para mejorar la alfabetización científica de la ciudadanía, estudios de percepción, de comprensión y de participación pública en la ciencia. Considérese que en la presente tesis se emplea el rótulo «estudios de percepción social de la ciencia» para referirse a todas las variantes de los estudios sobre ciencia y sociedad que exploran al público mediante una aproximación empírica.

De forma específica, en la literatura especializada las iniciativas de los estudios empíricos se enmarcan en tres paradigmas teóricos bien diferenciados en el tiempo, denominados: (1) *Scientific literacy* (SL) o «Alfabetización Científica» (1960-1985) (2) *Public Understanding of Science* (PUS) o «Comprensión Pública de la Ciencia» (1985-mediados de los años 90); y (3) *Science & Society* o «Ciencia en Sociedad» (desde mediados de los años 90 en adelante)

² Como nota de interés, un acontecimiento que pudo ser determinante para impulsar estos estudios en Estados Unidos fue la puesta en órbita del Sputnik el 4 de octubre de ese mismo año por la Unión Soviética, que trajo consigo un apoyo público a la ciencia surgido en respuesta al lanzamiento soviético (Laugksch, 2000).

(Bauer et al., 2007)³. Estos modelos cristalizarán a su vez en un nuevo enfoque que se abrirá camino en las agendas políticas de las sociedades occidentales adquiriendo mayor protagonismo en el siglo presente, el llamado *Engagement in Science* —a menudo se utiliza el propio término en inglés, *engagement*, en la literatura en castellano—, con el énfasis puesto, por un lado, en la participación del público en la ciencia, y por el otro, en el compromiso de la comunidad científica y de las instituciones hacia los ciudadanos.

Para ofrecer a continuación una visión de conjunto de los constructos teóricos que son definitorios de los distintos paradigmas —concebidos a su vez en base a ciertas las estrategias planteadas desde los poderes públicos que, como veremos, responden a diferentes preocupaciones—, es preciso detenerse antes en otros aspectos que resultan esenciales para su comprensión; en primer lugar, el problema de la nomenclatura, ya que la falta de consenso entre la literatura especializada supone un plus de complejidad para el estudio del campo; y en segundo lugar, los dos modelos teóricos que trazan las relaciones entre ciencia y ciudadanía y que subyacen a los paradigmas: el «modelo del déficit cognitivo», asociado a los dos primeros, y el «modelo contextual», que puede asociarse al tercer paradigma y a las teorías del *engagement* derivadas con posterioridad.

i) El problema de la conceptualización de la «alfabetización científica»

Existe una extraordinaria complejidad en los intentos de conceptualización del campo de estudio de la percepción social de la ciencia, sobre todo si se amplía la perspectiva, más allá de establecer pautas para medir meros conocimientos, y se trata de incluir en la discusión la realidad social y cognitiva de los individuos. Las conceptualizaciones comienzan en torno a la etiqueta inicial de «alfabetización científica», utilizada desde la década de 1930 en Estados Unidos. A partir de entonces se han propuesto numerosas definiciones para el término a lo largo del tiempo, hasta el punto de que, en un volumen recopilatorio publicado por la UNESCO en 1994, se llegan a recoger cerca de 200 definiciones (Laspra, 2015; Layton, Jenkins, & Donnelly, 1994)⁴.

Por ejemplo, una definición ilustrativa de la *American Association for the Advancement of Science* (AAAS) propone que «una persona alfabetizada científicamente tiene que ser capaz de leer artículos de periódicos sobre ciencia, discutir sobre temas científicos actuales, documentarse por sí misma y leer e interpretar gráficos» (AAAS, 1986)⁵. Cabe destacar que la definición abarca, más allá de poseer conocimientos sobre ciencia, saber manejarlos, relacionarlos y vertebrar un pensamiento crítico; lo que denotaría un esquema mental con cierta sofisticación capaz de establecer relaciones complejas empleando conocimientos

³ Huelga decir que no siempre resulta sencillo determinar con precisión algunas de las fronteras que separan unas líneas de investigación de otras, debido, en buena medida, a los solapamientos que se producen entre ellas.

⁴ El documento citado es *Scientific and Technological Literacy. Meanings and Rationales* (1994).

⁵ Esta definición se formula dentro del marco del Project 2061, cuyo objetivo es, desde 1985, la alfabetización de la población estadounidense en ciencia, matemáticas y tecnología a través de mecanismos educativos.

científicos. En general, las distintas aproximaciones teóricas han tratado de responder a la siguiente pregunta: ¿cuándo puede considerarse una persona alfabetizada científicamente? Antes de abordarla, como apunte crucial debe resaltarse que la noción de «alfabetización científica» puede ser determinante para el diseño de los programas educativos, la comunicación pública de la ciencia y la elaboración de políticas científicas. En este sentido la promoción de la alfabetización científica ha sido justificada en base a ciertos propósitos como fomentar la apreciación por la ciencia entre la ciudadanía, el apoyo y la participación (Shamos, 1995).

La definición de referencia en la literatura especializada para determinar lo que se considera un ciudadano científicamente alfabetizado fue enunciada en los años 80 por el politólogo y sociólogo Jon Miller, principal responsable durante veinte años desde 1979 de diseñar y monitorizar las encuestas para los estudios de comprensión y actitudes hacia la ciencia en los *Science Indicators* de Estados Unidos. Para concebirla, prestó atención a los cuestionarios que se habían llevado a cabo hasta entonces y determinó tres requisitos para definir al individuo alfabetizado científicamente, sumados a un cuarto que fue añadido posteriormente, según los cuales debe poseer: (1) conocimiento de los hechos básicos sobre la ciencia contenidos en los libros de texto; (2) comprensión de los métodos científicos, incluyendo el diseño experimental y el razonamiento probabilístico; (3) apreciación de los resultados positivos de la ciencia y la tecnología; y (4) rechazo de creencias supersticiosas como la astrología o la numerología (Bauer et al., 2007: 80-81; Miller, 1983; 1998). Estas cuatro consideraciones fundamentarían los indicadores de los cuestionarios periódicos, patentes tanto en los estadounidenses de la *National Science Foundation* (NSF) como en los Eurobarómetros de la Comisión Europea.

Es importante incidir en que las reflexiones teóricas propuestas por diferentes autores exhiben una preocupación que va más allá de la mera posesión de conocimientos sobre los productos intelectuales de la ciencia, en tanto que consideran otros aspectos como la apreciación por el desarrollo científico o la percepción de los riesgos asociados a los resultados científicos.

Si bien una descripción detallada de las distintas definiciones propuestas para caracterizar al individuo científicamente alfabetizado queda fuera de los propósitos de esta revisión descriptiva de conceptos útiles, en la Tabla 2 se recogen algunas de las más citadas en la literatura de referencia y que pueden resultar orientativas a efectos prácticos de esta tesis, dado que proporcionan las claves teóricas que subyacen a los estudios de percepción social de la ciencia. Cabe señalar que algunas aportaciones han sido enunciadas desde el ámbito de la educación y otras desde la percepción social de la ciencia y campos análogos.

Referencia	Caracterización del individuo científicamente alfabetizado
Pella, O'hearn, & Gale (1966)	Comprensión de (1) los conceptos básicos de la ciencia, (2) la naturaleza de la ciencia, (3) la ética que controla al científico en su trabajo, (4) las interrelaciones de la ciencia y la sociedad, (5) las interrelaciones de la ciencia y las humanidades, (6) las diferencias entre la ciencia y la tecnología.
Shen (1975)	Alfabetización científica práctica. Alfabetización científica cívica. Alfabetización científica cultural.
Gabel (1976)	Organización del conocimiento. Procesos intelectuales. Valores y ética. Proceso y consulta. Esfuerzo humano. Interacción de ciencia y tecnología. Interacción de ciencia y sociedad. Interacción de ciencia y tecnología y sociedad. Dimensión cognitiva: Conocimiento. Comprensión. Aplicación. Análisis. Síntesis. Evaluación. Dimensión afectiva: Valoración. Comportamiento. Promoción.
Miller (1983)	Comprensión de las normas de la ciencia. Conocimiento de los principales constructos de la ciencia. Conciencia del impacto de la ciencia y la tecnología en la sociedad.
Thomas & Durant (1987)	Mezcla de conocimientos, habilidades y actitudes. Capacidad para (1) tratar eficazmente los asuntos científicos a medida que surgen en el curso de la vida, (2) hacer frente a la ciencia de una manera que es a la vez respetuosa con la experiencia legítima de los científicos y cautelosa con sus muchas faltas y debilidades, (3) reconocer la ciencia por lo que es y, por lo tanto, hacer juicios perspicaces sobre su relevancia personal y social.
AAAS (1989)	Familiaridad con el mundo natural y respeto a su unidad. Conciencia de algunas de las formas importantes en que las matemáticas, la tecnología y las ciencias dependen unas de otras, sabiendo que son empresas humanas y que tienen implicaciones sobre sus fortalezas y limitaciones. Comprender algunos de los conceptos y principios clave de la ciencia. Tener capacidad para pensar científicamente. Ser capaz de utilizar el conocimiento científico y las formas de pensar con fines personales y sociales.
Shamos (1995)	Alfabetización científica cultural. Alfabetización científica funcional. Alfabetización científica real (no alcanzable por toda la población).
Bybee (1997)	Concebida como un <i>continuum</i> : Alfabetización (1) nominal (asociación de vocabulario); (2) funcional (lectura y la escritura de artículos); (3) conceptual y procedimental (comprensión de la disciplina científica y los procedimientos para producir conocimiento); y (4) multidimensional (sus relaciones con la sociedad).
Miller (1998)	Alfabetización científica cívica Vocabulario de constructos de la ciencia básicos suficiente para leer puntos de vista opuestos en un periódico o revista. Comprensión del proceso o naturaleza de la investigación científica. Comprensión del impacto de la ciencia y la tecnología en los individuos y en la sociedad.

Tabla 2. Relación de definiciones de *Scientific Literacy*, adaptada de Laspra (2014: 105-107).

En una primera aproximación a las diferentes propuestas para definir a una persona científicamente alfabetizada que se muestran en la Tabla 2, puede extraerse que las ideas contenidas en el conjunto de definiciones incluyen, además de la comprensión de los conceptos y principios básicos de la ciencia, una dimensión funcional para evaluar y valorar la ciencia que permita efectuar juicios sobre su relevancia personal o social en la vida diaria y que facilite al individuo entender puntos de vista opuestos sobre cuestiones científicas. Asimismo se deviene que el individuo alfabetizado debe concebir el ejercicio de la ciencia como una actividad que es fruto del esfuerzo humano, y que además responde a ciertas normas y ética de los científicos. La persona científicamente alfabetizada también sería respetuosa con la experiencia legítima de los científicos a la vez que consciente de sus limitaciones y debilidades, con conciencia sobre el impacto de la ciencia y la tecnología en la sociedad, siendo este último aspecto esencial para poder debatir sobre las agendas de investigación (AAAS, 1986; Bybee, 1997; Gabel, 1976; J. Miller, 1983, 1998; Pella, O'hearn, & Gale, 1966; Shamos, 1995; Shen, 1975; Thomas & Durant, 1987).

Entre las conceptualizaciones de los autores se distinguen distintos tipos de alfabetización, revistiendo especial interés la propuesta por Shen (1975), porque además de resultar un buen punto de partida para evaluar la comprensión pública de la ciencia (Miller, 2014) la mayoría de los esfuerzos subsiguientes básicamente han replanteado o ampliado estas categorías (Lewenstein, 1995). El autor propone los siguientes tres tipos: (1) la alfabetización científica práctica, centrada en el rol del consumidor y entendida como la habilidad para elegir entre opciones en vistas a mejorar el nivel de vida que involucran cuestiones de salud, trabajo y consumo —ya sea de alimentos, medicinas o productos tecnológicos como ordenadores—⁶; (2) la alfabetización científica cívica, centrada en el rol del ciudadano y que estipula el nivel de comprensión necesario para entender y participar en debates de políticas públicas que involucren aspectos de la ciencia y la tecnología basándose en la evidencia científica disponible, en especial los que son objeto de controversia; y (3) la alfabetización científica cultural, considerando la comprensión de la ciencia como un aspecto de la cultura humana, impulsada por la curiosidad y relacionada con otras formas de conocimiento. Respecto al último tipo, Shamos (1995) defiende que la ciencia debe enseñarse por un imperativo cultural, no solo por el contenido, siendo además la tecnología un imperativo práctico, por ejemplo para cuestiones como la salud y la seguridad.

De los tres tipos propuestos, el que más atención ha recibido entre los académicos es el de carácter cívico o político, sobre el que Shen aclara que:

El objetivo de la alfabetización científica cívica es precisamente permitir que el ciudadano se vuelva más consciente de la ciencia y de las cuestiones relacionadas con la ciencia, de modo que él y sus representantes no duden en hacer uso de su sentido común para abordar tales cuestiones y participar así más plenamente en los procesos democráticos

⁶ Una lista de otras referencias a la de carácter práctico o a otras variantes puede consultarse en Durant (1993).

de una sociedad cada vez más tecnológica. No basta con dejar las decisiones sobre cuestiones relacionadas con la ciencia en manos de expertos si no es por otra razón que la de que los expertos no sean elegidos popularmente. (Shen, 1975: 48).

En particular, Miller centra su trabajo en la definición y medición de este segundo tipo, el de carácter cívico, al considerarlo indispensable para un modelo de toma de decisiones colectivas en sistemas democráticos. Propone a su vez una definición que se mantiene vigente en las encuestas hasta la actualidad, para la que concibe la alfabetización cívica como un constructo de tres dimensiones que incluye: (1) un vocabulario básico de términos y conceptos científicos; (2) la comprensión de los procesos o de las bases empíricas de la ciencia; y (3) algún grado de conciencia del impacto de la ciencia y la tecnología sobre los individuos y la sociedad (Miller, 1998: 205). El autor ya había enfatizado previamente que «para que la alfabetización científica se vuelva verdaderamente relevante para nuestra situación contemporánea, debe añadirse una dimensión adicional: la conciencia de las repercusiones de la ciencia y la tecnología en la sociedad y las opciones políticas que inevitablemente deben emerger» (Miller, 1983: 31), se debe así prestar atención en los estudios a la percepción del impacto que la ciencia y la tecnología tienen en la sociedad. Aquí cabe detenerse en una consideración clave que comparte con otros autores del campo, la advertencia de que «Una fuerte creencia en los beneficios de la ciencia y la tecnología no significa que los individuos no tengan reservas sobre el impacto de la ciencia y la tecnología» (Miller, 2004: 286), idea que acabarán reforzando los resultados de las encuestas.

Sumado a ello, las reflexiones de Miller en la última década han dado un giro que contempla el marco de la sociedad digital, en la que el ciudadano está expuesto a torrentes de información, por lo que la alfabetización científica debe, además, «ser conceptualizada como la adquisición de un conjunto de constructos —o herramientas— que permiten a un individuo comprender y dar sentido a la nueva información científica» (Miller, 2014), es decir, saber discriminar e integrar nueva información. Este enfoque tendría especial utilidad a la hora de orientar tanto el aprendizaje formal que ofrecen los educadores de distintos niveles, como el informal, llevado a cabo por comunicadores de la ciencia o a través de otras vías como centros de ciencia o museos.

Por otro lado, pretender que la totalidad de la población alcance lo que Shamos (1995) denomina «alfabetización científica verdadera» —un escenario en el que todos los individuos posean altos conocimientos técnicos— es un objetivo irreal que el propio autor admite. En ello coinciden Thomas y Durant, quienes tampoco creen posible una sociedad completamente formada por científicos expertos, pero consideran, como el resto de académicos, que alcanzar cierto nivel mínimo es indispensable para la toma de decisiones en las sociedades democráticas (Thomas & Durant, 1987).

Esto invita a preguntarse cuál debe ser el «nivel mínimo de alfabetización científica», una cuestión que puede responderse en base a la definición aportada en cada caso, es decir, una

vez establecidos los criterios para conceptualizar la alfabetización científica por cada autor. Por ejemplo, Shen (1975) sitúa ese mínimo en la capacidad de comprender lo esencial al leer artículos en prensa con contenido científico e incluso que contengan argumentos en torno a controversias científicas, mientras que Miller (1983), por su parte, añade además la capacidad de evaluar tales argumentos.

En consonancia con ello, también resulta relevante la propuesta de Laugksch (2000) de incluir una categoría en la propia definición de alfabetización científica referida a la capacidad de funcionar mínimamente en sociedad, como consumidores y ciudadanos. Tratando de agrupar las distintas interpretaciones del concepto de alfabetización científica, este autor sugiere una clasificación basada en tres acepciones del término «alfabetizado»: (1) alfabetizado como educado —en el sentido clásico de la persona que ha sido instruida—; (2) alfabetizado como competente —con un grado de conocimiento suficiente aunque no lo domine—; y (3) alfabetizado como capaz de funcionar mínimamente en la sociedad —o, dicho de otro modo, con el nivel mínimo aceptable de conocimiento y de habilidades requeridas para funcionar de acuerdo con el conjunto de roles de cierta sociedad (Miller, 1998)—. En la Tabla 3 se presenta otra compilación de autores en la que se destacan estas acepciones una vez distinguida la naturaleza del conocimiento que implica cada definición en las diversas propuestas (Laugksch, 2000).

Autor	Educado	Competente	Funcional
Snow (1962)	X		
Shen (1975)			
Alfabetización científica práctica			X
Alfabetización científica cívica			X
Alfabetización científica cultural	X		
Branscomb's (1981) categories	X		X
Miller (1983)			X
Arons (1983)	X		
Hirsch (1987)		X	
AAAS (1989)		X	X
Hazen & Trefil (1991)		X	
Shamos (1995)			
Alfabetización científica cultural		X	
Alfabetización científica funcional		X	

Alfabetización científica real	X
Layton et al. (1986, 1993)	X

Tabla 3. Acepciones de la alfabetización científica. Adaptación de Laugksch (2000: 82). La tercera categoría se refiere a ser capaz de funcionar mínimamente como consumidores y ciudadanos.

Queda señalar que, introduciendo aún mayor complejidad en la cuestión de la nomenclatura, algunos autores como Roberts (2007) distinguen entre «alfabetización científica» —*scientific literacy*—, que se referiría a cuestiones de contenidos y método orientados a la educación, y «alfabetización en ciencia» —*science literacy*—, que presentaría ese carácter cívico descrito, incluyendo una conciencia de impacto. No obstante, para el grueso de autores de referencia, esta distinción no es relevante. En cualquier caso, para el lector interesado, una revisión exhaustiva del concepto de alfabetización científica que abarca este tipo de matices puede encontrarse en Laugksch (2000), donde el autor concluye que:

[...] detrás del término engañosamente simple de alfabetización científica hay una serie de diferentes —a menudo tácitas— suposiciones, interpretaciones, concepciones y perspectivas de lo que significa el término, lo que debería lograr la introducción del concepto y cómo se constituye. Por lo tanto, no es sorprendente que el concepto de alfabetización científica se considere a menudo como difuso, mal definido y difícil de medir. (Laugksch, 2000: 90).

ii) El modelo del déficit cognitivo

Desde el punto de vista histórico, es a partir de mediados del siglo XVIII cuando científicos y filósofos asignan al público un papel subordinado y pasivo frente a la autoridad de los expertos, a la vez que se produce el tránsito desde la etapa de la ciencia *amateur* a la ciencia moderna, esta última segmentada en especialidades y con un creciente volumen de conocimientos —véase capítulo 1—. Este rol que sitúa al público como colectivo ignorante, seguirá vigente en adelante y servirá de pilar para sustentar el «modelo del déficit cognitivo», cuando ya en el siglo XX se manifiesta una necesidad por educar en ciencia a la población que es competencia del Estado y a consecuencia se ponen en marcha estrategias de alfabetización científica —en especial a partir del informe Davis (1958), en el que se detectó a mediados de siglo un bajo nivel de alfabetización científica en la población estadounidense—.

El concepto de déficit en este contexto hace referencia a una carencia de información en el público, entendido a su vez como un ente pasivo con vacíos en el conocimiento que pueden y deben llenarse (Durant et al., 1992). El conocimiento científico fluye así de manera unidireccional, desde la autoridad científica hasta los ciudadanos, pasando por determinados mediadores como la prensa o los educadores. Estos mediadores asumen el papel de traductores de los aspectos técnicos de la ciencia a un lenguaje más sencillo y accesible,

relegando a segundo plano el contexto social de la ciencia. Conviene matizar que el conocimiento científico se concibe aquí como algo consolidado y definitivo, centrado esencialmente en la transmisión de los contenidos formales y, en menor medida, de los métodos y procesos de la ciencia (Montañés, 2011). Además, se asume que «al carecer de una comprensión adecuada de los hechos relevantes, las personas recurren a creencias místicas y temores irracionales de lo desconocido» (Sturgis & Allum, 2004: 57).

Sustentado sobre la idea de que la ignorancia científica de la ciudadanía es contraproducente, el modelo del déficit cognitivo se formula en la segunda mitad del siglo XX para dar cuenta de las políticas de promoción de la ciencia y constituye la propuesta clásica empleada por los poderes públicos para poner en marcha estrategias de alfabetización científica en aras de beneficiar a la comunidad científica y a las instituciones, tanto en términos de financiación como de apoyo público a la investigación —que se relacionan íntimamente entre sí—.

Nótese que en el fundamento del modelo está la presunción de que la falta de apoyo simbólico y material que manifiesta el público hacia la ciencia se debe a sus carencias educativas. Estas cuestiones abren un intenso debate que involucra una discusión central en el ámbito de estudio acerca de cómo se explican las actitudes de los ciudadanos hacia la actividad científica.

El supuesto central del modelo canónico de percepciones de la ciencia ha sido la existencia de un déficit cognitivo (o bajo nivel de “scientific literacy”) y la postulación de que esa es la variable explicativa principal, cuando no única, de las valoraciones y actitudes (críticas) ante la ciencia. Respecto a la caracterización de las actitudes todo lo que importaba era medir su valencia (positiva, negativa o ambivalente), en conexión con el nivel de conocimiento científico. (Pardo, 2014: 43).

Se gesta así la idea de que llenar ese vacío de conocimientos científicos conducirá a una visión más positiva del desarrollo científico. Si uno acepta como hipótesis el modelo del déficit, «la implicación obvia para la política científica es que las campañas de información pública deben ser instigadas para remediar el desencanto del público con la ciencia» (Sturgis & Allum, 2004: 57), porque, de hecho, se ha sugerido que tras el modelo está la pretensión de que los científicos deben alimentar al público lego con los hechos científicos para que luego ese público «apoyara silenciosamente a la ciencia» (Bodmer, 2010: 157). Puesto que tanto las élites decisoras como la comunidad científica han coincidido en que una sociedad avanzada necesita de una población científicamente informada (Pardo, 2014), si se admite además que este escenario conduce a una visión positiva de la ciencia, el modelo del déficit sirve para justificar los objetivos políticos de fomento de la ciencia, orientados tanto para ganarse el favor del público como para generar vocaciones y promover el empleo de nuevas tecnologías en sociedades cada vez más innovadoras. Las estrategias para lograrlo incluirían la educación formal y la comunicación de la ciencia al público lego. Pero para que sean efectivas y poder

trazar planes estratégicos eficientes, se considera esencial conocer el estado de la cuestión, es decir, realizar mediciones para conocer el nivel de alfabetización científica de la población.

Desde los años setenta, las instituciones han invertido esfuerzos crecientes en Estados Unidos y en Europa para obtener medidas fiables del nivel de conocimientos y de las actitudes del público hacia la ciencia, tratando de estimar el grado de alfabetización científica de la población como punto de partida. De hecho, tras comprobarse empíricamente el escaso nivel de conocimientos elementales en la población, es cuando se ponen en marcha programas de difusión de la ciencia —una acción que dura hasta la actualidad— (Pardo, 2014). En consonancia con ello:

La identificación de un mayor nivel de conocimiento con actitudes favorables hacia la ciencia y, por ende, con un aumento de la financiación, implica la necesidad de habilitar los medios oportunos destinados a reducir la ignorancia y a combatir las dudas, los temores, y las actitudes anticientíficas, tan perjudiciales para la ciencia. (Montañés, 2011: 194).

La idea es que un público científicamente más alfabetizado, será «más solidario con los programas de investigación científica y más entusiasta con las innovaciones tecnológicas» (Sturgis & Allum, 2004: 55).

Frente a lo expuesto, multitud de expertos han sido críticos con la idea de que la falta de conocimiento es responsable de las actitudes negativas hacia la ciencia y que, por tanto, instruir a los ciudadanos debe ser suficiente para un público que presenta tales deficiencias (Sturgis & Allum, 2004). Las críticas al modelo del déficit se han efectuado tanto desde el propio campo de estudio de la percepción pública de la ciencia como desde otros ámbitos del conocimiento como la sociología, la filosofía o la teoría de la comunicación. Aunque reseñarlas exhaustivamente excede los propósitos de esta tesis, se expondrán a continuación las objeciones más destacadas.

Una de las más citadas en la literatura es la de Durant, Evans y Thomas (1992), quienes sintetizan que el modelo: «tergiversa la ciencia en sí misma al presentarla como un conjunto no problemático de conocimientos» y «encarna el juicio de valor específico de que la comprensión científica es intrínsecamente buena», además de que «pasa por alto el hecho de que gran parte del conocimiento científico está alejado de la vida cotidiana y es en gran medida irrelevante para ella» (Durant et al., 1992: 162-163). Además, se ha añadido que el modelo presenta una idea de la ciencia como heroica y positivista (Dornan, 1990) otorgando una superioridad moral y social a los científicos (Fayard, 1992) que aparentemente los legitima en sus discursos públicos, pero pasando por alto que puede haber sesgos en los mismos cuando responden a propósitos personales y representaciones propias (Hilgartner, 1990).

Por otro lado, Ziman (1991) añade que el modelo del déficit trata de interpretar la situación únicamente en términos de ignorancia pública o analfabetismo científico, lo que no proporciona el marco analítico adecuado para realizar los estudios de percepción de la ciencia para los cuales se requiere una propuesta más elaborada que tenga en cuenta factores contextuales. La comprensión de la ciencia, como señalan por ejemplo Irwin y Wynne (1996), depende crucialmente del contexto social en el que opera el conocimiento. En ello coinciden otros expertos como Gregory & Miller (1998) quienes apuntan que este enfoque solo puede explicar en parte la complejidad de la comprensión y las percepciones del público.

Además, frente a la perspectiva de adoptar una estrategia consistente en llenar al público de conocimientos pero sin prestar atención a sus demandas, la postura que sostiene el modelo se ha calificado de degradante y condescendiente, conclusión que puede encontrarse en el informe *Public Understanding of Science* (Royal Society, 1985) —una de las piezas clave en la consolidación del campo de estudio—. En la misma línea, Pardo (2014) apunta que se trata de un enfoque paternalista e interesado, de modo que «La razón principal de la difusión del conocimiento científico al público no estaba dirigida al “empowerment” de los ciudadanos, sino a disolver sus ansiedades y consentir» (Pardo, 2014: 48-49). Ante este panorama emerge la idea de que «los científicos necesitan entender al público: de ahí la importancia del diálogo y el compromiso» (Bodmer, 2010: 157), una propuesta tratada ampliamente en 2.1.2.

Por otro lado, en el seno de la discusión también se ha debatido sobre cuál sería el papel dentro del modelo de la toma de conciencia sobre los riesgos asociados al desarrollo científico, y se ha cuestionado en numerosas ocasiones que el apoyo a la ciencia responda a un conocimiento profundo de la misma.

A pesar de que la evidencia empírica parecía mostrar al principio que los individuos que obtienen valores medios-altos en alfabetización científica suelen presentar actitudes favorables hacia la ciencia, estudios más afinados de los datos de las encuestas han cuestionado esta interpretación. Sumado a ello, basándose en los resultados de los Eurobarómetros realizados entre 1992 y 2001, Bauer (2012) encuentra que niveles altos de comprensión de la ciencia no siempre se correlacionan con un alto grado de apoyo a la ciencia; y lo atribuye a que la toma de conciencia sobre los riesgos que comporta la ciencia conduce a actitudes más críticas. Es más, sus resultados muestran un descenso paulatino en el interés por la ciencia al tiempo que se produce un incremento en el conocimiento. De hecho, ya habían apuntado previamente Bauer, Durant y Evans (1994) que la fuerza de la relación conocimiento-actitud es variable según los niveles nacionales de avance económico en Europa.

De acuerdo con Bauer (2009), si bien un individuo con elevada cultura científica puede presentar actitudes críticas y de desconfianza, también puede exhibir entusiasmo hacia la ciencia cuando sus niveles de conocimiento son escasos; por ejemplo, al tomar conciencia de

que el progreso científico favorece el desarrollo económico de una nación. Este fenómeno se ha denominado la «U invertida de Bauer», aunque el autor se refiere a ella como la «hipótesis post-industrial» (Bauer, 2012), ya que considera que se produce cuando una sociedad transita a una economía intensiva post-industrial basada en el conocimiento, en la que «la distribución y la relación entre el conocimiento de la gente, sus intereses y actitudes hacia la ciencia recaen de forma diferente» (Bauer, 2009: 229).

En el estudio a escala global de Shukla y Bauer (2007), tomando datos de los sondeos en los Estados Miembro y en India, se muestra que las culturas con mayor comprensión de la ciencia exhiben a su vez mayor escepticismo. En este sentido, también se había advertido con anterioridad de que los encuestados mejor informados tienden a estar entre los más escépticos cuando las preguntas tratan sobre ciencia no-útil o incluso cuestiones con carga moral (Evans & Durant, 1995). Esto concuerda con la propuesta de que el conocimiento y las actitudes no se relacionan de manera lineal, sino en forma de U invertida. Para niveles altos de desarrollo, la correlación entre conocimiento y actitud es probable que sea negativa, mientras que las actitudes entusiastas hacia la ciencia son comunes para niveles de alfabetización inferiores al promedio.

De forma contrapuesta a estas ideas, otros académicos han alegado que los miedos sociales responden en gran medida al contexto social y no a un reconocimiento de los riesgos objetivos (Douglas & Wildavsky, 1982; Slovic & Peters, 1998); y así «las percepciones de los riesgos tecnológicos están relacionadas con ciertos tipos de cosmovisiones o con ciertas creencias y valores centrales como el ambientalismo. En ninguna de estas concepciones, la percepción del riesgo depende principalmente del nivel de comprensión científica» (Sturgis & Allum, 2004: 57). En este sentido, no obstante, también se pone en entredicho que los temores irracionales de los legos se expliquen, efectivamente, apelando a la falta de comprensión científica.

Por su parte, Pardo y Calvo (2002) aportan otro ángulo interesante a la discusión, aunque en conflicto con la idea anterior, al sugerir que para ellos el conocimiento marca la diferencia entre tener o no tener una actitud, no entre actitudes positivas y negativas. Los autores ponen de manifiesto asimismo la necesidad de formular modelos sólidos capaces de explicar la estructura y la dinámica de la «cultura científica», siendo su diagnóstico la manifiesta debilidad de los análisis estadísticos y metodológicos del siglo pasado, así como las escalas propuestas que miden las actitudes hacia la ciencia. En esa línea, desde la psicología social se ha propuesto que (Converse, {1964} 2006):

[...] el conocimiento no es un motor de la actitud, sino un índice de calidad: las actitudes, ya sean positivas o negativas, que se basan en el conocimiento se sostienen con más fuerza y por lo tanto se resisten al cambio. Los ciudadanos bien informados y los menos informados se deciden de manera diferente, pero no necesariamente llegan a conclusiones diferentes. (Bauer, 2009: 4).

En consonancia con ello, también otros autores han sugerido que las actitudes tanto positivas como negativas que se basan en el conocimiento tienen más probabilidades de resistir al cambio (Eagly & Chaiken, 1993).

En general, la demanda de los expertos por que se considere el contexto cultural donde se realizan las encuestas son comunes. Por ejemplo, Peters (2000) reexamina los datos del Eurobarómetro de 1992 —véase el apartado 2.2.3.— y resuelve que las medidas de comprensión científica dependen de las ubicaciones nacionales y de factores culturales de los encuestados, por lo que habría que considerar este tipo de sesgos.

Para concluir, puede resumirse que, según lo expuesto, la premisa principal latente tras el modelo del déficit de que una mayor comprensión de la ciencia por el público supone una actitud más favorable hacia ella, está bajo una revisión exhaustiva los últimos años, quedando además obsoleta la idea de que la ignorancia del público sea responsable de la desconfianza hacia la ciencia en una ciudadanía que tiene cada vez mayor nivel de conocimientos y de percepción del riesgo.

Por último, queda matizar que si bien numerosos autores consideran el modelo del déficit obsoleto, otros académicos no lo abandonan completamente a pesar de considerarlo insuficiente:

Investigadores que no han llevado a cabo un análisis directo de los datos disponibles han podido anunciar y repetir confiadamente el fin del llamado “modelo de déficit”, perdiendo de vista los varios aspectos metodológicos, estadísticos y conceptuales de la relación entre conocimientos y actitudes puestos de manifiesto en la literatura más especializada. Por lo general, esas llamadas al cambio de enfoque no han dado de sí marcos alternativos más potentes, pero sí han tenido el efecto indeseado de arrumbar el modelo de déficit, en lugar de superarlo sobre la base de un conocimiento preciso de sus limitaciones y anomalías, dando un perfil de pluralismo blando y débil vertebración teórica al conjunto del campo PUoS. (Pardo, 2014: 60).

Se ha afirmado además que, en muchas áreas del conocimiento científico, hay un fuerte consenso que hace posible la construcción de medidas de los niveles de comprensión pública de la ciencia, por lo que no encuentran perniciosa la intención de obtener datos cuantitativos para estimar qué proporción de individuos posee ciertos conocimientos sobre ciencia entre la población. Es más, por regla general se admite que no hay razones para suponer que el conocimiento científico no tenga un efecto adicional e independiente en relación con la confianza que deposita el público en la ciencia, aspecto que puede influir en las actitudes que exhiben los ciudadanos —además de otros, como los económicos o políticos—.

Está bastante claro que la cultura, los factores económicos, los valores sociales y políticos, la confianza, la percepción del riesgo y las visiones del mundo son importantes para influir en la actitud del público hacia la ciencia. Sin embargo, no hay ninguna razón para suponer en consecuencia que el conocimiento científico no tiene un efecto adicional e

independiente, por razones que hasta ahora no se comprenden claramente. De hecho, hay muchas razones para considerar que es bastante inverosímil que el ciudadano bien informado y mal informado se ocupe de decidir de la misma manera. (Sturgis & Allum, 2004: 58).

En cualquier caso, al margen de que la deficiencia de conocimientos sea o no explicación de las actitudes hacia la ciencia, aún así puede haber un déficit de conocimientos en el público lego que se considere deseable atenuar (Miller, 2001).

iii) El modelo contextual

El modelo contextual surge en la década de 1990 con el propósito de ofrecer una visión de la relación entre ciencia y público distinta a la del anterior modelo, que incluya la dimensión social e institucional de la experiencia científica, las respuestas del público hacia ella y las representaciones que los propios científicos tienen de sus públicos (Miller, 1998; Montañés, 2011). Las principales influencias de las que se nutre proceden de distintos ámbitos académicos, entre ellos la sociología del conocimiento científico, la filosofía, la comunicación, la investigación en ciencia política y de diversas corrientes de estudios sociales de la ciencia y la tecnología.

Según Cortassa (2010) se puede identificar su origen en el estudio de Brian Wynne sobre las relaciones entre expertos y público durante la controversia por la lluvia con desechos radioactivos que afectó a la región de Cumbria, al noroeste de Inglaterra, después de la explosión de la central nuclear de Chernobyl, según el cual el desprecio de los técnicos por los conocimientos prácticos de los afectados generó serias pérdidas económicas entre los ganaderos y supuso el descrédito de los asesores científicos (Wynne, 1992).

Este modelo considera que los individuos procesan la información activamente según esquemas psicosociales modelados por sus experiencias previas, sus circunstancias personales y el contexto cultural en el que se desarrollan —a diferencia del modelo del déficit, no son contenedores vacíos—. Además, no presentan necesariamente un interés en ser instruidos en ciencia, sino que más bien se interesan pragmáticamente por aquellos resultados científicos directamente relacionados con sus necesidades cotidianas (Alcíbar, 2015)⁷. A este respecto:

Los partidarios de este modelo consideran que la comprensión intelectual del conocimiento científico por parte del público constituye una pequeña parte de los factores que intervienen en la relación ciencia-público y reivindican la necesidad de tener en cuenta cómo la gente entra en contacto con la ciencia socialmente, no en abstracto ni de forma meramente cognitiva. De este modo vinculan la comprensión del público, entre otras cosas, con la interpretación de relaciones sociales, con opiniones sobre la veracidad

⁷ En la teoría del aprendizaje, se ha señalado que las personas aprenden mejor cuando los hechos y teorías tienen significado para sus vidas personales (Brossard & Lewenstein, 2010).

de las fuentes de conocimiento, y con la negociación de identidades sociales. (Montañés, 2011: 199).

En particular, el modelo contextual reconoce la influencia que tienen las representaciones mediáticas para amortiguar o amplificar las preocupaciones latentes en el público, así como la capacidad que tiene este para movilizarse y organizar grupos de presión gracias a las redes sociales (Alcíbar, 2015). A diferencia de lo que sucedía con el modelo del déficit, en el que se asociaba las actitudes favorables hacia la ciencia con un mayor conocimiento de la misma, en este caso se considera que el público evalúa los mensajes de riesgos científicos en función de su confianza hacia la persona o la institución que proporciona la información, de su recuerdo de otros casos similares y de su propia experiencia (Myers, 2003). Además, la comunidad científica pertenecería al conjunto de la cultura, suponiendo asimismo que la generación y la apropiación de conocimientos científicos responden a la forma de organización social de dicha cultura (Godin & Gingras, 2000).

Para Cortassa (2010) el modelo supone además el reexamen de las categorías de «experto» y «lego», ya que la demarcación entre las formas de conocimiento científico y conocimiento popular es lábil. De igual forma sucedería con la tensión entre las nociones de «comprensión» e «incomprensión», deudora de las asunciones previas y de las propias concepciones de ciencia, método, prácticas y valores científicos; hasta entonces consideradas no problemáticas.

Por lo que respecta al proceso de comunicación de la ciencia, en este modelo se concibe de forma que pueda ser bidireccional o multidireccional y además no limitada a la transmisión de conocimiento científico consolidado, sino también participe de aspectos de la ciencia sujetos a controversia e incertidumbre. Los propios científicos no trabajan sobre la base de una ciencia de certezas, existen desacuerdos entre los mismos que no siempre se resuelven con más conocimientos, de ahí la idea de que el público debería recibir información no solo de hechos científicos sino también sobre estas relaciones entre los científicos, así como las que establecen con políticos, medios y público (Montañés, 2011).

En otro orden de cosas, respecto a la metodología para abordar los estudios empíricos de percepción social de la ciencia, muchos partidarios de este modelo optan principalmente por una aproximación cualitativa, incluyendo análisis de casos y análisis del discurso, ya que consideran que los enfoques cuantitativos basados en encuestas no son adecuados para comprender el conocimiento y las interacciones entre ciencia y público debido a que no ofrecen información sobre las formas de contextualización del conocimiento científico y de lo que este significa para los individuos en cada circunstancia. Otros autores como Sturgis y Allum (2004) han manifestado su desacuerdo con la restricción de la metodología cuantitativa al modelo del déficit, mediante estudios a través de encuestas pero aplicando ambas perspectivas teóricas.

[...] estamos convencidos de que, en primer lugar, las perspectivas tanto deficitarias como contextualistas ayudan a explicar cómo, por qué y bajo qué condiciones el conocimiento de muchos tipos es importante para determinar las actitudes públicas hacia la ciencia y, en segundo lugar, que los enfoques basados en encuestas no son de ninguna manera inadecuados para la investigación sobre la comprensión pública de la ciencia desde una perspectiva teórica “contextualista”. (Sturgis & Allum, 2004: 68).

Estos autores plantean la posibilidad de realizar un estudio cuantitativo de los dos dominios de conocimiento más relevantes en el modelo contextual, que serían el conocimiento institucional y el conocimiento local, aunque finalmente, al llevarlo a cabo, se limitaron al primero, además de que optaron por emplear un método adoptado del campo de las ciencias políticas según el cual el nivel de conocimiento político de los ciudadanos tiene un impacto muy significativo sobre sus preferencias políticas, actitudes y creencias (Montañés, 2011). En este sentido no se atisba un progreso significativo respecto a aproximaciones previas empleadas para los estudios empíricos.

Por su parte, Bauer, Allum y Miller (2007), consideran errónea y poco útil la identificación del modelo del déficit con métodos cuantitativos y del modelo contextual con métodos cualitativos, por lo que también han propuesto integrar los cuantitativos en la nueva perspectiva de la comprensión pública de la ciencia, ampliada a: (1) la contextualización de los distintos resultados obtenidos en las encuestas y otros estudios, mediante la reformulación del problema de la relación conocimientos-actitudes; (2) un marco de trabajo de indicadores de ciencia que permita analizar los datos en busca de indicadores culturales; (3) la integración global y el análisis de bases de datos longitudinales; y (4) la comparación y el análisis de otros conjuntos de datos —como los relacionados con el análisis de contenido de los medios de comunicación y otros de carácter cualitativo— con una perspectiva a largo plazo.

Respecto a las críticas que ha recibido el modelo, debe apuntarse, en primer lugar, que ha sido acusado de anticientífico por negar la existencia de una asimetría cognitiva objetiva entre los agentes y rechazar por principio toda posibilidad de establecer diferencias cualitativas entre los conocimientos «experto» y «popular». En este sentido, Steve Miller ha advertido de que la brecha entre lo que saben los científicos y los ciudadanos tiene que existir, y sería un error identificar el final del modelo del déficit con un público completamente informado.

No deseamos una versión políticamente correcta de la comprensión pública de la ciencia, en la cual la idea de que los científicos son más entendidos en ciencia que el público es tabú. Científicos y legos no están en pie de igualdad cuando se trata de información científica y el conocimiento, arduamente logrado a través de horas de investigación, probado y experimentado durante años y décadas, merece consideración. (Miller, 2001: 118 cit. por Cortassa, 2010).

Por último, cuando sale a relucir el debate sobre la participación de la ciudadanía en la ciencia —desarrollado en 2.1.2.—, también se le ha reprochado al modelo no precisar en qué

consistiría la ampliación de la capacidad de acción del público lego, al carecer de una definición concreta del modelo de democracia que defiende.

iv) Los tres paradigmas

Para entender el contexto de las encuestas a gran escala que se presentan en la siguiente sección, un trabajo clave en la literatura especializada es la revisión de los artículos de referencia sobre el campo de Bauer, Allum y Miller (2007), en la que se identifican tres paradigmas consecutivos para enmarcar los estudios de percepción social de la ciencia a lo largo del tiempo: *Scientific literacy* (SL) o «alfabetización científica» (1960-1985); *Public Understanding of Science* (PUS) o «Comprensión pública de la ciencia» (1985-mediados de los años 90); y *Science in Society* o «Ciencia en sociedad» (a mediados de 1990 en adelante). Cada paradigma responde a un enfoque y preocupaciones específicas localizadas en una franja temporal. Además, conviene aclarar que el primero surge en Estados Unidos y los dos siguientes en el Reino Unido.

Las mediciones que se realizan a través de encuestas —descritas en 2.2.— están diseñadas y patrocinadas por gobiernos e instituciones científicas, por lo que cabe considerar que las agendas de las élites decisoras responden a protocolos particulares. En este sentido, cada uno de los tres paradigmas diagnostica de forma distinta las tensiones que se presentan en la interacción ciencia-sociedad y propone estrategias específicas para atenuar la brecha entre ambas. En el artículo citado se analiza cómo avanza la discusión a través de estos paradigmas de investigación de acuerdo con diferentes formas de enfrentar y definir el problema, de formular preguntas características y de ofrecer soluciones preferidas. Se describen a continuación los tres paradigmas y se ofrece una visión de conjunto al final del apartado.

En el primer caso, el paradigma *Scientific Literacy* tiene su origen con la definición de Jon Miller previamente expuesta, que sienta los parámetros de medición cuya raíz reside en el Informe Davis. El elemento clave del paradigma es el «conocimiento», y la estrategia de actuación es apostar por la promoción de la educación científica, siendo este el mecanismo para componer una sociedad informada que, en última instancia, derive en una clase política más efectiva. Así, el modelo del déficit cognitivo da cuenta de una carencia de conocimientos en la población que debe suplirse a través de la agenda educativa, incluyendo los planes de estudio escolares y la educación continua. Nótese que la idea que subyace es la suposición de que poseer una imagen negativa de la ciencia está vinculado a la falta de conocimiento.

La pregunta que impera en el seno del paradigma es la abordada en el apartado de conceptualización: ¿cuándo podemos considerar a un individuo alfabetizado científicamente? Es a partir de los años 70 cuando se realizan encuestas de forma sistemática a la población adulta para monitorizar los conocimientos básicos sobre ciencia mediante «indicadores de alfabetización», en concreto, preguntas de tipo test con respuestas binarias verdadero/falso sobre elementos que se encuentran en los libros de texto del sector educativo. Algunas de

ellas se han repetido durante décadas en los subsiguientes estudios de percepción en distintas partes del mundo a fin de ser comparables entre sí, como por ejemplo los enunciados «el sol gira alrededor de la tierra», «los electrones son más pequeños que los átomos» o «toda la radiactividad es artificial».

Sin embargo, se ha aducido que las medidas a través de cuestionarios realizadas a gran escala producen indicadores irrelevantes de los conocimientos de libro de texto escolar, mientras que para algunos autores la esencia de la ciencia reside en el método, y no en el conocimiento de los hechos (Collins & Pinch, 1993). Además, las comparaciones entre los datos de diferentes países podrían ser problemáticas debido a factores culturales (Raza, Singh, Dutt, & Chandra, 1996), al presentar cada nación distinta base científica (Raza, Singh, & Dutt, 2002) —e incluso se ha sugerido que la superstición puede ser vista como una variable cultural, pudiendo darse la coexistencia de formas de superstición en individuos científicamente alfabetizados (Bauer & Durant, 1997)—.

Cabe señalar que las posturas críticas hacia el paradigma son las asociadas al modelo del déficit. Este enfoque ignoraría así ciertos aspectos que para algunos expertos deben reflejarse en la evaluación de la alfabetización, como si se exhiben conocimientos sobre el funcionamiento propio del sistema académico —por ejemplo, el proceso de revisión por pares— y cuál es el papel de las instituciones científicas, o también la cuestión sobre si existe una conciencia en el público de la incertidumbre en ciencia que además puede detonar controversias científicas. Además, los esfuerzos para definir un «nivel mínimo de alfabetización» han sido infructuosos en una sociedad en la que «la alfabetización científica solo tiene sentido en relación a un público determinado, sobre cuestiones concretas y con propósitos específicos» (Liu, 2009: 306).

En segundo lugar, el paradigma *Public Understanding of Science* nace en el Reino Unido con su punto de partida marcado por el informe homónimo *The Public Understanding of Science* (Royal Society, 1985), de notoria influencia internacional. El documento hace alusión en diversas ocasiones a la prosperidad de la nación y declara que:

Más que nunca, las personas necesitan cierta comprensión de la ciencia, ya sea que estén involucradas en la toma de decisiones a nivel nacional o local, en la gestión de empresas industriales, en empleos cualificados o semi-cualificados, en la votación como ciudadanos particulares o en la toma de una amplia gama de decisiones personales. (Royal Society, 1985: 5).

En el seno de este segundo paradigma, las instituciones científicas manifiestan su preocupación al encontrarse con un público que no muestra suficiente apoyo a la ciencia, una idea que avala el axioma «cuanto más sabes de ciencia, más te gusta», por lo que la correlación entre el conocimiento y la actitud se convierte en el principal foco de la investigación académica (Bauer, 2009) al vincularse un mayor interés y nivel educativo con las actitudes favorables hacia la ciencia.

El informe que marca el inicio del paradigma comparte el diagnóstico con el anterior de que hay un déficit de conocimientos en el público, pero adopta sus propios constructos y exhibe además preocupaciones acerca de las audiencias anti-ciencia, bajo el pretexto de que el público debe ser lo suficientemente positivo hacia las instituciones científicas. En este sentido, se atribuye un déficit de actitudes favorables hacia la ciencia que constituye el núcleo del paradigma. Se ha sugerido asimismo que existe una vertiente emocional inherente a las actitudes que debe abordarse mediante la promoción de la ciencia, empleando la lógica de la publicidad para tratar de ganarse al público —aunque en este sentido se objeta que las noticias científicas no serían muy distintas de cualquier otra cosa— (Bauer, 2009).

En este caso las estrategias propuestas para hacer frente al desafío son, además de educar al público como punto de partida, seducirlo; con el objetivo de cambiar las actitudes negativas. Es por ello que el peso no solo reside en el mecanismo de la educación formal, sino también en las prácticas de comunicación científica. Así, en el informe *The Public Understanding of Science* se recogen una serie de recomendaciones dirigidas a distintos agentes, incluyendo a la comunidad científica, el sistema educativo, los medios de comunicación de masas, la industria, el gobierno y los museos. Como nota de interés, destaca la idea del deber del científico como agente transmisor de su propia labor:

Los científicos deben aprender a comunicarse con el público, estar dispuestos a hacerlo y, de hecho, considerar que es su deber hacerlo. Por lo tanto, todos los científicos necesitan aprender sobre los medios de comunicación y sus limitaciones y aprender a explicar la ciencia de manera simple, sin jerga y sin ser condescendientes. Cada sector de la comunidad científica debería considerar, por ejemplo, la posibilidad de impartir formación en materia de comunicación y lograr una mayor comprensión de los medios de comunicación, organizar conferencias y exhibiciones no especializadas, organizar concursos científicos para los jóvenes, ofrecer sesiones informativas para los periodistas y, en general, mejorar sus relaciones públicas. (Royal Society, 1985: 6).

Por su parte, los gobiernos, instituciones y organismos internacionales empiezan a aplicar, desde la década de los 90, políticas públicas para financiar el fomento de la cultura científica más allá del ámbito educativo. Como se ha mencionado, la investigación en percepción social de la ciencia se centra en la correlación entre conocimiento y actitudes, siendo uno de los grandes desafíos la construcción de escalas fiables de actitudes hacia la ciencia, en las que se procura minimizar sesgos —por ejemplo, considerando la relación entre las actitudes generales y las actitudes específicas (Daamen & Van Der Lans, 1995) o cuestiones como los efectos del ordenamiento de las preguntas en los niveles de interés (Gaskell, Wright, & O'Muircheartaigh, 1993)—.

Entre las críticas al paradigma, puede destacarse que, igual que su predecesor, asume el modelo del déficit como válido. Por ello, algunos autores han estigmatizado la realización de encuestas al diseñarse las mismas sobre la base de este modelo, estableciendo una asociación falsa pero duradera entre esta conceptualización y el protocolo del método (Irwin

& Wynne, 1996; Jasanoff, 2005; Wynne, 1995). Si bien estas encuestas exhiben una pequeña correlación positiva entre el conocimiento y las actitudes positivas hacia la ciencia, también muestran una mayor varianza entre el público entendido, con una tendencia a que la correlación en cuestiones controvertidas sea menor o nula (Allum, Sturgis, Tabourazi, & Brunton-Smith, 2008). Por lo tanto, no se cumple la expectativa de que los ciudadanos que están informados son entusiastas de la ciencia. Para explicarlo, hay expertos que han sugerido que las actitudes positivas hacia la ciencia y la tecnología están relacionadas con la «sofisticación política» en general, pero no específica de la ciencia (Bauer, 2009).

Como planteamiento alternativo, algunos autores han sido partidarios del estudio de las actitudes a través de las representaciones sociales de la ciencia (Bauer & Schoon, 1993; Durant et al., 1992), lo que permitiría la investigación cualitativa y otros tipos de análisis de los datos de las encuestas (Bauer & Gaskell, 1999), aunque siendo «un problema clave para la futura investigación sobre la comprensión pública de la ciencia el comparar las representaciones sociales de la ciencia en diferentes medios y contextos históricos» (Bauer, 2009: 17).

Respecto al tercer paradigma, *Science in Society*, debe señalarse que, así como los dos anteriores apoyaban sus supuestos teóricos en un presunto déficit en la ciudadanía, además de contemplar estas carencias de conocimiento y confianza vinculadas al público, se detecta una deficiencia en las instituciones científicas y los expertos (Wynne, 1993) que se manifiesta a través de prejuicios hacia un «público ignorante». Esta es una noción de la ciudadanía disfuncional y que menoscaba la concepción de la opinión pública (Bauer et al., 2007). De forma similar al paradigma anterior, existe un documento seminal, esta vez emitido por la Cámara de los Lores, que marca su inicio: *Science and Society* (House of Lords, 2000).

Así, el núcleo del tercer paradigma viene definido por un déficit de confianza mutuo que funciona en ambas direcciones. Dentro de este marco de referencia se alude a una crisis de confianza y se propone como estrategia el *engagement* en ciencia —un concepto que está a la orden del día en los proyectos europeos y que se desarrolla en el siguiente apartado—. Los esfuerzos se orientan hacia la búsqueda de un compromiso, tanto por parte del público como de las instituciones, propiciando la deliberación y la participación pública para reconstruir esa confianza erosionada (Bauer, 2009).

De forma específica, en el informe de la Cámara de los Lores se enumeran diversas formas de actividades deliberativas para involucrar al público en el desarrollo científico, como conferencias de consenso, encuestas de opinión deliberativas, mesas redondas, festivales de ciencia, jurados ciudadanos o debates nacionales, entre otras. Trabajar el compromiso público, sin embargo, conlleva una inversión de tiempo considerable, además de que estos eventos tienen costes económicos y requieren conocimientos técnicos para su organización, por lo que los funcionarios públicos y académicos pueden verse abrumados ante las tareas de

gestión y entrar en juego el sector privado para actuar como intermediario entre un público desencantado y las instituciones de la ciencia, la industria y la política (Bauer, 2009). Además, durante estos ejercicios:

El diálogo tiende a limitarse a cuestiones particulares, planteadas en etapas concretas del ciclo de investigación, desarrollo y explotación. Los posibles riesgos se debaten indefinidamente, mientras que las cuestiones más profundas sobre los valores, las visiones y los intereses creados que motivan la labor científica a menudo permanecen sin ser preguntados o respondidos. (European Commission, 2008: 18).

Sumado a ello, uno de los principales problemas de este planteamiento es que, en la práctica, los gobiernos e instituciones mantienen la visión de que para alcanzar el consenso «se supone que solo el público debe escuchar» (Bauer et al., 2007: 86). Un ejemplo para ilustrarlo es el de una consulta a la población sobre los cultivos y productos alimenticios genéticamente modificados que se llevó a cabo en el Reino Unido en 2003. Al contrario de lo que el gobierno esperaba, el público británico estaba lejos de estar convencido de los beneficios de los transgénicos, por lo que las opciones propuestas fueron reducir la influencia de los grupos ambientales —un cambio en el protocolo— o admitir que era necesario seguir dialogando hasta que el público tuviera la actitud «correcta» —un cambio en los resultados— (Rowe, Horlick-Jones, Walls, & Pidgeon, 2005)⁸. En cualquier caso, este tipo de iniciativas también acarrea la necesidad de evaluar las deliberaciones públicas, y para hacerlo se vuelven a plantear sobre la mesa las ideas tradicionales que envuelven las mediciones de la alfabetización pública (Bauer, 2009).

Por otro lado, se ha puesto el acento en que, a diferencia del debate sobre los transgénicos, que costó cerca de un millón de libras al gobierno del Reino Unido, en comparación una encuesta de percepción social no cuesta más de 100.000 libras, o bien un grupo de discusión en torno a las 20.000 (Rowe et al., 2005). Algunos ejemplos del coste económico de las deliberaciones públicas pueden encontrarse en Seargent y Steele (1998).

Recapitulando, puede sintetizarse que cada paradigma se asocia a un déficit distinto de la sociedad y cristaliza en diferentes estrategias para atenuarlo. El paradigma *Scientific Literacy* aboga por la educación; el paradigma *Public Understanding of Science*, además, por el fomento de la divulgación científica; y el paradigma *Science in Society* incluye también la participación y el diálogo, y de hecho, la incógnita sobre cómo se debe producir ese *engagement* es lo que ha suscitado mayor atención académica los últimos años, una cuestión de extraordinaria complejidad que se examinará en el siguiente apartado —2.1.2.—. Nótese también que a lo largo del transcurso de los paradigmas, se produce un cambio en la comprensión del público, y se pone de manifiesto que «la relación ciencia-sociedad no es sólo una cuestión de distancia, sino también de calidad» (Bauer, 2009: 17).

⁸ Otro ejemplo similar lo constituye la enfermedad de las vacas locas.

En la Tabla 4 se recoge una visión de conjunto de los tres paradigmas que puede ser útil a modo de marcador cronológico para situar al lector acerca de las preocupaciones políticas de cada fase en las que, al atribuirse un déficit particular, se proponen formas de intervención específicas (Bauer, 2009). Debe señalarse que si bien cada paradigma exhibe un énfasis distinto en la promoción de estrategias políticas para atenuar la brecha entre ciencia y sociedad, los paradigmas a veces se solapan y aunque en cada momento uno tiene más preeminencia que los otros, estos no se superan de forma consecutiva, ya que dependen de un contexto geopolítico que varía de forma progresiva. Es decir, un paradigma no reemplaza por completo al anterior. Esto puede ejemplificarse atendiendo a las encuestas PISA de la OCDE para evaluar el rendimiento en ciencias y matemáticas de los estudiantes, en las que la alfabetización científica sigue estudiándose como tal.

Paradigma	Conceptualización	Déficit	Estrategia
Alfabetización científica	Nivel de conocimiento.	De conocimientos científicos (cognitivo)	Enseñanza.
Comprensión Pública de la Ciencia	Nivel de conocimiento. Preocupación por actitudes.	De conocimiento y actitudes y confianza hacia la ciencia	Enseñanza. Comunicación (fomento de la divulgación).
Ciencia y Sociedad	Preocupación por las actitudes. Participación.	De confianza... Por parte del público y de las instituciones.	Enseñanza. Comunicación. Participación y fomento del diálogo Voz social.

Tabla 4. Visión de conjunto de los tres paradigmas. Elaboración propia.

Cabe puntualizar, por último, que en la literatura especializada a veces se habla de nivel de «alfabetización científica» sin aludir al paradigma de «Alfabetización Científica», simplemente para designar cierto grado de conocimientos científicos. Lo mismo sucede con el rótulo «comprensión pública de la ciencia», que hace alusión hacer al entendimiento de la ciencia en términos generales o bien se utiliza tanto para designar el paradigma así denominado —empleando mayúsculas en las letras iniciales o bien el acrónimo del inglés *PUS*—. En el tercer caso, la etiqueta *Science & Society*, además de designar el paradigma «Ciencia en Sociedad» se refiere a un ámbito de estudio todavía más amplio.

2.1.2. Engagement

En el capítulo anterior ya se ha abordado desde el campo de la filosofía de la ciencia la idea de la participación ciudadana en la investigación científica. En este apartado se recupera esta cuestión desde el punto de vista de la evolución del campo de la comprensión pública de la ciencia, y se recogen aspectos prácticos y organizativos del *engagement*, entendido como la participación y deliberación del público en las cuestiones de ciencia y tecnología. Se buscan

así mecanismos organizativos e institucionales diversos, como por ejemplo las conferencias de consenso, los referéndums, la participación de representantes del público en paneles, las encuestas deliberativas, etc. De forma introductoria, el siguiente texto puede ser esclarecedor:

La centralidad de la ciencia en la vida moderna confiere a la comunidad científica la obligación de desarrollar vínculos diferentes y más estrechos con la población en general. Esa convergencia ayudará a desarrollar el pacto entre la ciencia y la sociedad para que refleje mejor las necesidades y valores actuales de la sociedad. Necesitamos ir más allá de lo que con demasiada frecuencia se ha visto como una postura paternalista. Necesitamos involucrar al público en un diálogo bidireccional más abierto y honesto sobre la ciencia y la tecnología y sus productos, incluyendo no sólo sus beneficios sino también sus límites, peligros y trampas. Necesitamos respetar la perspectiva y las preocupaciones del público incluso cuando no las compartimos plenamente, y necesitamos desarrollar una asociación que pueda responder a ellas. (Leshner, 2003: 977).

Como se ha señalado previamente, el *engagement*⁹ es la nueva estrategia propuesta en el marco del paradigma *Science & Society*. En su concepción teórica, aumentar el nivel de comprensión de la ciencia en la ciudadanía ya no es el único objetivo, sino que se procura lograr un clima de compromiso basado en el diálogo entre el público y la comunidad científica que supere la relación unidireccional y asimétrica de la anterior etapa. Este nuevo enfoque en el campo de estudio se ha gestado durante los últimos años debido a diversos factores, que podrían enumerarse como sigue:

- Las propias debilidades del campo de la Comprensión Pública de la Ciencia.
- Las nuevas formulaciones del modelo contextual que conciben la comunicación entre ciencia y público de manera bidireccional.
- Las mayores exigencias de determinados actores sociales en cuanto a la participación directa a través de movimientos sociales.
- Las formulaciones teóricas que entienden que la participación de los ciudadanos contribuye a la apropiación social del conocimiento y al empoderamiento de movimientos sociales, o dicho de otro modo, al fortalecimiento democrático de la sociedad.

En el capítulo 1 se ha detallado que, a partir de la segunda mitad del siglo XX, se instalaron en la sociedad actitudes de temor y desconfianza respecto a determinados desarrollos de la ciencia, como la energía atómica, la biotecnología o aquellos que afectaban a cuestiones medioambientales. Movimientos como las organizaciones de «científicos ciudadanos» surgidas como respuesta al Proyecto Manhattan y a la carrera nuclear que se desencadenó posteriormente estuvieron encabezados, en un principio, por científicos de élite, pero convocaron progresivamente a amplios sectores de la sociedad civil de modo que, a partir de

⁹ Con frecuencia se utiliza el término en inglés en el ámbito iberoamericano.

la década de los años 60 «movimientos pacifistas, ambientalistas, de derechos civiles y grupos de científicos y estudiantes [...] denunciaron la orientación militar de la ciencia, sus efectos destructivos sobre el medio ambiente, así como la escasa participación social en la definición de su orientación» (Invernizzi, 2004: 69). La maduración de estos movimientos, en las últimas décadas del siglo XX, y su éxito en colocar la ciencia y la tecnología como un asunto de debate social, contribuyeron al establecimiento de una nueva etapa caracterizada por la participación del público en determinadas actividades de asesoría, evaluación o discusión de agendas y enfoques de investigación (Invernizzi, 2004).

Para Pardo (2001), en las últimas décadas del siglo XX se redefinieron las reglas del juego de modo que los responsables públicos y las empresas comenzaron a exigir investigación útil, y desde algunas asociaciones y grupos de interés —ecologistas, consumidores, organizaciones, etc— se formularon demandas de participación en las políticas públicas relativas a la ciencia y la tecnología. Emerge así un escenario caracterizado por un consentimiento condicionado, una mayor presión reguladora y unas creencias ambivalentes ante el progreso por parte de amplios subconjuntos sociales. Esto cristalizó en la aparición de un nuevo «contrato social» entre la ciencia y la sociedad —véase 1.1.2.iii— que reemplazaría al contrato social establecido después de la Segunda Guerra Mundial, basado en la producción conjunta de conocimiento por parte de la sociedad y la comunidad científica. Sobre ello, Gibbons (1999) aclara que:

[...] un nuevo contrato social implicará un proceso dinámico en el que la autoridad de la ciencia tendrá que ser legitimada una y otra vez. Para mantener esto, la ciencia debe entrar en el ágora y participar plenamente en la producción de conocimiento socialmente robusto. (Gibbons, 1999: 84).

Por su parte, Jasanoff (2003) señala que por una serie de casos muy publicitados de presunto fraude científico, se cuestionaron los dos mecanismos principales utilizados para la legitimación de la ciencia: la revisión por pares y el asesoramiento experto independiente. Sumado a ello, también se pusieron de manifiesto otros asuntos polémicos como la diferenciación entre investigación básica y aplicada¹⁰ o la idea de la ciencia como práctica unitaria, ya que se hizo evidente que la investigación variaba en función de los entornos institucionales. Se reconoció, en particular, que la ciencia reguladora¹¹, empleada por los gobiernos para avalar sus legislaciones, era fundamentalmente diferente de la investigación impulsada por la curiosidad de los científicos. En este sentido, la ciencia disciplinaria tradicional que prometía Vannevar Bush —véase 1.1.2.ii— sería sustituida en su mayor parte por un nuevo modo de producción del conocimiento, el denominado «Modo 2» según la formulación de Nowotny, Scott, y Gibbons (2001, 2003), caracterizado idealmente por:

¹⁰ La producción y los usos de la ciencia ya estaban fuertemente interconectados.

¹¹ La ciencia reguladora hace referencia a los protocolos establecidos para regular la ciencia en determinados aspectos, por ejemplo los relacionados con la salud, el medioambiente o la seguridad laboral. Para ello, organismos deben recomendar al gobierno cómo actuar. Nótese que trata investigaciones mucho más visibles en la sociedad que, por ejemplo, los desarrollos de la ciencia básica.

- Toda la ciencia es, en cierta medida, ciencia «aplicada».
- La ciencia es cada vez más transdisciplinaria.
- El conocimiento se genera en una variedad de sitios más amplia que nunca: universidades, industria, consultorías, centros de estudios, entre otros.
- Los participantes en la ciencia se han vuelto más conscientes de las implicaciones sociales de su trabajo y los públicos se han vuelto más conscientes de las formas en que la ciencia y la tecnología afectan sus intereses y valores.
- La investigación científica está más integrada socialmente y procura formas más robustas de producción de conocimiento.
- La interacción entre científicos y legos se lleva a cabo en un espacio público para formas abiertas y democráticas de razonamiento y toma de decisiones en lo que denominan «ágora».

Para la ciencia del «Modo 2» el control de calidad se habría fusionado, en la práctica, con la responsabilidad, y los científicos responderían preguntas tanto sobre la comerciabilidad de sus proyectos de investigación como sobre la capacidad de la ciencia para promover el bienestar social, proporcionando así un «conocimiento socialmente robusto» (Nowotny et al., 2001) en el que la contextualización sería la clave para producir ciencia para fines públicos. Según Jasanoff (2003):

El problema, por supuesto, es cómo institucionalizar procesos policéntricos, interactivos y multipartitos de creación de conocimiento dentro de instituciones que han trabajado durante décadas para mantener el conocimiento experto lejos de los caprichos del populismo y la política. La cuestión a la que se enfrenta la gobernanza de la ciencia es cómo llevar a los públicos informados al frente de la producción científica y tecnológica, un lugar del que históricamente han sido estrictamente excluidos. (Jasanoff, 2003: 235).

Estos nuevos enfoques en la concepción de la ciencia y en su relación con el público han dado lugar a numerosos trabajos teóricos guiados por el deseo de incorporar la voz social a la práctica de la ciencia. Numerosos académicos del campo de estudio CTS han alentado la participación pública en la ciencia y abogado por una co-construcción de la ciencia y la sociedad (Bensaude Vincent, 2014) —a título de ejemplo pueden citarse a (Burningham, 1998; Irwin, 1995; Jasanoff, 2005)— promoviendo conceptos como el mencionado de ciencia socialmente sólida o robusta y legitimando las prácticas híbridas de investigación (Callon, 1999; Callon, Lascoumes, & Barthe, 2002); se trataría, según la terminología de Sheila Jasanoff, de un «giro participativo» (Jasanoff, 2003). Otro concepto que resulta relevante acuñado por la autora para considerar las expectativas culturales de los distintos públicos es el de «epistemologías cívicas», una noción relativa a la cultura política que define como sigue: «Las epistemologías cívicas son las formas estilizadas y culturalmente específicas en las que los públicos esperan que la experiencia, el conocimiento y el razonamiento del Estado se produzca, se pruebe y se utilice en la toma de decisiones» (Jasanoff, 2020). Puede añadirse que una parte de esta nueva perspectiva para la investigación se ha centrado en aspectos

procedimentales y organizativos, en particular, en las formas de engagement «patrocinadas» que veremos en los subapartados siguientes (Lengwiler, 2008).

Por otra parte, también revisten especial interés los trabajos contenidos en el monográfico editado por Martin Bauer sobre *Public Engagement in Science* (Bauer, 2014), en el cual colaboraron voces esenciales en el campo de estudio de las relaciones entre ciencia y sociedad como Sheila Jasanoff, Brian Wynne o Jack Stilgoe. En los siguientes apartados se recogen algunas de sus reflexiones más interesantes a efectos de esta tesis.

Asimismo, debe señalarse que también las instituciones han emitido documentos programáticos y diseñado acciones para promover el *engagement* en las últimas décadas. Un ejemplo ilustrativo es el manual *Participación ciudadana* de la OCDE sobre la elaboración de políticas públicas (Gramberger, 2006) o la adopción en 2003 de la frase «involucrar al público en la ciencia» como lema de la *American Association for the Advancement of Science* (AAAS) en Estados Unidos (Bensaude Vincent, 2014). A nivel institucional, destacan los enfoques participativos de la Comisión Europea que se convirtieron en uno de los asuntos centrales de la estrategia de Lisboa para la «sociedad del conocimiento europea», lanzada en 2000, y que posteriormente ha desarrollado el programa *Science with and for Society* (European Commission, 2014c) y ha emitido informes relevantes como el citado *Public Engagement in Science* (European Commission, 2008).

Además de lo expuesto, puede añadirse que, relacionada con el *engagement*, ha tomado auge en los últimos años la llamada «ciencia ciudadana»¹², acuñada con un término polisémico que:

[...] fue acuñado independientemente a mediados de la década de 1990 por Rick Bonney en los Estados Unidos [...] para referirse al compromiso de participación pública y a los proyectos de comunicación científica, y en el Reino Unido por Alan Irwin (2005) para referirse a sus conceptos en desarrollo de la ciudadanía científica que pone de relieve la necesidad de abrir la ciencia y los procesos de política científica al público. (Riesch & Potter, 2014: 107).

Esta variabilidad en las interpretaciones hace que los científicos sociales en la tradición de Irwin (Irwin, 1995) se refieran con «ciencia ciudadana» al diálogo público bidireccional para dar voz a los laicos e incrementar la calidad democrática, lo que coincidiría sustancialmente con el concepto de *engagement* fundamentado en la democracia deliberativa. Por contra, los seguidores de la corriente americana optan por un enfoque más práctico con definiciones funcionales, centradas en proyectos en los que el *engagement* figura entre sus objetivos en mayor o menor medida, según su tipología; siendo mayor en los llamados proyectos co-creados, en los que los participantes colaboran en todas las etapas del proyecto científico,

¹² El estudio detallado de la Ciencia Ciudadana excede de los propósitos de la presente tesis. Sobre proyectos concretos el lector interesado puede consultar en Internet los portales de *Citizen Science* y *Citizen Science Alliance*, a nivel internacional, y el Observatorio de la Ciencia Ciudadana en España.

que en los colaborativos, cuyos participantes ayudan al análisis de datos y su difusión y puntualmente al diseño del estudio, o en los meramente contributivos, en los que los participantes se ocupan principalmente en la recolección de datos (Senabre, Ferran-Ferrer, & Perelló, 2018).

En el ámbito institucional, sin embargo, son habituales las conceptualizaciones híbridas de la «ciencia ciudadana». Así, el documento *Green Paper on Citizen Science: Citizen Science for Europe*, elaborado en el contexto del *Proyecto Societize* (2012-2014), financiado por la Comisión Europea, señalaba:

Como resultado de este escenario abierto, colaborativo y transversal, las interacciones entre ciencia-sociedad-políticas investigadoras mejoran, conduciendo a una investigación más democrática, basada en la toma de decisiones basada en evidencias informadas surgidas del método científico, total o parcialmente, por parte de científicos amateur o no profesionales. (Societize Consortium, 2013: 6).

i) Argumentos justificativos del *engagement*

Los movimientos sociales de los años 60 del siglo XX cuestionaron la calidad de las democracias representativas en las que el ciudadano se limita a ejercer su voto cada cierto tiempo y demandaron nuevas formas de hacer política reivindicando espacios públicos donde los ciudadanos pudieran debatir sobre las decisiones que les afectarían. Este debate se ha intensificado en la sociedad contemporánea y se ha hablado de una «tercera ola de democratización» (Wampler, 2012: 666), dando lugar a teorizaciones en torno a la construcción de un modelo de democracia participativa que, sin pretender sustituir a la democracia representativa, busca aumentar la legitimidad de esta última dando voz a la ciudadanía a través de determinadas innovaciones democráticas¹³.

La democracia representativa también está siendo cuestionada. Las complejas estructuras de adopción de decisiones, en las que interactúan muchos agentes, y la disminución de la función de representación de los partidos políticos (...) fomentan el debate sobre la legitimidad de la democracia y han suscitado demandas de formas adicionales de participación ciudadana (Michels, 2011: 277).

Entre estas teorizaciones destaca la del filósofo Jürgen Habermas, que desarrolla la idea de «democracia deliberativa» siendo uno de sus presupuestos el concepto de esfera pública entendida como espacio amplio, inclusivo, espontáneo y plural que desempeña un rol mediador entre el sistema político y la sociedad civil, y que incluye los discursos

¹³ El estudio de Smith (2005) analizó cincuenta y siete innovaciones diferentes, once de las cuales en profundidad, y las dividió en innovaciones electorales —por ejemplo, voto electrónico, abstención positiva, reducción de la edad de votar—, innovaciones consultivas —por ejemplo, reunión pública, visión comunitaria, panel permanente de ciudadanos—, innovaciones deliberativas —por ejemplo, jurados de ciudadanos, conferencias por consenso, sondeos de opinión deliberativa—, gobierno conjunto —por ejemplo, consejos juveniles, evaluación participativa, presupuestos participativos—, democracia directa —por ejemplo, referéndum, Iniciativa, recuerdo— e innovaciones de democracia electrónica —por ejemplo, referéndum electrónico, sondeo en línea deliberativo, consulta electrónica—.

institucionalizados de los políticos, las opiniones de los medios de comunicación y de la sociedad civil¹⁴. Para Habermas, los foros públicos independientes constituyen la base de la soberanía popular (Habermas, 2010).

Lo anteriormente expuesto ha servido de base para la justificación de la necesidad de introducir mecanismos de participación en la investigación científica y sobre todo en políticas públicas derivadas de la misma, como por ejemplo la planificación ambiental o la evaluación de riesgos industriales. También ha condicionado la inclinación de muchos de los estudios teóricos del campo hacia los problemas de representatividad en la participación pública promovida institucionalmente. En particular el programa *Ciencia y Sociedad*, dentro del marco de la *Investigación e Innovación Responsables* (RRI) promovido por la Unión Europea, pone el énfasis en la gobernanza democrática de los propósitos de la investigación y la innovación de modo que involucrar al público en los mismos se convierte en una cuestión ética que orienta la investigación hacia los «impactos correctos» (Owen, Macnaghten, & Stilgoe, 2012).

Sin embargo, la razón democrática no es la única aducida a favor del compromiso con la ciencia. Una formulación ampliamente aceptada es la que postula tres tipos de argumento (Fiorino, 1989; Stirling, 2008; Wilsdon & Willis, 2004):

- Argumento normativo: debe promoverse porque es lo correcto ya que uno de los ingredientes fundamentales en una democracia sana es el diálogo.
- Argumento instrumental: el *engagement* sirve, por un lado, a intereses de empresas, que pueden necesitar testear la opinión del público sobre una determinada innovación que pretendan introducir en el mercado, y por el otro, a los intereses de los gobiernos para fomentar la confianza social en la ciencia y en su capacidad de gestionarla.
- Argumento sustantivo: los procesos de participación tienen por objeto mejorar la calidad de la adopción de decisiones y crear soluciones científicas y tecnológicas más sólidas desde el punto de vista social. Los ciudadanos son vistos como sujetos del proceso que trabajan activamente para dar forma a las decisiones, en lugar de que sus opiniones sean sondeadas por otros actores.

Otro punto de vista sobre la participación es el defendido por García Rodríguez y Díaz García (2014), según el cual puede ser justificada por su capacidad de crear cultura científica ya que «genera conocimiento científico entre los involucrados, favorece la reflexión y estimula la acción» (García Rodríguez & Díaz García, 2014: 4). Las autoras señalan tres modalidades de participación como productoras de conocimiento científico entre el público:

¹⁴ Esta esfera pública es una red abierta formada a su vez por sub-esferas que se superponen entre sí con fronteras difusas; aunque vienen marcadas por un tema central, ya sea el arte, la religión, la ciencia o el cine, entre otros.

- Los foros híbridos descritos por Callon (1999) y que algunos autores denominan «coproducción colaborativa de conocimiento». Se trata de asociaciones o fundaciones vinculadas a un colectivo particular¹⁵ en las que circula información relevante, propuestas, iniciativas y reivindicaciones que no solo orientan y enriquecen la investigación en un determinado campo sino que ayudan a los participantes a comprender mejor la complejidad de los problemas y desarrollar capacidades que los acercan a los expertos (Epstein, 1995).
- El activismo social, que modifica la relación de los ciudadanos con la ciencia cuestionando el monopolio sobre el discurso científico de los expertos, y el activismo científico que cuestiona las relaciones de los científicos con los poderes establecidos¹⁶.
- La comunidad de pares ampliada, en la que los participantes son el público interesado o afectado por proyectos científicos y que pueden influir tanto en la elección de problemas a estudiar como en la evaluación de soluciones. Un ejemplo paradigmático serían los distintos tipos de controversias públicas, definidas como aquellas controversias científicas que traspasan los límites de la comunidad científica y llegan a foros públicos como parlamentos, medios de comunicación o tribunales.

Por último, a modo de reflexión general, queda señalar que el citado documento *Public Engagement in Science* (Commission, 2008) proclama que ha habido una comprensión del público inadecuada que puede subsanarse por medio del diálogo.

Las preocupaciones del público a menudo se caracterizan erróneamente, o se supone que se dirigen a cuestiones de "riesgo", más que a cuestiones más profundas sobre la dirección y los resultados de determinadas trayectorias de la innovación. Esas opiniones engañosas del público deberían sustituirse por una exposición más rica de los valores y preocupaciones públicos. (European Commission, 2008).

ii) Concepto y tipología

Como hemos visto en anteriores apartados en la revisión de otros conceptos, tampoco el *engagement* goza de una definición universalmente aceptada, mas allá de que su clave es el diálogo entre los científicos y el público en general. Así, la cuestión sobre qué actividades lo constituyen es abierta, siendo la opinión generalizada la de que abarca cualquier fórmula — incluidas las tecnologías online— que involucre el debate y el aprendizaje mutuo entre la comunidad científica y los legos. Por tanto, esta noción ampliada del *engagement* incluiría multitud de actividades, desde las promovidas por instituciones —como encuestas y campañas generales, los encuentros con «minipúblicos»¹⁷, conferencias de consenso, jurados ciudadanos, revisiones por pares extendidas o el mapeo deliberativo; siendo estas las más

¹⁵ Por ejemplo, foros de pacientes.

¹⁶ Un ejemplo de activismo científico sería el Manifiesto Einstein-Russell reclamando el desarme nuclear.

¹⁷ Término utilizado con frecuencia en la literatura académica para designar a los ciudadanos invitados a ciertos debates para dilucidar sobre temas científicos.

estudiadas por en el ámbito académico por su fin declarado de democratizar la ciencia—, hasta otras más informales —como eventos en campus universitarios, charlas con turno de preguntas, demostraciones que incluyen la participación de la audiencia, cafés científicos, ciencia en el bar, chats online y similares—. También formarían parte de este compromiso actividades espontáneas como las asociaciones de la sociedad civil para defender intereses o puntos de vista —en medicina son frecuentes las lideradas por pacientes—, y los proyectos de ciencia ciudadana propugnados en campos como la astronomía.

Según Lengwiler (2008), en el ámbito académico la participación observada o defendida se refiere, en la mayoría de los casos, a la participación en decisiones de política científica y rara vez a la participación en prácticas de investigación reales. El grado de participación varía según las disciplinas siendo más limitado en algunas ciencias naturales e ingeniería, donde la participación se realiza al final del proceso, centrándose en las consecuencias de la investigación en áreas como biotecnología verde, política de investigación agrícola o energía nuclear, y siendo más amplia en las ciencias médicas y biomédicas, donde la participación se requiere para el desarrollo y el diseño de tratamientos terapéuticos (Kleinman, 2000). En este sentido, Wilsdon y Willis (2004) distinguen la idea de *engagement* «ascendente» en etapas muy tempranas del proceso de desarrollo científico y tecnológico, y «descendente» después de que se hayan tomado las decisiones para llevarlo a la práctica.

Por su parte, Bensaude Vincent (2014) señala que el *public engagement in science* nació de la intersección entre iniciativas de arriba hacia abajo —denominadas *top down* en inglés— y una variedad de movimientos locales de abajo hacia arriba —denominados *bottom up* en inglés—. Además califica el término *engagement* como una «palabra de moda» —o *buzzword* en inglés—, cercana al anuncio o consigna, aunque valiosa por cumplir funciones positivas; por ejemplo, los gerentes de instituciones científicas lo utilizarían para prevenir riesgos de aceptación en el desarrollo de tecnologías emergentes, mientras que para las asociaciones de la sociedad civil y los ciudadanos interesados se trataría de una forma de influir en los programas de investigación y las elecciones tecnológicas inspirada en ideales democráticos. Los mecanismos *top-down* ofrecieron la oportunidad de incorporar las voces de los usuarios en la evaluación de propuestas de investigación y en la determinación de prioridades en la distribución de la financiación pública, mientras que los mecanismos *bottom-up* respondieron directamente a ciertas demandas de investigación procedentes de diversos grupos sociales¹⁸, influenciando directamente la agenda científica y la innovación tecnológica (Invernizzi, 2004).

Centrando ahora la atención en las tipologías de *engagement*, desde la literatura académica los intentos de acotar el campo mediante el desarrollo de las mismas han sido frecuentes, presentando los últimos estudios un grado cada vez mayor de detalle sobre los mecanismos involucrados.

¹⁸ Este fenómeno se conoce entre algunos académicos como «*community-based research*».

Rowe y Frewer (2005) desarrollan una tipología que define los mecanismos de participación ciudadana como un flujo de información entre los públicos relevantes y el patrocinador del *engagement* —por ejemplo, responsables de políticas o expertos científicos—, y en función del tipo de flujo clasifican los mecanismos para la participación pública en tres tipos:

- Comunicación pública: la información fluye unidireccionalmente desde los promotores de la iniciativa hacia el público, lo que incluye mecanismos como transmisiones de información y recursos estáticos de sitios web.
- Consulta pública: la información es también unidireccional pero fluye en sentido inverso desde el público hacia los promotores de la iniciativa. Supone la recopilación de información sobre o del público por parte del patrocinador mediante mecanismos como encuestas de opinión, referéndums, grupos focales o sitios web interactivos.
- Participación pública: la información se intercambia entre los miembros del público y los promotores. Se trata de un diálogo bidireccional entre el público y el patrocinador que puede ser a corto plazo, con breves intercambios de información, o a largo plazo, que puede durar décadas. Los mecanismos para la participación pública incluyen talleres de planificación de acciones, jurados de ciudadanos, conferencias de consenso y grupos de trabajo.

Para el lector interesado, los autores recopilan más de cien mecanismos de participación con referencias asociadas a los diferentes tipos de *engagement*, y sobre algunos de ellos incluyen estudios de caso. Nótese que en otro estudio previo ya habían confeccionado un cuadro que puede resultar ilustrativo sobre los mecanismos de participación «patrocinados» (Rowe & Frewer, 2000), donde trataron de medir la competencia de cada mecanismo de *engagement* en función de la eficiencia del flujo de información obtenido. Desde esta perspectiva, la eficiencia puede verse comprometida cuando la información de las fuentes es de alguna manera subóptima —la información es incompleta, irrelevante o simplemente incorrecta—, cuando la información se pierde o se distorsiona en el proceso de transferencia, y cuando el receptor procesa inadecuadamente la información por mala interpretación o atención selectiva.

Para García Rodríguez y Díaz García (2014) esta tipología tiene la ventaja de poner de relieve las similitudes y diferencias entre los mecanismos de *engagement*, lo que abre el camino a la clarificación conceptual y a la evaluación del impacto, pero presenta también algunos inconvenientes, ya señalados por Bucchi y Neresini (2008): restringe la participación pública a un concepto de flujo de información y resulta problemática porque no recoge las formas espontáneas de participación e ignora su carácter abierto, es decir, que sus resultados no siempre coinciden con los objetivos iniciales. Para paliar estas insuficiencias, Bucchi y Neresini (2008), basándose en el trabajo previo de Callon et al. (2002) sobre los foros híbridos, desarrollan su propia tipología en un diagrama de dos ejes, donde el eje vertical se refiere a la intensidad con la que los ciudadanos participan en los procesos de construcción de nuevo

conocimiento, mientras que el horizontal distingue las actividades «patrocinadas» de aquellas que son espontáneas e instigadas por los propios ciudadanos —véase Tabla 5—. Ambas dimensiones son concebidas como un proceso continuo en el que existen distintas gradaciones.

	Baja intensidad	Alta intensidad
Promoción	Debate nacional Mediación Referéndum Audiencia Pública Encuesta de Opinión Grupo focal Audiencia parlamentaria Oficina de evaluación de tecnologías	Panel de ciudadanos Gestión negociada Conferencia de consenso Conferencia ciudadana Comité asesor de ciudadanos <i>Forum</i> de ciencia y tecnología Evaluación constructiva de tecnologías Agendas de ciencia y tecnología <i>Science Shop</i>
Espontaneidad	Protesta pública Foros de debate	Litigio Comunidad de pares ampliada Foros híbridos Activismo tecnológico

Tabla 5. La participación formativa como fenómeno de aprendizaje social: requisitos y consecuencias. Tomada de García Rodríguez y Díaz García (2014: 11). Elaboración de las autoras sobre la base de los ejes propuestos por Bucchi y Neresini (2008).

Un enfoque diferente es el de Mejlgaard y Stares (2013), quienes pretenden analizar las deficiencias democráticas y superar las fallas de los modelos deliberativos centrados en el «ideal republicano de una ciudadanía científica», utilizando «modelos de clase latentes» para establecer una tipología del público y valiéndose para ello del análisis de los datos de la encuesta del Eurobarómetro, centrándose en la distancia entre lo que hacen las personas y lo que ellas mismas consideran apropiado en términos de participación, es decir, entre la participación realizada y la preferida. En función de ello distinguen las clases de ciudadanos contempladas en la Tabla 6. Este enfoque, según los propios autores, está más en línea de las concepciones liberales de ciudadanía y participación pública «que tienden a hacer hincapié en los intereses individuales más que en las responsabilidades cívicas, y en la oportunidad de participación más que en la obligación de participar» (Mejlgaard & Stares, 2013: 662).

Por último, otra clasificación de interés es la desarrollada en el marco del proyecto *Public Engagement Innovation for Horizon 2020*, en la que se identifican cinco categorías basándose en dos parámetros, el objetivo del mecanismo de *engagement* y la dirección del flujo de información —véase Tabla 7— (Mejlgaard, Ravn, Rask, Mačiukaitė-Žvinienė, & Tauginienė, 2015).

Clase de ciudadano	Participación realizada	Participación preferida
Espectador	Han escuchado sobre el tema, incluso han buscado información, pero no han participado activamente en ninguna actividad orientada a políticas científicas	Prefieren estar informados sobre ciencia y tecnología, pero dejan las decisiones a los expertos.
No comprometido	La ciencia y la tecnología no son un problema	Prefieren no participar o no tienen opinión sobre ello
Descontento	El nivel de participación es muy bajo	Tienen un fuerte deseo de participación
Sobretriunfador (over-achiever)	Nivel alto de participación	Deseo modesto de participación

Tabla 6. Tipología del público y participación. Elaboración propia a partir de Mejlgaard y Stares (2013).

Tipo	Objetivo	Flujo de información	Ejemplos
Comunicación pública	Informar y / o educar a los ciudadanos	De los patrocinadores a los ciudadanos (sin retroalimentación)	Comentarios públicos Audiencias públicas. Actividades de sensibilización
Activismo público	Influenciar a los poderes públicos en la toma de decisiones	De los ciudadanos a los patrocinadores	Manifestaciones Protestas
Consulta pública	Informar a los tomadores de decisiones de la opinión pública sobre ciertos temas	De los patrocinadores a los ciudadanos (sin diálogo)	Paneles de ciudadanos Planificación para grupos reales Grupos de discusión
Deliberación pública	Facilitar la deliberación de grupo sobre cuestiones de política pudiendo el resultado repercutir en la toma de decisiones.	Comunicación bidireccional; se facilita el diálogo	Minipúblicos como: Conferencias de consenso Jurados de ciudadanos Sondeos de opinión deliberativos
Participación pública	Asignar a los ciudadanos un poder pleno de toma de decisiones en temas de políticas	Comunicación bidireccional; se facilita el diálogo	Gobierno conjunto en democracia directa: presupuestos participativos consejos juveniles Referendums vinculantes

Tabla 7. Tipologías del *engagement*. Elaboración propia a partir de Mejlgaard et al. (2015).

iii) Implementación del *engagement*

Sin perjuicio de que puedan rastrearse formas de compromiso en el período que va desde el nacimiento de las actuales disciplinas científicas a lo largo del siglo XIX hasta el cambio en la práctica de la ciencia surgido con posterioridad a la Segunda Guerra Mundial —véase capítulo 1—, podemos considerar que las experiencias de *engagement*, entendidas en el sentido actual, se iniciaron con un alcance limitado entre los años 60 y 80 del siglo pasado. Algunos ejemplos serían las primeros *science shops*¹⁹, creadas por universidades holandesas y alemanas en los 60, las conferencias de consenso de mediados de los 70 en Estados Unidos, los jurados ciudadanos o la *Danish Board of Technology* establecida en Dinamarca en 1986 para asesorar al Parlamento danés (Invernizzi, 2004).

De forma diferencial, se da la circunstancia de que, en la década de los 80, se produjeron una serie de acontecimientos trágicos como el desastre químico de Bhopal (1984) o el accidente en la central nuclear de Chernobyl (1986) junto con emergencias sanitarias como la pandemia del SIDA o la crisis de la encefalopatía espongiforme bovina en el Reino Unido (1989). Esto sumado a una serie de escándalos de mala *praxis* científica condujo a un incremento en la toma de conciencia del público sobre los riesgos asociados a la ciencia y la tecnología, a la vez que motivó tanto reacciones de las instituciones públicas como un aumento del activismo social de modo que, a lo largo de las décadas de 1980 y 1990, los ciudadanos interesados desarrollaron nuevas formas de inclusión pública de abajo hacia arriba. Ejemplos de ello fueron los activistas del SIDA en Estados Unidos, que obtuvieron representación en comités asesores y en consejos de hospitales así como en centros de investigación (Epstein, 1995), la *Association Francaise contre les Myopathies* (AFM), que intervino en la investigación médica y promovió el reconocimiento social de los pacientes (Callon & Rabearisoa, 2008), o la acción de los residentes de Woburn (Massachusetts) para recolectar datos epidemiológicos e información sobre un número sospechosamente alto de casos de leucemia infantil en su área, que motivó un programa de investigación en el MIT que descubrió las mutaciones genéticas causadas por el tricloroetileno presente en las aguas de la zona (Brown & Mikkelsen, 1997). También se crearon grupos de «expertos independientes» en áreas específicas como la energía nuclear (Topçu, 2008).

Es en los años 90 y, en particular, desde el cambio de siglo, la participación ciudadana en la ciencia y la tecnología se convierte en un tema de creciente importancia académica y social, extendiéndose a distintos países desarrollados y adscribiéndose a campos dispares como las telecomunicaciones, la ingeniería genética, la investigación del cambio climático o la nanotecnología. De esta forma, puede considerarse un movimiento nuevo que es apoyado institucionalmente por diversas organizaciones e incluso reconocido en publicaciones científicas tradicionales como *Nature*, la cual le dedicó un especial en 2001 (Bensaude

¹⁹ Espacios mediadores entre científicos y ciudadanos para responder a las necesidades de conocimiento de la población y plantear direcciones de investigación.

Vincent, 2014). En este contexto, se ha resaltado que «conceptos como la innovación abierta o la innovación basada en la comunidad son parte de una tendencia emergente en investigación e innovación» (Guimarães Pereira, 2015: 7), al tiempo que las controversias ya no se consideran anomalías a día de hoy, sino que forman parte de un proceso de evaluación informal que caracteriza determinados desarrollos científico-tecnológicos conflictivos como pueden ser la clonación o los alimentos transgénicos (García Rodríguez & Díaz García, 2014).

En nuestros días, las redes sociales se han convertido en un mecanismo cada vez más destacado de participación pública permitiendo un diálogo continuo en tiempo real entre los patrocinadores y una audiencia mucho más amplia y diversa. Pueden citarse, por ejemplo, las activas comunidades existentes en Twitter sobre temas diversos como la astronomía, botánica, ornitología o matemáticas, en ocasiones permitiendo la participación en la propia investigación científica a través de proyectos, cada vez más numerosos, de la llamada «ciencia ciudadana». Otros ejemplos de interés serían los del campo de la informática, donde los verdaderos productores de la tecnología de Internet fueron, fundamentalmente, sus usuarios (Castells, 2001), así como la tecnología *wiki* mediante la que cualquier persona puede participar en la creación de conocimiento —siendo un ejemplo paradigmático de ello la Wikipedia—. También se han puesto de relieve iniciativas como el «hacktivismo», que aborda cuestiones como el *e-learning*, los repositorios de información o la gestión de los derechos de publicación (García Rodríguez & Díaz García, 2014).

De forma específica, debe incidirse en que las redes sociales desempeñan un papel cada vez más relevante en temas de salud, dado que permiten una mayor autoorganización de las asociaciones de pacientes a la vez que ponen al alcance del público una cantidad de información anteriormente inimaginable, aunque con la dificultad que conlleva distinguir la ciencia de los bulos y opiniones pseudocientíficas —véase 1.1.2.v—. Para las instituciones sanitarias, las redes también se han transformado en un pilar esencial para sus campañas de salud pública, en particular en emergencias como la epidemia de Ébola de 2013 o la actual pandemia de COVID-19.

Por otra parte, también desde el punto de vista institucional cabe destacar que la Unión Europea —a través de la Comisión Europea— ha jugado un papel de creciente importancia en la promoción de los enfoques participativos, comenzando por el denominado *Science and Society Action Plan* (European Commission, 2002) y siguiendo con los posteriores *Programas Marco* sexto y séptimo y su sucesor, el programa *Horizon 2020*, de modo que en los últimos veinte años las cuestiones relativas a la imbricación entre ciencia y sociedad se han introducido, cada vez en mayor medida, en todas las esferas temáticas de las políticas europeas; tanto en lo que se refiere al contenido de la ciencia y la investigación como a la explotación y accesibilidad de sus resultados, de forma que el compromiso público se ha visto fortalecido.

Un hito destacable en estas políticas es el informe programático citado previamente *Public Engagement in Science* (European Commission, 2008), donde se expone que ha habido un cambio perceptible en los últimos años desde la Comprensión Pública de la Ciencia a la participación pública, y se identifican tres fases:

Fase	Objetivos
Comprensión pública de la ciencia	«La respuesta inicial de los científicos a los crecientes niveles de desapego y desconfianza del público fue embarcarse en una misión para informar» (PES, 2008: 17).
Del déficit al diálogo	«hubo un nuevo impulso hacia la rendición de cuentas y el compromiso. [...] La comunidad científica ha adoptado un tono más conversacional en su trato con el público» (PES, 2008: 17).
Compromiso con las corrientes ascendentes	«Existe la sensación de que las controversias anteriores han creado una ventana de oportunidad, a través de la cual podemos ver más claramente cómo reformar y mejorar la gobernanza de la ciencia y la tecnología» (PES, 2008: 18).

Tabla 8. De la comprensión pública de la ciencia a la participación pública. Elaboración propia a partir de PES (2008).

En el documento se enfatiza que debemos encontrar nuevas formas de empoderar al público y de recompensar a los científicos que se involucran constructivamente con la sociedad civil. Y se aclara que:

[...] el compromiso público no trata simplemente de una mejor comunicación. Las instituciones deben ofrecer oportunidades significativas para que las voces públicas influyan en la toma de decisiones. Deben preguntarse con qué eficacia se están incorporando los valores, las esperanzas y las aspiraciones cambiantes de la sociedad a los productos y trayectorias de la ciencia y la tecnología. (PES, 2008: 15).

La transición que se persigue es, por un lado, que los legos pasen de ser consumidores pasivos a ciudadanos preocupados, y por el otro, que el científico dedique tiempo a las dimensiones sociales y éticas de su trabajo. Para ello se propone desarrollar las capacidades de los científicos para involucrarse con el público y la búsqueda de formas de incentivarlos, e incorporar a la sociedad en los primeros estadios del proceso de investigación científica reconociendo la contribución del conocimiento público.

Posteriormente, la Comisión Europea acuña la etiqueta de «investigación e innovación responsable» (RRI), entendida como «un enfoque que prevé y evalúa las posibles consecuencias y expectativas de la sociedad con respecto a la investigación y la innovación, con el fin de fomentar el diseño de una investigación e innovación inclusiva y sostenible» (European Commission, 2014b). En particular, la RRI se estructuró en las siguientes seis dimensiones: gobernanza, ética, igualdad de género, acceso abierto,

participación ciudadana y educación científica; dando lugar cada una de ellas a distintas acciones y proyectos.

En el ámbito europeo, queda mencionar el programa sucesor de *Horizon 2020*, denominado *Horizon Europe* (HE), que estará en vigencia para el periodo 2021-2027, el cual mantiene estos objetivos y crea nuevos instrumentos como las «misiones de investigación e innovación» que definen como «una cartera de acciones transdisciplinares con un plazo determinado destinada a alcanzar una meta audaz e inspiradora, a la vez que cuantificable, que tiene un impacto en la sociedad y la formulación de políticas y es pertinente para una parte importante de la población europea y un amplio espectro de ciudadanos europeos» (European Commission, 2020).

Por último, respecto al ámbito español, para el lector interesado pueden citarse algunas experiencias interesantes como la *science shop* creada por la Universidad Carlos III (UC3M-INAECU) y centrada en proyectos de sostenibilidad, que pertenece al marco del proyecto *SciShops.eu*; la *UOC Science Shop* de la Universidad Oberta de Catalunya; o la *ScienceShop* del grupo de investigación *ScienceFlows* de la Universidad de Valencia; así como los proyectos participativos del Living Lab de Salud patrocinado por el Instituto de Investigación del Sida IrsiCaixa²⁰. Asimismo, pueden encontrarse objetivos centrados en la participación en los diversos proyectos de ciencia ciudadana patrocinados por instituciones como el CSIC —por ejemplo, los de la Fundación Ibercivis—.

iv) Críticas al *engagement*

A pesar de los avances expuestos, autores destacados del campo como Irwin (2014)²¹, Jasanoff (2014) o Wynne (2014) critican la persistencia del modelo lineal de comunicación. En concreto, se ha reflexionado sobre el potencial y las limitaciones de las prácticas participativas en lo que se refiere a las formas de *engagement* «patrocinadas», señalando preguntas no resueltas que los futuros debates sobre enfoques participativos tendrán que enfrentar. Por ejemplo, si son lo suficientemente democráticos, si la selección del público es lo bastante aleatoria, cómo se aborda al público no interesando en ciencia y cuestiones similares. Una pregunta que emerge al respecto es: ¿son suficientes estos ejercicios o debemos concebir un modelo más integral de *engagement* en consonancia con la sociedad democrática?

Se ha advertido como limitación el hecho de que los estudios sobre participación suelen evaluar únicamente sus fases finales y no el proceso de diseño (Lengwiler, 2008), y se ha señalado que debe reflexionarse sobre el modo de conseguir una representación más plural de los actores (Stirling, 2008). Otros autores enfatizan la distinción entre participación y representación señalando que los procesos participativos sufren relaciones jerárquicas de poder, por lo que una mera participación no daría automáticamente por resultado un sistema

²⁰ En la actualidad existe el proyecto de construir una red de *science shops* en la Península Ibérica.

²¹ Este autor alega que «solo cuando tengo un buen día puedo reconocer que hemos avanzado algo» (Irwin, 2014: 73).

de representación en el que los no expertos tengan los medios necesarios para expresar sus inquietudes (Jasanoff, 2003). Para el lector interesado, en un artículo que analiza 20 años de *engagement*, Stilgoe, Lock y Wilsdon (2014) advierten de la necesidad de desarrollar nuevas líneas de argumentación y análisis viendo el compromiso en un contexto político más amplio.

Por su parte, Mejlgaard y Stares (2013) subrayan que los estudios evaluativos han servido para ilustrar que existe una distancia *de facto* entre la práctica real de la participación pública, por un lado, y el modelo normativo, por el otro; y llaman la atención sobre el hecho de que la selección aleatoria de ciudadanos en la participación patrocinada no es tal:

Además, si bien los organizadores de las deliberaciones a menudo conciben a los ciudadanos "ordinarios" participantes como un reflejo demográfico de la población, que carecen de formación científica y tecnológica y no tienen una posición de defensa de los asuntos en cuestión, en realidad tienden a estar comparativamente más alerta y conscientes, con ingresos más altos, una orientación más liberal y una formación educativa comparativamente mejor que el ciudadano medio. (Mejlgaard & Stares, 2013: 661).

Por otro lado, nótese que el concepto de «comprensión pública de la ciencia» tiene todavía seguidores en el ámbito académico por considerar que el nuevo enfoque adolece de debilidades conceptuales y ofrece resultados modestos en la práctica. Así, Pardo (2014) considera que «desde una óptica analítica el enfoque del *engagement* no supone verdadera ganancia conceptual respecto al modelo de déficit y alfabetización científica» (Pardo, 2014: 59), y que las «formas de participación ensayadas difícilmente permiten integrar al público de las sociedades de masas, no siendo evidente que su “voz” pueda ser representada por veinte o treinta personas por bien escogidas que estas hayan sido» (Pardo, 2001: 58-59). Para el autor, muchos de estos ejercicios buscan que el «público atento» —acuñado por Miller— haga suya la visión de la comunidad científica sobre áreas controvertidas.

Por último, quizá una opinión más matizada es la de Davies (2013), quien considera que si bien es fácil señalar las deficiencias de la historia triunfalista del cambio de *Public Understanding of Science* (PUS) a *Public Engagement in Science* (PES)²², por el contrario, una vez que se profundiza en las experiencias de participación pública de los científicos y profesionales de la comunicación, estas no solo hay que evaluarlas en función de sus resultados positivos para la promoción de la democracia sino también por su capacidad de incrementar el disfrute y el aprendizaje mutuo²³. En este sentido la autora aboga por la coexistencia de diferentes modelos de comunicación y se pregunta: ¿existen formas de entender la práctica y el significado del compromiso público que puedan hacer frente a esta multiplicidad y que no nos obliguen a distinguir simplemente entre PUS y PES, lo viejo y lo nuevo, lo anticuado y lo ilustrado? (Davies, 2013: 690).

²² La autora utiliza el acrónimo PEST —*Public Engagement in Science & Technology*—.

²³ En el mismo sentido, García Rodríguez y Díaz García (2014) hablan de la «participación formativa» y profundizan en el aprendizaje, contemplando cómo el *engagement* sirve para generar cultura científica en la sociedad.

2.2 Mediciones de referencia

En el apartado 2.1 se ha descrito, desde un punto de vista teórico, el surgimiento del campo académico de los estudios de percepción social de la ciencia así como su evolución, en las últimas décadas, hacia postulados como el *engagement* que invocan una relación más igualitaria entre ciencia y público. En este apartado analizaremos someramente los estudios empíricos derivados de los anteriores presupuestos teóricos, centrándonos en aquellos más significativos a nivel global.

El estado de la relación entre ciencia y sociedad se ha investigado repetidamente mediante estudios cuantitativos a través de encuestas a gran escala sobre muestras aleatorias de la población en distintos países. Los resultados de estas iniciativas se consideran útiles para enriquecer las políticas públicas, replantear los mecanismos de comunicación científica y concienciar a la propia comunidad científica. Sin embargo, debe señalarse que existe una distancia entre lo que se pretende medir teóricamente y lo que efectivamente miden los distintos indicadores de percepción social de la ciencia que genera insatisfacción entre los expertos. En principio los cuestionarios se diseñaron para efectuar medidas de alfabetización científica, aunque de forma más reciente también se ha tratado de incorporar la dimensión social en estudios posteriores.

En esta segunda parte del capítulo se repasan los principales sondeos llevados a cabo desde mediados del siglo XX para entender, a grandes rasgos, qué se pretende medir y cuáles son las limitaciones que se presentan. Para ello, se presta una atención especial al llamado informe Davis por ser el documento fundacional en el que se inspiran las encuestas posteriores, y a continuación se exponen los *Science and Engineering Indicators* de la *National Science Foundation*, realizados de forma periódica en Estados Unidos desde hace cuatro décadas, y sus análogos, los *Special Eurobarometer* sobre ciencia y tecnología de la Comisión Europea. Si bien los estadounidenses tratan de medir el interés de los ciudadanos por las noticias de ciencia y tecnología, así como los conocimientos científicos que poseen y determinadas actitudes, por su parte, los europeos procuran evaluar actitudes generales hacia la ciencia y la tecnología. Cabe puntualizar también que otros de menor influencia o alcance, en los que no se profundizará por falta de espacio, se llevan a cabo para orientar acciones, siendo un ejemplo de ello las encuestas periódicas de la Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología (FECYT) en España. Sí se referirá, en cambio, la encuesta conjunta de Miller y Durant, llevada a cabo simultáneamente en Estados Unidos y Reino Unido, por su notable influencia en el diseño de los cuestionarios a partir de 1988.

Por otro lado, nótese que para entender el alcance y las limitaciones de los estudios empíricos de percepción social de la ciencia es necesario puntualizar que su foco son los ciudadanos, es decir, la unidad de análisis es el individuo, que pertenece al conjunto de la población que con frecuencia denominamos «público» en el presente proyecto de

investigación. No obstante, algunos autores demandan que el análisis de los estudios debe completarse atendiendo a una realidad social más completa y apuestan por concebir el campo ampliando la perspectiva a la cultura científica. Proponen así otro tipo de enfoque con el que se pretende medir esa cultura científica considerando la dimensión social en los indicadores de forma que los estudios incluyan, además de los resultados de las encuestas a individuos, otros indicadores colectivos como el rendimiento científico de un país y aspectos similares que, por ejemplo, pueden encontrarse en los informes de la OCDE o la UNESCO —y que no desdeñan, por tanto, la contribución de las instituciones—. En este caso la unidad de análisis es la sociedad. Se distinguen así dos aproximaciones, una centrada en los individuos de a pie y otra que además añade la incidencia científica en la ecuación. Sus respectivas fuentes de información son, para ambas, las respuestas de los cuestionarios y, solo para la última, los indicadores estatales y supraestatales de ciencia y tecnología. Recientemente el enfoque de perspectiva más amplia ha despertado el interés entre los autores del campo, por lo que se incluye un apartado para reseñar algunas de las propuestas que aúnan ambos tipos de indicadores.

La presente sección, por otra parte, no se centra de forma extensa en otros estudios por limitaciones de espacio, pero conviene mencionar para el interesado que desee profundizar en ello la encuesta conjunta de FECYT-OEI-RICYT (2009), que contiene, de forma distintiva, medidas de los valores asociados a la ciencia en los individuos y examina cuestiones de apropiación social de la ciencia, relacionando el conocimiento científico con la vida diaria de los encuestados e incluyendo su participación en actividades y sus impresiones de «hacia dónde se dirige la ciencia» (Laspra, 2015). Además, en este cuestionario se diferencia entre la percepción de los perjuicios y los beneficios de la ciencia en preguntas separadas, una iniciativa recomendada por Miller (2004). De forma similar, también pueden citarse el *Manual de Antigua* (2013), que integra la perspectiva institucional a la vez que monitoriza el consumo de información, actitudes y valores —e incluso algunas cuestiones de apropiación—; y el *Estudio Internacional de la Cultura Científica* (2012) de la Fundación BBVA, en el que se evalúan por separado las expectativas positivas y negativas situando a la ciencia como parte de una realidad compleja, además de introducir en el análisis un «índice de cercanía a la ciencia» que mide la familiaridad con la ciencia favorecida a través de los vínculos de los encuestados con, por ejemplo, científicos de su entorno cercano o familiar.

Por último, debe resaltarse que las limitaciones de los estudios de percepción social de la ciencia pueden diferenciarse en dos tipos, por un lado, las asociadas a los presupuestos teóricos iniciales, y por el otro, las metodológicas, que atañen al diseño de los cuestionarios y a la interpretación de resultados (Muñoz van den Eynde, 2014). Además, se ha advertido que típicamente muestran actitudes generales y predisposiciones, más que actitudes concretas.

2.2.1 Informe Davis (1958)

En 1957 Ronald C. Davis condujo una encuesta a la población estadounidense encargada por la *National Association of Science Writers* (NASW) con el propósito de medir la proporción de las audiencias y los patrones de consumo de noticias científicas²⁴. El estudio contó con 1.919 entrevistas a nivel nacional, tras una primera fase experimental de 200 que sirvió para optimizar el cuestionario. Tal y como se ha avanzado previamente, el informe resultante, *The Public Impact of Science in the Mass Media* o informe Davis (1958), constituye el documento fundacional de los posteriores estudios a gran escala en materia de comprensión y percepción social de la ciencia.

En principio, esta iniciativa se apoyaba en el supuesto de que había una asimetría entre el interés del público por la ciencia y la reducida cantidad de noticias científicas ofrecida por los medios, partiendo de la premisa de que «el número de consumidores de noticias científicas es mucho mayor de lo que uno deduciría de la proporción de contenido mediático dedicado a la ciencia» (Davis, 1958: 4), una idea fundamentada en una serie de estudios a través de cuestionarios en el ámbito educativo desde finales 30 hasta mediados 50. El objetivo general del sondeo era contribuir a la comprensión del proceso de comunicación de masas y evaluar su estado en ese momento, resultando de utilidad para incrementar la efectividad en las comunicaciones al público lego; mientras que de forma más concreta, en los objetivos específicos del informe, listados a continuación, se manifiestan las preocupaciones del momento en relación con la percepción social de la ciencia y de los científicos, incluyendo factores psicológicos y sociales en las medidas.

- Determinar el tamaño y la composición de las principales audiencias de los medios de comunicación
- Determinar el tamaño y las características de las audiencias de la ciencia de los medios de comunicación
- Describir el contenido de las noticias científicas que se han leído, oído y visto
- Obtener la evaluación de las audiencias científicas sobre la forma en que se presentan las noticias científicas
- Analizar los factores sociales y psicológicos —capacidades, intereses y motivaciones— que se relacionan con el consumo de noticias científicas
- Ver cómo las noticias de ciencia encajan en los patrones de lectura de la audiencia de los periódicos
- Examinar los efectos de la redacción diferencial de las noticias científicas en el nivel de interés del lector
- Estimar la distribución de la información científica entre el público

²⁴ Realizada por el *Survey Research Center* de la Universidad de Michigan.

- Para determinar las concepciones y actitudes del público en relación con la ciencia y los científicos.

(Davis, 1958: 4)

Para llevar a cabo la encuesta, destaca el hecho de que los entrevistados no estaban al corriente de que el eje central de la encuesta era la ciencia. Además, al inicio de la misma, se proporcionaba una definición sobre qué se entendía por ciencia para situar al encuestado —y que incorporaba tanto la ciencia básica como la aplicada—:

Incluye todo lo que los científicos descubren sobre la naturaleza —podrían ser los descubrimientos sobre las estrellas, o los átomos, sobre el cuerpo humano o la mente— cualquier descubrimiento básico sobre cómo funcionan las cosas y por qué. Pero la ciencia también incluye la forma en que esta información se utiliza para usos prácticos —podría haber una nueva forma de curar una enfermedad, o la invención de un nuevo motor de automóvil, o la fabricación de un nuevo fertilizante. (Davis, 1958: 231).

Sobre esta base, se construye el resto de la encuesta.

Son tres las variables que se tratan de medir en el informe resultante: conocimiento, interés y actitudes. En primer lugar, las medidas de conocimiento se apoyan en la familiaridad respecto a cuatro temas científicos de la actualidad en las noticias científicas de la época: la vacuna de la polio, la fluorización, la radiación y los satélites espaciales —temas que se presentan con una dificultad ascendente²⁵, siendo el último el más difícil—. Como nota de interés, puede señalarse que el contexto de la encuesta es un clima de alerta y desconfianza ante el uso de energía nuclear, pero previo a los movimientos contraculturales tras las protestas contra la guerra de Vietnam y a dos obras clave que rompieron con la imagen tradicional de la ciencia: *Primavera silenciosa* (1962) de Rachel Carson, que despertó la alarma social y detonó los movimientos ecologistas, y *La estructura de las revoluciones científicas* (1962) de Thomas Kuhn, que rompió con la concepción positivista de la ciencia y su método. Respecto al cuarto tema, tiene especial relevancia el hecho de que la encuesta fue previa al lanzamiento del *Sputnik I* por la Unión Soviética, el primer satélite artificial que orbitó la Tierra, constituyendo la única medida de la comprensión y las actitudes del público anterior al inicio de la carrera espacial (Miller, 1998)²⁶. Los dos primeros temas seleccionados para las medidas de conocimiento estaban circunscritos al ámbito de la salud, en general más populares y asequibles.

El informe planteó estos cuatro temas con el pretexto de estudiar las «habilidades» adquiridas por el individuo a través de la educación o bien de la información previa que había recibido, siendo estas las herramientas intelectuales identificadas para afrontar el consumo

²⁵ De acuerdo con la llamada escala Guttman.

²⁶ La pregunta sugiere que este desarrollo de tecnología espacial constituía uno de los temas estrella de las nociones de actualidad científica en la ciudadanía: «P.7. Have you heard anything about plans to launch a space satellite, sometimes called a man-made moon? (If Yes) P.7.a. From what you've heard, what is the purpose of launching these space satellites?» (Davis, 1958: 232).

de noticias científicas. En segundo lugar, la variable «interés» se investigó en relación con dos tipos de valor asignado por el individuo: uno de orientación práctica, personal y utilitario, y otro relacionado con la curiosidad intelectual, siendo impersonal y abstracto. Además, el interés se estudió tanto como una atención declarada explícitamente como una disposición implícita, e incluyó consideraciones acerca de la forma en la que se presentaba la información en los diferentes canales —periódicos, revistas, radio y televisión—. Se trató así de analizar por qué el individuo consumía noticias científicas y cómo; examinando los canales de comunicación y las formas en que podía presentarse la información. Para esto último, se pidió a los encuestados que expresaran su grado de interés respecto a nueve historias hipotéticas enunciadas de forma distinta a la mitad de los encuestados, una táctica que permite estudiar el efecto que producen diferentes maneras de comunicar la información²⁷. En tercer lugar, las actitudes o valoraciones se plasmarían, presumiblemente, con respuestas sobre la imagen de la ciencia y de los científicos, incluyendo las manifestaciones de entusiasmo o miedo ante los potenciales impactos del desarrollo de la ciencia.

Otro aspecto interesante en la encuesta es una clasificación mediante la cual se trató de identificar el tipo de motivación mostrado por los encuestados para estimar el grado de propensión a la ciencia mediante una escala que incluía los roles de «entusiasta», «activo», «ocasional» y «desinteresado».

Los entusiastas se definen como aquellos que leen todo o algo y quieren más ciencia; los activos son aquellos que leen todo o algo y quieren la misma cantidad; los de tipo ocasional son aquellos que echan un vistazo a la ciencia y quieren lo mismo o más; y el grupo desinteresado incluye a todos aquellos que omiten la ciencia o quieren menos. (Davis, 1958: 163).

Esta «tipología motivacional» se introdujo en la encuesta tras el estudio piloto, por lo que se diseñó la pregunta tras una fase exploratoria del público. Para identificar patrones de comportamiento se ofrecieron las siguientes cinco alternativas: (1) «Me gusta mantenerme al día con las cosas que están pasando. (2) La ciencia es interesante. (3) La ciencia me ayuda en la vida diaria. (4) La ciencia es emocionante. (5) La ciencia puede determinar si mi familia y yo, y el mundo mismo, sobreviviremos» (Davis, 1958: 171). En este sentido:

El primero refleja un deseo muy generalizado de buscar información sobre el mundo; la ciencia, al ser parte de ese mundo, está incluida. La segunda pregunta cubre la reacción a la ciencia como un área especial intrínsecamente interesante. La tercera toca el tema de la utilidad, la visión altamente pragmática de la ciencia como una ayuda. La cuarta pregunta da una respuesta más emocional a la ciencia. Y la última pregunta, que tiene un aspecto general de otro tipo, llega a la ciencia como una ayuda o defensa contra eventos externos que inspiran miedo. (Davis, 1958: 171).

²⁷ Esta idea es clave para los estudios llevados a cabo en el capítulo 4.

Como se ha mencionado, en el informe también se llevó a cabo un experimento para determinar de qué manera variaba el interés en función de cómo se presentaba la información científica. En la Tabla 9 se han reproducido un par de ejemplos que evidencian el papel que juegan las estrategias de comunicación a la hora de despertar interés en el público:

Forma A	Mucho	Algo	No mucho	Forma B	Mucho	Algo	No mucho
Cohetes y viajes espaciales	18	20	61	Se anuncia la prueba de un nuevo cohete para el primer vuelo a la luna	26	22	51
Descubrimiento de una nueva estrella	14	25	60	La estrella recién descubierta da una pista de cómo comenzó el mundo	24	25	49

Tabla 9. Ejemplo de expresiones de interés hacia la ciencia en el informe Davis. N=1919. (Davis, 1958: 120).

Si se repara en las estadísticas reflejadas en la Tabla 9, la forma en que se formulan las frases con información científica marca la diferencia en el volumen de individuos que manifiestan un interés bajo o un interés alto, mientras que si el interés es medio, apenas se aprecia variación. Una interpretación es que el aumento en el interés salta desde «no mucho» a «mucho» cuando la ciencia se enuncia de forma atractiva y se incluyen consideraciones sobre su utilidad. De acuerdo con ello, parece razonable plantearse que los individuos con un interés medio en la ciencia son menos impresionables por los titulares, mientras que los de interés alto serían los entusiastas y los de interés bajo los desinteresados y detractores, ambos últimos de carácter más emocional y por tanto más estimulables. Otra interpretación es que el interés se traspasa de forma ascendente de un escalón a otro, es decir, los que declaran menor interés, aumentan a un interés medio, y los de este último tipo, al superior. En cualquier caso, este fenómeno debe investigarse de manera más profunda. Sobre esto:

[...] aunque una redacción vívida y concreta atrae más atención en todos los grupos, tiene más efecto entre aquellos grupos que están más fuertemente dispuestos a las noticias de la ciencia. La evidencia puede resumirse de la siguiente manera: una redacción estimulante tiene más impacto en aquellos que poseen más información científica, los que actualmente leen la ciencia de forma extensa y aquellos que quieren más ciencia. En otras palabras, cuanto más interesada en la ciencia esté una persona, más interés adicional puede estimularse. (Davis, 1958: 132).

Efectivamente, una de las ideas que se fraguan a raíz de este estudio es el axioma «cuanto más sabes, más te gusta» —en inglés: «*the more you know, the more you love it*»—, uno de los supuestos centrales en los dos primeros paradigmas que ha sido ampliamente criticado

posteriormente por no considerar que un público informado puede ser consciente de los impactos negativos de la ciencia y por tanto desaprobala, como se ha expuesto en el apartado 2.1.

Por otro lado, según los resultados que se recogen en el informe Davis, se admitía de forma generalizada el éxito de la ciencia en su tarea de comprender el mundo, e incluso predominaba la creencia de que con ella se puede abordar cualquier tipo de problema. La ciencia era concebida como una empresa positiva con científicos dedicados a «buenos» fines —aunque en períodos de crisis esta imagen podía variar y ser más negativa—. Cuando además se pidió a los encuestados hacer un balance de los efectos de la ciencia en el mundo, se enfatizaron los positivos —mejoras en la salud, el nivel de vida y el avance tecnológico—, mientras que los efectos negativos eran asignados al potencial destructivo de la energía atómica. En cualquier caso, no se responsabilizó a ningún grupo concreto ni se atribuyó culpa a los científicos: «El propio científico es visto como una persona inteligente, educada, trabajadora y dedicada. Una pequeña minoría ve más rasgos negativos, como la ineptitud social o la excentricidad» (Davis, 1958: 221). En particular, algunas minorías significativas consideraron que la ciencia debía centrarse exclusivamente en los problemas prácticos y evitar posibles choques con creencias religiosas, por lo que se debería restringir la investigación en áreas controvertidas. En este sentido algunos encuestados mantuvieron una imagen de los científicos como individuos curiosos, extraños e irreligiosos, debiéndose a consecuencia imponer límites a la libertad de investigación.

En suma, la aproximación a la percepción social de la ciencia que efectúa el informe Davis era ya bastante completa, revelando en el diseño del cuestionario gran parte de las preocupaciones que se formularon de forma explícita posteriormente, desarrolladas en la sección 2.1., si bien los presupuestos teóricos que sustentaban las preguntas fueran más o menos acertados. A partir de entonces, Miller se basa en el informe Davis para elaborar los cuestionarios de la *National Science Foundation*, expuestos a continuación.

2.2.2 Los *Science and Engineering Indicators*

En Estados Unidos, los *Science and Engineering Indicators* producidos por la *National Science Foundation* son estudios periódicos que combinan indicadores de rendimiento científico con indicadores de percepción social de la ciencia²⁸, es decir, incluyen en cada serie, además de los resultados de encuestas a la población, otros indicadores para evaluar aspectos a nivel nacional como la investigación y el desarrollo en el ámbito académico, el capital de científicos e ingenieros del que dispone el país, la industria tecnológica en el mercado global, e incluso las tendencias en investigación y desarrollo —y su comparación con el panorama

²⁸ Otros que comparten este enfoque, son los de la Fundação de Amparo à pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) en Brasil o el National Council of Applied Economic Research (NCAER) en India. También en Europa se está trabajando en esta dirección, por ejemplo en la propuesta de Martin Bauer de un indicador de cultura científica que integra estos aspectos.

internacional—. En ellos también se contemplan parámetros que dan cuenta del aprendizaje de la ciencia y la ingeniería en la educación superior, además de la enseñanza de la ciencia y de la matemática en etapas tempranas como la educación elemental y secundaria. En los informes resultantes, las partes que abordan la comprensión y las actitudes públicas hacia la ciencia reúnen a su vez resultados de otros sondeos —por ejemplo, en el de 2014 se utilizaron 17 estudios de ámbito norteamericano y 19 de ámbito Europeo—. A diferencia de estos, los Eurobarómetros —descritos en el siguiente apartado— son en exclusiva resultado de entrevistas.

Pueden distinguirse tres fases, según Montañés (2011), en la historia de los *Science and Engineering Indicators*. Entre 1972 y 1976, estaban orientados a investigar las actitudes hacia la ciencia y el estatus social de los científicos, así como las preferencias ciudadanas respecto al gasto en ciencia —no tanto dedicadas a evaluar los conocimientos—. Cabe notar que se diseñaron para corroborar el punto de vista de la institución como entidad responsable de buscar la aprobación del público, no centrándose en la base cognitiva de las actitudes²⁹. A partir de 1979, comienzan a dirigirlos Jon Miller y Linda Kimmel, y en ellos se trata de evaluar el interés en noticias de ciencia, el conocimiento —al que se le otorga mayor relevancia— y las actitudes, proporcionando además atención a las controversias científicas y a las medidas sobre las expectativas de participación de la ciudadanía. En particular, Miller aplicó en 1979 las ideas de alfabetización científica en las mediciones, inspirándose en el informe Davis, para estimar la proporción de adultos estadounidenses que podían calificarse como científicamente alfabetizados (Miller, 1998), una contribución decisiva para diseñar el programa de investigación sobre las actitudes, valoraciones y expectativas hacia la ciencia en Estados Unidos (Pardo, 2001). Sobre ello, es interesante la reflexión posterior de Miller (1983) en la que sugiere que el conocimiento de los encuestados se sostiene esencialmente sobre datos memorizados, no sobre la comprensión de los procesos complejos de la ciencia, al constatar que estos respondían correctamente a las preguntas de conocimiento pero no eran capaces de explicar los principios subyacentes a los mismos. Es aquí cuando el autor propone su definición de alfabetización científica cívica. Desde 1988 la forma de medir los conocimientos se sistematiza y se conserva su estructura, de forma que facilita los análisis comparativos a lo largo del tiempo. Se incluye además la evaluación de la comprensión del método científico —utilizando enunciados formulados ese mismo año en la encuesta conjunta de Miller y Durant, expuesta en el siguiente apartado, 2.2.3.—. Esta tercera etapa coincide con la época de la publicación del informe *Science for All Americans* —dentro del marco del citado *Project 2061* (AAAS, 1986)—, que está estrechamente relacionado con la enseñanza de la ciencia y que constituye un referente a nivel mundial en materia de alfabetización científica (Miller, 2004).

²⁹ Además, señalaron que trataban indistintamente ciencia y tecnología, sujetas a distintas regulaciones y apoyo gubernamental.

Por otro lado, comúnmente se destaca en la literatura especializada que con los *Science and Engineering Indicators* se propuso una importante clasificación del público a partir de 1979 en función su interés por la ciencia: (1) el «público atento», interesado e informado sobre los nuevos descubrimientos e inventos y tecnologías; (2) el «público interesado» con gran interés pero que no se consideraba bien informado; y (3) el «público residual», conformado por el resto de encuestados. Sobre esta distinción:

La información transmitida al público interesado —carente de una comprensión básica de los conceptos científicos y de la suficiente confianza para abordar todo aquello que aparece bajo el rótulo de ‘científico’— debe evitar contener elementos técnicos y, si es posible, recurrir a un formato simple y gráfico. En el caso del público no atento —que no se siente atraído por la ciencia y la tecnología— la información transmitida debería ser de naturaleza práctica, orientada al individuo como consumidor, y estar dirigida a persuadir de la importancia de poseer conocimientos científicos. (Montañés, 2011: 229).

De acuerdo con los enfoques teóricos tradicionales expuestos en 2.1.1., el «público atento» era el que presumiblemente presentaba actitudes positivas hacia la ciencia. Por medio de la educación formal, a largo plazo se incrementaría el volumen de ese tipo de público en la población, mientras que a corto plazo la estrategia útil sería difundir la información científica en los medios de comunicación para que tuviera efectos más inmediatos en la toma de decisiones políticas y para mostrar al «público residual» el valor práctico de la ciencia.

A modo comparativo, resulta interesante que la formulación de unas preguntas sobre la evolución y sobre el origen del universo en el estudio de 2004 reveló que cuando éstas apelaban a la autoridad científica —«De acuerdo con lo que dicen los astrónomos, el universo se originó en una explosión enorme» y «De acuerdo con la teoría de la evolución, los seres humanos, tal y como los conocemos hoy, se han desarrollado de especies animales anteriores»—, la tasa de respuesta correctas aumentaba, lo que «ponía de manifiesto una actitud muy favorable en lo relativo a la confianza pública hacia la ciencia, y a la veracidad otorgada a sus afirmaciones» (Montañés, 2011: 257). Mientras que, por ejemplo, en la encuesta de 2008 la tasa era inferior.

Como se ha señalado previamente, se han revisado en numerosas ocasiones los resultados de estas encuestas y se han expresado dudas acerca de la falibilidad de la metodología empleada (Bauer et al., 2007; Miller, 1998; Pardo & Calvo, 2002).

2.2.3 Encuesta conjunta de Miller y Durant

En 1988, Jon Miller en Estados Unidos y John Durant en Reino Unido, llevaron a cabo una encuesta conjunta —aunque no idéntica debido a discrepancias entre los dos expertos— que combinaba preguntas abiertas y cerradas para obtener medidas de interés, actitudes y conocimiento, en la que participaron cerca de dos mil encuestados en cada caso (Durant,

Evans, & Thomas, 1989). Este estudio proporcionó la mejor estimación hasta la fecha de los conocimientos del público en materia de ciencia, y algunas de sus preguntas se incluyeron en otros sondeos como los Eurobarómetros. Aunque se reveló que dichos conocimientos eran escasos, los resultados mostraron que el interés en ciencia de los británicos y de los americanos era elevado y que en ambos casos se demandaba más información. Además, la minoría que presentaba una comprensión mayor de los constructos científicos en los ámbitos específicos abordados en el cuestionario, también presentaba actitudes más favorables, un resultado que reforzaba la idea de que cuanto más sabe de ciencia un individuo, más positiva es su actitud hacia la misma.

Para medir el interés, en la encuesta se presentaban, por un lado, titulares de noticias para conocer sus preferencias, y por el otro, un espectro de temáticas entre las que debían señalar por cuáles se inclinaban, incluyendo deportes, política, nuevos descubrimientos médicos, estrenos cinematográficos, nuevos inventos y tecnologías, y nuevos descubrimientos científicos. Para las actitudes, se medía el grado de acuerdo con ciertos enunciados relacionados con la ciencia y con los científicos, además de pedir a los encuestados que valoraran algunas perspectivas de futuro derivadas del desarrollo científico para evaluar la percepción del riesgo y de los beneficios, e incluso se incluían preguntas para conocer la opinión pública sobre el gasto en ciencia. Por su parte, el conocimiento se midió a través de preguntas de alfabetización inspiradas en el informe *Science for All Americans* (AAAS, 1986) y también comunes a los estudios de la *National Science Foundation* y de la Comisión Europea, del tipo: «¿Qué viaja más rápido, la luz o el sonido?»; o «¿La tierra gira alrededor del Sol o el Sol gira alrededor de la Tierra?».

Por otro lado, en la encuesta también se trataba de evaluar la comprensión del método, y para ello se preguntaba de forma abierta «qué significa estudiar algo científicamente», además de someter al entrevistado a algunos experimentos mentales en los que debía decidir cuál creía que era el modo de proceder de los científicos ante determinados problemas. La pregunta abierta fue criticada posteriormente al alegarse que las capacidades lingüísticas podían intervenir en la respuesta, y en este sentido un individuo con conocimiento tácito sobre el método podría no saber expresarlo (Durant et al., 1992), además de que los resultados se habían evaluado en relación con el método hipotético-deductivo de la ciencia³⁰. Al respecto debe apuntarse que son varios los estudios que han mostrado que los encuestados se decantan por la experimentación a la hora de abordar planteamientos de situaciones concretas —por ejemplo, médicas— pero no la mencionan de forma explícita en la definición abierta.

Como nota final queda señalar que, en el caso de la encuesta liderada por Miller, se atendió también a la dimensión pseudocientífica al preguntarse de forma explícita sobre el carácter

³⁰ La ciencia goza de un pluralismo metodológico, por lo que asignarle un solo método como único y verdadero se considera una postura ingenua a día de hoy.

científico de la astrología. Para otros autores, sin embargo, se trataría de un planteamiento no determinante en tanto que puede confundirse con la astronomía e incluso formar parte de creencias predominantes en la cultura popular pero sin denotar necesariamente bajos conocimientos en áreas científicas.

2.2.3 Eurobarómetros

Desde 1974 la Comisión Europea monitoriza la evolución de la opinión pública de los Estados Miembros a través de los Eurobarómetros, siendo la fuente de los datos entrevistas a ciudadanos en distintos países. Ocasionalmente se realizan sondeos específicos diseñados para medir la opinión pública europea en materia de ciencia y tecnología, dentro de los sondeos denominados *Special Eurobarometers*, pero sin una periodicidad estable. Respecto a estos últimos, si bien los estudios empezaron en 1977 incluyendo nueve países y 9.044 entrevistados, ya en 2010 contaban con 32 países y 26.671 encuestados —por lo que únicamente es posible realizar una investigación longitudinal desde la fecha de inicio con los nueve países incluidos inicialmente³¹—.

Ya en el Eurobarómetro de 1977, se detectó un acuerdo generalizado entre los ciudadanos europeos sobre la necesidad de financiar la ciencia, incluso entre aquellos que consideran que produce efectos negativos. En general, entre las iniciativas para la gestión y gasto en ciencia más apoyadas, aparte de las que abordarían preocupaciones colectivas populares también estaban las relacionadas con la vida diaria. Por su parte, los temores sobre el futuro se relacionaban sobre todo con la contaminación y con la automatización del trabajo que supuestamente acarrearía un potencial aumento del desempleo. Como curiosidad, puede añadirse que los encuestados otorgaban una alta credibilidad a las asociaciones ecologistas, casi al nivel de los científicos, a la hora de informar sobre los peligros de la radioactividad o por posibles catástrofes. Si bien hacer un repaso exhaustivo de todos los objetivos y resultados de los Eurobarómetros excedería los límites de la presente tesis, a continuación se recogen algunas notas que pueden ser de interés para el desarrollo de este trabajo.

Los Eurobarómetros son los estudios por excelencia que han mostrado que las actitudes hacia la ciencia y la tecnología no dependen exclusivamente del nivel de conocimiento científico. Los ciudadanos europeos muestran una sociedad consciente de los potenciales efectos negativos de la ciencia, aunque no mantienen una visión necesariamente negativa de entrada (Muñoz van den Eynde, 2014), es decir, pueden percibir beneficios y al mismo tiempo mostrar reservas (Miller, Pardo, y Niwa, 1997). Llama la atención, no obstante, el descenso en el optimismo hacia la ciencia detectado en el Eurobarómetro 2010, una tendencia que, por otro lado, ha sido cuestionada, aduciendo que podría responder a cómo se diseñan los cuestionarios y por tanto no reflejarían adecuadamente la realidad social. Como es natural,

³¹ Los Eurobarómetros generales también incluyen en ocasiones preguntas sobre ciencia y tecnología.

los resultados a veces fluctúan. Una propuesta interesante de Muñoz van den Eynde (2014) en relación con las preguntas sobre la imagen de la ciencia —incluidas en los cuestionarios de los años 1989, 1992, 2001, 2006 y 2010—, es que pueden clasificarse en cuatro categorías: «1) las que miden una visión positiva de la ciencia y la tecnología, 2) las que hacen referencia a una visión negativa, 3) las que reflejan una visión idealista, y 4) las que se centran en la valoración de los científicos» (Muñoz van den Eynde, 2014: 260). En particular, según el informe más reciente de 2014, la proporción de la población que espera un impacto negativo se aproxima a la proporción de los que esperan un impacto positivo.

Por otro lado, uno de los sondeos que merece especial atención es el Eurobarómetro EB-QS del 2008 que consistió, a diferencia del resto, en un estudio cualitativo con una muestra de 27 grupos de discusión sobre la imagen de la ciencia y las políticas de investigación en países de la Unión Europea, cuyas respuestas tenían formato abierto³². Los encuestados definieron la ciencia refiriéndose a resultados de investigación y beneficios específicos pero apenas se mencionaron conceptos como racionalidad, rigor o método científico. La ciencia se percibía como difícil, remota y restringida; siendo los motivos que despertaban el interés en la misma tanto intelectuales como relacionados con los beneficios derivados —de hecho, la tecnología se percibía como su parte más tangible—. Respecto a las fuentes de información, hubo consenso en que la calidad en el tratamiento de los temas científicos por parte de los medios no era adecuada. En cambio, esencialmente entre los jóvenes, internet era visto como un medio para obtener información más detallada una vez despertado el interés a través de otros canales. Cabe señalar además que la fuente para informarse de la actualidad científica era, principalmente, el «boca-a-boca».

En general, de igual forma que en los estudios de la *National Science Foundation*, también se ha dedicado abundante literatura académica a revisar los resultados de los Eurobarómetros, siendo muchos los académicos que han cuestionado la metodología empleada (Bauer et al., 1994; Pardo & Calvo, 2002). Por ejemplo, una cuestión que ha generado particular descontento es que no se preguntara de forma regular sobre el significado de estudiar algo científicamente o sobre qué caracteriza la experimentación. Este tipo de discrepancias en ocasiones no ha permitido rastrear tendencias apropiadamente a lo largo del tiempo, sino que los ha hecho difícilmente comparables entre sí —y con los *Science and Engineering Indicators*—. Sumado a ello, también se ha apuntado que «las preguntas incluidas en estos estudios son muy generales y presentan afirmaciones aceptadas por la mayoría de la población» (Muñoz van den Eynde, 2012: 242). Por supuesto, hay ciertos detalles de gran interés para quien desee profundizar más allá de las tendencias generales. Por ejemplo, a colación de las preocupaciones de Miller reseñadas en 2.1.1., puede destacarse que desde 1992 se pide caracterizar el nivel científico de algunas disciplinas, incluyendo la astrología, con

³² Este constituye el último estudio cualitativo de los *Special Eurobarometers* hasta la fecha (2020).

el resultado de que en general los encuestados más escépticos tienen un mayor nivel educativo.

También se han realizado algunos estudios que han tratado de analizar los indicadores y profundizar en la realidad social. Por su parte, Bauer (2009) rastrea diferentes trayectorias de la comprensión pública de la ciencia examinando los cambios en Europa a partir de los datos de las encuestas desde 1989 a 2005, y resuelve que:

- La integración de los datos encierra un enorme potencial para crear indicadores de la dinámica cultural e intergeneracional.
- Es probable que esta dinámica sea diferente en diferentes contextos, lo que sugeriría que estamos aprovechando una "cultura científica" con una dinámica específica que necesita explicarse.
- En general, el conocimiento aumenta a través de las generaciones en todos los contextos, mientras que la alfabetización de las diferentes generaciones se ordena de manera diferente en los distintos países.
- El interés está convergiendo a través de las generaciones. Algunos países muestran un declive secular, mientras que otros aumentan secularmente el interés científico.
- La actitud hacia la ciencia muestra una dinámica intergeneracional muy diversa en los diferentes países.

(Bauer, 2009: 13)

Estas consideraciones reflejan una perspectiva cultural que pone énfasis en las diferencias generacionales entre distintos países que puede enriquecer los análisis, a la vez que añade complejidad a los mismos. En esta misma línea, Bauer (2012) examina conocimiento, interés, actitudes y religiosidad empleando los datos de cuatro rondas de encuestas —1989, 1992, 2001 y 2005— en doce países europeos, diferenciando entre cinco generaciones para realizar los análisis longitudinales. Para ilustrar cómo se realizan este tipo de estudios, se perfila la mecánica a continuación a modo de ejemplo. El indicador de conocimientos se basa en el número de respuestas correctas a 13 preguntas del cuestionario —que incluye ítems del tipo «Los electrones son más pequeños que los átomos» (verdadero/falso)—; el indicador de interés en nuevos descubrimientos científicos está codificado de forma binaria — muy interesado / algo o no del todo interesado—; por su parte, las actitudes se relacionan con la calidad de vida y se evalúa la puntuación a enunciados del tipo «la ciencia y la tecnología están haciendo nuestras vidas más fáciles, más sanas y más cómodas» —escala de 5 puntos, desde muy de acuerdo (=1) a muy en desacuerdo (=5)³³—; y por último, la religiosidad se mide basándose en el ítem «dependemos demasiado de la ciencia y no lo suficiente de la fe» —el desacuerdo indicaría no religiosidad y el resto se considera como indeciso o agnóstico—.

³³ En menor medida, también se utilizan otros dos ítems, uno relacionado con el ritmo de vida —«la ciencia hace que nuestra forma de vida cambie demasiado rápido»— y otro con el trabajo —«la aplicación de la ciencia y la tecnología hará el trabajo más interesante».

Finalmente, puede señalarse que en España la Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología (FECYT) realiza una encuesta inspirada en los Eurobarómetros cada dos años. La compatibilidad entre años es limitada por los cambios que han sufrido los cuestionarios, por ejemplo, en la redacción de enunciados y en la escala de respuestas, lo que dificulta hacer comparaciones entre preguntas similares de distintos años (Laspra, 2015). Un ejemplo de estos cambios es que en la encuesta de 2002 los participantes eran conscientes de que se les evaluaba sobre cuestiones de ciencia y tecnología, mientras que el resto de años no tenían conocimiento de ello.

2.2.4 Medidas de cultura científica

A partir de las anteriores encuestas se ha elaborado un amplio volumen de análisis longitudinales y comparaciones transnacionales. Sin embargo, como se ha resaltado, una gran dificultad en el campo de estudio estriba en hacer comparaciones entre distintas sociedades, a través del tiempo y considerando factores contextuales. En el libro *The Culture of Science* (2012)³⁴, donde se hace hincapié en el rol que juega la influencia cultural en la comprensión y la percepción de la ciencia, se aboga por abordar una agenda doble en la investigación mediante encuestas poblacionales, por un lado, centrada en cómo mejorar la investigación a través de sondeos de percepción pública de la ciencia, y por el otro, en cómo integrar en los estudios datos complementarios, incluyendo indicadores de rendimiento científico y de comunicación social de la ciencia, pero no solo dejando constancia de las estadísticas sino tratando de cruzar los diferentes tipos de datos. Se trataría así de abrir la agenda de investigación a indicadores culturales de la ciencia que proporcionen lecturas más satisfactorias de la situación real (Bauer et al., 2007).

En esta dirección se han planteado algunas propuestas. Un ejemplo de ello es el *índice de cultura científica*, una iniciativa liderada por Martin Bauer en la que se propone integrar los indicadores «objetivos» de producción científica y los indicadores «subjetivos» de percepción social de la ciencia (Shukla & Bauer, 2007, 2012). En los primeros se consideran factores como el producto interno bruto (PIB) per cápita y el gasto destinado a I+D, además del número de nuevos graduados en ciencia e ingeniería, el número de artículos científicos publicados e incluso la posesión de teléfonos móviles por parte de los habitantes. Los segundos, como se ha expuesto a lo largo del capítulo, incluirían medidas de conocimiento, interés y actitudes hacia la ciencia y la tecnología, considerando además los patrones de consumo de la información científica y la participación en actividades relacionadas con la ciencia (Shukla & Bauer, 2012). La idea es medir la distancia cultural entre la ciencia y el público proporcionando un valor para cada país en determinado momento del tiempo, de forma que sean comparables entre sí (Bauer, 2009; Raza & Singh, 2012).

³⁴ El libro surge a partir de las discusiones en la *International Conference of Indicators of Science and the Public*, organizada en 2007 por la *Royal Society*.

De acuerdo con este tipo de planteamiento, se ha sugerido además que los factores económicos no deben ser los únicos que expliquen la producción científica de una nación — por ejemplo, pueden haber países con recursos bajos pero considerable desarrollo científico, y viceversa—, por lo que hay que atender otras posibles influencias como la comprensión de la ciencia que tiene la población (Shukla y Bauer, 2012; Bauer, 2014).

También Gauar Raza y Surfit Singh diseñaron con anterioridad un método para medir la distancia cultural basado en las nociones de la ciencia que manejan los individuos en su vida diaria comparadas con la definición científica (Raza y Singh, 2012; Raza, Singh y Dutt, 2002), y que además incluía un índice de democratización (id) para dar cuenta del aumento de la población que suscribe una explicación científica válida. Así, cierta noción científica viajaría durante un número determinado de años para superar un umbral id en un momento dado del desarrollo económico y sociocultural de un país, un proceso en el cual intervienen factores como la educación, junto a otros de carácter externo a la naturaleza de la información científica como el género, la edad, la ocupación, el acceso a canales no formales de información, la situación económica o la predisposición hacia actividades culturales y religiosas, entre otros. Por ejemplo, para la pregunta *¿cuál es la forma de la Tierra?*, el concepto sería la forma de la Tierra, la respuesta científicamente válida, que la Tierra es redonda o esférica, mientras que las respuestas científicamente inválidas serían que es plana, alargada o bonita. Este enfoque posibilita monitorizar los cambios en la distancia cultural a lo largo del tiempo para determinado grupo social. En cualquier caso, al tratarse de una medida relacionada con la ciencia escolar, resulta complicado hacer comparaciones entre distintas culturas en tanto que la visión del mundo que se ofrece en las formaciones educativas o que son propias de ciertos subgrupos culturales pueden variar.

Por otro lado, otros autores como Godin y Gingras (2000) o Vogt (2012) han hecho hincapié en que se incluya la dimensión institucional en los indicadores de cultura científica —como punto de partida, proponen tomar en consideración el *Manual de Oslo*, el *Manual de Frascati* o el *Manual de Canberra*—. Por su parte, Godin y Gingras (2000) han prestado atención tanto a la dimensión individual como a la dimensión social de la cultura científica. Para los autores, la cultura científica también se relaciona con la habilidad para manejar los conocimientos que además pueden ser útiles en el día a día, pero además incluyen la vertiente colectiva e institucional de la ciencia, concibiendo la institución científica como un grupo de personas que afronta objetivos comunes. Así, los autores plantean indicadores para distintas formas de apropiación social de la ciencia, que serían: de aprendizaje, de implicación y socio-organizacionales. También estos expertos se encuentran entre los críticos que consideran que los estudios de percepción social de la ciencia, a la hora de medir conocimientos, solo se centran en conocimientos enciclopédicos o de libro de texto, suponiendo además que cuantos más datos se poseen, más alfabetizado científicamente será el individuo.

Recientemente, Godin (2012) añade que hay una visión de la cultura científica basada en criterios económicos que está patente en las medidas de la OCDE, cuyos integrantes son mayoritariamente economistas, y en este sentido la innovación sería vista como «el verdadero punto de referencia para la evaluación de una cultura de la ciencia» (Godin, 2012: 32). Sin embargo, los individuos con formación científica han aportado, a través de organismos como la UNESCO, «la elaboración de una definición más inclusiva de la ciencia» (Godin, 2012: 27), incluyendo, además de la investigación y los servicios científicos y tecnológicos, el desarrollo educativo y cultural. En esta segunda línea, una metodología propuesta para medir el potencial científico y tecnológico de una sociedad consideró recursos humanos, financieros y físicos —como centros y servicios de información, programas de investigación, organismos para la toma de decisiones, etc—, optando por concentrarse en las actividades más fácilmente mensurables. Aunque también debe advertirse que «Las estadísticas llevan una representación dada de lo que es una cultura de la ciencia. Las estadísticas e indicadores oficiales son testigos de una economía moral o una jerarquía política en las representaciones públicas de la ciencia» (Godin, 2012: 34).

En el caso de Carlos Vogt, el autor ha relacionado indicadores de producción científica —instituciones, revistas, universidades, museos, etc.— con indicadores de participación en actividades científicas. La idea que subyace es que, por ejemplo, en determinada sociedad los esfuerzos de promoción de la ciencia de las instituciones deberían verse positivamente correlacionados con el número de doctorados, publicaciones, presencia en medios, etc. En particular, Vogt propone una «espiral de la cultura científica» en un proceso social que pasa por cuatro fases que incluyen: (1) la producción y difusión del conocimiento científico, (2) la enseñanza de la ciencia y la formación de científicos, (3) la enseñanza no reglada y (4) las publicaciones científicas (Vogt, 2012). Estas fases se desplegarían en una espiral ascendente de forma continua, nutriéndose constantemente.

Por último, conviene aclarar que no todos los índices de cultura científica aúnan indicadores objetivos y subjetivos. Algunos expertos del campo continúan centrándose en los segundos, tratando de profundizar más en la percepción social de la ciencia. Así, otro índice propuesto es el de la Actitud Global hacia la Ciencia (AGC) de Miguel Ángel Quintanilla, de nuevo centrado en el valor medio del interés por la ciencia y la tecnología, la percepción del grado de información o conocimiento que el individuo posee y su valoración de la tecnociencia (FECYT, 2018). Para monitorizar interés, información y valoración el índice se ha diseñado para poder aplicarse a los datos de las encuestas de la FECYT (2005).

Por su parte, la encuesta de 2014 también desarrollada en España *Percepción, Interés, Comprensión y Actitud (PICA)*, dirigida por Ana Muñoz van den Eynde, se llevó a cabo sobre una muestra de 2.138 estudiantes universitarios, en la que se incluían temas científicos actuales y controvertidos, como por ejemplo el desastre de Fukushima, ofreciendo respuestas múltiples —no binarias de verdadero/falso—. Se pretendía medir, entre otras cosas, la

capacidad crítica de los individuos y su disposición a la acción, planteando situaciones hipotéticas donde el encuestado tiene que tomar decisiones para hacer frente a la mejor solución y declarar si le parece científica, es decir, toma de decisiones informadas, tratando además de evaluar la comprensión sobre la noción de probabilidad, tan presente en los resultados de la ciencia moderna. La experta maneja la noción de «conciencia científica», en la que se contempla la disposición a buscar información y a cambiar de opinión, entendiendo que el individuo puede formarse una visión crítica de determinado tema, y ser culto en ciertos temas aunque, sin reducir a los conocimientos.

2.2.5 Indicadores de *engagement*

Respecto al *engagement*, en la literatura académica se ha prestado mayor atención a las reflexiones teóricas en relación con su conceptualización de acuerdo con distintas tipologías así como a las potenciales contribuciones a los sistemas de gobernanza democráticos, mientras que la identificación de indicadores basados en datos reales derivados de estudios empíricos es escasa.

Entre las limitadas propuestas existentes, destaca la de Neresini y Bucchi (2011), quienes efectuaron un estudio exploratorio mediante métodos mixtos en 40 instituciones europeas y determinaron un conjunto de indicadores para evaluar el resultado de la participación pública en instituciones de investigación, aunque el carácter anónimo de las mismas implica la imposibilidad de obtener datos específicos para una institución concreta. De manera similar, Vargiu (2014) propone varios indicadores contruidos sobre la base del material de datos europeos existente que podrían ser potencialmente valiosos para modelos institucionales, aunque su estudio tampoco presenta datos de centros específicos.

Por su parte, la Comisión Europea publicó un informe centrado en las ideas de compromiso ciudadano y participación de los agentes sociales en la investigación y la innovación —o *Public Engagement* (PE), en el cual Mejlgaard y Ravn (2015) proponen usar los estudios empíricos europeos, como los que se listan en la Tabla 10, junto con otros datos —por ejemplo, los derivados de los Eurobarómetros o de los citados trabajos de Neresini y Bucchi (2011) y Vargiu (2014)— para desarrollar indicadores que puedan probarse con datos reales. Los proyectos europeos estudiados se recogen en la tabla, y sobre ellos los autores del informe aseguran que:

La evaluación de la información empírica existente en el área de PE demostró que es posible encontrar información y abordar cuestiones centrales relacionadas con las cinco áreas de PE que se especificaron en el vocabulario funcional y también captar la distinción entre los ciudadanos individuales y los actores sociales organizados. Se destacó el desequilibrio entre los estudios cuantitativos y cualitativos, y se debatió la posibilidad de transformar el material cualitativo en métrica. En cuanto al modelo lógico de intervención, la mayor parte de la información tenía relevancia para el nivel de "entrada",

mientras que muy pocos estudios se relacionaban con el nivel de "resultados". Por último, una parte importante de los estudios se refería a cuestiones "globales" (o generales) de PE, y varios se centraron en el nivel nacional, mientras que otros se ocupaban en menor medida del nivel institucional o de otros niveles subnacionales. (Mejlgaard & Ravn, 2015: 42).

Acónimo	Título del proyecto	Fecha de inicio	Fecha de finalización
MASIS	Monitoring Policy and Research Activities on Science in Society in Europe	01-01-2010	01-01-2012
PE2020	Public Engagement Innovations For Horizon 2020	01-02-2014	31-01-2017
ENGAGE 2020	Engaging Society In Horizon 2020	01-09-2013	30-11-2015
VOICES	Voices for innovation (Views, Opinions and Ideas of Citizens in Europe on Science)	16-01-2013	15-07-2014
PERARES	Public Engagement with Research and Research Engagement with Society	01-05-2010	30-04-2014
PACITA	Parliaments And Civil Society In Technology Assessment	01-04-2011	31-03-2015
NERRI	Neuro-Enhancement: Responsible Research and Innovation	01-03-2013	29-02-2016

Tabla 10. Proyectos de la Comisión Europea para el *engagement*. Elaboración propia a partir de Mejlgaard & Ravn (2015).

Si se examinan estos proyectos con detenimiento, desde el punto de vista del *engagement* el más relevante parece el denominado MASIS —*Monitoring Policy and Research Activities on Science in Society in Europe*—, cuyo objeto fue el de monitorizar y analizar en la sociedad europea las actividades relacionadas con la política y la investigación en ciencia, y que se sustentó sobre la base de 37 extensos informes nacionales en países de la Unión Europea y otros asociados. El estudio incluía un análisis de los procedimientos nacionales, tanto oficiales como extraoficiales, para la participación de los ciudadanos en la adopción de decisiones en materia de ciencia y tecnología, así como una evaluación de la importancia de dicha participación en las fases iniciales. Estos análisis particulares propios de cada país ofrecen, según los autores, un material muy pertinente para el examen empírico en lo que respecta a la dimensión del *engagement*. Proponen así las siguientes preguntas inspiradas en ellos para guiar la construcción de indicadores de *engagement*:

- ¿Cuáles son los debates actuales sobre el papel del compromiso y la participación de los ciudadanos?
- ¿Cuáles son las principales iniciativas políticas, reformas y novedades de importancia para el lugar general que ocupa la ciencia en la sociedad?

- ¿Existen procedimientos oficiales que permitan el compromiso y la participación de los ciudadanos en la adopción de decisiones sobre investigación e innovación?
- ¿Existen procedimientos no oficiales que permitan el compromiso y la participación de los ciudadanos en la adopción de decisiones en materia de investigación e innovación?
- ¿Participa el público en la adopción de decisiones en materia de investigación e innovación?
- ¿Se han institucionalizado los formatos de participación ciudadana?
- ¿Se condiciona la financiación de los proyectos de investigación e innovación a la inclusión de actividades de proyectos de intervención y participación ciudadana?
- ¿Se tiene en cuenta la intervención y participación ciudadana para la evaluación de
- ¿Existen ejemplos de actividades iniciadas y dirigidas por ciudadanos u organizaciones de la sociedad civil con un impacto notable en la toma de decisiones relacionadas con la investigación y la innovación?
- ¿Qué nuevos formatos de compromiso y participación ciudadana se han desarrollado en proyectos dedicados?
- ¿Participan los ciudadanos u otros interesados en los primeros procesos de adopción de decisiones? (Participación en las fases iniciales)

Si bien no se expondrán en detalle el resto de estudios examinados por Mejlgaard y Ravn (2015), baste decir que sus conclusiones se resumen en 33 indicadores cuantitativos que se recogen en la Tabla 11, y que podrían ser utilizados en futuras investigaciones empíricas.

Nombre (en inglés)	Descripción	Unidad de análisis
Models of public involvement in science and technology decision making	Indicador bidimensional que identifica la existencia de procedimientos formales para la participación ciudadana en el contexto nacional, por un lado, y el grado real de participación ciudadana en la toma de decisiones en materia de ciencia y tecnología, por otro.	Países
Science communication culture	Indicador que resume la cultura nacional general de comunicación científica. Se basa en seis parámetros que, en conjunto, forman un marco para describir la cultura de la comunicación científica de un país específico. Entre ellos figuran el grado de institucionalización (por ejemplo, la presencia de revistas de divulgación científica, la regularidad de la sección de ciencias en los periódicos, la comunicación científica dedicada en la televisión, etc.), la atención política al tema, la escala y la diversidad de la participación de los actores, las tradiciones de divulgación dentro del mundo académico, el interés del público por la ciencia y la tecnología y, por último, la formación y las características organizativas del periodismo científico en el país.	Países

Horizontal+vertical participation in science	Capta la participación horizontal y vertical en la ciencia. Se basa en cuatro puntos específicos del Eurobarómetro EB 63.1 sobre prácticas de participación. Dos ítems (leer artículos y hablar con amigos sobre la ciencia) indican la participación horizontal, mientras que otros dos (asistir a reuniones y firmar peticiones) indican la participación vertical.	Países (agregado a partir de datos primarios a nivel individual)
Horizontal only participation in science	Capta la participación horizontal en la ciencia. Se construye en base al anterior.	Países (agregado a partir de datos primarios a nivel individual)
Non-participation in science	Capta los grados de no participación a nivel nacional. También se construye en base al cuarto.	Países (agregado a partir de datos primarios a nivel individual)
Preferences for participation in decision making concerning science and technology	Este indicador toma el grado deseado de inclusión ciudadana en la toma de decisiones relativas a la ciencia y la tecnología. No capta el comportamiento real. A nivel individual, revela la preferencia individual por la participación. A nivel conjunto, puede considerarse un indicador del clima de participación a nivel nacional. El ítem exacto de la encuesta es: «¿Cuál es el nivel de participación que los ciudadanos deben tener cuando se trata de decisiones sobre ciencia y tecnología?».	Ciudadanos individuales
Visiting science museums	Mide el <i>engagement</i> a través de visitas a museos de ciencia y tecnología. El ítem basado en el cuestionario ha sido modificado en cierta medida a través de las series temporales, pero puede ser utilizado para la clasificación dicotómica (es decir, que el encuestado haya visitado o no un museo de ciencia en el último año). La formulación más reciente del ítem es: «¿Cuál de los siguientes ha visitado en los últimos 12 meses: [...] Museo de ciencia y tecnología?».	Ciudadanos individuales
Attending public meetings or debates about science	Capta la participación ciudadana en términos de asistencia a reuniones públicas o debates sobre ciencia y tecnología. Se basa en encuestas, siendo el ítem específico: «¿Asistes a reuniones públicas o debates sobre ciencia y tecnología?».	Ciudadanos individuales
Petitions and street demonstrations	Capta el compromiso vertical y orientado a la política de los ciudadanos en términos de firmar peticiones o unirse a manifestaciones callejeras sobre asuntos de energía nuclear, biotecnología o medio ambiente. Se basa en encuestas, siendo el ítem específico: «¿Firma peticiones o se une a manifestaciones callejeras sobre asuntos de energía nuclear, biotecnología o medio ambiente?».	Ciudadanos individuales
Donating money to science	Capta el compromiso ciudadano en términos de donación de dinero para la investigación médica. Se basa en encuestas, siendo el ítem específico: «¿Dona dinero para campañas de recaudación de fondos para la investigación médica del cáncer?».	Ciudadanos individuales

Participation in NGOs related to scientific issues	Capta la participación ciudadana en ONGs relacionadas con la ciencia y la tecnología. Se basa en encuestas, siendo el ítem específico: «¿Participa usted en las actividades de una organización no gubernamental que se ocupe de temas relacionados con la ciencia y la tecnología?».	Ciudadanos individuales
Talking about science	Capta el <i>engagement</i> ciudadano en términos de hablar de ciencia y tecnología. Se basa en encuestas, siendo el ítem específico: «¿Con qué frecuencia hablas con tus amigos sobre ciencia y tecnología?».	Ciudadanos individuales
Reading about science	Capta el <i>engagement</i> ciudadano en términos de lectura de las noticias sobre ciencia y tecnología. Se basa en encuestas, siendo el ítem específico: «¿Con qué frecuencia lees artículos sobre ciencia en periódicos, revistas o en Internet?».	Ciudadanos individuales
Heard, talked and searched for information about GM food (+ other controversial technologies)	Esta es una medida compuesta basada en tres elementos individuales del Eurbarómetro 2010 sobre biotecnología. Divide a los encuestados en tres categorías dependiendo de sus respuestas relativas a «haber oído hablar», «haber hablado con amigos y familiares sobre» y «haber buscado información sobre» los alimentos transgénicos. El indicador aprovecha los grados de <i>engagement</i> horizontal con tecnologías controvertidas. Cabe señalar que se dispone de la misma medida para otras cuatro tecnologías, a saber, la clonación de animales para la producción de alimentos, la nanotecnología, los biobancos y la biología sintética.	Ciudadanos individuales
PE performance at national level	Se construye un modelo de desempeño participativo para clasificar a los países según parámetros de participación identificables. Los cuatro componentes principales del modelo son: 1) Recursos de participación; 2) condiciones de la demanda; 3) factores conexos y de apoyo; y (4) estrategias y enfoques gubernamentales.	A nivel nacional
Activity in ‘Science in Society environment and debate’	Este indicador se construye para medir el rendimiento en los Estados miembros de la UE con respecto a la «Actividad en el entorno del SiS y el debate» (SiS es <i>Science in Society</i>). Cada país miembro se califica en una escala del 1 al 3.	Países
Citizen involvement in science	Este indicador se construye para medir el rendimiento en los Estados miembros de la UE en lo que respecta al involucramiento ciudadano en la ciencia. Cada país miembro se califica en una escala del 1 al 3.	Países
Stimulating society’s interest in science policy	Este indicador se construye para medir la actuación en los Estados miembros de la UE con respecto a los niveles de actuación relativos a la estimulación de la participación de los ciudadanos en la política científica y el interés en su difusión.	Países
Dedicated resources for PE at institutional level	Este indicador mide la cantidad de recursos asignados a las actividades de PE en las instituciones de investigación.	Instituciones de investigación

Information about research activities made publicly available	Capta las prácticas de las instituciones de investigación en lo que respecta a la presentación de información sobre las actividades de investigación al público online. En el documento no queda del todo claro cómo se pone en práctica.	Instituciones de investigación
Availability of a press and/or PR office	Este indicador identifica si una institución de investigación tiene una oficina de prensa y/o de relaciones públicas.	Instituciones de investigación
Availability of publications addressed to the public	Este indicador identifica en qué medida una institución de investigación proporciona publicaciones adaptadas específicamente al público.	Instituciones de investigación
Participation in EU projects/networks about PE	Este indicador identifica en qué medida una institución de investigación participa en proyectos/redes relacionados con el PE financiados por la UE.	Instituciones de investigación
Specific activities with schools at research institutions	Este indicador identifica hasta qué punto el organismo de investigación organiza actividades específicas con escuelas.	Instituciones de investigación
Visits to laboratories aimed at the general public	Este indicador identifica hasta qué punto el organismo de investigación organiza visitas a laboratorios dirigidas al público en general.	Instituciones de investigación
Open days aimed at the general public	Este indicador identifica hasta qué punto el organismo de investigación organiza jornadas de puertas abiertas dirigidas al público en general.	Instituciones de investigación
Collaboration with NGO's and local government bodies	Indicador identifica si la organización de investigación colabora con las ONG y los organismos de gobierno locales.	Instituciones de investigación
Organisation of meetings/conferences addressed to the public	Este indicador identifica si una institución de investigación organiza reuniones/conferencias dirigidas al público en general.	Instituciones de investigación
Action plan for PE	Este indicador mide la existencia de un plan de aplicación real para el compromiso social en la institución de enseñanza superior (disposiciones organizativas y administrativas, así como la asignación de recursos financieros/intelectuales). Es una medida compuesta derivada de material cualitativo. La puesta en práctica no está del todo clara.	Instituciones de educación superior
Community representatives in boards or committees	Este indicador identifica el número de representantes de la comunidad en juntas o comités. Si un representante de la comunidad participa en más de un comité, se cuenta la participación en cada comité.	Instituciones de educación superior
Research projects in partnership with non-academic organisations	Este indicador identifica en qué medida las instituciones de enseñanza superior colaboran en proyectos de investigación con organizaciones no académicas.	Instituciones de educación superior
Academics' participation in non-academic conferences	Este indicador identifica el número de veces que los académicos han participado en conferencias profesionales no académicas (en las que la mayoría eran no académicos).	Instituciones de educación superior

Mobilizing public support	Este indicador se centra en la medida en que el gobierno consulta a los sindicatos, las asociaciones patronales, las principales asociaciones empresariales, las comunidades religiosas y los grupos de interés social y ambiental para apoyar sus políticas. El indicador evalúa el éxito del gobierno en la consulta de los agentes económicos y sociales en la preparación de sus políticas. El éxito de las consultas se concibe aquí como un intercambio de opiniones e información que aumenta la aceptación de las políticas gubernamentales en la sociedad e induce a los agentes económicos y sociales a apoyarlas.	Países
---------------------------	--	--------

Tabla 11. Indicadores cuantitativos de engagement. Elaboración propia a partir de Mejlgaard y Ravn (2015).

2.3 Hacia la percepción social de la ciencia en el entorno digital

2.3.1. Insuficiencias del campo

A lo largo del capítulo se ha mostrado que existe una abundante literatura dedicada tanto a examinar los constructos teóricos que vertebran el estado de la relación entre ciencia y sociedad, como a interpretar las mediciones efectuadas a través de encuestas del interés, actitudes y valoraciones de la sociedad hacia la ciencia.

Uno de los principales problemas detectados es que no existe un *corpus* teórico-conceptual básico de referencia bien definido y compartido por la comunidad de expertos que sirva como fundamentación para los estudios del tema (Montañés, 2011), según queda evidenciado con lo expuesto hasta el momento. De hecho, existe una falta de acuerdo preocupante en torno a las nociones fundamentales y pilares básicos del aparato teórico de la disciplina³⁵, siendo además que en muchas ocasiones se emplean los términos con una demarcación imprecisa o, como apuntan algunos, con vaguedad conceptual.

Por otro lado, la relación entre conocimientos, interés y actitudes reflejada en los datos de las encuestas continúa siendo intensamente revisada, pero el consenso en cuanto a sus resultados se manifiesta en forma de un número reducido de conclusiones. Más allá de que los esfuerzos dedicados a los sondeos aportan escasos resultados, no revelan nada nuevo desde hace tiempo y en ellos se plantean prácticamente las mismas preguntas desde los años 80. Por otro lado, desde los primeros análisis se ha asumido con relativa facilidad que el nivel de conocimientos se correlaciona con las actitudes positivas hacia la ciencia, mientras que el desconocimiento despierta desconfianza, lo que para algunos denota una lectura ingenua de la situación e incluso para otros condescendiente, siendo además una hipótesis no corroborada en la práctica. La interpretación de los datos ha favorecido, en general, una lectura determinada.

En los primeros sondeos el objeto central de estudio era el conocimiento, y entre sus propósitos se materializa la idea de medir un «nivel mínimo de alfabetización científica», ya presente en la encuesta fundacional del Informe Davis (1958). Este nivel mínimo puede identificarse en base a los cuatro requisitos de carácter teórico propuestos por Miller³⁶, que continúan siendo de referencia en el campo para el diseño de los indicadores de percepción y

³⁵ Para Bauer, Allum y Miller (2007) las discrepancias en la nomenclatura actúan muchas veces como un marcador de «identidad tribal».

³⁶ A modo de recordatorio: (1) Conocimiento de los hechos de los libros de texto básicos de la ciencia, (2) una comprensión de los métodos científicos como el razonamiento probabilístico y el diseño experimental, (3) una apreciación de los resultados positivos de la ciencia y la tecnología para la ciencia, y (4) el rechazo de creencias supersticiosas como la astrología o la numerología.

comprensión social de la ciencia, como los cuestionarios de los Eurobarómetros o los *Science and Engineering Indicators*, entre otros estudios de diferente alcance. Sin embargo, el propio Miller ha expresado su descontento, considerando que los resultados pueden ser producto de la memorización y no de la comprensión de los métodos y conceptos de la ciencia (Miller, 1983), aspecto señalado también por otros autores de referencia (Pardo & Calvo, 2002). Por otro lado, también se ha advertido de que las carencias de conocimiento detectadas en relación con la ciencia no son especiales, sino que se trata de algo habitual en otros ámbitos de la cultura. Al respecto, Lévy-Leblond (1992) aclara:

Considero que estos resultados son más reveladores de la insuficiencia de los sondeos de preguntas que del analfabetismo del público. La gente ciertamente es mucho mejor a la hora de responder a las preguntas que se hacen en su vida profesional, política y sentimental que para responder a preguntas arbitrarias e irrelevantes hechas por extraños. En cualquier caso, está claro que no hay base para una preocupación especial por la ciencia a este respecto. No hay dos inculturas, como tampoco hay dos culturas. (Lévy-Leblond, 1992: 19).

Otro problema reside en que el interés por evaluar ese nivel mínimo de alfabetización científica va ligado al modelo deficitario, ampliamente criticado debido a distintas ocurrencias que lo cuestionan; en particular, la presencia de ciudadanos con elevados conocimientos que a la vez muestran reservas hacia la ciencia y son conscientes de sus riesgos potenciales, o bien individuos que muestran entusiasmo por la ciencia pero poseen escasos conocimientos (Bauer, 2012). Además, una sociedad consciente de los riesgos del desarrollo científico no tiene por qué mantener una visión negativa de la ciencia, como queda reflejado claramente en los resultados de los Eurobarómetros. Nótese también que, en muchos casos, los indicadores no presentan la capacidad de evaluar actitudes más allá de las positivas o negativas.

En síntesis, puede resumirse que se siguen utilizando indicadores basados en el modelo del déficit y que, por este motivo, tanto los métodos de investigación como los resultados son objeto de desconfianza y conviven con numerosas críticas, incluyendo las de los expertos que diseñaron las preguntas. La justificación para ello es clara: los estudios proporcionan medidas cuantitativas que presumiblemente son comparables entre distintos momentos del tiempo y entre países. Sin embargo, la complejidad de la realidad social y cultural pone en duda esta comparabilidad.

Tras lo expuesto, no es exagerado afirmar que estamos ante un campo anquilosado en el que además impera un descontento general respecto al diseño de las encuestas y las limitaciones de las mismas. Sumado a ello, el marco teórico va aumentando en complejidad al incluir ese tránsito hacia la cultura científica, inabordable con los instrumentos canónicos, que nos sitúa ante un diverso entramado de agentes, factores y relaciones que intervienen de forma dinámica, mutable y con diferencias significativas en función del contexto espacio-temporal.

Ante estas consideraciones, quizá sea el momento de replantearse la manera de abordar el campo de estudio y valorar la inclusión de nuevos instrumentos de medida que potencialmente puedan añadir información original a la discusión y revelar dimensiones inexploradas para comprender mejor la poliédrica relación del público con la ciencia. Dada la complejidad creciente y la falta de consenso manifiesta, en la presente tesis no se aboga por solucionar las complicaciones que presentan las mediciones a través de encuestas, sino que se propone explorar nuevas vías de adquisición de datos y acomodar los instrumentos de análisis a los mismos. A ello está dedicada la siguiente parte del proyecto de investigación.

2.3.2. Nuevos enfoques

i) Sociedad red

A raíz del impacto de las nuevas tecnologías, en el contexto de las mediciones de la alfabetización científica Miller detecta que, desde los años 90, el porcentaje de estadounidenses que puede caracterizarse como científicamente alfabetizado ha aumentado radicalmente, y que esa tasa de crecimiento no es atribuible a las acciones de aprendizaje informal como, por ejemplo, la asistencia a museos, puesto que no se han observado cambios significativos asociados a este tipo de actividades (Miller, 2014). Sin embargo, durante este período sí se ha producido un incremento significativo en el uso de internet, por lo que para Miller resulta plausible argumentar que es fruto del «impacto de una mejor adquisición *just-in-time* de la información científica» (Miller, 2014: 85), refiriéndose al acceso instantáneo a la información a través de los ordenadores personales. Según el autor, tanto el rol como la naturaleza de la alfabetización científica ha cambiado a medida que las sociedades modernas han virado desde lo que denomina un sistema *warehouse* —«almacén» o «depósito»—, en el que los individuos adquieren información básica a través de la enseñanza formal que compilan en su almacén mental, hacia un sistema *just-in-time*³⁷, en el que los individuos amplían esta información mediante otros canales y la adquieren justo cuando la necesitan (Miller, 2014).

En efecto, en estudios recientes Miller contempla nuevas formas de adquisición de la información científica incluyendo el uso de recursos electrónicos. En particular, los análisis de de este autor revelan que el elemento de mayor peso en la alfabetización científica de los adultos es la realización de cursos de ciencia en la universidad, seguido de la educación formal y del uso de recursos electrónicos, no siendo únicamente la educación formal el factor dominante. De hecho, en base a estos hallazgos, el autor modificó su definición de alfabetización científica cívica e incluyó las habilidades de navegación online.

³⁷ Concepto tomado de la estrategia empresarial.

Por otro lado, cambiar de enfoque en las mediciones y situarlas en el panorama más moderno de la cultura científica y de la participación ciudadana implica dar protagonismo a la vida digital.

El tránsito hacia la sociedad digital se produjo a partir de la aparición de la *World Wide Web* en los años 90 —y en particular de la Web 2.0— (O'Reilly, 2007), constituyendo uno de los cambios más radicales que ha vivido la humanidad. Supuso la aparición de las redes sociales digitales, que resultaron ser tanto un medio de comunicación como de organización social (Castells, 2001), aportando una estructura de interacción bidireccional para un tipo de comunicación horizontal (Pisani & Piotet, 2009). Hoy en día es común que los individuos pertenezcan a comunidades virtuales que se sustentan en una arquitectura de participación, es decir, en sistemas diseñados para la contribución entre usuarios (O'Reilly, 2007), y en ello destaca el potencial de las nuevas tecnologías a la hora de conectar e intercambiar ideas. En este sentido, vivimos más que nunca en una «sociedad red» (Castells, 2001), en la que la comunicación puede ser sincrónica, darse de forma inmediata, o asincrónica, ser independiente de la localización geográfica y temporal (Alfalahi, Atif, & Harous, 2013), una característica que aumenta sus posibilidades de alcance drásticamente.

Ese escenario que Castells (2001) denomina la «sociedad red» supone un cambio de paradigma tanto en las formas de consumo de la información como en la cultura de la participación y la cibercultura. Así, la práctica de la comunicación está cambiando desde las viejas nociones de «transmisión de la información» a un diálogo interactivo del tipo «contribuir e interactuar». En consonancia con ello, la ciencia y la sociedad se alimentan mutuamente de forma multidireccional y multicéntrica, un escenario que se puede imaginar con una topología de red (Barrio Alonso, 2008).

Esa estructura no solo favorece la adquisición y difusión de la información, sino que adicionalmente permite una participación directa del público en la ciencia en lo que respecta a la generación de conocimientos. En el ámbito científico, un ejemplo de ello es el proyecto pionero de ciencia ciudadana *Galaxy Zoo*, en el que los usuarios participan en la clasificación de galaxias en función de su morfología (Fortson et al., 2012). Otro ejemplo ilustrativo es el del naturalista californiano que descubrió una nueva especie de crisopa cuando buscaba imágenes en la red social *Flickr* para su proyecto de investigación, que fueron tomadas por un fotógrafo local en Malasia (Winterton, Guek, & Brooks, 2012).

A grandes rasgos, puede resumirse que la era digital que ofrece internet presenta dos elementos definitorios, el acceso inmediato a la información y la estructura en red. Además, en el escenario digital debe destacarse de forma sobresaliente la revolución de las redes sociales digitales, por el profundo cambio que han suscitado tanto en la transmisión de la información sobre ciencia y tecnología como en ese modelo multicéntrico en el que usuarios activos tienen la oportunidad de compartir opiniones e interactuar con otros usuarios, en

ocasiones agentes de la ciencia. Para explicar esta nueva realidad social, parece razonable afirmar que se requieren nuevos modelos teóricos que permitan comprender mejor la interacción ciencia-sociedad, así como las nuevas estrategias orientadas hacia el modelo del *engagement* y nuevos métodos de análisis diseñados para trabajar con fuentes de datos masivos, muy distintas a las encuestas.

ii) Comunicación de la ciencia 2.0

Junto a la educación formal, una de las estrategias fundamentales propuestas en los modelos teóricos revisados en 2.1. para favorecer la interacción ciencia-sociedad es la comunicación de la ciencia, ya tratada de forma extensa en el capítulo 1. Conviene, sin embargo, añadir algunas consideraciones en relación con el tránsito a la era digital, ya que hoy en día este ejercicio se produce predominantemente en entornos digitales.

Para designar la comunicación de la ciencia dentro de la configuración contemporánea, Bucchi (2013) utiliza la expresión «comunicación de la ciencia 2.0». Esta se caracteriza en gran parte por la accesibilidad a grandes cantidades de información a través de internet y habitualmente sus actores clave son, además de los medios de comunicación, los propios científicos e instituciones. Aparece con ella una relación horizontal entre los expertos y el público lego, de acuerdo con las características de la sociedad red descritas en el apartado anterior. Por extensión, Bucchi utiliza el término «comunicación de la ciencia 1.0» para hacer referencia al modelo previo, unidireccional, en el que la calidad del producto se medía en función del prestigio del canal que emitía la información, mientras que en el nuevo escenario de la comunicación de la ciencia 2.0 considera que los mecanismos que proporcionan las garantías de calidad no están claros. En la Tabla 12, extraída del artículo citado, se presentan las principales diferencias.

	Comunicación de la ciencia 1.0	Comunicación de la ciencia 2.0
Modelo dominante de comunicación	Mediada, filtrada	Directa al consumidor
Actores clave	Mediadores, a veces científicos (periodistas, comunicadores profesionales, canales de popularización, museos de ciencia)	Instituciones de investigación, científicos, corporaciones de medios digitales
Relación entre especialista y niveles de comunicación pública	Vertical, secuencial	Horizontal, simultánea, superpuesta
Mecanismos de garantía de calidad	Marca editorial, reputación del canal	?

Tabla 12. Los dos niveles de la comunicación de la ciencia. Traducida de Bucchi (2013).

A las consideraciones de Bucchi, puede añadirse que ya en el marco de los estudios a través de cuestionarios se ha planteado el dilema sobre si debemos monitorizar la ciencia en general o bien cuestiones específicas, siendo este segundo enfoque mucho más asequible para la comunicación de la ciencia en el medio digital. Ya algunos críticos con el diseño de las encuestas habían señalado que para averiguar si los individuos están científicamente actualizados deberían incluirse preguntas relacionadas con la ciencia del momento y, de hecho, ha habido estudios empíricos, como la encuesta PICA, que han incorporado preguntas actualizadas. La idea es que el empleo de enfoques más específicos permita evadir las dificultades asociadas a las clásicas especulaciones genéricas. Uno de los argumentos que se esgrimen es que, precisamente, «las respuestas a preguntas generales se basan en la percepción de cuestiones específicas» (Bauer, Shukla, Allum, 2012: 10). Al fin y al cabo, el conocimiento está cada vez más diversificado y parcelado, como se ha puesto de relieve en el capítulo 1.

Por otra parte, mantenerse actualizado en cuestiones de ciencia y tecnología puede estar ligado al éxito de la difusión de la ciencia en los medios (Montañés, 2011). Atendiendo al hecho de que la manera en que el público se relaciona con los temas científicos ha cambiado hacia un modelo de participación —en el que además de conservarse las fuentes tradicionales, se suman otras nuevas—, una forma que parece adecuada para investigar el estado actual de la relación entre ciencia y sociedad es prestar atención, no solo a la difusión de información científica a través de los perfiles de usuario de los medios de comunicación, sino también a las respuestas que genera dicha información, monitorizables en los dominios digitales —véanse capítulos 3 y 4—. Y para ello, debe tomarse en consideración que el nuevo modelo de sociedad digital ha favorecido el auge del periodismo y la divulgación de la ciencia, en especial, gracias a la proliferación de las redes sociales.

En general, es fácil ver que los nuevos mecanismos de difusión plantean nuevos retos e incógnitas. Por ejemplo, cuando nos referimos a las garantías que ofrecen sobre la información científica, un aspecto cuestionado por Bucchi, una pregunta pertinente sería: ¿transmiten una imagen realista de la ciencia? O, de acuerdo con la discusión expuesta en el capítulo 1, ¿deben transmitirla? Como se ha expuesto, para algunos expertos las simplificaciones están justificadas en tanto que resultan útiles para despertar vocaciones entre los jóvenes y fomentar la elección de carreras científicas. En cualquier caso, este tipo de cuestiones deben replantearse en el entorno digital dado que la potencia de alcance del impacto de la información científica se ha visto amplificadas y, por tanto, puede acarrear consecuencias mucho más tangibles.

De hecho, destaca la potencia de las aplicaciones actuales que permite a periodistas, científicos, divulgadores *amateurs* y otros agentes de la comunicación científica dar el salto al medio digital de forma autónoma, con economía de medios y en un breve espacio de tiempo. Estas nuevas herramientas, como por ejemplo redes sociales tipo Twitter y Facebook,

permiten investigar los patrones de consumo de contenidos científicos de forma directa, en vez de preguntar por los mismos en las encuestas y obtener información indirecta —es decir, la percepción que tiene el propio individuo sobre su interés por la ciencia—. Con el abanico de posibilidades de análisis que se abre, algunas de las preguntas que pueden abordarse al respecto son: ¿qué temáticas interesan más y por qué motivos? ¿Qué estrategias de comunicación son más eficientes? En el capítulo 4, se proporcionará una primera aproximación a estas cuestiones.

Por último, debe señalarse que las dificultades a las que se enfrenta la comunicación de la ciencia —como la resistencia natural de los centros y de los propios científicos, los obstáculos a los que se enfrentan los medios de comunicación y las dificultades de los ciudadanos para entender la ciencia y la tecnología que se pretende comunicar (COTEC, 2006)—, parece que siguen siendo las mismas en el contexto virtual. Si hay algún tipo de progreso o no en la alfabetización científica, es una cuestión abierta. Mientras que autores como Miller opinan que sí, otros también manifiestan su preocupación frente a cuestiones como la propagación de las *fake news*, que se ha visto intensificada con el auge de las redes sociales —una cuestión que suscita cada vez más interés entre la comunidad académica—.

iii) Cultura popular

En otro orden de cosas, en los estudios de percepción social de la ciencia faltaría considerar la contribución de la cultura popular a la construcción de la imagen de la ciencia, un aspecto ampliamente expuesto en el capítulo 1 y sobre el que Pardo (2001) incide al reflexionar sobre el tránsito hacia la perspectiva de la cultura científica. Lo cierto es que gran parte de los expertos citados a lo largo de este texto no ha hecho hincapié en la influencia de fenómenos, a veces de gran calado, que forman parte de la cultura popular y que son determinantes en la configuración de las ideas sobre la ciencia que presentan los individuos. Si bien Pardo (2001) no se centra en fenómenos culturales específicos, sí invita a considerar, por ejemplo, a los «personajes» de la ciencia, «héroes» y «villanos» (Pardo, 2001: 60), y a las imágenes asociadas a la misma. Sin embargo, para atender a este tipo de elementos es necesario profundizar en la sociedad del momento —una aproximación es difícilmente abordable con los instrumentos revisados en 2.2.—. ¿Quiénes son esos personajes? ¿Qué imágenes transmiten?

En particular, ha habido y hay exitosos divulgadores de la ciencia —*science stars*— que son creadores de opinión pública, o, empleando la jerga moderna, *influencers*. Existen ejemplos muy mediáticos de científicos comprometidos con la difusión de la ciencia³⁸, como Carl Sagan, famoso por el programa de televisión *Cosmos* (1980), que fue visto por más de 500 millones de personas, o como Stephen Hawking, el autor de *Breve historia del tiempo* (1988), un libro de divulgación que estuvo durante más de 2 años en la lista de los más vendidos del

³⁸ Muchos de ellos han sido divulgadores activos hasta su fallecimiento, como Sagan y Hawking.

New York Times y cuyo interés se ha mantenido a lo largo del tiempo —por ejemplo, en el año 2000 se vendieron más de 9 millones de ejemplares—. ¿Por qué generan tamaño impacto? No hay una respuesta única, los motivos son complejos y diversos —por ejemplo, en los próximos capítulos veremos que la visibilización de la labor científica, comunicada de forma personal, puede fomentar la empatía y proporcionar una imagen positiva de la ciencia—.

Por otra parte, la industria cultural genera un amplio espectro de imágenes sobre la ciencia y los científicos como las que encontramos en el cine y las series, la literatura y más recientemente en los videojuegos, y en numerosas ocasiones se acumulan cifras de adeptos en todo el mundo que en absoluto son desdeñables. Así, en la época presente es posible disfrutar de abundantes materiales de esta naturaleza a los que accedemos con facilidad, como se ha comentado, gracias a la eficiencia de las nuevas tecnologías de la información, y que juegan un papel importante a la hora de componer nuestras concepciones sobre la ciencia y sus agentes. En este caso, se trata de un proceso indirecto, a menudo circunstancial, en el que los productos que se ofrecen no suelen estar diseñados para comunicar ciencia, pero que constituyen una fuente prolífica en la construcción de valores en el imaginario colectivo, proporcionando puntos de vista de todo tipo; positivos, negativos, ingenuos o con distintos niveles de sofisticación.

Muestras de ello, de gran repercusión social, las hay en abundancia. Por ejemplo, la serie de televisión *The Big Bang Theory* se ha relacionado con un aumento de ingresos en la carrera de física (Townsend, 2011). También la película *Interstellar* conmocionó al mundo al reflejar los entresijos de la relatividad general de Einstein, e incluso contó con la colaboración del eminente físico teórico Kip Thorne como asesor (Thorne, 2014). Los videojuegos, por su parte, van un paso más allá y permiten a los usuarios tener experiencias interactivas, en las que pueden llegar a construir naves espaciales con una precisión exquisita como sucede en el *Kerbal Space Program*, donde los jugadores pueden utilizar piezas de cohetes de la NASA (White, 2014).

PARTE III — CIENCIA EN LA RED: UNIVERSO TWITTER Y ESTUDIOS DE CASO

Capítulo 3:

PROPUESTA METODOLÓGICA

3.1 Twitter como alternativa a las encuestas

i) Hacia la participación digital

Desde el punto de vista general proporcionado por el marco teórico —capítulo 2—, para tratar de comprender una cultura orientada tanto a la producción como a la socialización de la ciencia en la actualidad (Vogt, 2012) no deben ignorarse las intervenciones del público en internet demandando información, apoyando iniciativas o enfrentando controversias e incluso interactuando directamente con los científicos. Por ello, cada vez más académicos instan a los investigadores a explotar datos de nuevas fuentes con los que monitorizar la comprensión pública de la ciencia (Bauer, Allum, & Miller, 2007; Bauer, Shukla, & Allum, 2012).

A través de las encuestas examinadas en el capítulo anterior, se han tratado de contestar cuestiones acerca de las preocupaciones del público respecto a la investigación científica y de su interés por la ciencia, si bien se ha llevado a cabo de forma muy restringida, por ejemplo ofreciendo un listado reducido de temas a los encuestados para que establezcan sus preferencias. Estos sondeos han permitido demostrar con datos algunas ideas, en apariencia triviales, como el hecho de que la manera en que se presenta la información científica tiene una clara influencia en el interés declarado de los individuos sobre la misma, según queda evidenciado en el informe Davis (1958). Sin embargo, asunciones que presumiblemente también parecían triviales, en concreto la supuesta correlación entre conocimientos y actitudes favorables hacia la ciencia, se han puesto en tela de juicio e incluso desmentido. Una de las premisas sobre la que se sostiene la presente tesis es que este tipo de aspectos pueden estudiarse en mayor profundidad haciendo uso de los grandes volúmenes de datos disponibles en Internet, empezando por identificar qué tipo de información clave genera determinado impacto a través del análisis en redes sociales.

En la actualidad, multitud de individuos acuden a las redes sociales públicas como Twitter tanto para obtener información como para discutir acerca de temas relacionados con la ciencia (Brossard & Scheufele, 2013). En esta dirección, se han proporcionado evidencias de que el análisis de las redes sociales es un complemento útil a las encuestas tradicionales de percepción social de la ciencia (Ceron, Curini, Iacus, & Porro, 2014; R. Li, Crowe, Leifer, Zou, & Schoof, 2019; Murphy et al., 2013), en el sentido de que admiten una mirada más continua a

las opiniones, actitudes y comportamientos (Murphy et al., 2014) al ofrecer información contextual valiosa —cuantitativa y cualitativa—. Esto proporciona un nuevo prisma desde el cual pueden observarse y tratar de comprenderse las actitudes y la percepción del público desde una óptica no tradicional (Li, 2019). Algunos estudios empíricos preliminares, incluso, sugieren que las redes sociales favorecen la confianza pública en la ciencia (Huber, Barnidge, Gil de Zúñiga, & Liu, 2019).

Por otra parte, la comunicación de la ciencia se ha presentado en los capítulos previos como una estrategia para favorecer la interacción ciencia-público, siendo un ejercicio que goza de gran fertilidad en el ámbito digital. Es preciso subrayar que desde la academia se advierte de la necesidad de una mejor comprensión acerca de cómo afectan los nuevos entornos virtuales a la práctica de la comunicación de la ciencia (Brossard & Scheufele, 2013), en los que el acceso a los contenidos, en muchas ocasiones, se produce sin mediadores. Siendo la actual corriente en comunicación científica la de involucrar al público en el diálogo (Nisbet & Scheufele, 2009), parece razonable considerar que los análisis en las redes sociales puedan complementar los resultados de las encuestas (Murphy et al., 2013). Nótese que de forma general, la labor comunicadora cobra especial interés en su incuestionable desempeño en las redes sociales, cuyas estadísticas de uso global arrojan, como veremos, cifras apabullantes, sumando las más populares cantidades masivas de cuentas de usuario y exhibiendo una elevada participación —o *user engagement* (Statista, 2019)—¹. Por su propia naturaleza, los espacios virtuales favorecen el intercambio de información y la colaboración entre personas (McFarland & Ployhart, 2015), así como la elaboración de contenidos por cualquier usuario.

Es en este sentido en el que los nuevos medios digitales, como se ha señalado, brindan la posibilidad de investigar debates públicos, escuchar nuevas voces y comprender contextos diversos (Kapoor et al., 2018; Shan et al., 2014). Debe aclararse, sin embargo, sobre la comunicación pública de la ciencia en Internet, que se ha resaltado que existen tendencias contradictorias hacia una colaboración más ágil entre usuarios a la vez que se produce una mayor fragmentación de los públicos (Trench, 2008), por ello conviene diseñar con cuidado las herramientas de investigación y acotar los estudios de forma apropiada.

En particular, se ha mostrado que la red social Twitter refleja activamente el tejido social, ofreciendo maneras distintas de interactuar, de crear redes entre actores y de generar comunidad (Harvey, 2014). Se trataría así de una potente herramienta que permite investigar, además del desempeño de los agentes difusores del contenido científico, los debates públicos que se generan sobre cuestiones de ciencia y la participación digital de los legos en estas discusiones abiertas (López-Pérez & Olvera-Lobo, 2019).

¹ «Debido a una presencia constante en la vida de sus usuarios, las redes sociales tienen un impacto social decididamente fuerte. Los límites difusos entre la vida offline y la vida virtual, así como el concepto de identidad digital y las interacciones sociales online son algunos de los aspectos que han surgido en discusiones recientes» (Statista, 2019).

Según el modelo del *Public Engagement in Science* (PES), revisado en el capítulo anterior, ha habido una comprensión del público inadecuada, por lo que actualmente se aboga por crear nuevas estructuras basadas en el diálogo, entendido como un ingrediente esencial de la democracia. En el presente capítulo se examina una de las vías: la red social Twitter. ¿Se pueden abordar las limitaciones citadas en el anterior capítulo mediante el uso de Twitter como herramienta de investigación? ¿Qué puede aportar a la discusión?

En concreto, en Twitter las voces del discurso se desenvuelven de forma pública mediante un servicio de *microblogging* que «extiende la comunicación pública de la ciencia al proporcionar voces y contextos adicionales, así como al recomendar contenido y dirigir la atención» (Büchi, 2016: 12). Utilizar Twitter como herramienta de análisis, potencialmente permite rastrear las actitudes del público e identificar tendencias, ya sean en forma de inquietudes y reticencias e incluso de actitudes pro-ciencia. En consonancia con la idea planteada en el capítulo previo sobre ampliar la perspectiva al marco de la cultura científica, dado que se ha resaltado desde la literatura que además de incluir factores del modelo clásico de comprensión pública de la ciencia —como la estimación del grado de interés o las actitudes— deben considerarse otros elementos como los personajes involucrados en la ciencia o las imágenes o representaciones asociadas a la misma (Pardo, 2001), parece razonable pensar que este tipo de aspectos puedan estudiarse en el escenario virtual, donde las reacciones a las cuestiones relacionadas con la ciencia son espontáneas.

ii) Enfoques de investigación

Cabe puntualizar que hemos pasado de la idea de «público» —formado por individuos, que a su vez constituían la unidad de estudio en las encuestas— a la de «usuarios». Por ello, los estudios en redes sociales deben incluir otros agentes además del público general, siendo posible monitorizar a los científicos que divulgan la ciencia, a los medios de comunicación y a las instituciones científicas. De hecho, se ha sugerido que la plataforma visibiliza tanto la comprensión del público de la ciencia como la comprensión que los científicos tienen del público (Büchi, 2016).

De forma introductoria, puede señalarse que una tendencia general respecto a la intención comunicativa de los usuarios es la de utilizar Twitter para publicar, en mayor medida, de manera personal sobre sus actividades diarias, y no tanto sobre publicaciones informativas —en torno a un 80% y un 20% respectivamente— (Dann, 2010; Naaman, Boase, & Lai, 2010); mientras que a la hora de seguir perfiles, se detecta el uso de la red social en función de necesidades de información específicas (Hughes & Palen, 2009). Ambas ocurrencias dan algunas pistas acerca de las direcciones de investigación que se abren camino.

Si bien es cierto que la comunicación científica en Twitter ha recibido menor atención académica que, por ejemplo, los estudios de *marketing* o los análisis sobre comunicación política, mucho más numerosos (Percastré-Mendizábal, Pont-Sorribes, & Codina, 2017), cabe

considerar que diversos temas de interés científico para el público general se divulgan a través de esta red social, y en ese sentido Twitter constituye una fuente inagotable de información bruta en materia de opinión pública que además admite la monitorización de los flujos de información (Pérez-Rodríguez, González-Pedraz, & Alonso-Berrocal, 2018).

Por otro lado, en relación con la propagación de la información en Twitter, se debe precisar que la investigación sobre difusión de la ciencia se ha centrado, principalmente, en el proceso de compartir información en segundo grado, es decir, cómo se diseminan los tuits mediante el retuit; mientras que la publicación de tuits originales —*first degree of sharing*— es un aspecto que ha recibido menor atención académica (Veltri & Atanasova, 2015), pero que constituye un enfoque fértil y susceptible de investigarse en mayor profundidad. Por ello, en el presente apartado se han rastreado algunos trabajos en esa línea con el fin de explorar esa vía de estudio, que además se pondrá en práctica en el capítulo 4.

La plataforma ofrece una interfaz de libre acceso (API —*Application Programming Interface*; por sus siglas en inglés—) para investigadores, empresas y organizaciones interesados en la recogida y el análisis de los *tweets* (Twitter, 2019). La búsqueda a través de la API permite recopilar datos utilizando diferentes tipos de consultas, incluyendo palabras clave o perfiles de usuario, por lo que podríamos discernir entre dos aproximaciones distintas para la investigación académica: (1) el análisis del contenido de los tuits; y (2) el análisis de la red compuesta de agentes que se desenvuelven en la misma. La primera aproximación se conduce mediante la búsqueda de palabras clave, y por lo general se aplican herramientas computacionales para el procesamiento del lenguaje natural. La segunda aproximación, en cambio, se lleva a cabo a través del seguimiento de nombres de usuario, que permiten la detección de redes de actores que representan comunidades² —nótese que hay una tendencia en los usuarios a participar en comunidades de interés común (Java, Song, Finin, & Tseng, 2007)—.

En los siguientes apartados, para ilustrar los distintos enfoques adoptados en el estudio de la comunicación de la ciencia en Twitter, en primer lugar se ha realizado una búsqueda a través de diferentes repositorios —*Web of Science*, *Scopus* y *Dialnet*— para identificar los estudios disponibles mejor posicionados sobre comunicación en general en esta red social, y en particular los relacionados con la ciencia. Esa búsqueda ha sido completada y afinada rastreando los vínculos a los artículos más adecuados presentes en la bibliografía de los trabajos hallados, seleccionados bajo un criterio de relevancia basado en la diversidad de enfoques de investigación, los recursos metodológicos empleados y los temas seleccionados para los estudios empíricos; resultando en una muestra de cerca de cien trabajos relevantes. Nótese que al tratarse de un campo de investigación emergente, la información está actualizada.

² En otros contextos, se ha demostrado que la estructura de una red de conocimiento puede estar fuertemente influenciada por el desempeño de sus agentes, y viceversa (De Solla Price, 1963).

Con ello, además de trazar una abundante compilación de tendencias en investigación y resultados significativos, también se han tratado de distinguir las principales funciones que desempeña Twitter cuando se utiliza como herramienta de comunicación científica, prestando atención a los actores involucrados y a sus objetivos aparentes. Se trata, por tanto, de proporcionar una visión de conjunto sobre los posibles enfoques que puede adquirir el investigador, para inspirar el diseño de nuevos estudios y facilitar la composición del marco conceptual.

3.2 Universo Twitter

3.2.1. Rasgos distintivos

i) Uso

Fundado por Jack Dorsey, Biz Stone y Evan Williams, la red social Twitter ha ganado una extraordinaria popularidad desde su lanzamiento en 2006. Al principio fue concebida como una herramienta de comunicación efímera, y posteriormente como un espacio para compartir experiencias de forma masiva que daban cuenta de fenómenos mediáticos (Rogers, 2013). Se trata de un servicio de *microblogging*, una forma de comunicación en la que los usuarios pueden describir su estado a través de publicaciones cortas y que les permite compartir información sobre sus actividades y opiniones (Java et al., 2007). Dorsey declaró sobre el nombre de la plataforma que hacía alusión a que «los chirridos de los pájaros [*tweets*] no nos parecen significativos, pero otros pájaros aplican el significado. Lo mismo ocurre con Twitter: muchos mensajes pueden considerarse completamente inútiles y sin sentido, pero dependen completamente del destinatario» (Dorsey, 2009).

Twitter introdujo la tendencia de informar en tiempo real, dado que los usuarios contribuyen a la red aportando contenidos de forma análoga a las transmisiones en vivo de radio y televisión. En noviembre de 2009 hubo un cambio en el lema de Twitter, que muta desde *¿qué estás haciendo?* a *¿qué está pasando?* (PearAnalytics, 2009; Rogers, 2013). Este aspecto fue expresado como sigue por Williams:

En efecto Twitter ha cambiado de lo que pensábamos que era al principio, lo que describimos como actualizaciones de estado y una utilidad social. Es eso, en parte, pero lo que finalmente hemos visto es que Twitter realmente es más una red de información que una red social. (Williams, 2013).

No obstante, algunos estudios empíricos sugieren que los usuarios tuitean más sobre su vida personal y la cultura pop que sobre eventos mundiales, aunque sí tienden a retuitear noticias de actualidad, por lo que favorecen que se propague la información mediática (Zhao et al., 2011). Un dato de interés es la corta vida útil de un tuit, con una duración de entre 15 y 20 minutos (Wilson, 2019), siendo precisamente la corta longitud de los mensajes lo que facilita su consumo rápido en comparación con otras redes sociales en las que los usuarios emplean más tiempo.

Respecto a las estadísticas de uso, en términos cuantitativos el volumen de mensajes que se genera cada día en todo el mundo es descomunal: más de 500 millones de tuits diarios —en promedio más de 6 mil *tweets* por segundo— (Mention, 2018; Internet Live Stats, 2019). Twitter actualmente se ubica como una de las principales redes sociales a nivel mundial en

base a usuarios activos³. Prestando atención a los datos más actualizados, según la estadística del portal *Satista* a partir del primer trimestre de 2019, se ha promediado 330 millones de usuarios activos mensuales y 134 millones de usuarios activos diarios (Clement, 2019). El crecimiento del número de usuarios puede observarse en la Figura 1, en la que se muestran los usuarios activos mensuales a nivel mundial desde el primer trimestre de 2010 hasta el primer trimestre de 2019.

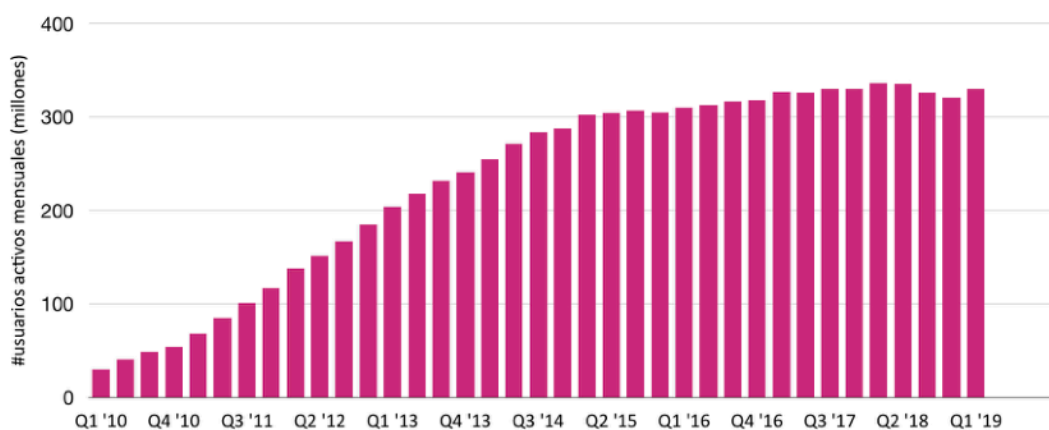


Figura 1. Cantidad de usuarios activos mensuales de Twitter en todo el mundo a lo largo del tiempo. Elaboración propia a partir de *Statista* (Statista, 2019; Clement, 2019).

En términos demográficos, debe mencionarse que de forma global el 34% de las audiencias de Twitter son mujeres frente a un 66% de hombres (We are social, 2019), y que aproximadamente un 28% tienen entre 25 y 34 años; por debajo quedaría un 35% de usuarios; entre 35 y 49 un 22%; y por encima de esa edad un 15% (Clement, 2020). A título de ejemplo, atendiendo a los datos de uso la red social Twitter es particularmente popular en los Estados Unidos, que contó con 48,65 millones de usuarios activos a partir de julio de 2019, mientras que Japón y el Reino Unido ocuparon el segundo y tercer lugar con 36,7 y 14,1 millones de usuarios respectivamente. Estados Unidos representaba el 18,9% del público de este servicio de *microblogging* en 2018, siendo de un 14,6% en el caso de Japón, que ocupó el segundo lugar.

³ Como dato de interés, 500 millones de personas acceden a Twitter cada mes sin iniciar sesión en una cuenta (Smith, 2020).

ii) Características

Como se ha subrayado, Twitter es una red social popular en todo el mundo en la que los usuarios establecen conexiones, comparten experiencias y crean comunidades en un espacio en el que abunda la información de actualidad y que propicia la opinión. A esta popularidad contribuye el hecho de que los mensajes que se difunden son de acceso público, circunstancia que ha sido determinante en la elección de esta plataforma para la presente tesis.

Su interfaz está constituida por una plataforma online que ofrece un servicio de *microblogging* para que los usuarios registrados lean y publiquen mensajes cortos llamados tuits —*tweets* en inglés—. Un tuit es un mensaje de estado en Twitter que se comparte en forma de post con limitaciones definidas, por ejemplo un espacio de caracteres limitado⁴. Los tuits se publican a través del perfil público de un usuario que otros usuarios pueden seguir, característica que posibilita la interacción con celebridades. En concreto, un seguidor —o *follower*— elige a sus prescriptores de contenido y sigue a otros usuarios en Twitter, de forma que puede ver los mensajes que éstos comparten, a veces con enlaces a contenido externo, y así las redes de seguidores se van construyendo en función de los intereses de cada usuario. Esta circunstancia favorece que los usuarios con ideas afines tiendan a tuitear más entre sí (Yardi & Boyd, 2010).

Twitter presenta la funcionalidad de permitir etiquetar a otros usuarios en un tuit utilizando el símbolo «@» seguido de un nombre de usuario —por ejemplo, «@elonmusk»—, lo que posibilita incluir a otros usuarios en conversaciones o bien alertarles sobre temas de interés. Del mismo modo que el signo «@» se utiliza para mencionar a otros usuarios o responder mensajes⁵, también se pueden agrupar publicaciones en base a la temática mediante el uso de *hashtags*⁶, que son palabras o frases con el prefijo «#» —por ejemplo «#science»— para facilitar al usuario encontrar las publicaciones en torno a temas específicos. Además, la opción del retuit —*retweet* (RT)— permite a un usuario volver a publicar el mensaje de otro y compartirlo con sus propios seguidores. La terminología de Twitter puede encontrarse en la Tabla 13. Cabe mencionar que un tuit puede difundirse de forma viral, es decir, expandirse en la red como un racimo y alcanzar usuarios masivamente que no siguen al emisor necesariamente (Boyd, Golder, & Lotan, 2010; Chamberlin & Lehmann, 2011).

⁴ Además de texto, los tuits también pueden contener emojis, fotos o videos cortos; elementos que quedan fuera del análisis en el presente proyecto.

⁵ Las conversaciones en Twitter comenzaron con el uso por parte de los primeros usuarios del símbolo @ en las respuestas a otros usuarios en particular (Honeycutt & Herring, 2009).

⁶ El símbolo «#» apareció en Twitter cuando los usuarios informaron sobre los incendios de San Diego, EE. UU., en 2007 (Sutton, Palen, & Shklovski, 2008).

Término	Definición
Tweet	Un <i>tweet</i> es un mensaje de estado en Twitter que se comparte desde un perfil en forma de post con un número de caracteres limitado y que puede contener <i>#hashtags</i> y <i>@menciones</i> . Admite comentarios a modo de respuesta y puede difundirse mediante el <i>retweet</i> .
@mention	Una mención es una referencia en un <i>tweet</i> que contiene un <i>@username</i> de otro usuario en el cuerpo del mensaje.
#hashtag	Un <i>hashtag</i> es una etiqueta que se utiliza para indexar palabras clave o términos en Twitter, lo que facilita el seguimiento de temas determinados.
Retweet	Un <i>retweet</i> es un <i>tweet</i> que compartes con tus seguidores y que ellos a su vez pueden compartir.
Reply	Una <i>reply</i> es una respuesta al <i>tweet</i> de otro usuario que comienza con su <i>@username</i> .
Follower	Un <i>follower</i> es un seguidor de cuentas de Twitter. Seguir un perfil en Twitter significa suscribirse a sus <i>tweets</i> para tener acceso a sus actualizaciones.

Tabla 13. Terminología básica del entorno Twitter. Elaboración propia.

Como se ha señalado, uno de los rasgos más definitorios de los tuits es la longitud de sus mensajes (Chamberlin & Lehmann, 2011; Veletsianos, 2011) que ha sido ampliada de 140 caracteres —basada en la longitud de los SMS— a 280 caracteres desde 2017 (Rosen & Ihara, 2017)⁷. Esto facilita el análisis de los términos clave en un discurso, ya que los usuarios expresan sus opiniones e intereses de forma abreviada y en tiempo real (Esparza, O’Mahony, & Smyth, 2012). Un ejemplo ilustrativo de cómo se condensa la información, limitada por un número de caracteres tan restringido, puede ser el del primer mensaje de Twitter emitido desde el espacio sin asistencia desde la Tierra, por el astronauta de la NASA Timothy Creamer el 22 de enero de 2010 cuando se encontraba en la Estación Espacial Internacional.



Figura 2. Primer tuit enviado desde el espacio por el astronauta T. J. Creamer. Traducción: «¡Hola Twitterverse! Ahora estamos tuiteando EN VIVO desde la Estación Espacial Internacional: ¡el primer tuit en vivo desde el espacio! :) A continuación envíe sus preguntas».

⁷ En idiomas como Japonés o Coreano se siguen manteniendo los 140, ya que estas lenguas permiten expresar el mismo contenido de un mensaje en la mitad de espacio.

Por último, cabe considerar que cuando una palabra, frase o tema se menciona a un ritmo considerablemente mayor que el resto, se dice que es *trending topic*, una tendencia de interés actual. La propia interfaz web de Twitter muestra una lista de las tendencias del momento en la barra lateral de la página de inicio, y estos *trending topics* pueden popularizarse a través del esfuerzo de los usuarios o debido a un evento específico, pero en cualquier caso son un reflejo de lo que está sucediendo en el mundo y visibilizan las opiniones que se forman en torno a ellos⁸.

iii) Limitaciones de Twitter para la extracción de datos

Si bien la API de Twitter es gratuita y posibilita el acceso a millones de tuits incluyendo metadatos, cada consulta devuelve alrededor de 3000 tuits, los cuales constituyen muestras aleatorias de conjuntos más grandes, por lo que existen limitaciones en cuanto a la información que el investigador puede recabar. Para las búsquedas de palabras clave, debe considerarse que la muestra devuelta por la API pertenece a los últimos 9 días, por lo que la realización de estudios transversales en este medio requiere poner en funcionamiento un mecanismo para la extracción sistemática de datos en tiempo real, obteniendo muestras para periodos más amplios. En cambio, cuando se recaban los tuits de cuentas de usuario específicas, la muestra aleatoria incluye tuits desde la apertura del perfil. Cada tuit tiene asignado un autor, un mensaje, un ID único, número de *likes*, número de *retweets*, una marca temporal de publicación y, a veces, datos de geolocalización.

Otra debilidad manifiesta en el empleo de Twitter es la somera distinción entre países que ofrece la herramienta, resultando en datos demográficos insuficientes y en una descripción homogénea del público. Además, algunos autores apuntan que los usuarios de las redes sociales solo son un subconjunto del público general, por lo que no resultarían representativos (Murphy et al., 2014). No obstante, puede aducirse que a medida que el acceso a Internet aumenta en todo el mundo, cada vez son más las personas representadas en las redes sociales. En todo caso, dado que el presente proyecto de investigación tiene como objetivo explorar tendencias, esta problemática no resulta un inconveniente grave.

3.2.2. Twitter como objeto de investigación académica en comunicación

i) Tendencias generales

La red social Twitter es un objeto de investigación emergente que ha inspirado distintas clases de estudios en comunicación y suscitado numerosos análisis sociológicos (Murthy, 2012), no obstante existe poco acuerdo sobre qué métodos son confiables en la investigación con redes

⁸ Si el contenido es ofensivo o abusivo, Twitter los censura.

sociales y qué información puede revelarnos (Veltri & Atanasova, 2015), dado que no se han desarrollado metodologías rigurosas que permitan análisis sistemáticos (Kahle, Sharon, & Baram-Tsabari, 2016).

Nótese que Twitter es a la vez red de información y red social (S. A. Myers, Sharma, Gupta, & Lin, 2014). Por un lado, como herramienta para diseminar información, se ha demostrado que la cobertura de noticias en Twitter suele ser consistente con la de los medios de comunicación (Veltri, 2013; Wilkinson & Thelwall, 2012) y, de hecho, los debates en internet no difieren mucho de los debates que se generan en prensa (Gerhards & Schäfer, 2010). Por ejemplo, se han utilizado técnicas de *topic modeling* —detección de temas relevantes en un conjunto de datos con texto— para comparar con las tendencias en los medios tradicionales —véase el estudio comparativo con las tendencias informativas del *New York Times* (Zhao et al., 2011)—. Por otro lado, como red social, se han realizado numerosos estudios sobre las relaciones entre agentes en Twitter. Cabe destacar, no obstante, que algunos trabajos sobre agentes se combinan con el estudio del contenido de los tuits mediante el estudio conjunto de redes actor-temática (Haunschild, Leydesdorff, Bornmann, Hellsten, & Marx, 2019; Hellsten & Leydesdorff, 2019).

Respecto a la estructura de la red de usuarios en Twitter, cabe señalar que no es la común de otras redes sociales, dado que presenta una reciprocidad baja y se comporta más como un medio de propagación de noticias (Kwak, Lee, Park, & Moon, 2010), aunque sí se ha detectado cierto grado de interconexión entre los tuits: alrededor de un 25% contienen menciones a otros usuarios (Huberman, Romero, & Wu, 2008). De hecho, más allá del modelo unidireccional clásico, la información se disemina en forma de conversaciones (Schmidt, 2014) y está dirigida a una audiencia estructurada en red, cuyos nodos están constituidos por usuarios que eligen a sus prescriptores de contenido —los perfiles que «siguen»—. Es decir, adquieren la información en base a un criterio de relevancia propio y no establecido por los medios generalistas. En esta dirección de investigación, son muchos los estudios sobre la influencia de los agentes en Twitter (Pérez-Rodríguez et al., 2018), un factor que está relacionado con tener seguidores activos que retuiteen o mencionen al usuario —y no tanto con tener mayor o menor número— (Cha, Haddadi, Benevenuto, & Gummadi, 2010). De hecho, las medidas de influencia se efectúan en base a la red de contactos y a las dinámicas de publicación (Congosto, 2016).

Resulta llamativo que, a pesar del potencial para el diálogo y la construcción de comunidades en el entorno Twitter, es más probable que las organizaciones utilicen modelos unidireccionales (Waters & Jamal, 2011) y no se envuelvan con frecuencia en conversaciones. Aún así, algunos organismos puntuales pueden ser muy populares en la red y gozar de gran influencia en determinados temas (Cha et al., 2010) —por poner un ejemplo, el perfil de la NASA cuenta con más de 38 millones de seguidores en 2020—.

En cuanto a los perfiles más productivos en Twitter respecto a interacciones son los personales, se sostienen sobre el compromiso individual del usuario y no disponen de un equipo de comunicación detrás (Pérez-Rodríguez et al., 2018). Un apunte interesante es que algunos estudios identifican las menciones entre usuarios como una forma de *engagement* — otras veces entendido como el grado de compromiso del usuario— a la hora de transmitir la información de forma significativa en el receptor (Díaz-Faes, Bowman, & Costas, 2019).

En particular, las menciones son más habituales entre usuarios que se conectan de forma interna entre grupos. Además los retuits constituyen la manera típica en la que se propagan los mensajes entre comunidades (Grabowicz, Ramasco, Moro, Pujol, & Eguiluz, 2012), por tanto la clave de la transmisión reside más en el nivel de intermediación —es decir, que un usuario pertenezca a varias comunidades— y no tanto en poseer más conexiones dentro de un mismo grupo (Congosto, 2016). Dicho de otro modo, una estructura de la red con usuarios comunes a varias comunidades favorece sustancialmente la propagación de los tuits.

Además de los estudios que versan sobre cómo los usuarios de Twitter forman comunidades en torno a sus conexiones conversacionales, otro enfoque esencial es el de situar el foco en el contenido de los tuits (Pearce, Holmberg, Hellsten, & Nerlich, 2014), una aproximación que ha revelado que el contenido de los mismos también afecta a la propagación de la información. Efectivamente, la difusión de los mensajes, además de depender de la conexión entre agentes, también se ve influenciada por los propios temas que se diseminan (De Choudhury et al., 2010). Para demostrarlo se han realizado análisis de contenido de muestras representativas de tuits para la detección de temas relevantes (Aiello et al., 2013), así como estudios sobre la atención colectiva a determinados problemas en la esfera pública o a eventos concretos (Sasahara, Hirata, Toyoda, Kitsuregawa, & Aihara, 2013) —en esta línea, son comunes las investigaciones que examinan patrones colectivos de conducta en cuestiones políticas (Percastré-Mendizábal et al., 2017), en las que se ha tratado de monitorizar el comportamiento social a gran escala de los usuarios (Lin, Keegan, Margolin, & Lazer, 2014)—. En concreto, algunos de los estudios se llevan a cabo mediante la identificación y seguimiento de *hashtags* (Boyd et al., 2010) y su número de retuits asociado (Small, 2011), incluso analizando la evolución de los temas de interés a lo largo del tiempo. En este tipo de estudios, cabe considerar que la propagación de los tuits se produce principalmente durante la primera hora tras su emisión (Kwak et al., 2010; Van Liere, 2010).

En otro orden de cosas, ante la ventaja de que los tuits admiten una representación semántica (Narr, Luca, & Albayrak, 2011), los análisis sobre el contenido de los tuits se han planteado en numerosas ocasiones con el enfoque del procesamiento del lenguaje natural — *Natural Language Processing* (NLP)—. Para llevarlo a cabo, por lo general se utilizan métodos computacionales automatizados para el análisis de grandes cantidades de tuits, aunque en ocasiones el análisis de contenido también se realiza de forma manual empleando codificadores humanos para clasificar textos, de manera que los investigadores pueden

encontrar información sutil que los métodos automatizados pasan por alto (Chew & Eysenbach, 2010; Uren & Dadzie, 2015). Una forma de hacerlo es empleando listas finitas de palabras —elaboradas a partir del juicio de los investigadores— para identificar tuits con carga de opinión; por ejemplo, calculando la proporción de tuits de una muestra que contiene determinadas palabras (Zhao et al., 2011).

Como tendencia habitual en este tipo de estudios debe citarse el llamado «análisis de sentimientos» —*sentiment analysis*—, que opera examinando términos en los tuits que expresan emociones (Liu, 2011, 2012) y reflejan así las percepciones emocionales de los usuarios expresadas en lenguaje natural (Dehkharghani, Mercan, Javeed, & Saygin, 2014). Son comunes los sondeos para evaluar la «felicidad» de los usuarios examinando las palabras presentes en el discurso en Twitter con carga emocional, que se suelen identificar a partir de una lista predeterminada con cierto número de palabras (Dodds, Harris, Kloumann, Bliss, & Danforth, 2011). Un conjunto disponible de palabras, popular entre los investigadores, es el de las *Normas afectivas de palabras en inglés* (ANEW; por sus siglas en inglés) (Bradley & Lang, 1999). En lugar de ser *ad hoc*, las listas también se pueden elaborar en función de la frecuencia de uso de los términos (Dodds et al., 2011), o bien componerse bajo el criterio de los autores tras examinar el conjunto de tuits a investigar, aplicando un juicio cualitativo a partir de la observación de los datos.

Como nota de interés, un estudio para averiguar qué tipos de artículos del *New York Times* se comparten online en mayor medida, mostró que el contenido que evoca cierta carga emocional tiene una mayor probabilidad de compartirse y hacerse viral (Berger & Milkman, 2012). Un dato relevante al respecto es que, de acuerdo con un estudio anterior, alrededor del 27% de los temas extraídos de una muestra representativa de tuits incluía actualizaciones personales (Zhao et al., 2011), algo que no ocurre en la detección de temas relevantes del *New York Times* por tratarse de una cobertura normativa propia de los medios de comunicación. Posteriormente también se ha registrado una correlación positiva modesta entre los retuits y la carga emocional presente en el contenido de enlaces web dentro del tuit (Veltri & Atanasova, 2015). Sobre los vínculos a contenido externo, un sondeo de usuarios en Twitter reveló que los hipervínculos desempeñan un rol central que afecta tanto a los flujos de información como al citado *engagement* de los usuarios en la red social (Holton, Baek, Coddington, & Yaschur, 2014), por ejemplo a través de recomendaciones entre usuarios con enlaces recíprocos.

Por último, debe mencionarse que también se han llevado a cabo estudios sobre la credibilidad de la información de noticias propagadas en Twitter a la luz de la difusión de información errónea y rumores falsos. Como ejemplo llamativo, un equipo de investigadores realizó una clasificación automática de un conjunto de tuits y detectó un rango de fiabilidad en torno al 85%, identificándolos como «creíbles» o «no creíbles» mediante una herramienta computacional basada en la propagación de los mismos (Castillo, Mendoza, & Poblete, 2011).

También otro estudio demostró que tener demasiados o muy pocos seguidores infunde menos confiabilidad, mientras que contar con un número de seguidores en una cuenta no muy alejado del número de seguidos es percibido como ser un usuario más creíble o competente (Westerman, Spence, & Van Der Heide, 2012). Además se ha sugerido que si un experto utiliza un estilo de lenguaje agresivo, la información que transmite es percibida como menos creíble y que, cuando se trata del caso específico del debate sobre temas de ciencia, se aprende menos (König & Jucks, 2019).

ii) Roles de usuario

En términos generales, existen clasificaciones basadas en la intención de los usuarios que giran en torno a los tipos de emisores según su actividad y cómo se desenvuelven en la red (Quercia, Ellis, Capra, & Crowcroft, 2011; Uddin, Imran, & Sajjad, 2014), mientras que otras se centran en el tipo de tuits emitidos.

El primer caso puede ilustrarse con una caracterización típica de los perfiles de *influencers* — usuarios con gran influencia en la red— obtenida con la herramienta *Klout* para el análisis de los mismos (Harvey, 2014), que entre los 16 tipos de perfiles que distingue los más relevantes serían los de: *feeder*, aquel que comparte información constantemente sobre determinadas temáticas, es participativo y cuyos seguidores están enganchados a sus actualizaciones; *thought leader*, que es líder de opinión en cierto sector de la industria y cuyos seguidores confían tanto en las noticias de relevancia que comparte como en las opiniones que expresa; *specialist*, que es experto en cierto ámbito de actuación y cuyas publicaciones normalmente se centran en una temática específica, con una audiencia focalizada y altamente comprometida; y *explorer*, que se caracteriza por «escuchar» tuits de una forma imparcial.

En la misma línea, puede ser útil la distinción más genérica propuesta por otros autores que identifican tres tipos de difusores de información: *mass media*, fuentes de medios de comunicación que alcanzan audiencias masivas; *grassroots*, usuarios base o comunes, pasivos a la hora de difundir las noticias pero que representan el 98% de la red; y *evangelists*, compuestos por líderes de opinión, políticos, celebridades y negocios locales, y que alcanzan audiencias alejadas del núcleo de la red (Cha et al., 2010).

Con una aproximación diferente, también se ha propuesto una categorización bastante extendida basada en la estructura definida por los *links* o relaciones entre cuentas, que diferencia los roles de usuario entre: *information source*, que gozan de una gran cantidad de seguidores debido a la naturaleza valiosa de sus actualizaciones independientemente de que tuiteen a intervalos regulares o con poca frecuencia —de hecho, algunas pueden ser herramientas automatizadas que publican noticias—; *friends*, que reflejan las amistades en Twitter que se dan en forma de seguidores entre amigos, familiares, compañeros de trabajo o bien entre usuarios desconocidos —la mayoría de perfiles entra en esta categoría—; e *information seeker*, usuarios que utilizan la red para seguir a otros usuarios regularmente

pero que rara vez publican mensajes (Java et al., 2007). A colación del último tipo, conviene aclarar que se considera «usuario activo» de una red social al que en el período de una semana ha efectuado, al menos, una publicación (Kolari et al., 2007).

Por otro lado, respecto a las clasificaciones que ponen el énfasis en el contenido de las publicaciones también asignan roles a los emisores, es decir, clasificaciones de los principales tipos de contenido pero teniendo en cuenta la intención del emisor. Una de las primeras y más relevantes propuso los siguientes perfiles: *daily chatter* —el más común—, que ofrece actualizaciones de su día a día; *conversations*, con mensajes que incluyen menciones; *sharing information/URLs*, tuits que contienen alguna dirección web; y *reporting news*, aquellos que reportan noticias o eventos de actualidad (Java et al., 2007). Basándose en el tipo de tuits concluyó que los usuarios utilizan la red social, esencialmente, para charlar sobre sus actividades diarias y para buscar o compartir información; revelando como característica central de la red que aquellas cuentas que presentan intenciones similares se conectan entre sí con mayor facilidad —téngase en cuenta que un mismo usuario puede tener múltiples intenciones o desempeñar diferentes roles—.

Según otra categorización posterior, realizada por *Pear Analytics* y ampliamente citada desde la literatura, el contenido de gran parte de los tuits es banal, del tipo «I'm eating a sandwich» (PearAnalytics, 2009). En concreto, las categorías de tuits propuestas y sus porcentajes respectivos fueron: *pointless babble* (41%), que hace alusión a contenido «irrelevante»; *conversational* (38%), que incluyen menciones entre usuarios y tuits que intentan involucrar a los seguidores en una conversación —por ejemplo, mediante preguntas o encuestas—; *pass along-value* (9%), cuyo contenido que responde a un interés informativo particular; *Self-promotion* (6%), como los tuits corporativos típicos sobre productos, servicios o promociones; *News* (4%), que reflejan la actualidad informativa; y *Spam* (4%), aludiendo a contenido publicitario. Por supuesto, algunos tuits admitirían varias categorías, por lo que esta categorización no está exenta de crítica (Boyd, 2009; Van Dijck, 2011).

3.2.3. Twitter como herramienta de comunicación científica

Si bien es cierto que la investigación en Twitter se ha orientado en gran medida a sondeos políticos y estudios de mercado, investigar la comunicación de la ciencia al público general también exhibe un elevado potencial, dado que la actualidad científica aparece fuertemente vinculada a esta red social (Brown, 2014). A grandes rasgos los estudios sobre difusión de la ciencia en Twitter presentan dos aproximaciones. Por un lado, se ha tratado de identificar a los agentes más influyentes en materia de comunicación científica, quienes participan en redes de actores cuya estructura de relaciones se puede caracterizar matemáticamente mediante la teoría de grafos (Pérez-Rodríguez et al., 2018); y por el otro, se han llevado a cabo investigaciones colocando el foco en el contenido de los tuits que tratan temas científicos de interés público, mayoritariamente para evaluar el impacto frente a

determinadas controversias científicas. En los siguientes apartados se examinarán ambas aproximaciones a la luz de diversos trabajos representativos en el campo de estudio.

Respecto a la metodología empleada en estos trabajos, además de técnicas computacionales para el análisis masivo de datos, también se utilizan enfoques cualitativos para la clasificación de tuits con el fin de evaluar el impacto de la información científica y las reacciones que suscita, en especial en la aproximación que involucra cuestiones científicas específicas.

i) Temas científicos de interés público

Los temas de interés público que se manifiestan en la red social Twitter y que han suscitado mayor atención en el ámbito académico son, en general, los relacionados con la percepción del riesgo de los ciudadanos, como por ejemplo discusiones respecto a la energía nuclear, el debate climático, o temas relacionados con la nanotecnología (Li et al., 2016; Runge et al., 2013; Veltri, 2013). Esta aproximación se centra en el contenido de una discusión en abierto, para la que se recaban conjuntos de tuits mediante la búsqueda de palabras clave y sobre la que a veces se analiza la vertiente emocional en la respuesta de los usuarios.

Particularmente en el debate del cambio climático, se ha puesto de manifiesto que los miembros del público utilizan, cada vez más, las redes sociales para expresarse (Schäfer, 2012; Walter, Lörcher, & Brüggemann, 2019), y se han realizado algunos sondeos esclarecedores aplicando la citada técnica del *sentiment analysis* (Höijer, 2010). Un ejemplo de ello en Twitter es un estudio de caso en el que se detectaron tres tipos de comunidades entre los usuarios diferenciando entre los que perciben la emergencia climática, los negacionistas y aquellos que son imparciales —*supportive, non-supportive y neutral*—; y que además mostró que los *hashtags* más utilizados en la discusión sobre la crisis del clima se relacionan directamente con contenidos científicos, con discusiones geográficas y con preocupaciones sociales y tecnológicas, siendo también notables los tuits relacionados con campañas políticas (Pearce et al., 2014).

Otro tema de especial interés por su gran repercusión en materia de opinión pública es el relacionado con la salud. En particular, una investigación determinó que los tuits sobre medicamentos, productos químicos y enfermedades, emitidos por agencias de salud americanas, tienden a ser más retuiteados que el resto (Bhattacharya, Srinivasan, & Polgreen, 2014). También se han realizado algunas mediciones sobre las percepciones públicas en momentos de emergencia sanitaria, en principio para favorecer que las autoridades respondan a las preocupaciones públicas adecuadamente (Chew & Eysenbach, 2010). Otros estudios han versado asimismo sobre las conductas de escepticismo y hostilidad hacia los programas de vacunación por parte de actores no informados científicamente pero altamente activos en internet (Rosselli, Martini, & Bragazzi, 2016), algunos de ellos para entender la postura emocional del público (Becker et al., 2016).

Por otro lado, también debe señalarse que se han elaborado estudios sobre otras temáticas pero en menor medida. Una aportación que puede resultar esclarecedora es un estudio que sugiere que la comunicación en Twitter sobre cuestiones de nanotecnología en realidad no era conversacional, sino que estaba dominada por unos pocos agentes (Veltri, 2013). Nótese que se trata de una disciplina de gran complejidad, por lo que cabría preguntarse en qué grado se da esta condición si se evalúa sobre otras muestras de datos de materias menos técnicas.

Por último, resulta llamativo el resultado de otro estudio que encontró que la categoría «ciencia y tecnología» de una muestra de tuits clasificados en nueve temáticas, mostró una proporción muy baja de tuits con opiniones y una popularidad situada en el rango medio de interés en relación con el resto de categorías propuestas —que incluían salud, educación y deportes, entre otras— (Zhao et al., 2011).

ii) Agentes. ¿Quién tuitea sobre ciencia?

Como en otras áreas de interés humano, el uso creciente de las redes sociales ha potenciado el ejercicio de la comunicación científica. Los actores involucrados en la comunicación científica pueden diferenciarse entre: (1) comunicadores científicos (Ribas, 2012), ya sean profesionales o *amateurs*, (2) instituciones —universidades, centros de investigación y otras organizaciones— (Kahle et al., 2016); y (3) científicos que tuitean sus hallazgos, a veces para obtener impacto entre la propia comunidad científica (Peters, Dunwoody, Allgaier, Lo, & Brossard, 2014) o bien sobre la sociedad civil (Walter et al., 2019). El tercer tipo es el que ha inspirado mayor cantidad de estudios. Por supuesto, estas categorías propuestas pueden solaparse —como por ejemplo, en el caso de un científico que es al mismo tiempo profesional de la comunicación, una figura cada vez más habitual—.

Respecto a la primera categoría, cabe mencionar que la red social Twitter es la más utilizada por los periodistas de ciencia para informarse sobre novedades y establecer contacto directo con las fuentes (Pont Sorribes, Cortiñas Rovira, & Di Bonito, 2013); y de hecho se han realizado algunos estudios que versan sobre cómo la utilizan para ejercer su labor profesional (Kahle et al., 2016; Quiñónez Gómez & Sánchez Colmenares, 2017).

Sobre la segunda categoría, se han llevado a cabo estudios de caso sobre la comunicación institucional centrados en determinadas cuentas de organismos populares. Como ejemplo ilustrativo puede citarse la monitorización en diversas redes sociales —incluida Twitter— que llevó a cabo el Centro Europeo para la Investigación Nuclear (CERN) sobre sus esfuerzos de divulgación, en la que se observó que a medida que crece el volumen de la audiencia, el *engagement* del usuario receptor de la información tiende a disminuir aunque haya mayor número de interacciones totales con el grueso de seguidores (Kahle et al., 2016).

En el tercer caso, el de los científicos con cuentas de Twitter, como se ha mencionado existe mayor atención académica en lo que respecta a la difusión de investigaciones científicas en Twitter y, en particular, el impacto que generan en relación con la publicación científica (Liang et al., 2014; Mandavilli, 2011) o a veces con la intención del usuario de discutir el propio trabajo académico a través de la red social (Rowlands, Nicholas, Russell, Canty, & Watkinson, 2011; Van Noorden, 2014). Numerosos trabajos se centran el uso de Twitter entre académicos para la diseminación de la información científica de alto nivel (Sugimoto, Work, Larivière, & Haustein, 2017; Thelwall, Haustein, Larivière, & Sugimoto, 2013; Torres-Salinas, Cabezas-Clavijo, & Jiménez-Contreras, 2013), llegando a estimarse que el 21% de los artículos científicos se diseminan, como mínimo, a través de un tuit (Haustein, Costas, & Larivière, 2015). Es por ello que las métricas basadas en Twitter se están proponiendo cada vez más como potencial indicador de impacto de las publicaciones científicas (Priem, Groth, & Taraborelli, 2012), e incluso para el propio desempeño de la ciencia por el efecto que puede causar en el número de citas y visitas web a los artículos científicos referenciados en los tuits (Wasike, 2019).

Estas propuestas se enmarcan dentro del concepto moderno de «*altmetrics*», que designa una nueva forma de medir el impacto de las publicaciones científicas basada en indicadores alternativos al factor de impacto de las revistas, como menciones en redes sociales, visualizaciones y descargas, entre otros (Priem et al., 2012). En este sentido, los científicos pueden incrementar las citas de sus trabajos académicos cuando abordan discusiones sobre los mismos en redes sociales como Twitter (Liang et al., 2014). De hecho, se ha detectado un aumento de científicos que utilizan esta red para discutir los resultados de sus trabajos, generar nuevas ideas de investigación o reforzar la relación entre los investigadores (Ke, Ahn, & Sugimoto, 2017).

Se estima además que es una práctica que se adopta de forma creciente para la comunicación informal entre científicos y que favorece la consolidación de comunidades del gremio (Darling, Shiffman, Côté, & Drew, 2013; Shema, Bar-Ilan, & Thelwall, 2012; Weller, Bruns, Burgess, Mahrt, & Puschmann, 2013). Algunos estudios también han sugerido que la importancia radica más en cómo están conectados los usuarios que en el propio contenido de los tuits (Díaz-Faes et al., 2019; Haustein, 2019), y de modo similar otros han apuntado a que el contenido original diseminado es escaso —no yendo más allá del título del artículo— (Robinson-García, Costas, Isett, Melkers, & Hicks, 2017). A este respecto una propuesta interesante para medir el nivel de *engagement* de los investigadores que tuitean sus artículos es comparar la semejanza entre el texto del tuit y el título de la publicación científica, considerando que cuanto más difieren entre sí mayor es el nivel de *engagement* (Díaz-Faes et al., 2019; Haustein, Bowman, & Costas, 2016). Con todo, es conveniente aclarar que hay estudios de caso que revelan que los patrones de difusión de artículos científicos rara vez van más allá de los usuarios que forman una comunidad bien conectada (Alperin, Gomez, & Haustein, 2019).

Si bien es cierto que los científicos interactúan más con otros científicos en Twitter, debe resaltarse que también consideran importante la comunicación de la ciencia a la sociedad, y de hecho ajustan su vocabulario con distintos registros empleando un lenguaje más neutral hacia sus iguales (Walter et al., 2019). En particular, «las actividades de diseminación, como las interacciones con los reporteros y ser mencionado en Twitter, pueden ayudar a la carrera del investigador mediante la promoción de su impacto científico» (Liang et al., 2014: 776). Nótese respecto al papel de los científicos en twitter de cara al público general, que para alcanzar una audiencia no científica amplia se requiere de un esfuerzo de *engagement* online sostenido en el tiempo, tratándose además de un proceso que no es lineal, dado que solo puede ocurrir después de un cierto número de seguidores (Côté & Darling, 2018). Como apunte adicional, otro uso distinto de las redes sociales como Twitter por parte de los científicos es la de llevar a cabo acciones colectivas orientadas a cambios sociales apelando a la importancia de la educación del público en ciencia (Jahng & Lee, 2018).

Como contrapunto, algunos autores defienden que aquellos científicos que emplean su tiempo en alimentar perfiles públicos de redes sociales con la producción científica, publican menos artículos que aquellos dedicados en exclusiva a la investigación —e incluso se ha propuesto un índice para medirlo—, por lo que a juicio de algunos solo deberían dedicarse a investigar (Hall, 2014).

iii) Perspectivas de trabajo

A modo de conclusión, es razonable afirmar que las redes sociales constituyen un campo emergente para la investigación académica en el campo de la comunicación, facilitada por la creciente potencia de cálculo y de procesamiento de datos de los actuales ordenadores. En los apartados previos se ha procedido a la identificación y selección de abundantes resultados de diversos estudios disponibles en el área, con especial énfasis en el ámbito de la comunicación científica —cuyos hallazgos todavía son, en su mayoría, preliminares—.

Como resultado de la revisión, puede resumirse que las principales funciones de Twitter como herramienta de comunicación científica son las de: (1) informar al público interesado; (2) la consolidación y el desarrollo de comunidades; (3) dar cuenta de las interacciones entre periodistas, expertos y público; (4) incrementar el impacto de las publicaciones científicas; y (5) alinear ciencia y sociedad o bien enfrentarlas. Nótese que dependiendo de los actores involucrados y sus objetivos aparentes, estas funciones se configuran de manera específica y empíricamente observable —trazadas a lo largo del texto—. Se plantea también una distinción entre aproximaciones de investigación con datos extraídos de la plataforma, una centrada en la información —los temas científicos de interés público— y otra en los agentes que difunden y/o consumen la información científica —el desempeño de los actores en la red social—. Se manejan nociones como la de «influencia en la red» o la de participación y compromiso de los usuarios —*engagement*—.

Tras ofrecer una visión de conjunto de los posibles enfoques que puede adoptar el investigador en este inventario teórico, es posible enmarcar otros trabajos de forma ágil y discernir entre los recursos de análisis más apropiados en cada caso, para facilitar así el diseño de estudios futuros. Una vía a explorar es la de intentar determinar qué temas científicos suscitan más interés. En esa misma línea, otra vía de estudio, relativa al discurso sobre ciencia y tecnología, es la de averiguar qué fracción de la información científica sobre la que el público muestra interés se relaciona con otras temáticas —por ejemplo, con cuestiones políticas—. Una tercera vía, es la de poner el foco en divulgadores famosos que gozan de gran influencia —las llamadas «*science stars*»— para examinar sus dinámicas de publicación y el impacto de su discurso. Estas cuestiones se explorarán mediante una herramienta de investigación diseñada para estos propósitos, descrita en el siguiente apartado.

3.3. Metodología propuesta

Para efectuar mediciones del impacto de la información científica en Twitter que puede extraerse de los discursos disponibles en abierto, tanto de divulgadores famosos como de perfiles institucionales o bien de discusiones descentralizadas sobre temas de actualidad científica, en este apartado se presenta el diseño de una herramienta para investigar de qué tratan dichos discursos y cómo podemos cuantificarlos para evaluar su impacto. Se propone así un algoritmo para analizar el contenido de conjuntos representativos de tuits utilizando técnicas computacionales de minería de datos, con el propósito de que sean fácilmente reproducibles por otros investigadores y que supongan un bajo coste. La finalidad no es otra que de abordar el objetivo general de la tesis: estudiar el impacto de la información científica en Twitter mediante una propuesta metodológica que revele aspectos hasta ahora inexplorados de las actitudes del público hacia la ciencia.

Para abordar este desafío, la propuesta metodológica planteada está inspirada en las posibilidades previamente expuestas que ofrece la plataforma Twitter, y combina un enfoque mixto de análisis, cuantitativo y cualitativo. En particular, se estudiará —dentro del propio discurso científico— el grado de interés que suscitan los contenidos científicos neutros y cuando se correlacionan con otros elementos, tratando de responder a las preguntas: ¿qué despierta el interés en la ciencia, los propios avances y descubrimientos científicos o bien los aspectos ligados a la vida diaria de los seres humanos como factores culturales, políticos e incluso emocionales? ¿Qué estrategias de comunicación son más efectivas para divulgar la ciencia?

Cabe considerar, en primer lugar, que debido al formato de Twitter los usuarios se expresan de forma breve y, por lo tanto, seleccionan las palabras más relevantes para reflejar sus ideas, lo que permite explorar elementos clave en términos de palabras frecuentes. Es por ello que la unidad de investigación seleccionada para la presente herramienta es la palabra —considerada para su análisis como la unidad de datos básica y discreta (Blei, Ng, & Jordan, 2003)—. Esto facilita el estudio del contexto conceptual mediante el análisis del contenido de un conjunto de tuits —o «*corpus*»—, es decir, monitorizando las palabras que componen el discurso y en el que cada término puede denotar cierta carga de opinión. Para el análisis, se extrae un conjunto representativo de tuits de determinado usuario o sobre una temática específica y se utilizan técnicas de procesamiento del lenguaje natural para llevar a cabo las tareas de minería de texto (Silge & Robinson, 2016b). Cabe destacar que el presente proyecto está acotado a los tuits en inglés, aunque la herramienta puede adaptarse en el futuro a otros idiomas.

A grandes rasgos, el algoritmo elaborado es capaz de analizar grandes conjuntos de datos, devuelve grados de «interés», «popularidad» y «polemicidad» —descritos más abajo— de la información liberada en Twitter de los discursos públicos sobre ciencia que interesen al

investigador, y facilita estudios correlacionales mediante los cuales comprender el peso de los distintos elementos del discurso. El impacto de la información se calcula, como veremos, en términos de *retweets* y *likes*, y a su vez se clasifica por las categorías «ciencia», «cultura», «política-social», «creencias», «medios» y «emocional». También se investigan las coincidencias de palabras en una red semántica mediante representación visual para evaluar el grado de centralidad de los conceptos más atractivos para los usuarios receptores.

3.3.1. Hipótesis de trabajo

H1: Investigar la respuesta del público a los debates sobre ciencia a través de redes sociales como Twitter revelará información más afinada acerca de las actitudes hacia la ciencia y de la imagen de los científicos que tiene la sociedad

H2: Las manifestaciones públicas de interés en Twitter sobre cuestiones científicas se producen mayormente cuando estas van asociadas a otros factores como los culturales o los socio-políticos, no tanto a inquietudes por adquirir conocimiento científico neutro.

H3: Las estrategias de comunicación de la ciencia en Twitter que incluyen un discurso personal con cierta carga de opinión y emocional, tienen un impacto sensiblemente superior.

3.3.2. Categorías de información

Para averiguar el grado de interés que suscitan los contenidos científicos por sí mismos o bien correlacionados con otros tipos de información en el tuit, se plantea una clasificación de palabras por categorías, método que ya ha sido empleado en otros estudios (Zhao et al., 2011). Las categorías propuestas en el presente proyecto, descritas en la Tabla 14, son: «ciencia», «cultura», «político-social», «creencias», «medios» y «emocional», que se han definido mediante un criterio propio inspirado por trabajos previos.

En particular, la categoría «cultura» viene motivada por las propuestas que invitan a considerar los factores culturales en los estudios de percepción social de la ciencia (Bauer et al., 2012; Pardo, 2001); la «político-social» por estudios en Twitter que resaltan preocupaciones de esta índole en relación con controversias científicas, usuales en el ámbito del cambio climático (Pearce et al., 2014); la de «creencias» por las interacciones frecuentes entre ciencia y religión así como por el interés creciente en estudios sobre pseudociencias (Moreno-Castro, Corell-Doménech, & Camano-Puig, 2019); la de «medios» por considerarse pertinente en estudios de comunicación; y la «emocional», por los estudios de análisis de sentimientos en tweets, sumados a la observación de que «una conexión emocional [...] puede ser una poderosa "entrada" a una experiencia científica para los no expertos, capturando la atención inicial y aumentando los sentimientos de vinculación con el comunicador u otros participantes» (Kaiser et al., 2014: 28).

Categoría (en inglés)	Descripción
Science	Palabras que se refieren a cuestiones científicas, incluyendo: conceptos científicos —«planet», «physics»—, metodológicos —«deduction»— y personajes —ya sean históricos como «galileo», o modernos como «bgreene»—.
Emotion	Palabras que contienen carga emocional, que expresan sentimientos, incluyendo: emociones —«happy», «fear», «awesome»—, expresiones —«yup», «yeah»— y apreciaciones —«lovely»—.
Culture	Palabras que se refieren a la cultura: industria —«film», «song»—, personajes populares —«ladygaga»— y actividades culturales —«football»—.
Politics & Social	Palabras que se refieren al contenido político y los aspectos sociológicos —«electorate», «president», «americans»— así como indicadores sociales —«poverty»—.
Media	Palabras referidas a los medios de comunicación, incluyendo: redes sociales —«facebook»— y mass media —«audience», «news»—.
Belief	Palabras que se refieren a creencias: religión —«faith»—, pseudociencia, esoterismo y ufología —«homeopathic», «astrology»—.

Tabla 14. Descripción de las categorías para analizar los discursos en Twitter.

En el presente estudio la clasificación de las palabras del discurso en categorías se realiza de forma manual en base a su significado, ya que los métodos de investigación asistidos por ordenador resultan poco adecuados para el pretendido análisis de contenido, al asumir que las palabras tienen el mismo significado en cualquier contexto (Matthes & Kohring, 2008). Sin embargo, el empleo de un codificador humano conduce a una mejor interpretación del contexto de la discusión —dado que el entorno semántico de la comunicación científica dista de otros—.

En cambio, para abordar la cuantificación sistemática de palabras y los cálculos del impacto de la información científica en Twitter, se ha elaborado un algoritmo desarrollado en lenguaje *Swift* (Apple Developer, 2014) cuyo código está a disposición del investigador que lo requiera —véase el Anexo I de la tesis—. En el código se han incluido todos los cálculos que se especifican a lo largo del presente apartado.

3.3.3. Tratamiento de datos y definición de parámetros

Se extrae un conjunto de tuits a través de la Interfaz de Programación de Aplicaciones (API) de Twitter (Twitter, 2019) de una cuenta de usuario específica —por ejemplo, @neiltyson; véase capítulo 4—. La API devuelve un conjunto de tuits en el formato *JavaScript Object Notation* (JSON) en el que cada *tweet* tiene asignado un autor, un mensaje, un ID único, número de *likes*, número de *retweets*, una marca temporal de publicación y, a veces, datos de geolocalización compartidos por el usuario. El archivo resultante contiene el texto completo

de los mensajes, en particular cada *tweet* está almacenado en una fila y tiene la anterior serie de propiedades almacenadas en columnas con sus valores asociados —por ejemplo, en Tabla 15 el *tweet* #1 «science is awesome», tiene 50 *likes* y 10 *retweets*—. Como se ha señalado, los datos de especial relevancia para el análisis del impacto de la información son el número de *likes* y el número de *retweets*.

Id	tweet message	retweetCount	favoriteCount
#1	Science is awesome	10	50
#2	We had a lot of fun at the party discussing about science!	8	35
...

Tabla 15. Muestra ficticia de tuits en inglés y estadísticas asociadas.

Una medida clave para averiguar de qué trata el discurso es determinar cuántas veces aparece cada palabra en la muestra de tuits, es decir, la frecuencia de aparición en el conjunto de datos o *wordCount*, un valor que indica cuán importante es la palabra para el usuario en función de su uso —por ejemplo, en Tabla 15 la palabra «*science*» aparece en los *tweets* #1 y #2—.

Para hacer el cálculo con grandes volúmenes de datos, se emplea un algoritmo sencillo en el lenguaje de *software* libre *R* (R Core Team, 2014) aplicando el paquete *tidytext* *R* (Silge & Robinson, 2016a) para ordenar y limpiar los tuits. Nos referimos a los datos limpios y ordenados como *tidy data*; para los que se han eliminado palabras sin sentido o *stopwords* —hay palabras en un tuit que ocurren muchas veces pero que pueden no ser importantes; como conectores «and», «or», artículos «the», etc., y deben eliminarse para el análisis—; y se ha colocado una palabra en cada fila del archivo conservando en columnas contiguas los parámetros asociados al tuit al que pertenece —por ejemplo, las palabras «*science*» y «*awesome*» del *tweet* #1 se almacenan en distintas filas y tienen asociados 50 *likes* y 10 *retweets* cada una—.

Después de aplicar el proceso de *tidy data* al conjunto de datos se procede al conteo de términos para encontrar las palabras más significativas en el texto de los *tweets* con sus estadísticas asociadas. En el archivo previo cada palabra estaba almacenada en la nueva fila *word* junto a las propiedades asociadas al tweet al que pertenece, lo que permite agrupar estadísticas —por ejemplo: la palabra «*science*» del *tweet* #1 tiene 50 *likes* y 10 *retweets* y también aparece en el *tweet* #2 con 35 *likes* y 8 *retweets* asociados; por tanto asociaríamos a la palabra «*science*» 85 *likes* y 18 *retweets*—.

A continuación los términos se ponderan respecto a la muestra categorizada —que contiene un número inferior de palabras que la muestra total resultante de *tidy data*—. De esta manera se registran las preferencias temáticas del usuario emisor, basadas en el uso de palabras más comunes en su discurso. Resulta así de utilidad definir tres parámetros estadísticos: por un lado los ratios de *retweets* y de *likes*, *retweetRate* y *favoriteRate* respectivamente, normalizando los valores de impacto en base al número de veces que aparece una palabra en el conjunto estudiado; y por el otro, la frecuencia *frequency*, el número de ocurrencias de una palabra sobre el número total de palabras clasificadas en el conjunto de tuits. Se proponen las medidas descritas en la Tabla 16.

Variable	Definición de la variable	Ecuación
Word frequency	Número de apariciones de una palabra sobre el número total de palabras clasificadas presentes en el discurso del usuario.	$freq(w_i) = \frac{wordCount(w_i)}{\sum_j^k wordCount(w_j)}$
Favorite rate	Número de likes que acumula una palabra determinada sobre el número de tweets que contienen dicha palabra.	$favRate(w_i) = \frac{favoriteCount(w_i)}{numberTweetsContaining(w_i)}$
Retweet rate	Número de retweets que acumula una palabra determinada sobre el número de tweets que contienen dicha palabra.	$retweetRate(w_i) = \frac{retweetCount(w_i)}{numberTweetsContaining(w_i)}$

Tabla 16. Definición de variables I.

De acuerdo con la literatura especializada, los *likes* que se otorgan a un tuit denotan que los usuarios simpatizan con el contenido del mismo, mientras que los retuits pueden incluir la dimensión del debate y no siempre están asociados con la aprobación del contenido; de hecho, no hay acuerdo en la literatura sobre si retuitear indica confianza, acuerdo o incluso respaldo del autor sobre el contenido del mensaje (Metaxas et al., 2015).

Respecto a la clasificación de palabras por categorías, el código *Swift* devuelve un archivo CSV que contiene una lista de palabras sin categorizar —etiqueta: «*uncategorized*»—, ordenadas por su relevancia en el discurso en base a una medida aproximada que se calcula a partir de las variables *frequency*, *retweetRate* y *favoriteRate*, ponderadas para que tengan un peso similar —explicitado en el código; ver Anexo I—. Esto facilita la clasificación manual del investigador —ya que las más relevantes están dispuestas al principio—, que puede ir clasificando hasta que considere que tiene un número significativo de las mismas. Las palabras demasiado genéricas o ambiguas que no pueden clasificarse sin más información de contexto se excluyen de la categorización —etiqueta: «*garbage*»—, por ejemplo: se excluye la palabra «*party*» porque en el contexto de la comunicación de la ciencia no se sabe si hace referencia a la política —«partido»— o al ocio —«fiesta»—. Los datos almacenados en la lista son acumulativos y pueden emplearse fácilmente para estudiar el discurso de otros usuarios

dentro del mismo contexto de la divulgación de la ciencia, incluso por otros investigadores que utilicen un *software* diferente —ya que al fin y al cabo se trata de un archivo *word-category* separado por comas—.

En particular, para aplicar los cálculos sobre otro usuario es conveniente ejecutar el código *Swift* sobre el nuevo conjunto de datos —*tidy data* de los *tweets* recabados de otro usuario— y luego clasificar manualmente unas cuantas palabras más, ya que la lista que devuelve el programa ordena las palabras que aún no se han categorizado por relevancia, dado que cada usuario habla sobre distintas cosas —por ejemplo, un usuario puede tuitear generosamente sobre Marte y otro sobre la empresa de transporte aeroespacial *SpaceX*, por lo que habrá que ir incluyendo términos para distintos usuarios—. Como se ha resaltado la lista es acumulativa, por lo que siempre crecerá en tamaño, lo que favorecerá análisis cada vez más afinados. El futuro investigador que utilice este recurso para estudiar contextos conceptuales similares —por ejemplo usuarios que tuitean sobre ciencias espaciales— encontrará que la mayor parte del trabajo ya está hecho.

3.3.4. Confiabilidad de la categorización

Para validar la categorización de palabras, seis miembros del grupo de investigación ScienceFlows (Moreno-Castro et al., 2019), de la Universidad de Valencia, realizaron de forma independiente el ejercicio de clasificar, en base a las categorías creadas, el conjunto de las primeras 50 palabras relevantes detectadas por el algoritmo de la muestra de datos.

Ejercicio propuesto: Clasifica una lista de palabras en base a seis categorías definidas (Science; Emotion; Culture; Politics & Social; Media; Belief). Lee detenidamente la descripción de categorías. El contexto de la información es el discurso de divulgadores que tuitean sobre ciencia y astronomía (debe tenerse en cuenta). Por favor, descarga el documento Excel adjunto y coloca una cruz en la categoría que estimes oportuna para las palabras listadas. Las palabras demasiado genéricas o ambiguas que no pueden clasificarse sin más información de contexto se excluyen de la muestra en la columna «Unknown».

Para cada palabra se ha calculado el grado de acierto en base a la clasificación de la autora, considerándose como válida cuando supera un umbral mínimo del 0.75 sobre 1. Se ha estimado así un nivel de confiabilidad de la clasificación manual del 82%, si bien solo se trata de una estimación orientativa útil para explorar ciertas tendencias en el discurso a estudiar.

3.3.5. Impacto de la información

A continuación, para estudiar el impacto del discurso y revelar en qué medida cierto tipo de información codificada en palabras es más interesante que otra para el público receptor, se proponen dos coeficientes adicionales: la «popularidad» y la «polemicidad» —en inglés

acuñadas como *popularity* y *polemicity*—, que por definición son comparables con otros conjuntos de datos.

La idea que subyace al indicador de popularidad es que cuanto más se retuitea una palabra, ésta se considerará más popular cuantos más *retweets* acumule teniendo en cuenta también su frecuencia de aparición en la muestra —por ejemplo, una palabra poco habitual en el conjunto que posea muchos *retweets*, se considerará especialmente popular—. Para ello, se ha empleado el *retweetRate* como parámetro en la fórmula, de manera que proporciona una medida del interés que despierta el tuit —se comparte—, pero no necesariamente gusta; en este sentido la popularidad puede ocurrir tanto positiva como negativamente. Por su parte, la polemicidad —entendido como el grado de controversia de la información— se define como el cociente entre *retweetRate* y el *favoriteRate*, por lo que el valor será mayor cuando el contenido del tuit se retuitea con asiduidad pero acumula menos *likes*⁹. El resultado es un número que será comparable con otros conjuntos de datos. También se proponen los cálculos de la popularidad y polemicidad total de una categoría para compararla con el resto. Los indicadores de la popularidad y la polemicidad para cada palabra y para cada categoría se presentan en la Tabla 17.

Variable	Definición de la variable	Ecuación
Word popularity	Número de retweets (ponderados) sobre la frecuencia de una palabra determinada.	$pop(w_i) = \frac{retweetRate(w_i)}{frequency(w_i)}$
Word polemicity	Número de retweets (ponderados) sobre el número de favoritos (ponderados) de una palabra determinada.	$pol(w_i) = \frac{retweetRate(w_i)}{favRate(w_i)}$
Category popularity	Número de retweets (ponderados) sobre la frecuencia de una determinada categoría.	$pop_{cat} = \sum_{cat} \frac{wordCount(w_i) * pop(w_i)}{wordCount(cat)}$
Category polemicity	Número de retweets (ponderados) sobre el número de favoritos (ponderados) de una determinada categoría.	$pol_{cat} = \sum_{cat} \frac{wordCount(w_i) * pol(w_i)}{wordCount(cat)}$

Tabla 17. Definición de variables II. Donde w_i es una palabra o término de la muestra y cat una categoría.

Nótese que la ramificación que ocurre en Twitter con la propagación de un tuit favorece la acumulación de *likes*, al otorgar mayor visibilidad al mismo y extenderlo al escrutinio de otros usuarios.

⁹ Debe tenerse en cuenta que en otros estudios se propone la medida con respecto al número de comentarios en lugar de retuits.

3.3.6. Representación visual

Una vez identificados los conceptos más relevantes del conjunto de tuits escogido y sus estadísticas asociadas, los datos se pueden disponer para su representación visual y así investigar las relaciones entre las métricas propuestas del conjunto de datos. Por un lado, la representación de gráficos simples de barras y circulares es útil para evaluar el peso de cada categoría en comparación con las demás. Por otro lado, trazar redes semánticas revelará si los conceptos básicos de la ciencia son centrales o bien periféricos al discurso.

Una red semántica consiste en una visualización donde los elementos textuales están conectados entre sí; los nodos representan palabras clave y las aristas —líneas que conectan los nodos— representan las co-ocurrencias entre palabras. Dado que las co-ocurrencias son conexiones entre términos, entonces dos palabras co-ocurren si ambas aparecen en el mismo tuit. Nótese que el peso de la conexión entre nodos aumenta con la frecuencia de aparición de la combinación de palabras. Así, es posible representar una red semántica, el mapa de co-ocurrencias de palabras, y examinar de cerca los valores de las variables propuestas en el apartado previo —frecuencia de uso, popularidad y polemicidad— aplicados a determinado discurso para estimar el impacto de la información científica en las audiencias.

De acuerdo con ello, para la conversión de los datos en redes conceptuales se ha desarrollado un algoritmo de alta eficiencia que se ha incluido en el código *Swift*. Su ejecución sobre los datos *tidy data* y la lista de palabras categorizadas da como resultado dos archivos separados de nodos y aristas, ambos con información complementaria: (1) el archivo de aristas, que incluye el peso de las mismas —; y (2) el archivo de nodos, que incluye las estadísticas propuestas arriba asociadas a cada término —*retweetCount*, *favoriteCount*, *retweetRate*, *favRate*, *popularity* y *polemicity*— y la categoría correspondiente —tomada del archivo separado con la lista de palabras categorizadas—.

Tras cocinar los datos y generar los archivos de nodos y aristas, puede utilizarse, por ejemplo, el popular *software* de visualización de redes de código abierto *Gephi* (Bastian, Heymann, & Jacomy, 2009). En el siguiente capítulo, de hecho, se pondrá a prueba la herramienta desarrollada y se realizarán las representaciones gráficas de la red semántica mediante este *software*.

3.3.7. Visión de conjunto del algoritmo

El algoritmo elaborado en el lenguaje de programación *Swift* es capaz de analizar grandes conjuntos de datos y que devuelve medidas del grado de «interés», «popularidad» y «polemicidad» de la información liberada en Twitter a partir de las conversaciones sobre ciencia que interesen al investigador, ya sean conjuntos de tuits recabados de: (1) perfiles populares que tratan cuestiones científicas; o bien de (2) discusiones descentralizadas sobre

temas científicos de moda que hayan captado la atención en determinados sectores de usuarios en la red. Estos datos se pueden recolectar previamente a través de la API de Twitter, por ejemplo, utilizando un algoritmo sencillo programado en el lenguaje R¹⁰ que también y limpiar el texto de los mensajes a estudiar utilizando los paquetes apropiados de este lenguaje de programación —en especial *tidytext R* (Silge & Robinson, 2016a) para procesamiento del lenguaje natural—. De esta manera los datos permanecerán listos para inyectar en el algoritmo. En particular, las tareas a realizar para cada conjunto de tuits se recogen en la Tabla 18.

Herramienta	Tarea (en inglés)	Descripción
Algoritmo en Swift	Statistics	Se definen distintos parámetros estadísticos basados en frecuencias de uso, <i>retweets</i> y <i>likes</i> : la frecuencia <i>frequency</i> sobre el número total de palabras; los ratios de <i>retweets</i> y de <i>likes</i> — <i>retweetRate</i> y <i>favoriteRate</i> —; y los índices <i>popularity</i> y <i>polemicity</i> —.
	Word list	Se genera un archivo CSV que contiene una lista de palabras ordenadas por su relevancia en el conjunto de <i>tweets</i> —mediante una medida aproximada calculada a partir de las variables ponderadas: <i>frequency</i> , <i>retweetRate</i> y <i>favoriteRate</i> —.
	Word associations	Se identifican las coincidencias de palabras en los <i>tweets</i> de forma automatizada mediante el algoritmo propuesto.
	Network visualization	Se preparan los datos para la representación visual de las coincidencias entre palabras en los <i>tweets</i> —una red semántica— para evaluar el grado de centralidad de los conceptos que resultan más atractivos.
Codificador humano	word categorization	Se realiza una clasificación manual de términos por categorías —ciencia, cultura, política y social, creencias, medios y emocional— en el archivo CSV con la lista de palabras.

Tabla 18. Tareas propuestas para el análisis de una muestra de tuits.

Resumiendo lo expuesto, en el presente trabajo la unidad de investigación básica y discreta es la palabra o término (Blei et al., 2003) y las medidas para estimar el impacto de la información se basan, esencialmente, en su frecuencia de uso y en el número de *retweets* y de *likes* asociados a cada una. Una vez aplicado el algoritmo, se obtendrá el valor de los dos índices propuestos —popularidad y polemicidad— y será posible analizar en qué medida el impacto de la información depende de los contenidos científicos de la muestra de tuits en cuestión o bien de otras cuestiones adicionales también presentes en el discurso pero no relacionadas con la ciencia. Así, para averiguar el grado de interés que suscitan los contenidos científicos se plantea una clasificación manual de palabras por categorías, incluyendo las de «ciencia», «cultura», «político-social», «creencias», «medios» y «emocional». Esta categorización será

¹⁰ R es un entorno de software y lenguaje de programación para computación estadística. Está disponible gratuitamente bajo la Licencia Pública General de GNU (General Public License), una licencia de software libre ampliamente utilizada, los usuarios —individuos, organizaciones, empresas— pueden ejecutar, estudiar, compartir y modificar libremente el software.

relativamente sencilla gracias al diseño del algoritmo, que dispondrá las palabras en orden de relevancia en una lista. Por otro lado, el algoritmo también devuelve dos archivos con nodos y aristas dispuestos para su representación visual en forma de red semántica —por ejemplo, mediante el *software Gephi*—, con los que se podrán apreciar relaciones entre las métricas propuestas y el contenido de los tuits recabados —por ejemplo, podrá visualizarse el peso de cada categoría en comparación con las demás, así como observarse si los conceptos científicos presentes en la muestra de datos son centrales en el discurso o bien periféricos—.

Por último, conviene resaltar que la lista de palabras categorizadas es acumulativa, por lo que siempre crecerá en tamaño, como veremos en el capítulo 4, y favorecerá así análisis posteriores aplicados a nuevos conjuntos de tuits, para los que gran parte del trabajo ya estará hecho —a falta de clasificar unas cuantas palabras más: las más relevante en el nuevo discurso a estudiar—. Esto proporcionará análisis cada vez más afinados de los discursos de ciencia, fácilmente reproducibles por otros investigadores y que supongan un bajo coste en cuanto a recursos intelectuales y económicos, en contraposición a las encuestas de población que requieren grandes despliegues y sustanciosa financiación, y cuyos resultados son estancos.

Capítulo 4:

ESTUDIOS DE CASO

4.1 Planteamiento

4.1.1. Motivación

Una de las preguntas recurrentes que se encuentra en las mediciones de referencia de las encuestas de percepción social de la ciencia —véase capítulo 2— versa acerca del interés declarado por la ciencia del individuo, en la que normalmente se ofrece al entrevistado una lista que incluye diferentes temáticas, con el fin de disponer de una panorámica porcentual aproximada y dimensionada respecto a otros temas. Hemos visto que, además, la forma de comunicar el contenido científico marca la diferencia: el interés en ciencia incrementa cuando la información se presenta de forma estimulante —una idea que, por otro lado, generalmente constituye el *leit motiv* de los medios de comunicación—. Estos aspectos se investigarán con un enfoque metodológico distinto, en el escenario digital, en parte con la pretensión de revelar de forma preliminar algunas tendencias en la comunicación de la ciencia que afecten al interés en el público receptor y susciten reacciones monitorizables. En particular, los estudios planteados en el presente capítulo servirán a efectos de probar la herramienta desarrollada en el capítulo 3, abordando con ella esas interacciones entre ciencia y público en el marco de las redes sociales mediante el algoritmo diseñado para el entorno específico de Twitter. Antes de exponer los análisis, resulta conveniente hacer una breve recapitulación y sintetizar a continuación las diferentes ideas de los capítulos previos que han motivado los estudios empíricos subsiguientes. A continuación, se condensan las más destacadas.

En primer lugar, debe incidirse en que la percepción pública de la ciencia es un aspecto social ampliamente estudiado desde mediados del siglo XX a través de encuestas a la población, como los Eurobarómetros en Europa, los cuestionarios de la *National Science Foundation* (NSF) en Estados Unidos o los informes de la *Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología* (FECYT) en España, entre otros. Desde sus inicios, estos sondeos tratan de realizar medidas sobre el interés, conocimiento y actitudes de los ciudadanos hacia la ciencia (Davis, 1958), aunque no están exentos de crítica (Bauer et al., 2007; Pardo, 2001). En particular, la comunicación de la ciencia se ha presentado en numerosas ocasiones como una estrategia esencial para favorecer la permeabilidad entre la ciencia y el público.

Siendo la actual corriente en comunicación científica la de involucrar al público en el diálogo (Nisbet & Scheufele, 2009), la labor comunicadora cobra especial interés en su desempeño en

las redes sociales, que cuentan con cantidades masivas de usuarios y una elevada participación. Desde la academia se advierte de que es necesaria una mejor comprensión acerca de cómo afectan los nuevos entornos virtuales a esta práctica (Brossard & Scheufele, 2013), que a su vez brindan la posibilidad de investigar de cerca los debates públicos en torno a temas científicos prestando atención a nuevas voces y contextos diversos (Kapoor et al., 2018; Shan et al., 2014), y en los que el acceso a los contenidos, en muchas ocasiones, se produce sin mediadores. Es por ello que los análisis en redes sociales pueden constituir un complemento útil a las encuestas clásicas de percepción social de la ciencia (Li et al., 2019).

En cuanto a la participación del público, se ha resaltado la necesidad de evaluar su implicación en discusiones abiertas sobre ciencia en estos entornos, teniendo en cuenta aspectos como la facilidad de acceso a los contenidos, el tipo de información diseminada e incluso el tipo de público, entre otros (López-Pérez & Olvera-Lobo, 2019). Se ha sugerido, no obstante, que las audiencias que siguen cuentas de ciencia no suelen interactuar con ellas, siendo utilizadas en gran medida para que el usuario se mantenga actualizado (Álvarez-Bornstein & Montesi, 2019).

Cabe destacar que el contenido que se genera a diario en Twitter está íntimamente ligado a la actualidad científica (Veltri, 2013; Wilkinson & Thelwall, 2012; Zhao et al., 2011), rasgo que le confiere especial atractivo para la investigación en comunicación pública de la ciencia (Büchi, 2016), y que constituye uno de los motivos más robustos para la elección de esta red social en el presente trabajo, junto a su accesibilidad a datos masivos en abierto. Por otro lado, se ha advertido que la mejor estrategia para la difusión en Twitter es enfocarse activamente en acumular seguidores, y no tanto confiar en las búsquedas de palabras clave para visibilizar contenidos científicos (Mohammadi, Thelwall, Kwasny, & Holmes, 2018). Es por ello que se ha optado por tomar, en primer lugar, el perfil del popular divulgador Neil de Grasse Tyson, quien acumula un elevado número de seguidores —más de 13 millones en 2019—, para probar la herramienta propuesta, como se detallará más abajo.

El objetivo, como se ha estipulado previamente, es presentar las posibilidades que ofrece esta nueva vía metodológica diseñada para analizar conjuntos de tuits y evaluar el impacto de discursos en Twitter sobre temas científicos, con la intención de ofrecer una primera tentativa en el ejercicio de revelar dimensiones inexploradas sobre el interés del público en la ciencia y tratando de responder a una pregunta que ha sido inspirada por los resultados de los sondeos clásicos —ya enunciada en 3.3.—: ¿qué despierta el interés en la ciencia, los propios avances y descubrimientos científicos o bien los aspectos ligados a la vida diaria de los seres humanos, como factores culturales, políticos e incluso emocionales? Se procura asimismo descubrir tendencias sobre qué formas de comunicar la ciencia son más efectivas. La premisa de partida es que la red social Twitter, entendida como un espacio de participación ciudadana, puede resultar útil para averiguar estas cuestiones.

Centrándonos ahora en los aspectos técnicos, como se ha subrayado previamente no hay que olvidar existe poco acuerdo sobre qué métodos son confiables en la investigación con Twitter y qué información puede revelarnos (Veltri & Atanasova, 2015), al no haberse desarrollado metodologías rigurosas que permitan análisis sistemáticos fiables (Kahle et al., 2016). No obstante, como hemos visto existen diversos estudios académicos de carácter exploratorio sobre la comunicación de la ciencia en Twitter en ámbitos específicos —por ejemplo, los que han suscitado mayor atención académica son los relacionados con la percepción del riesgo de los ciudadanos, como los relativos al debate climático (Pearce et al., 2014) o los estudios en temas de salud para entender la postura emocional del público (Becker et al., 2016)—; a ellos pretenden sumarse los diferentes estudios expuestos en los próximos apartados, de naturaleza similar. Ya se había advertido en otros contextos, la idea de que una comunicación de la ciencia para la que se construye un discurso emocional, despierta una vinculación especial con el público (Kaiser et al., 2014). En este trabajo también se trata de medir la carga emocional del discurso, dado que los mensajes emocionales en Twitter tienen una mayor tendencia a retuitearse (Stieglitz & Dang-Xuan, 2013; Veltri & Atanasova, 2015) y reflejan las percepciones emocionales de los usuarios expresadas en lenguaje natural (Dehkharghani et al., 2014), identificadas generalmente a partir de listas predeterminadas de palabras.

Para el estudio del contenido de los tuits, ya se ha expuesto en el capítulo anterior que se utilizan técnicas computacionales para realizar análisis sistemáticos de grandes volúmenes de datos, aplicando minería de textos, procesamiento del lenguaje natural, análisis de redes, etc., así como enfoques cualitativos en los que participa un codificador humano, consciente del contexto conceptual del discurso que pretende investigarse y por tanto capaz de revelar cierta información sutil a partir de los tuits (Uren & Dadzie, 2015). En consonancia con los estudios realizados hasta el momento, en este trabajo también se combina una metodología mixta para aprovechar la potencialidad de ambos tipos de análisis.

Conviene apuntar que, debido al formato de Twitter, los usuarios se expresan de forma breve y por tanto seleccionan palabras pertinentes para reflejar sus ideas, lo que en principio permite explorar elementos clave en términos de palabras frecuentes. Así, el contenido de los tuits admite una representación semántica (Narr et al., 2011) que permite tanto estudiar elementos centrales al discurso como periféricos de forma sencilla, asignándoles grados de relevancia en base a distintos parámetros. Estos aspectos se representarán en forma de redes conceptuales para distintos casos en los apartados de análisis.

Por otro lado, hasta el momento hemos visto que desde las universidades e instituciones se dedican esfuerzos crecientes en recursos humanos y económicos para la diseminación de resultados de investigación y para poner en práctica estrategias de *engagement*. No obstante, se ha sugerido que los perfiles personales parecen ser los que generan mayor grado de interacción entre los seguidores. En el presente capítulo se aplicará la herramienta a ambos tipos de cuentas de usuario, con el fin de estudiar más a fondo las diferencias.

4.1.2. Selección de las muestras

Para ilustrar las posibilidades del método desarrollado en 3.3., se aplicará la herramienta a distintos tipos de perfiles. Debe advertirse de que no se trata de un estudio enfocado de forma precisa sobre los mismos, sino que la propuesta de investigación es, precisamente, el método en sí, diseñado para que resulte útil a la hora de estudiar el impacto de la comunicación de la ciencia sobre el público. Se emplean así varios ejemplos, descritos a continuación, que se consideran apropiados para probar cómo se aplica el análisis y qué resultados potenciales se pueden obtener. En cualquier caso, esta tentativa revela ya algunas características preliminares interesantes en los perfiles escogidos que requieren estudios más profundos, a gran escala, para comprobar si las tendencias identificadas pueden extrapolarse a un marco más general.

En concreto, los ejemplos están seleccionados en base a ciertos criterios semi-arbitrarios, como el hecho de que los agentes sean conocidos, acumulen un volumen de seguidores y generen impacto mediático; en resumidas cuentas, que sean prototipos del mundo científico-tecnológico en la actualidad.

En primer lugar, la selección de las muestras de tuits en los dos primeros estudios de caso del presente capítulo viene motivada por el fenómeno de los *influencers* que divulgan la ciencia en las redes, o dicho de otro modo, las *science stars*. Ya desde el siglo pasado, figuras mediáticas como Carl Sagan o Stephen Hawking han logrado poner la ciencia de moda y han despertado vocaciones en todo el planeta. En el mundo actual, más globalizado que nunca, además de potenciar el auge de estas «estrellas de la ciencia», las redes sociales dejan un registro de actividad fácilmente accesible y susceptible de análisis.

Ya se ha adelantado que uno de los casos mediáticos actuales más obvios es el del astrofísico Neil deGrasse Tyson, quien encarna la imagen del científico altruista dedicado a la búsqueda de la verdad a la vez que dirige sus esfuerzos en democratizar el conocimiento científico y mejorar para ello la alfabetización científica del público general (Culp, 2014), en numerosas ocasiones mostrándose crítico con las creencias pseudocientíficas y con la religión (Ellis, 2018), y siendo especialmente activo para estos fines en Twitter (Culp, 2014). Por estos motivos, parece razonable que la cuenta de usuario de Tyson sirva de guía para poner a prueba las distintas fases del algoritmo y obtener los primeros resultados.

En segundo lugar, se contrastarán los hallazgos preliminares con otro caso paradigmático que también puede servir de ejemplo para probar la herramienta; el del empresario Elon Musk, uno de los más afamados emprendedores de nuestro tiempo cuyo compromiso con el futuro de la humanidad pasa por impulsar la conquista del espacio. Musk, fundador de la empresa de transporte aeroespacial SpaceX, ha declarado que tiene el objetivo de lanzar misiones tripuladas a Marte para tener una colonia sostenible en un período de 40 a 100 años. Debe apuntarse que «Un esfuerzo tan masivo, ya sea dirigido por un gobierno o una corporación

privada, probablemente requerirá miles de millones de dólares de financiación, así como un fuerte apoyo del público» (D'Urso, 2018: 1).

A continuación, también se ejecutará el algoritmo sobre el discurso de otros comunicadores. Los perfiles personales se han escogido empleando el motor de búsqueda *Twitter Experts Search*¹ y una lista publicada por la plataforma *Science Mag*² de la AAAS en la que se recogían las principales estrellas de la ciencia en la actualidad. Por cuestiones de coherencia con los otros estudios de caso contemplados, la elección de usuarios se ha acotado limitándose al campo de la astronomía y las ciencias espaciales, siendo los mismos: Sean Carroll, Brian Cox, Brian Green, Michio Kaku, Buzz Aldrin, y Carolyn Porco. Debe aclararse que el objetivo de la presente investigación no es establecer un criterio para evaluar la popularidad de los agentes comunicadores de la ciencia, sino poder revelar tendencias en la recepción de la información científica por parte del público en base a la manera de comunicarla. Por ello, se considera que la muestra seleccionada es pertinente para realizar estudios tentativos.

Tras ello, para probar el método sobre otros agentes de la ciencia de distinta naturaleza, el algoritmo se aplicará a perfiles de instituciones del sector aeroespacial —recuérdese que trabajar en el mismo contexto conceptual incrementa la eficiencia del método y los resultados son más inmediatos—, en concreto de la NASA y la ESA, con ánimo de identificar en una primera aproximación si mediante la herramienta se pueden discernir algunas diferencias relativas a la comunicación desde los perfiles institucionales y los personales.

Por último, el programa informático también se ejecutará sobre conversaciones en Twitter descentralizadas, es decir, en lugar de extraer los conjuntos de datos de perfiles específicos se recabarán a partir de algunos eventos de actualidad científica que en su momento hayan presentado un pico mediático en el mismo ámbito del conocimiento, para que las comparaciones sean más apropiadas. En estos casos, tal y como se ha explicitado en la metodología, los tuits se recopilarán en archivos que contengan una muestra aleatoria abarcando un espacio de tiempo de 9 días, extraídos en el momento en que la noticia ha trascendido a los medios de comunicación. Tras los períodos de escucha, los eventos que se han escogido, dentro del mismo contexto conceptual y de cierto carácter controvertido, son los siguientes: (i) el retorno en los medios de la señal *Wow!*; (ii) las dos fases en que el objeto interestelar Oumuamua ha despertado la atención mediática, con un período de separación de un año para esbozar las similitudes y diferencias.

La señal *Wow!* se detectó con el radiotelescopio *Big Ear* (Ohio) en 1977, cuya intensidad era 30 veces superior a la del ruido de fondo del espacio, y tuvo una duración de 72 segundos (Morison, 2006). La señal presentaba un carácter anómalo que se divulgó entre la comunidad científica y trascendió a los medios generalistas dado lugar a todo tipo de conjeturas sobre su

¹ <https://twitter-app.mpi-sws.org/whom-to-follow/>

² <https://www.sciencemag.org/news/2014/09/top-50-science-stars-twitter>

posible carácter artificial, según se especuló pudo ser emitida por una civilización extraterrestre (Ballesteros, 2011). Su origen se investigó durante décadas. En 2017, salió a la luz una posible explicación científica, la idea de que hubiera sido ocasionada por un cometa que había pasado cerca de la Tierra en el año de su detección. Cuando el cometa volvió a acercarse, la señal reapareció en los radiotelescopios (Ehman, 2017), y los medios de comunicación se hicieron eco alrededor del mundo de que se había resuelto el misterio de su origen (Ward, 2017)³. Una muestra de datos para los análisis de este proyecto se extrajeron entonces. Esta selección es interesante porque permite explorar la reacción del público frente a una explicación científica que resuelve un tema controvertido en el que juegan un importante papel las creencias —en este caso en relación con supuestos alienígenas—. Por el mismo motivo y por cuestiones de comparabilidad, también se ha escogido otro ejemplo que opera en el mismo espacio conceptual.

A finales de 2017 y de 2018, Oumuamua fue protagonista de los medios generalistas con un año de diferencia tratándose del primer objeto aparentemente de origen interestelar detectado a su paso a gran velocidad por nuestro sistema solar, que presentaba características inusuales, entre ellas su forma alargada, y que también dio pie a múltiples especulaciones sobre la posibilidad de que fuera una nave extraterrestre⁴, precisamente propugnadas desde la comunidad académica (Bialy & Loeb, 2018). Inicialmente se pensó que era un cometa, aunque se desestimó —por ejemplo, no presentaba cola de polvo y gas—, y al cabo de una semana se clasificó como asteroide. En 2018, el objeto volvió a despertar el interés al revelarse de nuevo anomalías científicas (Micheli et al., 2018) con observaciones con el Telescopio Espacial Hubble, de la NASA y la ESA, que finalmente volvieron a apuntar a que era un cometa con una cola muy tenue —o al menos, un fragmento de un cometa—. Las especulaciones que se filtraron a los medios de comunicación de masas, efectuadas por los propios científicos, encendieron la mecha del *clickbait* de los periodistas y la imaginación de un público dispuesto a creer (Koren, 2019).

³ En realidad la explicación científica sobre el origen de la señal sigue sin estar clara, se ha cuestionado que el radiotelescopio efectivamente apuntara al cometa y que no hay evidencias claras de que este tipo de emisión proceda de cometas.

⁴ Para ser más precisos, una vela solar empleada como medio energético para el transporte alienígena, según el científico de Harvard Shmuel Bialy.

4.2 Aplicación de la herramienta sobre el discurso público de Neil deGrasse Tyson

Según lo acordado, a continuación se analiza el discurso del popular divulgador Neil DeGrasse Tyson para probar la herramienta. Como breve recordatorio, cabe incidir en que el impacto de la información se calcula en términos de (1) *likes* y *retweets*; (2) las medidas sugeridas para la popularidad y el grado de contenido polémico; y (3) la red semántica. En este primer caso, se mostrarán en detalle los distintos pasos efectuados en el análisis; y una vez quede expuesta la técnica, para los siguientes estudios se agilizará el proceso.

4.2.1. Datos

Para poner en marcha la herramienta, se extrae un conjunto de tuits a través de API de la cuenta de un usuario específico, Neil deGrasse Tyson —@neiltyson—. El archivo resultante contiene el texto completo de los mensajes junto a una serie de propiedades almacenadas en columnas con sus valores asociados, siendo los datos de especial relevancia el número de *likes* y el número de *retweets*. La muestra obtenida, que solo incluye tuits escritos por el usuario —no retuits—, contiene 3005 tuits emitidos entre el 05-10-2012 y el 19-06-2019. Esta descarga supone el 49.5% de los tuits publicados por Tyson en las fechas de la consulta, sobre un total de 6.974 tuits. Tras limpiar el texto, se obtiene un archivo con 24.484 palabras relevantes y sus estadísticas asociadas.

En particular, el código en *R* empleado para la extracción y para la limpieza del texto disponiendo en una columna de los términos empleados en el discurso es, respectivamente:

```
#####
## Tweet Search and Retrieval in R
#####

tyson <- userTimeline("neiltyson", n = 3200)
tyson <- tbl_df(map_df(tyson, as.data.frame))
con <- file(paste("tyson-", Sys.Date(), ".csv", sep=""), encoding = "UTF-8")
write.csv(tyson, file=con)

#####
## Text Cleaning: tidy text in R
#####

reg <- "([A-Za-z_\\d#@]'|'?![A-Za-z_\\d#@])"
tidy_tweets <- tyson %>%
  mutate(text = str_replace_all(text, "https://t.co/[A-Za-z_\\d]+
```

```

|http://[A-Za-z\\d]+|&|&lt;|&gt;|RT", "") %>%
unnest_tokens(word, text, token = "regex", pattern = reg) %>%
filter(!word %in% stop_words$word,
       str_detect(word, "[a-z]"))
con <- file(paste("tidy_tyson-", Sys.Date(), ".csv", sep=""), encoding =
"UTF-8")
write.csv(tidy_tweets, file=con)

```

4.2.2. Análisis

i) Preferencias en el discurso

Tras identificar las palabras más relevantes con el algoritmo, los primeros 1.250 términos se han clasificado manualmente en la lista proporcionada por el programa. Estos permiten hacerse una idea sobre las preferencias temáticas del usuario en cuestión. Entre las más utilizadas, aparecen conceptos científicos como «mars» «space» o «physics», un resultado que indica que vamos por el buen camino dado que se trata de un divulgador que opera en el dominio de la astrofísica. Hay asimismo conceptos muy frecuentes alejados de la ciencia en sí; por ejemplo, la palabra «film» hace referencia a la industria cultural del cine y la palabra «happy» a un estado emocional. A título ilustrativo, se muestran a continuación en la Figura 3 los primeros 15 términos más frecuentes en la muestra de tuits del discurso de Tyson:

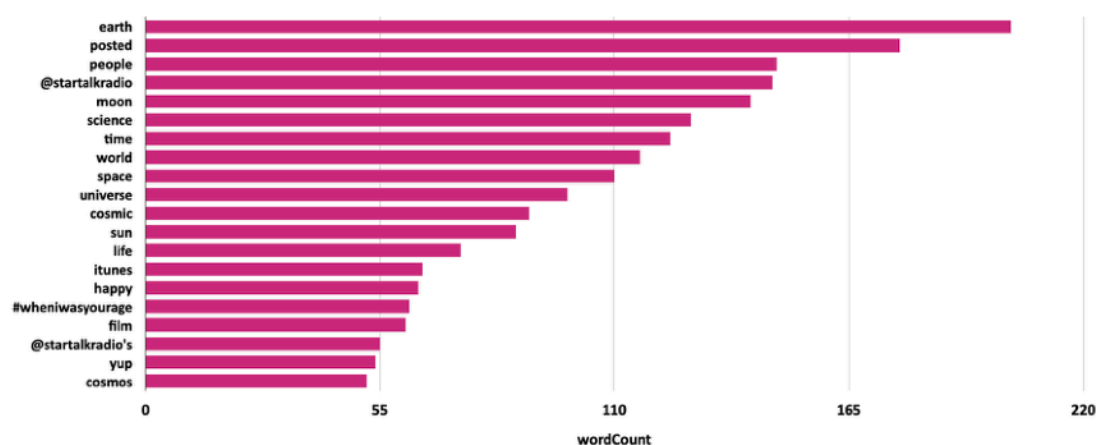


Figura 3. Los 15 términos más frecuentes en la muestra de tuits del discurso de @neiltyson.

Entrando un poco más en detalle, en la Tabla 19 se muestran los primeros términos más comunes empleados por Tyson correspondientes a las categorías creadas, para que el lector vislumbre la lógica de la clasificación. Este ejercicio se propuso de forma independiente a un

grupo de investigadores para corroborar que dicha clasificación por categorías tuviera cierto grado de certeza, cuyo nivel de confiabilidad resultó del 82% —véase 3.3.4.—. Debe incidirse en que, si bien no se trata de una precisión exacta, sirve a efectos cualitativos para revelar tendencias generales entre los usuarios que interaccionan con los tuits.

TÉRMINOS MÁS FRECUENTES					
science	belief	culture	emotion	media	politics
earth	aliens	santa	happy	posted	people
moon	alien	football	#wheniwasyour age	@startalkradio	world
science	religion	school	yup	itunes	america
time	pope	@starwars	love	@startalkradio's	usa
space	christians	book	super	video	nyc
universe	earthers	episode	odd	tweet	american
cosmic	beliefs	roman	cool	@itunes	chicago
sun	muslims	geek	#expressionsofi mmaturity	startalk	person
life	prayer	geeky	nice	twitter	americans
cosmos	ramadan	@comic_con	curious	justposted	president
light	magic	@brannonbraga	feel	tweets	politics
planet	abducted	stadium	hmm	@applepodcast s	students
pluto	religions	song	bad	comments	political
future	astrology	@macys	smart	twitterverse	vote
queries	faith	superman	dead	followers	country

Tabla 19. Visión de conjunto de la clasificación por categorías de los términos más frecuentes en el discurso de @neiltyson.

A continuación, en la Figura 4 se representan los datos en gráficos circulares de sectores prestando atención a la fracción de cada categoría, que se muestra de forma porcentual. Estas gráficas ofrecen una idea orientativa del peso de las distintas categorías en el discurso de Tyson, en base a las preferencias temáticas del divulgador.

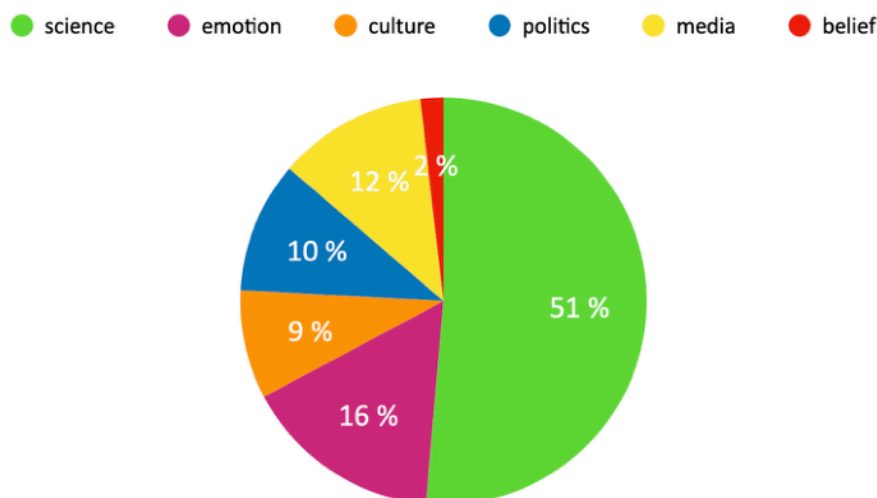


Figura 4. Preferencias del discurso de @neiltyson por categorías.

Con la representación visual, queda manifiesto que la frecuencia de uso de palabras con contenido científico es alta en el discurso de Tyson, conformando más de la mitad de la muestra categorizada, un 51%. Además, su discurso cuenta con un 16% de expresiones emocionales; un 12% de palabras que se refieren a los medios de comunicación —por ejemplo, citando su propio programa de radio «startalk»—; un 8% de palabras con contenido político y social; un 9% de las palabras relacionadas con el ámbito cultural; y un 2% relacionado con creencias.

ii) Impacto en términos de *likes* y *retweets*

Una vez averiguadas las preferencias temáticas del usuario, veamos ahora el impacto de su discurso. Naturalmente, las preferencias del público pueden diferir y ser muy distintas de las del propio divulgador; para saberlo, se reparará en los *likes* y *retuits* acumulados por categoría. En la Figura 5, se muestra que esta acumulación es sensiblemente mayor para la categoría «emocional», debido a la contribución de los términos que presentan carga emocional —por ejemplo «joy», «shit», «hostile» o «cry»—; seguida por la categoría que alude a cuestiones socio-políticas; mientras que para los términos científicos se reduce drásticamente en comparación con estas. Por otro lado, los términos que contienen información cultural y aquellos que se refieren a creencias mantienen un impacto proporcional a la frecuencia de uso. En concreto, los porcentajes para la acumulación de *likes* son: «ciencia» 28%, «emoción» 35%, «cultura» 9%, «político-social» 23%, «medios» 1%,

«creencias» 4%; mientras que para la acumulación de *retuits* son los siguientes: «ciencia» 29%, «emoción» 36%, «cultura» 9%, «político-social» 20%, «medios» 1%, «creencias» 4%.

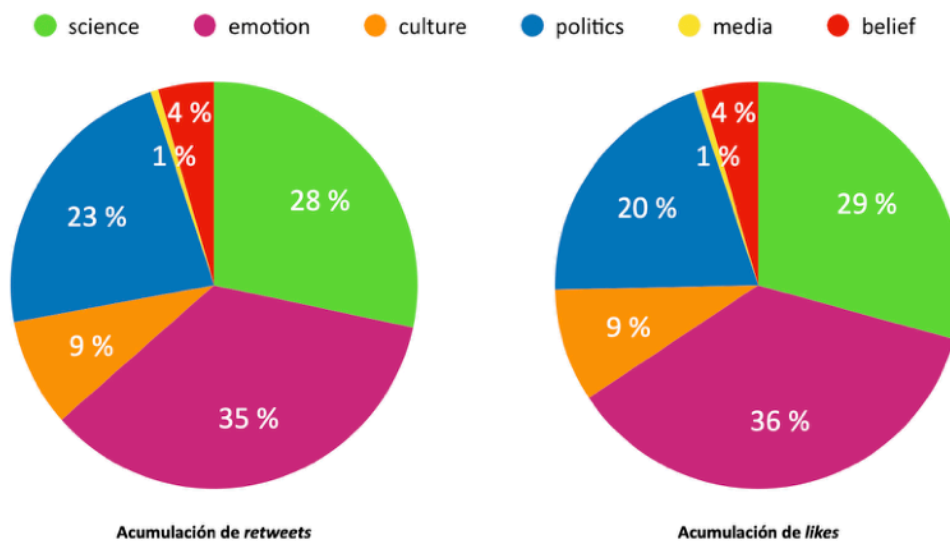


Figura 5. Acumulación de *retweets* y de *likes* por categorías en el discurso de @neiltyson.

Para el lector interesado, también se muestran a continuación en las Tablas 20 y 21 las palabras clasificadas por categorías que acumulan mayor número de *retweets* y de *likes* respectivamente. En los siguientes ejemplos, sin embargo, se obviarán estas tablas.

TÉRMINOS CON MÁS RETWEETS					
science	belief	culture	emotion	media	politics
supermassive	prayer	values	insufficien	foxnews	people's
intellectual	earthers	cultures	failing	#startalk	famine
earther	muslims	enlightened	failure	reports	accord
unite	soul	traditionally	denial	@twitter	terrorism
predicted	faith	household	stupendously	broadcast	firearms
predict	belief	zoo	cheat	commercial	society
conference	christians	bihday	prizes	media	refugee
dwarfs	believing	nobel	earned	twitterverse	empower
outer	rumor	wordplay	batshit	communicating	strikes
layers	believed	cyril	perennial	twitter	women
methods	magic	athlete	hostile	tweet	democracy
exams	beliefs	singing	defends	internet	empowers

machine	abducted	cohiba	conscientious	comments	child
biological	magically	cuban	stupidity	television	educational
arteries	orthodox	school	sincere	video	wealth

Tabla 20. Visión de conjunto de la clasificación por categorías de los términos que acumulan mayor número de *retweets* en el discurso de @neiltyson.

TÉRMINOS CON MÁS LIKES					
science	belief	culture	emotion	media	politics
supermassive	earthers	values	insufficien	foxnews	famine
intellectual	prayer	cultures	stupendously	#startalk	refugee
unite	rumor	cohiba	failure	reports	accord
earther	muslims	cuban	defends	twitter	women
conference	believing	traditionally	denial	twitterverse	strikes
predicted	christians	zoo	failing	commercial	empowers
layers	soul	birthday	prizes	tweet	society
outer	magic	wordplay	earned	@twitter	people's
dwarfs	faith	cyril	perennial	media	educational
methods	believed	athlete	entrusted	comments	debated
machine	ramadan	nobel	aggressively	internet	legions
biological	magically	singing	cheat	video	spaniard
predict	belief	christmas	pains	tweets	empower
photon	alien	enlightened	sorrows	facebook	childhoods
arteries	abducted	school	indifferent	radio	activist

Tabla 21. Visión de conjunto de la clasificación por categorías de los términos que acumulan mayor número de *likes* en el discurso de @neiltyson.

Por último, otra forma de representar los datos para facilitar la comparativa es mediante un gráfico sencillo de barras que aúne los tres elementos estudiados —preferencias del discurso de Tyson por categorías, acumulación de *retweets* y de *likes*—, disponible en la Figura 6.

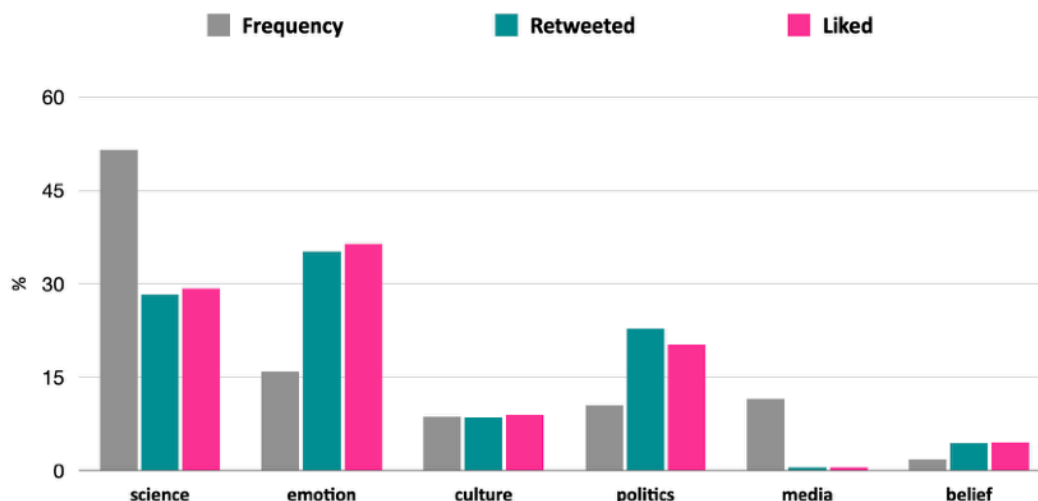


Figura 6. Preferencias del discurso de @neiltyson, acumulación de *retweets* y de *likes* por categorías.

iii) Índices de popularidad y polemicidad

A continuación, para medir lo popular o controvertido que es el contenido del discurso de Tyson, se calculan los coeficientes de popularidad y polemicidad propuestos en 3.3.3. para las diferentes categorías, representados en la Figura 7 mediante un gráfico de barras —nótese que se manejan cifras a efectos comparativos entre categorías cuyos valores no tienen significado por sí mismos—. En base a estos cálculos, las categorías más populares son las relacionadas con creencias, con cuestiones políticas o sociales y con carga emocional, siendo la más impopular la relacionada con los medios. Asimismo, el grado de contenido polémico en el discurso aparece claramente por encima del resto de categorías cuando se trata de elementos relacionados con creencias.

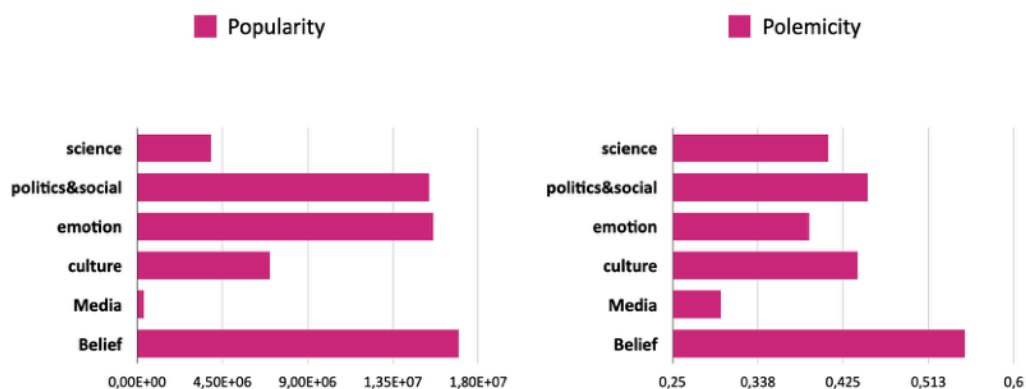


Figura 7. Popularidad y polemicidad por categorías en el discurso de @neiltyson.

iv) Red semántica

El último paso del algoritmo es averiguar qué sucede cuando la información científica se combina con otros tipos de información, una incógnita que se aborda mediante la representación de la red semántica del discurso de Tyson, también diferenciada por categorías, mostrando las relaciones y conexiones entre palabras. Una primera visualización puede encontrarse en la Figura 8, en la que se representan las preferencias del discurso por parte del divulgador, incluyendo las etiquetas de los términos a título ilustrativo —cada categoría exhibe un color diferente—. Un nodo crece a medida que cierto término aparece más veces en la muestra.

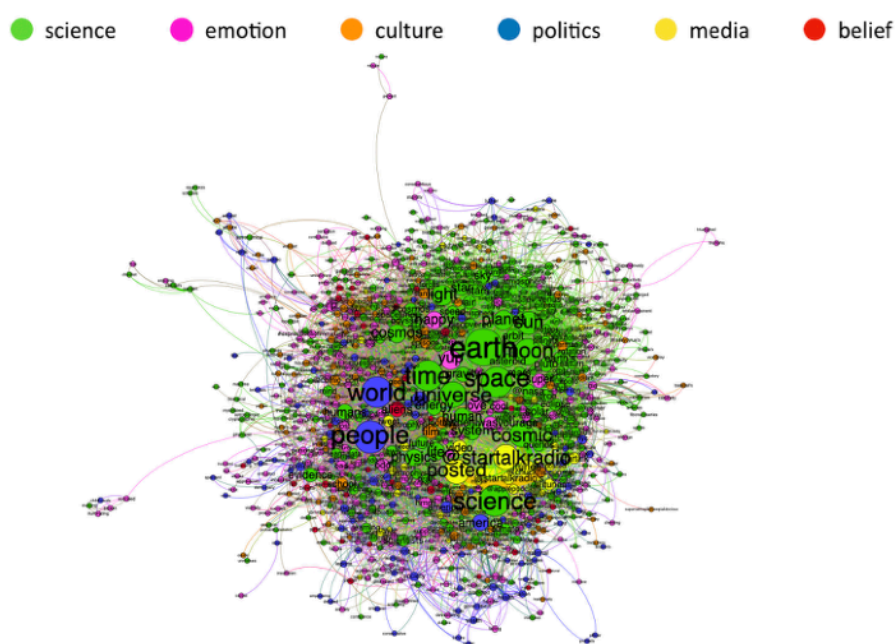


Figura 8. Red semántica del discurso de @neiltyson clasificada por categorías. Para representarla se ha empleado el programa *Gephi*, aplicando el algoritmo *Force Atlas* sobre una muestra de 852 nodos y 5.362 aristas. En la red, los nodos se repelen y las aristas se atraen.

Por su parte, en la Figura 9, el tamaño de los nodos representa: (1) las preferencias del discurso por parte del divulgador —esta vez sin incluir etiquetas para facilitar la visualización y las comparaciones pertinentes—; (2) las categorías que incluyen los términos que reciben más *retweets*; y (3) las categorías que incluyen los términos que reciben más *likes*. Nótese que el usuario construye su discurso mediante conceptos científicos centrales —red de la izquierda—, pero se observa en las otras dos representaciones que el impacto de la información sobre los usuarios receptores es superior para términos periféricos al discurso, especialmente para las categorías «emoción» y «político-social», que a su vez muestran abundantes conexiones entre sí pero escasas con las palabras de la categoría «ciencia».

En todos los casos estudiados, para cada discurso la red semántica conserva la misma topología; es decir, los nodos mantienen su posición en la red —por ejemplo, la palabra «space» siempre se encuentra en el centro de las tres representaciones en la Figura 9—.

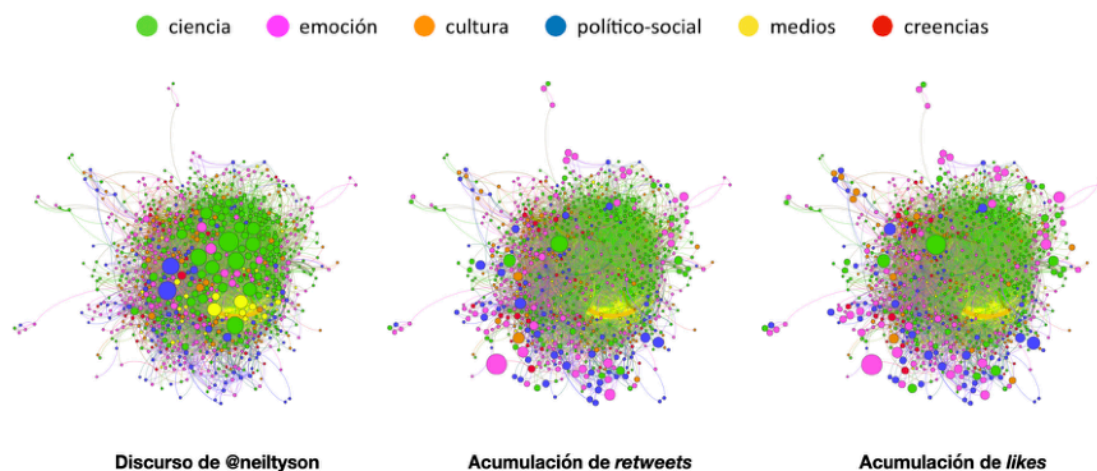


Figura 9. Red semántica del discurso de @neiltyson clasificada por categorías, mostrando respectivamente las categorías con mayor incidencia de uso por el autor, las que acumulan más *likes* y las que acumulan más *retweets*. Para representarla se ha empleado el programa *Gephi*, aplicando el algoritmo *Force Atlas* sobre una muestra de 852 nodos y 5.362 aristas. La topología se conserva para las tres representaciones.

4.2.3. Discusión

En primer lugar, conviene aclarar que los resultados obtenidos en el apartado previo tienen un doble escenario, el propiamente metodológico y el correspondiente al caso elegido. Según el análisis del estudio de caso con la herramienta planteada, el primer resultado llamativo es que el contenido científico exhibe poca relevancia en comparación con otros tipos de información en el conjunto de tuits recabados del divulgador Neil deGrasse Tyson. Aunque el discurso predominante de Tyson se compone de palabras asociadas a contenido científico, son los tuits con carga emocional los que reciben mayor atención por parte del usuario receptor, tanto en términos de *likes* como de *retweets*, seguidos de los que aluden a contenido social y político. Por su parte, la categoría de medios de comunicación es claramente la que ofrece el resultado más débil en cuanto al interés que suscita, a pesar de que su presencia en el discurso es elevada, presentando además la tasa de popularidad más baja —este fenómeno queda abierto a interpretación—.

A la luz de estos resultados, puede parecer que la ciencia, entre el público receptor del discurso de Tyson, por sí sola no interesa al público tanto como otros temas, o que al menos pierde protagonismo respecto a los mismos. No obstante, no debe olvidarse que el estudio se centra en palabras y que información de distinta naturaleza puede aparecer conjuntamente

en los tuits, por lo que ciertas combinaciones podrían suscitar más interés que otras. Esta cuestión se estudia mediante la red semántica —comentada más abajo—.

Por otro lado, si bien solo se estudia un caso específico, el de Tyson, debe considerarse que se ha escogido para probar la herramienta, tratándose de un divulgador con gran influencia y elevado número de seguidores, habiéndose utilizado una muestra con la mitad de sus tuits en este trabajo. Nótese también que los mensajes emitidos por el divulgador llegan, en primer lugar, a sus seguidores, un público supuestamente interesado en la ciencia, si bien también se difunden a través del retuit. Esto último puede ser motivo para despertar la voz de alarma entre los teóricos, puesto que al ser una preocupación manifiesta la de interesar e informar a la ciudadanía en cuestiones de ciencia, precisamente el sector denominado por Miller como «público atento», no exhibiría una predilección real por la ciencia expresada de forma neutra. Sin embargo, como la elección se ha hecho sobre una figura particularmente mediática, otra vía de investigación es el estudio del impacto del discurso de otros comunicadores de la ciencia que divulguen de forma más especializado para un público, efectivamente, atento a la ciencia —se aborda en 4.3.2.—.

En cuanto a los valores generados para los dos índices propuestos de popularidad y polemicidad, se comprueba que las diferencias patentes entre ambos para las distintas categorías pueden dar cuenta de rasgos interesantes. Así, la categoría «ciencia», a pesar de no ser especialmente popular para los usuarios receptores, presenta cierto nivel de contenido polémico, quizá por el activismo social de Tyson en cuestiones como la crisis climática. En este sentido, parece razonable suponer que estos coeficientes variarán de manera dispar entre los distintos comunicadores, por lo que presuntamente puede que no releven tendencias generales, aunque para casos particulares, sin embargo, sí pueden revestir interés.

En concreto, mientras que la idea de la polemicidad estriba en investigar qué temas generan más debate o controversia, la popularidad es una medida de la atención que reciben, ya sea positiva o negativa. Las características que se manifiestan con estos cálculos de otro modo podrían pasar desapercibidas si hay una baja incidencia de palabras utilizadas en la muestra sobre determinada categoría, como sucede con «creencias» en el discurso de Tyson, que presenta un carácter radicalmente popular y controvertido, pero escasamente aparece en el conjunto estudiado. Presumiblemente, debido a su naturaleza sensible, son cuestiones que no abundan en el discurso del usuario estudiado pero que gozan de gran impacto en el ecosistema Twitter. Como nota adicional, debe considerarse que, si bien los resultados basados en *likes* y *retweets* no difieren mucho entre sí, una interpretación que parece plausible es que la acción del retuit favorece la visibilidad del mensaje y, por tanto, la cantidad de *likes* potenciales crece.

Respecto a las coincidencias de palabras en la red semántica, representada para evaluar el grado de centralidad de los términos más o menos atractivos, queda patente para la muestra

examinada que los conceptos periféricos a la discusión científica, es decir, aquellos que tratan cuestiones adyacentes, presentan mayor interés que los centrales, siendo además mayoritariamente no científicos. Debe puntualizarse que no se trata de términos que aparecen en tuits virales, sino que están contenidos en diferentes tuits. Quizá la interpretación más plausible es que existen temas puntuales que suscitan mayor atención, sin ser los habituales en el discurso de Tyson. Por otro lado, al observar la red semántica considerando el número de *likes* y de *retweets* que acumulan los nodos, los resultados son similares entre sí, por lo que el motivo de nuevo puede estar relacionado con que la ramificación que ocurre en Twitter con la propagación de un tuit favorece la acumulación de *likes* al otorgar mayor visibilidad al mismo y extenderlo al escrutinio de otros usuarios. Veremos si en los siguientes ejemplos se observa el mismo fenómeno.

Como es natural, al circunscribir el estudio a los tuits del caso particular de Tyson los resultados obtenidos no son extrapolables a todo el conjunto del universo de estudio de la divulgación de la ciencia, por lo que no se pretende hacer tal generalización sino indicar una tendencia que debe investigarse en mayor profundidad. Siendo razonablemente coherentes los resultados al aplicar la herramienta propuesta al caso particular de un personaje público como Tyson, cabe preguntarse: ¿el estudio del discurso de otros comunicadores ofrecerá resultados similares? ¿En qué variará si se realiza con perfiles institucionales? ¿Y si se escogen temas de actualidad científica en lugar de usuarios? Conviene, en conclusión, aplicar la herramienta como decíamos al principio a otros perfiles específicos y también a discusiones descentralizadas que hayan recibido atención mediática.

4.3 Aplicación de la herramienta sobre otros perfiles

4.3.1. Elon Musk

i) Datos

Para el siguiente análisis, los datos se recaban de forma análoga a los del apartado anterior. En el caso de Elon Musk, la extracción de tuits ha resultado en una muestra aleatoria de 296 tuits de la cuenta de @elonmusk desde el 17-11-2018 hasta el 01-02-2019. Después de la minería de textos y la identificación de términos, se obtiene un archivo con 1.631 palabras significativas con sus estadísticas asociadas. Esta descarga representa el 22,1% de los tuits emitidos por el usuario en las fechas de la consulta. Para analizar esta muestra, se ha contado con una lista de 1400 palabras categorizadas, en la que está contenida la lista previa correspondiente a las palabras identificadas en el discurso de Tyson a la que se han añadido las más relevantes del discurso de Musk, identificadas de forma automática por el algoritmo y posteriormente clasificadas de forma manual en las categorías creadas.

ii) Análisis

La misma secuencia de pasos se ha llevado a cabo para el usuario @elonmusk. En la parte superior de la Figura 10, de nuevo se representan los datos en gráficos circulares de sectores por su claridad y simplicidad, prestando atención a la fracción de cada categoría, que se muestra de forma porcentual. Estas gráficas muestran el peso de las distintas categorías en los discursos, por separado, de Neil deGrasse Tyson —analizado en el apartado anterior— y de Elon Musk, en base a: (1) la frecuencia de términos en los conjuntos de tuits de los emisores; (2) la acumulación de *likes* por categoría; y (3) la acumulación de *retweets* por categoría.

En el discurso de Musk, de forma similar, encontramos una presencia mayoritaria de conceptos pertenecientes a la categoría «ciencia». Es, de nuevo, un resultado esperable que indica que el algoritmo funciona adecuadamente. Al prestar atención a la incidencia de cada categoría en los dos discursos, salta a la vista que la frecuencia de uso de palabras con contenido científico es elevada en ambos, siendo algo superior en el caso de Musk; un 63% frente al 51% en el de Tyson. Prestando una atención particular al discurso de Musk, el resultado más llamativo es que los términos científicos neutros no tienen un impacto especial, de igual modo que sucedía en el apartado anterior.

Respecto a la carga emocional, el discurso de Musk cuenta con un 18% de expresiones emocionales y valoraciones —un 2% más que el de Tyson, que contaba con un 16%—, siendo el impacto de la categoría «emocional» todavía más acusado que en el caso anterior. Para

ambos, parece que la categoría compuesta por palabras con carga emocional produce un impacto elevado.

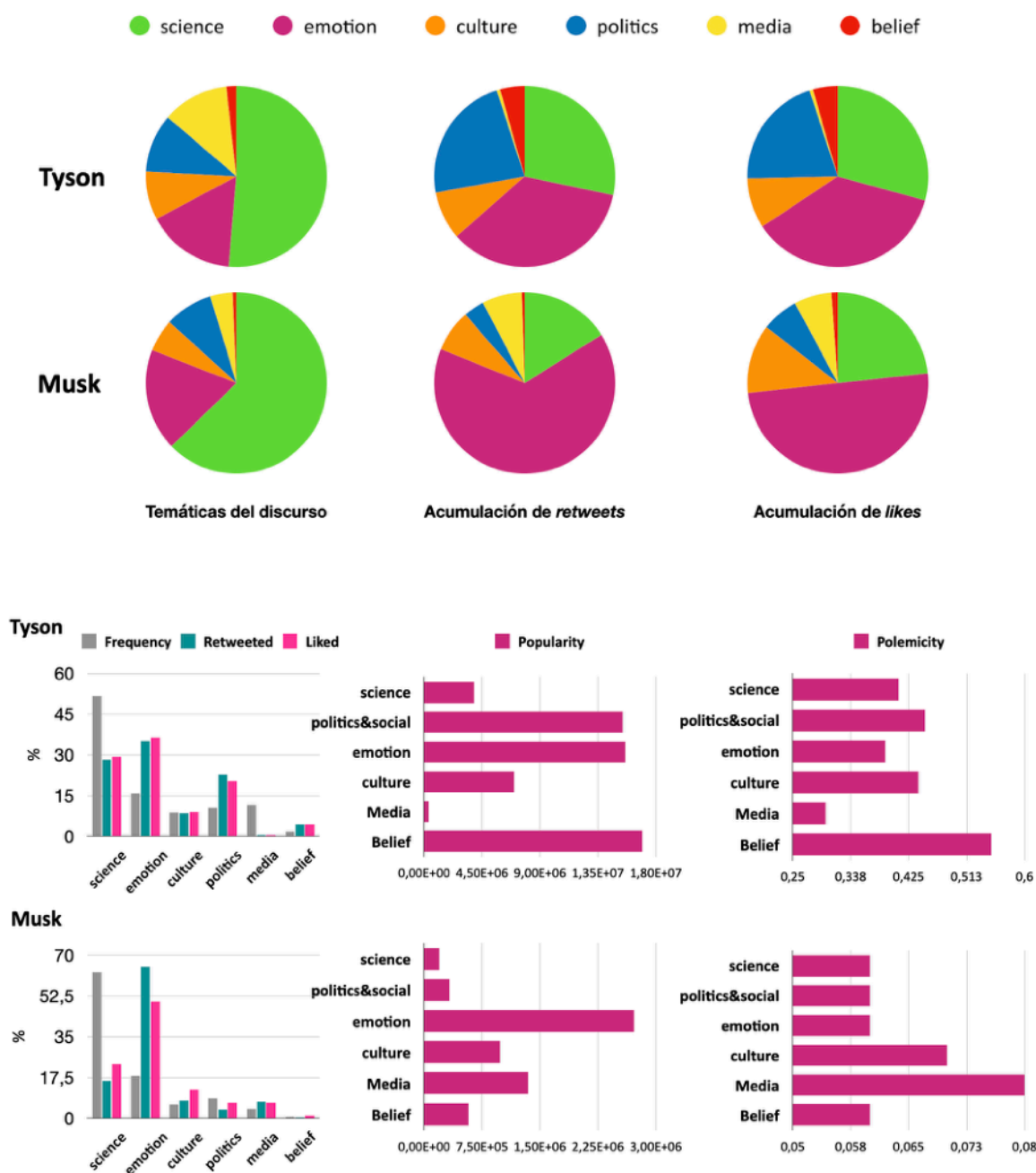


Figura 10. Comparación de los discursos de Neil deGrasse Tyson y Elon Musk. Arriba: preferencias del discurso, acumulación de *retweets* y de *likes* por categorías. Abajo: La misma representación en un gráfico de barras; junto a la popularidad y polemicidad.

En cuanto a los coeficientes de popularidad y polemicidad para las diferentes categorías, en la parte inferior de la Figura 10 puede apreciarse una comparación entre las mismas de acuerdo con la fórmula propuesta en 3.3.3., que esencialmente se basa en los *retweets* y los *likes*

acumulados por cada una, compuestas a su vez por los términos del discurso. Nótese que las escalas en el eje x difieren, algo que resulta irrelevante al haberse concebido por su valor comparativo —recuérdese que lo interesante de estos índices es la proporción entre las categorías, no el valor concreto, por lo que las representaciones resultan útiles—. Llama la atención que, en ambas muestras, la categoría «ciencia» exhibe una popularidad particularmente baja en comparación con el resto; siendo en cambio elevada para el caso de la que se compone de contenido emocional. Respecto a la polemicidad, de nuevo es la categoría «creencias» la más destacada.

Por su parte, la categoría de medios de comunicación en el discurso de Musk, sí presenta un impacto positivo, a diferencia de Tyson, en el sentido de que, si bien el discurso en el primer caso, el de Musk, presenta un 4% de incidencia de uso de palabras relacionadas con los medios, en términos de *likes* y *retweets* la aparición de contenido relacionado con los medios de comunicación suscita un interés que se plasma en un 7% del total —dimensionado con la contribución del resto de categorías—. Además, a diferencia del resultado obtenido con Tyson, el conjunto de términos empleados por Musk y clasificados en la categoría de medios exhibe un grado de polémica elevado y se presenta como el segundo más popular. En el caso de Tyson se observaba un 12% de palabras referidas a medios que producían un impacto de menos del 1% en cuanto a *likes* y *retweets*; siendo además su popularidad y polemicidad las más bajas respecto al resto de categorías.

Siguiendo con el análisis, otro resultado dispar es que la presencia de términos sobre cuestiones socio-políticas no despierta el mismo efecto que en el caso de Tyson, para el que suscitaban especial interés en las audiencias, sin embargo sobre el público receptor de los tuits emitidos por Musk se produce un impacto negativo, habiendo una incidencia inicial de este tipo de términos del 9% pero mostrando una acumulación de *retweets* del 4%, y de *likes* del 7% —Tyson presentaba un volumen inicial del 10%; un impacto del 20% en *retweets* y 23% en *likes* respecto al resto de categorías—. Por otro lado, la contribución de términos culturales es de un 6% para el discurso de Musk, presentando un impacto del 8% en términos de *retweets* y del 12% en términos de *likes*. No era así en el caso de Tyson, quien presentaba un 9% de palabras relacionadas con el ámbito cultural pero que no producían especial impacto. Por último, de nuevo la categoría de «creencias» está poco presente, siendo de menos del 1% para Musk de cerca del 2% para Tyson, aunque en el primer caso no muestra un grado de controversia elevado.

iii) Discusión

Quizá el resultado más sorprendente es que tanto en la audiencia de Musk como en la de Tyson, los términos científicos empleados no tienen un impacto especial en comparación con los identificados en el resto de categorías, siendo el impacto en materia de cuestiones relacionadas con la ciencia para el primero todavía más reducido que para el segundo. De

nuevo, esto no significa que la ciencia no interese dado que no se examinan las categorías en términos absolutos, sino que el lenguaje neutro propio de la ciencia recibe menor atención que una comunicación mayoritariamente basada en palabras de otra índole. En el caso de Musk, los picos de atención a los tuits con contenido emocional son, en particular, sensiblemente mayores —si bien ya eran elevados en Tyson—.

Por consiguiente, de acuerdo con las dos muestras estudiadas parece que se están empezando a revelar dos tendencias: (1) las palabras relacionadas con la ciencia no suelen despertar un interés especial —habría que averiguar, además, si en estos dos casos estamos trabajando de forma mayoritaria con un público previamente interesado—; y (2) el impacto de una comunicación emocional tiene claros efectos en el receptor. En el segundo caso, ¿es esta una característica común en el usuario receptor medio de Twitter? En ocasiones se ha sugerido que los tuits con elevada carga de opinión y, en particular, los que exhiben posturas polarizadas obtienen más visibilidad en esta red social. Si en el caso del discurso científico este fenómeno también se debe a una cuestión de empatía, de escarnio o de cualquier otro motivo, son interpretaciones que no pueden apoyarse con el presente diseño experimental.

Otro resultado digno de mención es que, en el discurso de Musk, la alusión a cuestiones relacionadas con los medios de comunicación presenta una alta polémica —que incluso puede rastrearse en los temas culturales, que también suscitan debate en su caso—, tal vez porque se trata un personaje polémico y sus apariciones en los medios de comunicación incluyen acontecimientos como lanzar un coche al espacio o anécdotas controvertidas como la de fumar marihuana en un programa de radio público en directo. A estas consideraciones puede sumarse que en su caso el contenido socio-político no exhibe ningún impacto especial, lo que sí sucedía en el caso de Tyson; quizá porque el segundo se muestra más activo y crítico en cuanto a problemáticas como la alfabetización científica de la población o la legislación de los asuntos científicos; mientras que el primero opera en el sector privado en el que las alianzas son más delicadas. En cualquier caso, debe subrayarse que estas últimas interpretaciones presentan un carácter anecdótico, mientras que las observaciones del párrafo anterior tienen claras implicaciones para el presente proyecto.

4.3.2. Otros divulgadores

i) Datos

Para contrastar resultados con otros perfiles personales, se han empleado las siguientes cuentas de usuario de divulgadores populares del mismo ámbito científico: Sean Carroll, Brian Cox, Brian Green, Michio Kaku, Buzz Aldrin, y Carolyn Porco. Para ello, se ha incrementado el número de términos categorizados partiendo de la lista previa, en base a la importancia de las nuevas palabras en estos conjuntos de tuits, hasta alcanzar un volumen de 1.500 palabras categorizadas. Los tuits recabados son, en todos los casos, desde la creación de cada cuenta de usuario hasta la fecha de extracción: 22-06-2019. Debe puntualizarse que algunas cuentas, aunque acumulen un elevado número de seguidores, no emiten grandes cantidades de tuits, por lo que la muestra resultante no exhibe un volumen cuantioso, siendo para cada caso, de nuevo, aleatoria —proporcionada en base a los criterios internos de la API—.

Usuario	Seguidores	Tuits extraídos	Términos clave
Sean Carroll	260 mil	275	1.598
Brian Cox	3 millones	214	1044
Brian Greene	1 millón	365	4407
Michio Kaku	740 mil	1588	13642
Buzz Aldrin	1,5 millones	962	5797
Carolyn Porco	61 mil	373	1960

Tabla 22. Relación de perfiles de los divulgadores escogidos para el análisis con sus estadísticas asociadas.

ii) Análisis

En la Figura 11, se presenta el análisis de los discursos de los agentes influyentes de la comunicación de la ciencia escogidos, de nuevo acotados al ámbito astrofísico y aeroespacial. Se muestran así los perfiles de Sean Carroll, Brian Cox, Brian Green, Michio Kaku, Buzz Aldrin, y Carolyn Porco. En general, la presencia de la ciencia en sus discursos ronda en torno al 50% —excepto en el caso de Greene, que alcanza un 68%—. Para el caso que nos ocupa, por un lado, los niveles de interés por la ciencia en términos de *likes* y *retweets* por lo general se mantienen acordes con la incidencia de términos científicos empleados en los discursos estudiados; por el otro, la comunicación con carga emocional en todos los casos presenta un impacto positivo en los usuarios receptores, pero mucho más moderado que en los presentados en los apartados anteriores —de Tyson y Musk—. Por su parte, como inclinación

general, la categoría de medios volvería a perder protagonismo; la socio-política sería la que produciría un impacto más variable, seguida de la cultural.

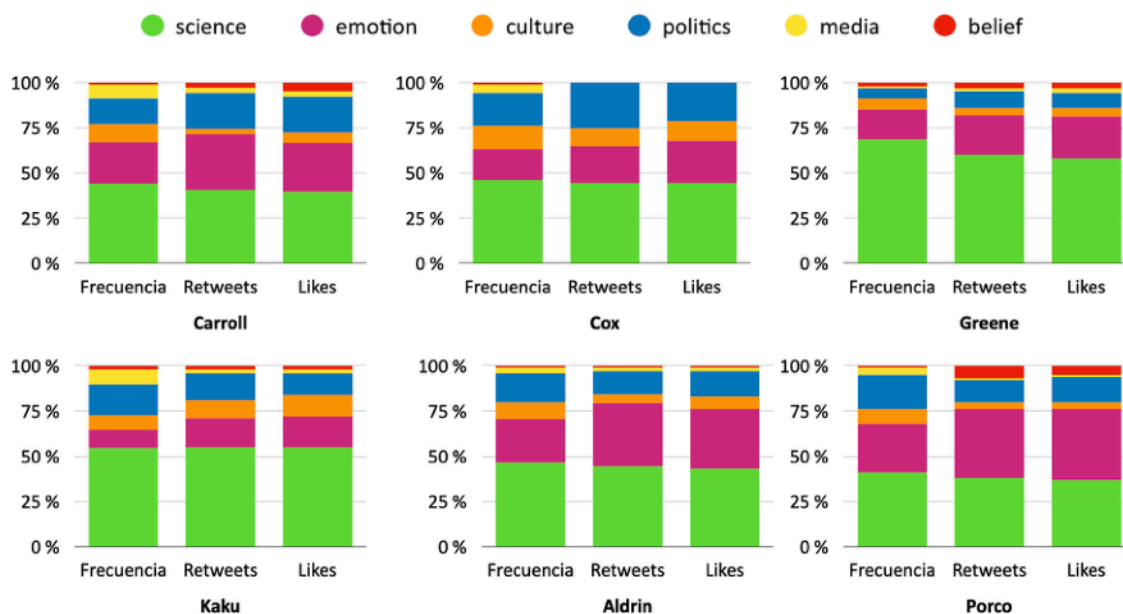


Figura 11. Comparación de los discursos en Twitter de diferentes divulgadores científicos. Se muestra para cada uno, respectivamente, la frecuencia de uso de los términos clasificados por categorías, la acumulación de *likes* y la acumulación de *retweets* para las categorías propuestas.

iii) Discusión

Para las seis cuentas de usuario seleccionadas, si se examinan las dos tendencias enunciadas en la discusión del caso anterior, los resultados son menos obvios. Respecto al impacto del contenido científico, una interpretación es que el seguidor medio de la mayoría de estos perfiles —que por regla general emiten discursos más especializados— sí pertenece al sector de la población identificado como «público atento», para el que los términos propios de la ciencia suscitarían interés, mientras que en el caso de Tyson y Musk se trataría de figuras mediáticas mayormente enfocadas al público generalista. No tanto es así en el caso del astronauta Buzz Aldrin, un icono de la cultura popular, que sí presenta un impacto más pronunciado en la comunicación emocional, siendo precisamente de entre los seis, el más proclive a acumular entre sus seguidores al público lego. En relación con ello, si bien el perfil de usuario de Porco también exhibe una tendencia similar a la de Aldrin, este caso se presta a un análisis más profundo que contemple la perspectiva de género —¿tiene que ver el género con la recepción del discurso y el grado de interacción en términos de *likes* y *retweets*?—.

En cualquier caso, la tendencia general sigue siendo la de un impacto positivo para la comunicación emocional, quizá en este caso el seguidor medio no sea tan impresionable y

presente un carácter más cauteloso, particularmente común en las personas instruidas en ciencia. Si se admite esta interpretación, parece razonable pensar que ese «público atento» no solo se interesa por la ciencia, sino que de alguna forma tiene integrados otros aspectos de la misma como los relativos a la «actitud científica» de Dewey —véase 1.1.— que contempla la comprensión de la metodología de la ciencia.

4.3.3. Instituciones NASA y ESA

i) Datos

En el caso de los perfiles institucionales, cuyos archivos de tuits fueron recabados el 21-06-2019, por un lado el de la NASA resultó en una extracción de 173 tuits que derivaron en 1.453 términos clave, mientras que el de la ESA en un total de 100 tuits que dieron lugar a 794 términos clave. Tomando la lista de palabras categorizadas previamente —recuérdese que es acumulativa y especialmente útil en el mismo ámbito conceptual— se han añadido nuevos términos categorizados tras la identificación de los más relevantes por el algoritmo, ascendiendo hasta un total de 1.572 para la NASA y de nuevo acumulándolas hasta alcanzar un total de 1.634 para el caso de la ESA. La cuenta genérica de la NASA suma cerca de 39 millones de seguidores, mientras que la de la ESA ronda el millón.

ii) Análisis

Al aplicar la herramienta a los dos perfiles institucionales escogidos, en la parte superior de la Figura 12 puede apreciarse que la ciencia tiene un impacto proporcional a la cantidad de información de contenido científico liberada por estos perfiles. También se detecta en el caso de la NASA una tendencia a suscitar la atención del público mediante tuits con carga emocional, que se duplica en relación con la frecuencia de uso de estos términos, pero que no se manifiesta de igual manera en el caso de la ESA, que de por sí efectúa una proporción mayor de palabras de este tipo. En general, la frecuencia de uso de términos que no hacen alusión a la ciencia es en ambos perfiles baja.

A pesar de ello, en ninguno de los dos ejemplos la categoría «ciencia» es la que ofrece las proporciones más altas en cuestión de popularidad, siendo predominante la emocional y en el caso de la ESA se sumaría además la cultural. El grado de polémica del contenido, por otra parte, no destaca en especial respecto a ninguna categoría específica. También llama la atención que en el caso de los perfiles institucionales estudiados no hay contribución en la categoría «creencia».

En la parte inferior de la Figura 12 se muestra la red semántica, para la que se varía el tamaño de los nodos en función de las preferencias temáticas del discurso de las instituciones por categoría, de la acumulación de *likes* y de la acumulación de *retweets*. Si bien en las redes representadas a la izquierda, que muestran la frecuencia de uso de los conceptos para cada

perfil, aparecen nodos centrales predominantes que conectan el discurso relativos a contenido científico, cuando se representa la red semántica mostrando la acumulación de *likes* y de *retweets* —en el centro y a la izquierda— son los nodos periféricos los que presentan mayor tamaño, exhibiendo de nuevo una presencia especial los de carácter emocional.

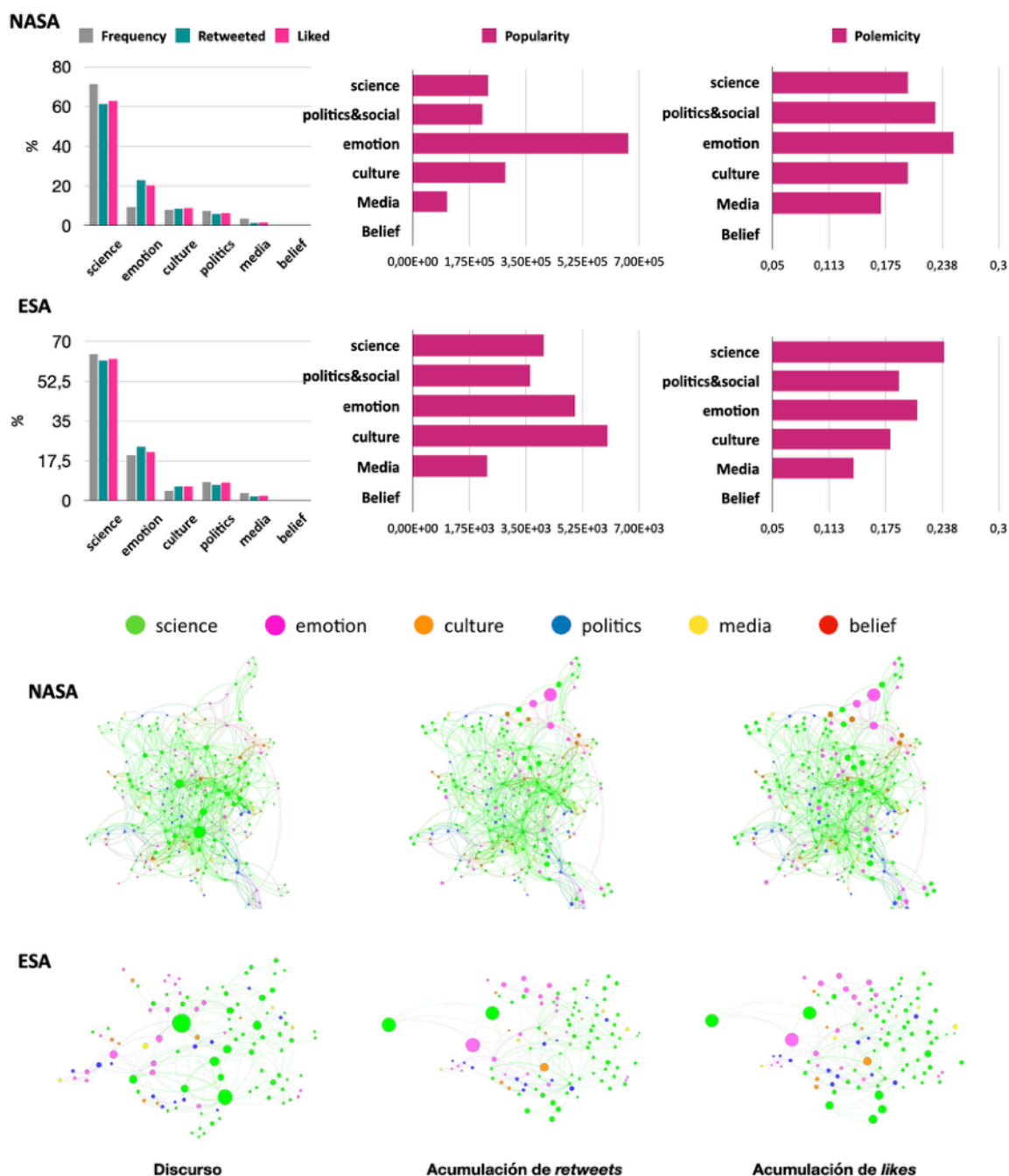


Figura 12. Arriba: preferencias del discurso de la NASA y la ESA, acumulación de *retweets* y de *likes* por categorías, intermedio: popularidad y polemicidad en dicho discurso. Abajo: redes semánticas —NASA: 236 nodos y 934 aristas; ESA: 123 nodos y 334 aristas—, representadas con el programa *Gephi* aplicando el algoritmo *Force Atlas* y conservando la topología para cada caso.

iii) Discusión

En cuanto al impacto y las preferencias del público, una interpretación que parece plausible es que los seguidores de los perfiles institucionales suelen ser personas previamente interesadas en la ciencia, el «público atento», de forma similar a lo que presuntamente sucedía con los divulgadores del apartado anterior por compartir contenidos de ciencia más especializada⁵.

Por otro lado, parece claro que, dado su carácter sensible, cualquier cuestión relacionada con la categoría de «creencias» está completamente ausente en la comunicación institucional, presumiblemente vetada para los responsables que manejan estas cuentas de usuario. Si bien este fenómeno puede parecer trivial, se trata de un resultado indiscutiblemente coherente con el código ético de los centros, por lo que la propuesta metodológica vertebrada en el presente proyecto de investigación gana credibilidad.

Por último, queda incidir en que los nodos periféricos son los que presentan mayor tamaño cuando se representa el impacto en el público receptor, lo que denota una mayor penetración en los usuarios de conceptos adyacentes al debate, no tanto de cuestiones centrales relacionadas con la ciencia que habitualmente se transmita a través de estos perfiles.

Como nota aclaratoria, esta última característica podría relacionarse con el fenómeno de los tuits virales si la unidad de investigación básica fueran, precisamente, los tuits, en vez de los conceptos; sin embargo, este no es el caso. Esto significa que los términos que reciben mayor atención se encuentran en varios tuits, no en uno solo que haya suscitado un impacto aplastante. Siendo además un resultado que también se ha observado en el ejemplo de Tyson —4.2.2.iv—, en los siguientes apartados, con ejemplos de discursos descentralizados, se examinará más a fondo mediante las redes semánticas de volúmenes de tuits más numerosos y que además puedan mostrar de forma más afinada la conectividad entre categorías.

⁵ Puede advertirse además que entre el grueso de usuarios receptores de los tuits en el caso institucional, es probable que se sumen los trabajadores de los centros y aquellos externos adscritos a distintos proyectos científicos, sin embargo, prestando atención a las estadísticas del número de seguidores, esta consideración no repercute en la muestra, entendida como representativa del público.

4.4. Aplicación de la herramienta sobre discusiones descentralizadas

4.4.1 Señal WoW!

i) Datos

El 12/06/2017 se recabó un conjunto de datos consistente en una muestra aleatoria tuits, emitidos desde nueve días atrás hasta el día de la extracción, que contenían el término clave «wow signal», resultando en un archivo de 8.247 tuits. Tras la limpieza del texto e identificación de palabras significativas en el discurso, los datos ascendieron a un total de 64.282 palabras clave. A la lista utilizada para el análisis se añadieron las palabras más relevantes del discurso que se generó en Twitter en torno a la señal WoW!, reveladas mediante la ejecución del algoritmo al facilitar la clasificación de aquellas que poseían más peso en el conjunto de datos, sumando un total de 1700 términos categorizados. Para la representación de la red semántica, el algoritmo generó un total de 290 nodos y 1729 aristas.

ii) Análisis

En el caso de la conversación en Twitter generada sobre la señal WoW! Cuando fue objeto de atención mediática, en la Figura 13 se muestra, en primer lugar, la misma comparativa que en los casos anteriores entre la frecuencia de uso de términos, la acumulación de *likes* y la acumulación de *retweets* para las distintas categorías diferenciadas en el análisis. En este conjunto de tuits, esta vez sin atender a un perfil concreto, de nuevo se revela un impacto bajo de los términos científicos, habiendo una presencia inicial de más del 70 % pero resultando en una acumulación de *retweets* y de *likes* de cerca del 25% en ambos casos, respecto al resto de categorías.

En este ejemplo, también aparece un impacto elevado en la comunicación con carga emocional cuando se trata de *retweets*, no manifestándose el mismo fenómeno en el caso de los *likes*, respecto a los cuales también se revela que los términos relacionados con alguna cuestión cultural suscitan elevado interés —en particular con las palabras «concert» y «movie», cuyas etiquetas no se muestran en la Figura 13 pero que se corresponden a los nodos naranjas de abajo a la izquierda—. De nuevo, los conceptos que acumulan más *likes* y *retweets* son los que exhiben menor conectividad, co-ocurriendo fundamentalmente con otros términos adyacentes en el discurso. Nótese además que estas redes están mucho más centralizadas que las anteriores, mostrándose más compactas en la imagen.

En este ejemplo, la polemicidad y la popularidad se han representado en la red semántica, la cual revela que la primera no se manifiesta en los términos científicos por lo general,

mientras que la segunda exhibe tendencias en distintas categorías, aunque continúe predominando la emocional —con palabras como «inspiring» o «tears»—.

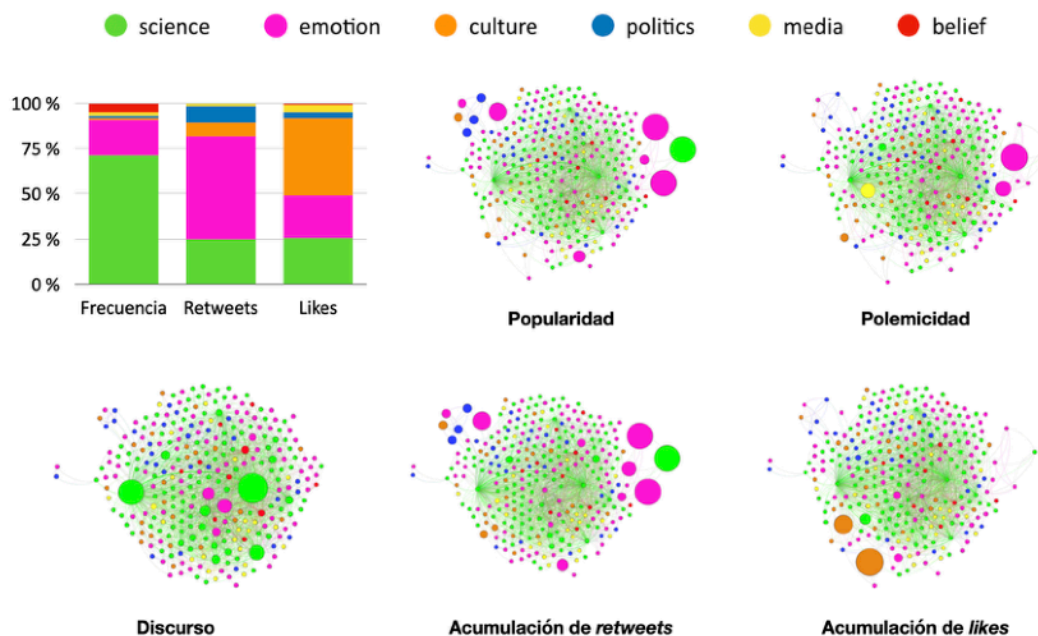


Figura 13. Análisis para la Señal WoW! en base a las distintas categorías diferenciadas en el estudio, arriba a la izquierda se muestra la frecuencia de uso de términos, la acumulación de *likes* y la acumulación de *retweets*. A continuación, la red semántica en el caso de la señal WoW!, la popularidad y la polemicidad. Se han empleado las mismas técnica que en los casos anteriores; con el programa *Gephi* aplicando el algoritmo *Force Atlas* y conservando la topología en todos los casos, para una muestra de 290 nodos y 1729 aristas.

iii) Discusión

En primer lugar, debe incidirse en que se ha escogido un evento que en su momento tuvo cierta presencia en los medios de comunicación de masas. Por ello, parece razonable el hecho de que la red semántica está más centralizada, es decir, las conversaciones en Twitter giran en torno a los mismos términos, de los que algunos se corresponderían con los titulares de la noticia en distintos medios. De nuevo, los tuits que utilizan el lenguaje neutro de la ciencia, causan menos impacto.

Sin embargo, como en los casos anteriores para los que se ha interpretado que contaban con un público menos especializado —un aspecto que en este ejemplo es evidente al tratarse de noticias liberadas en los medios generalistas—, la comunicación emocional suscita un número de *retweets* muy elevado. Hay que contemplar, no obstante, si los tuits con contenido emocional, versan sobre cuestiones científicas. En la red semántica que muestra este

fenómeno —en el centro abajo—, puede apreciarse que los términos que acumulan estos *retweets* en las distintas categorías muestran conexión con pocos términos científicos, además de no estar directamente conectados a elementos centrales del debate, sino adyacentes; un resultado que parece que empieza a marcar una tendencia. No sucede lo mismo cuando se observan los resultados para el caso de la acumulación de *likes*, lo que podría denotar que en el caso de esta noticia predomina la acción del *retweet* frente a la del *like* porque su contenido suscite controversia, aunque la representación de la polemicidad no da cuenta de ello, por lo que queda abierto a interpretación.

En términos generales, los resultados del análisis invitan a reflexionar, de nuevo, que el mayor interés de los usuarios receptores se instala alrededor de cuestiones no solo ajenas a la ciencia, sino además pobremente relacionadas con los aspectos centrales de las conversaciones sobre la misma.

4.4.2. Oumuamua

i) Datos

El siguiente estudio de caso se ha realizado en dos momentos del tiempo separados, con un año de diferencia, dado que el objeto interestelar Oumuamua ha sido protagonista en los medios de comunicación en ambas ocasiones. La pretensión es examinar si se revelan las mismas o distintas características para discusiones en torno al mismo tema con la herramienta algorítmica propuesta.

- Año 2017: se recaban datos en tres fases, en períodos de 9 días, resultando en tres muestras tomadas respectivamente: el 13/12/2017 con la que se obtuvieron 9.315 tuits; el 20/12/2017 con la que se obtuvieron 39.987 tuits y que supuso el pico de atención mediática; y el 27/12/2017 con la que se obtuvieron 12.532 tuits. El conjunto de tuits final, tras la limpieza del texto e identificación de palabras clave, resultó en 109.844 de términos relevantes.
- Año 2018: se recaba una muestra el 11/11/2018 para la que se obtuvieron 50.000 tuits, resultando tras la limpieza del texto e identificación de palabras clave en un conjunto de 678.006 términos con sus estadísticas asociadas.

La lista de palabras categorizadas ascendió en este caso a 1750⁶.

⁶ La palabra «wow» se excluyó de la lista de palabras clasificadas por categorías, dado que en otros contextos no relacionados con la señal WoW examinada en el apartado anterior puede significar una expresión emocional. Para evitar confusión, quedó fuera del estudio.

ii) Análisis

En primer lugar, puede apreciarse en la Figura 14 la variación en el peso de las categorías respecto al discurso que se generó sobre el carácter anómalo de Oumuamua, para los dos momentos del tiempo en los que despertó la atención mediática. De forma inmediata, se ve que las proporciones para las distintas categorías son prácticamente las mismas a pesar de haber un año de diferencia.

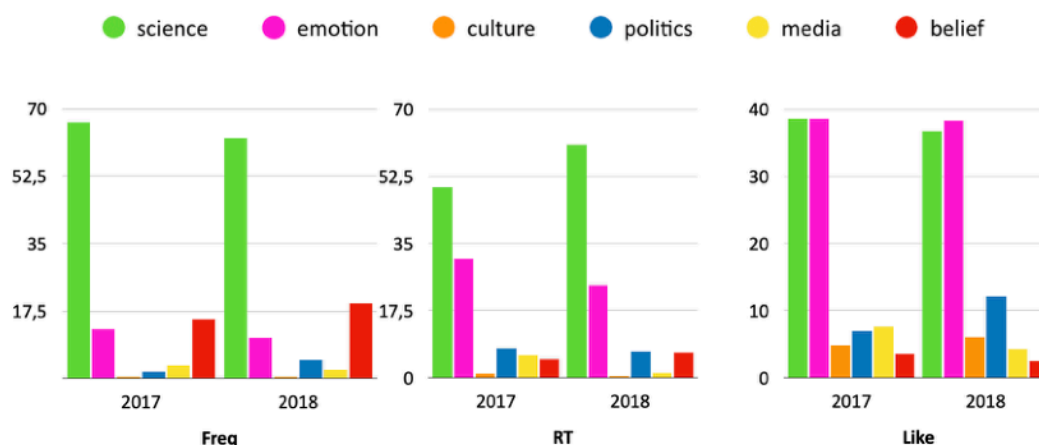


Figura 14. Discurso generado en Twitter sobre el objeto interestelar Oumuamua. Se representan la frecuencia de uso de términos, la acumulación de *likes* y la acumulación de *retweets* por categoría en 2017 y 2018 respectivamente.

A continuación, en la Figura 15 se representan las mismas estadísticas que en el caso anterior de la señal WoW!, esta vez a efectos prácticos de que puedan compararse entre los dos momentos del tiempo para observar si hay diferencias. Las representaciones gráficas muestran que las tendencias en todos los casos son prácticamente las mismas.

Tanto para 2017 —arriba— como para 2018 —abajo—, se muestran las distintas categorías diferenciadas en el análisis, en primer lugar en un gráfico de columnas apiladas para revelar la incidencia en la frecuencia de uso de los términos del discurso, junto a la acumulación de *likes* y la acumulación de *retweets*. Los términos con carga emocional de nuevo exhiben unas tasas de impacto particularmente elevadas, esta vez tanto para los *retweets* como para los *likes*. La red semántica, también representada para estas mismas medidas —abajo centro y abajo izquierda en cada caso—, denota que la acción del retuit se produce fundamentalmente en torno a conceptos centrales, mientras que la acción del *like* se reparte a lo largo de la red en un espectro de categorías más variado; siendo la categoría emocional predominante en 2018 pero dejando espacio a la socio-política; y a la de medios y términos científicos el año anterior. Las distribuciones por categorías respecto a la acumulación de *retweets*, para ambos casos es similar. Debe puntualizarse que los términos de los nodos más grandes no coinciden para los dos años, mientras que las categorías generales que representan el discurso, sí.

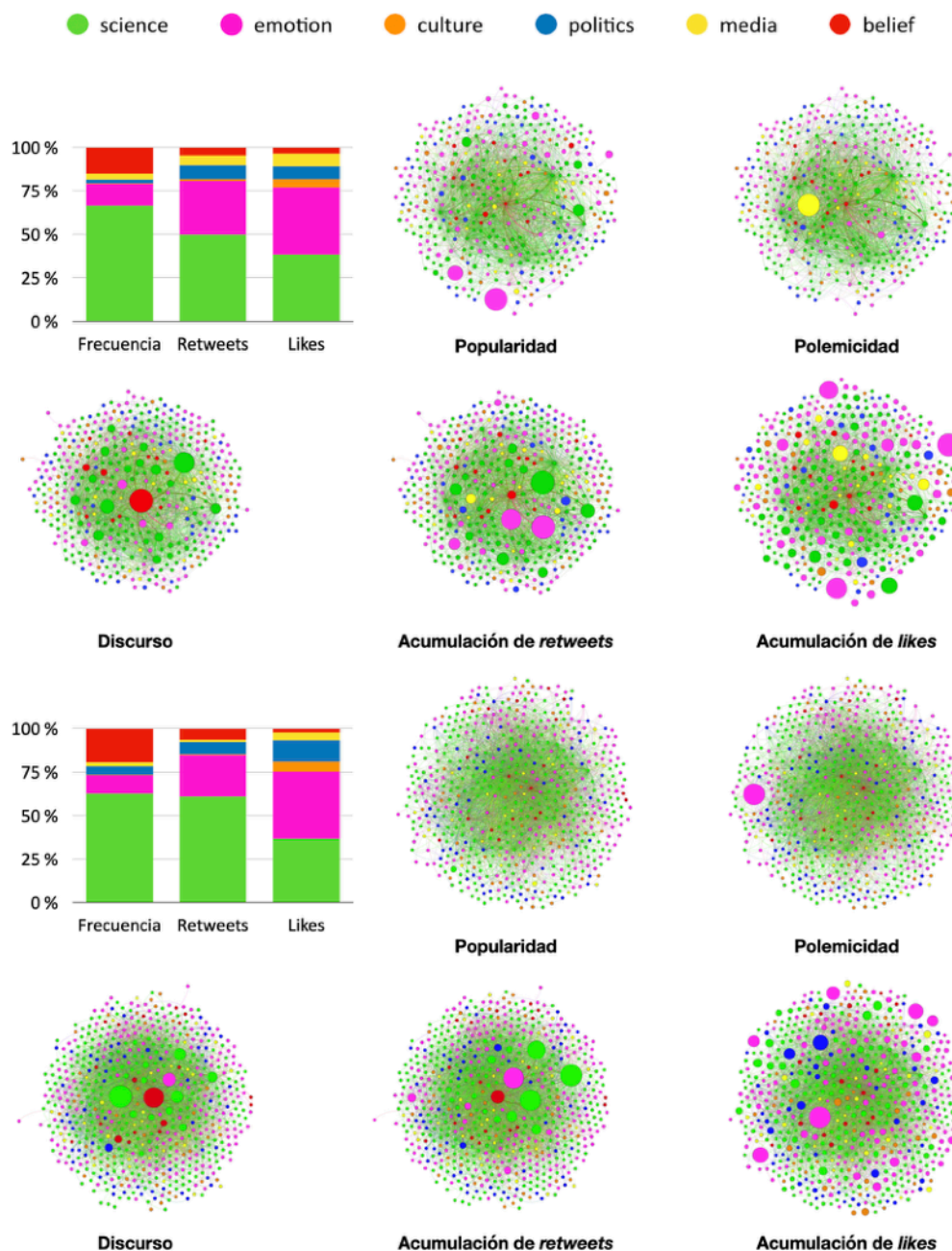


Figura 15. Análisis del caso Oumuamua en dos periodos en base a las distintas categorías diferenciadas en el estudio. Para 2017 —arriba— y 2018 —abajo—, se muestran las distintas categorías diferenciadas en el análisis: la frecuencia de uso de términos, la acumulación de *likes* y la acumulación de *retweets*. También la red semántica para estas mismas medidas, además de la popularidad y la polemicidad. Se han empleado las mismas técnica que en los casos anteriores; con el programa *Gephi* aplicando el algoritmo *Force Atlas* y conservando la topología en todos los casos, para una muestra de 429 nodos y 2559 aristas en el primer período y de * en el segundo.

Los índices de popularidad y polemicidad, en cambio, se centran fundamentalmente en términos concretos. En particular, en 2017 la polemicidad exhibe la presencia de un término

relativo a los medios de comunicación, mientras que la popularidad a contenido emocional. En 2018 solo hay un término de tipo emocional en el que se concentra el carácter polémico.

iii) Discusión

En consonancia con el caso anterior de la señal WoW!, encontramos para Oumuamua conversaciones muy centralizadas. De nuevo, quizá la interpretación más plausible es que se representan los términos de los titulares empleados por los distintos medios que, como es natural, no difieren en exceso entre sí.

Tanto para los datos de 2017 como los de 2018, las representaciones muestran resultados sorprendentemente similares, lo que puede denotar un patrón de comportamiento en el público receptor en torno a temas de ciencia específicos; un aspecto que a todas luces debe analizarse a escalas mucho más ambiciosas para corroborar esta suposición preliminar. Las implicaciones sobre la posibilidad de que se puedan rastrear patrones en las actitudes del público hacia la ciencia a través de herramientas como la propuesta en este trabajo, resulta excitante a efectos prácticos de esta tesis, cuyo cometido era buscar formas de complementar los estudios de percepción social de la ciencia.

Sobre los resultados en el caso particular de Oumuamua, la acumulación de retuits se ha dado para los términos centrales, compuestos en mayor medida por palabras que aluden a la ciencia pero también habiendo presencia de un discurso emocional. Una interpretación posible es que cuando en un tuit se expresa una opinión de forma personal en los discursos sobre ciencia, el usuario medio es más proclive a apoyarla con un *like* y no tanto a retuitearla; algo que no se observaría en otros contextos conceptuales como, por ejemplo, la comunicación política —cuyas reacciones están extremadamente polarizadas—. Por otro lado, sobre Oumuamua destaca que la acumulación de mayor cantidad de *likes*, representada a través de los nodos, se produzca formando una estructura dispersa no adscrita a una categoría única, un fenómeno abierto a interpretación.

En general, en los ejemplos de noticias mediáticas estudiados, WoW! y Oumuamua, de nuevo una comunicación en la que se empleen términos emocionales presenta un gran impacto, de igual modo que sucedía al analizar los discursos tomando perfiles particularmente mediáticos de Tyson, Musk y Aldrin. Por el contrario, el peso de las expresiones emocionales no adquiere tamaño protagonismo en los otros perfiles estudiados —exceptuando el caso de Porco—, pertenecientes a divulgadores con un público más especializado. Esta cuestión apunta a que el tipo de audiencia es muy relevante⁷ a la hora de diseñar las estrategias de comunicación. Y para esa tarea, se considera que la herramienta propuesta en la presente tesis puede ser de suma utilidad en la construcción del discurso en la actividad de difundir la ciencia a la sociedad.

⁷ Una audiencia más especializada no se comportará de igual modo que una más general.

Capítulo 5: CONCLUSIONES

La ciudadanía ha sido testigo, a lo largo de los dos últimos siglos, del crecimiento acelerado del sistema tecnocientífico, fruto de los cambios tecnológicos que modifican poderosamente su mundo —con inventos como la brújula, la imprenta, el telescopio o, más adelante, la máquina de vapor, el automóvil y tantos otros—. En particular, el éxito de la empresa científica se ha ido ganando la confianza de un público que generalmente no entiende los supuestos teóricos que subyacen a sus logros, pero que disfruta de los cada vez más abundantes bienes y servicios proporcionados por sus avances.

Sin embargo, a medida que los productos intelectuales y materiales de la ciencia se basan en constructos cada vez más abstractos, se acentúa la brecha entre los científicos y el público —por ejemplo, con los desarrollos de la mecánica cuántica a principios del siglo XX—, debilitándose paulatinamente la confianza depositada en la ciencia. La postura del público va migrando desde una ciencia de certezas practicada por las élites a una ciencia plagada de incertidumbre practicada por científicos abstraídos del mundo, máxime a partir del advenimiento de la era atómica a finales de la Segunda Guerra mundial que impulsó una opinión pública consciente de la naturaleza dual del conocimiento científico que podía ser tanto fuente de bienestar como generadora de peligros sin precedentes (Pardo, 2014).

Emergen así una serie de consideraciones troncales a lo largo del siglo XX a efectos de investigar las relaciones entre ciencia y sociedad. Por un lado, en un intento de reconciliar estas relaciones, se sugiere que debe haber un compromiso del científico en cuanto a divulgar sus resultados al público lego (Dewey, 1933). Por otro lado, la cultura científica se percibe contraria a la cultura literaria o humanista, cuando debería ser complementaria (Snow, 1959). Y a modo de crítica, el reproche de que la ciencia muestra una imagen de apertura cuando en realidad es dogmática (Latour, 1999).

En el ámbito académico, la concepción de la ciencia también experimenta un cambio sin precedentes. La idea que sostuvo el Círculo de Viena de que el progreso científico está sujeto a reglas matemáticas y lógicas bien aplicadas, pero completamente aislado del contexto social de los descubrimientos, se trunca con la publicación de *La estructura de las revoluciones científicas* (Kuhn, 1962), que ofrece en su lugar una visión consensualista de la ciencia en la que los científicos ejercen su labor en comunidades y muchas veces responden a intereses particulares —económicos, ideológicos, políticos...—. También desde el ámbito de la sociología de la ciencia surge la idea del *ethos* de la ciencia (Merton, 1957), es decir, de que hay ciertos valores o normas que rigen la conducta del científico cuando desarrolla su

actividad en comunidades y que están ligados a los valores e intereses de la sociedad, adscritos a la «institución científica». En este sentido la actividad científica se articula con la política y la economía.

Un fenómeno esencial que entra en juego en la discusión, es que las redes sociales de científicos empiezan a operar a nivel global, habiendo interacción entre investigadores de distintos países y creándose sociedades internacionales. Con la Segunda Guerra Mundial, y en particular con el Proyecto Manhattan, nace la llamada Big Science (Watson, 2002); una nueva forma de hacer ciencia mediante proyectos científicos a gran escala que, por sus altos presupuestos y su complejidad organizativa, dependen de las políticas científicas aplicadas por gobiernos e instituciones. Sin embargo, con la creación de la bomba atómica, junto a la concienciación climática, la ciencia sufre una crisis de legitimación ante el público que oscila entre la admiración y la desconfianza.

Posteriormente, se siguen pactando entre países otro tipo de proyectos faraónicos pero desvinculados de la naturaleza militar, como la carrera espacial o los aceleradores de partículas. En gran parte por los requisitos financieros de este tipo de proyectos, la configuración de las agendas de investigación recae principalmente en la clase política. Ante este panorama, se pone en tela de juicio la libertad académica y la independencia personal del investigador y surge la pregunta: ¿quién debe diseñar las agendas de investigación; los científicos o los políticos? Algunos pensadores reflexionan acerca de qué lugar ocupa la ciencia en la sociedad democrática y cuál debe ser su forma de proceder en un sistema democrático (Kitcher, 2001; Longino, 2001). Las tres comunidades potencialmente involucradas en deliberar sobre asuntos científicos son la científica, la política y la ciudadana. Por su parte, la idea de democratizar la ciencia puede entenderse en dos sentidos —que además se retroalimentan entre sí—: (1) democratizar la práctica científica; y (2) democratizar los conocimientos. Algunos expertos se preguntan así acerca de qué disputas requieren de un debate público y de búsqueda de consensos y en qué medida el público debería participar en la toma de decisiones, para lo que se han elaborado distintas propuestas teóricas, como las reuniones entre ciudadanos informados o los sondeos deliberativos.

En cualquier caso, tanto para abordar controversias públicas como, de forma más general, para trazar las agendas, desde los poderes públicos se mantiene que es deseable contar con agentes informados que puedan participar en los debates sobre ciencia y tecnología. Surge así una preocupación de base: la de mejorar el acceso a la información científica y disponer los conocimientos científicos de forma que sean comprensibles, fenómeno que pasa por filtrar la ciencia a la sociedad con las estrategias bien de la educación o bien de la comunicación, tanto para diseminar conocimientos, como para que la ciudadanía tenga constancia de en qué se invierte el dinero del contribuyente.

Más allá de la educación formal —que queda fuera de foco en la presente tesis—, la comunicación pública de la ciencia cumple una labor mediadora entre el mundo científico y el ciudadano no experto. A través de mecanismos como la divulgación de la ciencia y el periodismo científico, la ciudadanía puede, idealmente, cultivar una apreciación por la ciencia, aprender a contextualizarla y desarrollar un espíritu crítico —que, entre otras cosas, capacite para reconocer malas prácticas o pseudociencias de diversa índole—. Estos servirían para construir una imagen pública de la ciencia y de los científicos, así como a afianzar su legitimidad social, por ejemplo, con la finalidad de fomentar vocaciones entre los jóvenes o situar a un país en la vanguardia económica.

Existe un debate abierto acerca de cómo conservar la información veraz del discurso científico, sin caer en su trivialización, en el ejercicio de transmitirlo a la ciudadanía. En concreto, desde los estudios de comunicación se ha demandado que se deseche la idea de la vulgarización de conceptos como una traición a la ciencia y que la divulgación mediática sea a menudo denostada (Lafuente y Elena, 1995).

En otro orden de cosas, como se ha señalado a lo largo de esta tesis, el fenómeno más influyente en el ejercicio de la comunicación en las actuales sociedades tecnológicas es, sin duda, la eclosión de Internet, que facilita un acceso masivo e instantáneo a la información y al intercambio de ideas entre usuarios. Como consecuencia proliferan nuevos canales, formatos y agentes diversos, de manera que la información se descentraliza y el público se convierte en su propio prescriptor de contenidos, lo que requiere habitualmente un interés voluntario por acercarse a la ciencia, cuando no, conocimientos previos. Además, surgen acciones independientes de los medios de comunicación de masas para divulgar la ciencia llevadas a cabo por científicos o *amateurs* de la ciencia.

Una vez efectuado el ejercicio de reflexión apropiado sobre el carácter de la ciencia, su apropiación social y las pautas y tensiones derivadas de su comunicación, se ha abordado en el capítulo 2 la cuestión de cómo podemos hacer mediciones sobre el interés en ciencia, expectativas y actitudes hacia la misma, de la manera más fidedigna posible. Para ello, se han revisado los presupuestos teóricos de los estudios de percepción social de la ciencia, disciplina surgida a mediados del siglo XX, así como algunos de los estudios empíricos más relevantes. Como nota de interés, debe señalarse que dichos estudios fueron promovidos, en su mayor parte, desde el ámbito de las instituciones públicas debido a la necesidad de orientar políticas científicas en un entorno de producción tecnocientífica acelerada y con necesidades de financiación cada vez más cuantiosas. En particular, es posible identificar tres elementos que han sido objeto de estudio en los trabajos empíricos a lo largo de los años:

- Conocimiento, que a su vez se puede dividir en varios tipos: (i) enciclopédico: para conocer nombres, fechas, descubrimientos y definiciones, también conocido como conocimiento de libro de texto; (ii) metodológico: comprender las reglas y herramientas; (iii) institucional

(entendiendo el campo académico); y (iv) político y sistémico (entender las conexiones con otros campos y sistemas).

- Interés, que se mide prestando atención a los patrones de consumo de información científica y el tipo de fuentes que lo suscitan, así como el interés declarado y el modo en que se presenta la información.
- Actitudes, que incluyen expectativas, predisposición, sentido de la responsabilidad, posicionamiento sobre los efectos de la ciencia, conocer sus límites, tener percepción de riesgo o muestras de confianza.

En el ámbito teórico, la disciplina ha migrado desde su original referencia a la ignorancia del público —el llamado modelo del déficit— a una orientación hacia el fomento del diálogo, la discusión y el debate público. Este nuevo enfoque es fruto de la crisis de confianza mencionada más arriba, que se encuentra en ambas direcciones: de los individuos hacia las instituciones y viceversa. Se postula así un «modelo contextual» (Wynne, 1995) para el que el público no es un mero receptor de contenidos científicos, sino un agente activo. En concreto a partir del siglo XXI, la idea del *engagement*, fundamentada en los postulados de la democracia deliberativa y defendida como esencial para el empoderamiento ciudadano en cuestiones de ciencia, cobra protagonismo y se convierte en el pilar central de los esfuerzos de las instituciones, encomendadas a reconciliar una compleja relación entre el público y la ciencia que además contribuya a producir una ciencia más robusta al integrar la dimensión social.

En particular, con la investigación teórica de esta tesis se ha detectado que existen grandes dificultades en el campo de estudio de la percepción social de la ciencia, tanto a nivel teórico como empírico, que pueden resumirse en que: (1) no hay consenso teórico; (2) las encuestas continúan basándose en modelos deficitarios; (3) la interpretación de los resultados ha evolucionado poco y trata de generalidades; y (4) los esfuerzos dedicados no se ven suficientemente rentabilizados por los resultados obtenidos. Además, una de las ideas en la que se han apoyado tradicionalmente los organismos en el diseño de las encuestas y para implementar ciertas políticas, es la de que cuanto más sabes de ciencia, más te gusta —«*the more you know, the more you like it*»—; sin embargo, este eslogan no se ha visto corroborado por análisis posteriores (Pardo & Calvo, 2002).

Estas reflexiones dan paso a la parte empírica de la tesis, la contribución más original de la misma, cuya premisa de partida ha sido que la red social Twitter, entendida como un espacio de participación ciudadana, puede resultar útil para abordar cuestiones similares a las tratadas en las encuestas de percepción social de la ciencia.

Ya se ha señalado que, a lo largo de los dos primeros capítulos, se ha detectado la necesidad de ampliar la perspectiva en los estudios de percepción social de la ciencia al marco de la

cultura científica, puntualizándose además que la corriente actual en comunicación científica es la de involucrar al público en el diálogo. También se ha enfatizado que no deben ignorarse las manifestaciones públicas de opinión sobre cuestiones científicas (Holton, 2003), y en este sentido se ha señalado la urgencia de contar con una mejor comprensión de las relaciones entre ciencia y sociedad plasmadas en los nuevos entornos virtuales: las redes sociales digitales, que se utilizan tanto como medio para obtener información como para debatir sobre temas científicos de actualidad (Brossard y Scheufele, 2013); y en las que a veces el público interactúa directamente con los científicos. En este sentido, el análisis de los discursos sobre ciencia en redes sociales puede ser un complemento útil a las encuestas clásicas de percepción social (Hill, Dean, y Murphy, 2013; Li, 2019), en las que tradicionalmente se examina el «interés», «conocimiento» y «actitudes» de los ciudadanos hacia la ciencia.

Estos objetivos de investigación pueden redefinirse en el hábitat digital pensando en el potencial que ofrecen herramientas de análisis modernas, ya que los medios digitales brindan la posibilidad de investigar más a fondo los debates públicos en torno a temas científicos prestando atención a nuevas voces y contextos diversos (Shan et al., 2014) —por ejemplo, examinando el impacto del discurso de *influencers* de la ciencia—. Una de las formas de poner en práctica estas vías de estudio es haciendo uso de los grandes volúmenes de datos que algunas plataformas como Twitter ponen a disposición pública para el investigador que los requiera, aunque no exentas del debate ético acerca del uso de datos. En general, las redes sociales dejan un registro de actividad fácilmente accesible y susceptible de análisis, constituyendo un campo emergente para la investigación académica, facilitada por la creciente potencia de cálculo y de procesamiento de datos de los actuales ordenadores.

En concreto, se ha aducido en numerosas ocasiones que Twitter refleja activamente el tejido social (Harvey, 2014), por lo que presumiblemente constituye un medio adecuado para estudiar en mayor profundidad la interacción ciencia-público. El hecho de que Twitter introdujera la tendencia a informar en tiempo real le confiere especial atractivo, según algunos académicos, para la investigación en comunicación pública de la ciencia (Büchi, 2017) dado que el contenido que se genera a diario puede estar ligado a la actualidad científica (Brown, 2014). Debe puntualizarse que la idea de «público» como sujeto de la investigación en encuestas de percepción social se traslada a la de «usuario» en los análisis de redes sociales, donde se incorporan otros agentes además del público general, como los medios de comunicación, universidades e instituciones, divulgadores particulares o a los propios científicos; por lo que una herramienta de investigación basada en Twitter permitiría explorar, por ejemplo, el diálogo entre expertos y no expertos.

Debe aclararse, sin embargo, que este trabajo no pretende ignorar que Twitter es un espacio de información manipulado en el que el activismo científico no es necesariamente neutral, y que en este sentido la plataforma ha exhibido un uso masivo de técnicas de desinformación, acciones de grupos de presión diseñadas para influenciar intereses, actitudes, etc. Por ello,

debe precisarse la importante limitación de que Twitter no constituye un reflejo libre de influencias sobre las relaciones sociales y actitudes. Dado que los ámbitos científico, político y social están articulados conjuntamente, estas observaciones son particularmente pertinentes ya que muchos temas de tecnociencia presentan un carácter controvertido, por lo que, si bien quedan fuera del alcance de la presente investigación, deben considerarse en futuros trabajos.

Respecto al uso de Twitter, ya se ha resaltado en varias ocasiones que es a la vez red de información y red social (Myers et al., 2014). En este sentido, más allá del modelo unidireccional clásico, en esta plataforma la información se disemina en forma de conversaciones (Schmidt, 2014) y sus usuarios interactúan, crean redes y generan comunidad. En efecto, la investigación en Twitter ha revelado aspectos interesantes sobre el uso de la red y el desempeño de sus usuarios en la misma. Tras la revisión del capítulo 3, los más relevantes para la justificación y el diseño del presente proyecto se recogen en la Tabla 23. En especial, resulta crucial puntualizar que la difusión de los mensajes en Twitter no solo depende de la conexión entre agentes, sino que también se ve influenciada por los temas que se diseminan (De Choudhury et al., 2010). Este es el enfoque que se ha adoptado en esta investigación.

Respecto a las metodologías empleadas, al revisar la investigación académica que se realiza utilizando Twitter como objeto de investigación, destaca el hecho de que existe poco acuerdo sobre qué métodos son confiables y qué información puede revelarnos (Veltri y Atanasova, 2015), al no haberse desarrollado metodologías rigurosas que permitan análisis sistemáticos fiables (Kahle, Sharon y Baram-Tsabari, 2016). Son varias las técnicas para el análisis de redes sociales empleadas en el tratamiento de datos de Twitter —conjuntos de tuis—, como la minería de textos, paquetes para la limpieza de textos, el análisis de sentimientos y procesamiento del lenguaje natural, entre las más populares. No obstante, para el análisis del contenido de los *tweets*, además de estos métodos cuantitativos computacionales y automatizados —útiles para trabajar con grandes cantidades de datos— también se combinan, en diversas investigaciones, métodos cualitativos que permitan revelar aspectos sutiles de la información transmitida en los mensajes.

Investigación académica y Twitter

Se pueden recabar conjuntos de <i>tweets</i> mediante la búsqueda de palabras clave, incluyendo metadatos.
Datos del 2009 sugieren que el contenido de gran parte de los tuits es banal (41%), del tipo «I'm eating a sandwich» (Pear Analytics, 2009).
Los <i>tweets</i> admiten una representación semántica (Narr et al., 2011).
El contenido de los <i>tweets</i> se analiza mediante técnicas para el procesamiento del lenguaje natural —NLP, por sus siglas en inglés— (Silge y Robinson, 2016).

Contenido de los <i>tweets</i>	Los codificadores humanos pueden revelar información sutil de los mensajes en Twitter (Uren y Dadzie, 2015).
	Es común el empleo de listas finitas de palabras para identificar <i>tweets</i> con opinión (Zhao et al., 2011).
	Es común el «análisis de sentimientos» sobre el contenido de los <i>tweets</i> (Liu, 2011; 2012), que refleja las percepciones emocionales de los usuarios expresadas en lenguaje natural (Dehkharghani, 2014), —también a partir de listas predeterminadas de palabras (Dodds et al., 2011)—.
	Se ha detectado una correlación positiva modesta entre el número de <i>retweets</i> y la carga emocional presente en el contenido de enlaces web en los mensajes de Twitter (Veltri y Atanasova, 2015).
	Los mensajes emocionales en Twitter tienen una mayor tendencia a retuitearse (Stieglitz & Dang-Xuan, 2013; Veltri & Atanasova, 2015) y reflejan las percepciones emocionales de los usuarios expresadas en lenguaje natural (Dehkharghani, Mercan, Javeed, & Saygin, 2014), identificadas generalmente a partir de listas predeterminadas de palabras.
	A la hora de tuitear, los usuarios utilizan Twitter más para publicar de manera personal sobre sus actividades diarias que sobre publicaciones informativas —80% frente al 20%— (Naaman, Boase y Lai, 2010; Dann, 2010)
Redes de actores	Se pueden recabar cuentas de usuario mediante la búsqueda de perfiles, incluyendo metadatos asociados.
	Se realizan estudios sobre la influencia de los agentes en Twitter.
	Se han realizado diversos estudios para la categorización de los roles de usuario basados en sus intenciones comunicativas —por ejemplo en Java et al. (2007); Kolari et al. (2007); Cha et al. (2012)—.
	La clave en la propagación de los <i>tweets</i> reside más en el nivel de intermediación —que un usuario pertenezca a varias comunidades— y no tanto en poseer más conexiones dentro de un mismo grupo (Congosto, 2016).
	Es más probable que las organizaciones utilicen modelos de comunicación unidireccionales (Waters y Jamal, 2011) y no se envuelvan con frecuencia en conversaciones.
	Tener demasiados o muy pocos seguidores infunde menos confiabilidad, mientras que contar con un número de seguidores en una cuenta no muy alejado del número de seguidos es percibido como un usuario más creíble o competente (Westerman, Spence y Van-Der-Heide, 2012).
a la hora de seguir perfiles, se ha resaltado el uso de Twitter en función de necesidades de información específicas (Hughes y Palen, 2009)	

Tabla 23. Características relevantes para la presente tesis sobre la investigación académica que se realiza en Twitter.

De acuerdo con ello, la manera de abordar los estudios de actitudes y percepción social en Twitter en el presente trabajo ha sido a través del análisis del contenido de los *tweets*, los cuales además admiten una representación semántica (Narr et al., 2011). Una técnica apropiada que se ha utilizado es la del procesamiento del lenguaje natural (Silge y Robinson, 2016) involucrando a un codificador humano que supervise el proceso, consciente del

contexto conceptual del discurso que pretende investigarse. Por otro lado, los análisis estrictamente cuantitativos de las estadísticas asociadas a cada tuit —por ejemplo del número de *retweets*, que constituyen la manera típica en la que los mensajes se propagan entre comunidades (Grabowicz et al., 2012)— puede complementar esta información semántica e informar sobre el impacto del contenido, como se pretendía.

En concreto, ya se ha establecido desde la introducción que, para el presente trabajo, se escoge Twitter como escenario de la comunicación científica con la intención de proporcionar un método de análisis capaz de descubrir tendencias sobre qué formas de comunicar la ciencia son más efectivas, estudiando para ello el impacto de la información científica examinando qué características de los tuits con este tipo de contenido son más susceptibles de obtener likes y/o retuits. Antes de hacerlo, también ha sido necesario repasar distintos trabajos que se han desenvuelto con ese enfoque.

En consonancia con la investigación general en Twitter, los estudios académicos específicos sobre comunicación de la ciencia en esta red social también se llevan a cabo, a grandes rasgos, mediante dos aproximaciones: (1) estudios sobre los agentes más influyentes en materia de comunicación científica; e (2) investigaciones sobre temas científicos concretos para explorar la reacción del público, colocando el foco en el contenido de los tuits. En la Tabla 24, se recoge una muestra del tipo de resultados que se han obtenido en esta dirección. Si bien presentan un carácter anecdótico, constituyen un primer paso hacia el desarrollo de herramientas que proporcionen medidas más generales empleando volúmenes más grandes de datos, y han servido de inspiración para el diseño metodológico del presente proyecto de investigación.

Twitter como herramienta de comunicación científica	
Contenido de los tweets	Los estudios que han suscitado mayor atención académica son los relacionados con la percepción del riesgo de los ciudadanos, por ejemplo, los relativos a energía nuclear, el debate climático, etc.
	En estudios sobre el debate del cambio climático, el público manifiesta su opinión a través de Twitter, y en los discursos se rastrea preocupaciones sociales, tecnológicas y políticas (Pearce et al., 2014).
	También hay estudios sobre temas relacionados con la salud para entender la postura emocional del público (Becker et al., 2016).
	En cuanto a materias muy especializadas como la nanotecnología, el debate en Twitter no es conversacional sino que está dominado por unos pocos expertos (Veltri, 2013).
	Funcionan mejor los perfiles personales que los institucionales en términos de interacciones (Pérez-Rodríguez et al., 2018).
	A veces los estudios analizan la vertiente emocional en la respuesta de los usuarios.

Redes de actores	Los usuarios protagonistas de la comunicación científica pueden diferenciarse entre: comunicadores científicos (Ribas, 2012), ya sean profesionales o <i>amateurs</i> , instituciones —universidades, centros de investigación y otras organizaciones— (Kahle, Sharon y Baram-Tsabari, 2016); y científicos que tuitean sus hallazgos, a veces para obtener impacto entre la propia comunidad científica (Peters et al., 2014) o bien sobre la sociedad civil (Walter, Lörcher y Brüggemann, 2019).
	Los científicos interactúan más con otros científicos en Twitter (Walter, Lörcher y Brüggemann, 2019), pero consideran importante la comunicación de la ciencia a la sociedad y ajustan su vocabulario para ello (Walter, Lörcher y Brüggemann, 2019).
	Las métricas en Twitter se están investigando como potencial indicador de impacto de las publicaciones científicas (Priem, Groth y Taraborelli, 2012), concepto moderno de «altmetrics».
	Una vía de estudio a explorar, es la de poner el foco en divulgadores exitosos que gozan de gran influencia —como las <i>science stars</i> —, examinando las dinámicas de publicación y el impacto de su discurso.

Tabla 24. Rasgos de interés para la presente tesis sobre la investigación académica específica sobre comunicación científica que se realiza en Twitter.

Puede resumirse que las principales funciones de Twitter como herramienta de comunicación científica son las de: (1) informar al público interesado; (2) la consolidación y el desarrollo de comunidades; (3) dar cuenta de las interacciones entre periodistas, expertos y público; (4) incrementar el impacto de las publicaciones científicas; y (5) alinear ciencia y sociedad o bien enfrentarlas. Nótese que, dependiendo de los actores involucrados y sus objetivos aparentes, estas funciones se configuran de manera específica y empíricamente observable.

Así, existen diversos trabajos de carácter exploratorio sobre la comunicación de la ciencia en Twitter enfocados a ámbitos concretos —por ejemplo, los que han suscitado mayor atención académica son los relacionados con la percepción del riesgo de los ciudadanos, como los relativos al debate climático (Pearce et al., 2014)—. A estos estudios específicos pretenden sumarse los aportados en este proyecto de tesis —capítulo 4—, que son de naturaleza similar. Pero además, también se procura una herramienta eficaz para efectuar multitud de estudios futuros que sean fácilmente comparables entre sí —capítulo 3—.

En efecto, se ha diseñado un algoritmo —ver Anexo I— capaz de detectar tendencias de forma sistemática en los públicos de la ciencia, a través del análisis de los discursos disponibles en abierto sobre cuestiones científicas. La pregunta específica que ha guiado la construcción del programa es: ¿de qué tratan dichos discursos y cómo podemos cuantificarlos para revelar las características que generan una mayor difusión o circulación de la información? Para abordar este desafío, la herramienta es capaz de analizar grandes conjuntos de datos, y devuelve medidas del grado de interés, popularidad y polemicidad de la información liberada en Twitter a partir de conversaciones sobre ciencia, empleando conjuntos de tuits recabados de: (1) perfiles de usuarios que tratan cuestiones científicas —

incluyendo figuras mediáticas, divulgadores especializados y cuentas institucionales—; o bien de (2) discusiones descentralizadas sobre temas científicos de moda que hayan captado la atención mediática.

Con esta aproximación, se pretende corroborar la primera hipótesis H1 planteada al inicio de este documento, la más general:

H1: Investigar la respuesta del público a los debates sobre ciencia a través de redes sociales como Twitter revelará información más afinada acerca de las actitudes hacia la ciencia y de la imagen de los científicos que tiene la sociedad.

Esta hipótesis se ha resuelto parcialmente de forma favorable. Como se muestra en un listado de conclusiones específicas un poco más abajo, en el caso particular de Twitter las variables asociadas a los tuits revelan información clara sobre las actitudes del público hacia la ciencia, y con las estadísticas asociadas a los tuits es posible evaluar en qué grado el público exhibe una actitud de aprobación hacia la ciencia, e incluso permiten construir nuevos indicadores — como los propuestos de popularidad y polemicidad—. En lo que respecta a la imagen de los científicos, queda por descubrir una manera confiable de explotar los datos que pueda ser complementaria a las preguntas de las encuestas planteadas en esta dirección. Por el momento, se han detectado diferencias apreciables entre los perfiles estudiados de científicos y los de instituciones, no obstante es necesario encontrar una forma rigurosa de efectuar comparaciones.

A nivel práctico, el objetivo de la tesis era presentar las posibilidades que ofrece la herramienta metodológica construida para analizar conjuntos de tuits e informar sobre el impacto de los discursos que se generan en Twitter sobre temas científicos. En particular, una pregunta específica inspirada por los resultados de los sondeos clásicos y ya enunciada en la introducción, de la que debía dar cuenta el programa, era la siguiente: ¿qué despierta el interés en la ciencia, los propios avances y descubrimientos científicos o bien los aspectos ligados a la vida diaria de los seres humanos, como factores culturales, políticos e incluso emocionales? De hecho, estas ideas también se volcaron en forma de las hipótesis H2 y H3:

H2: Las manifestaciones públicas de interés en Twitter sobre cuestiones científicas se producen mayormente cuando estas van asociadas a otros factores como los culturales o los socio-políticos, no tanto a inquietudes por adquirir conocimiento científico neutro.

Si bien se trata de una hipótesis que requiere de un conocimiento profundo del contexto —es difícil evaluar si el público exhibe una predilección real por la ciencia—, el proyecto de investigación presentado en esta tesis ha obtenido interesantes resultados, en forma de tendencias entre los usuarios receptores, que allanan el camino en la dirección deseada. De nuevo, abajo se listan una serie de conclusiones específicas de los casos estudiados —

capítulo 4— que abordan apropiadamente lo planteado en H2, y revelan de forma preliminar que la ciencia gana aprobación entre los usuarios cuando la información científica neutra se plantea combinada con otros tipos de información.

Por su parte, si bien se procura asimismo descubrir tendencias sobre qué formas de comunicar la ciencia son más efectivas considerando, en concreto, la vertiente emocional, a este respecto se ha enunciado la tercera hipótesis H3 del proyecto de investigación cono sigue:

H3: Las estrategias de comunicación de la ciencia en Twitter que incluyen un discurso personal con cierta carga de opinión y emocional, tienen un impacto sensiblemente superior.

Esta hipótesis es quizá la que se ha podido responder con mayor rotundidad. Tal y como se lista más abajo, en las conclusiones específicas, hay casos en los que el impacto de la comunicación con carga emocional es aplastante, siendo además siempre positivo para la totalidad de los casos. Estos resultados coinciden con los estudios revisados dedicados a entender la postura emocional del público en Twitter (Becker et al., 2016)—. Ya en otros contextos, se había sugerido la idea de que una comunicación de la ciencia para la que se construye un discurso emocional, despierta una vinculación especial con el público (Kaiser et al., 2014), y en particular en este trabajo, medir la carga emocional del discurso ha revelado un efecto claro entre el público receptor de los tuits.

En concreto, para averiguar el grado de interés que suscitan los contenidos científicos se ha planteado una clasificación de los términos empleados en los discursos a estudiar por categorías, siendo estas: «ciencia», «cultura», «político-social», «creencias», «medios» y «emocional». Esta categorización ha resultado sencilla gracias al diseño del algoritmo, el cual dispone las palabras en orden de relevancia en una lista fácilmente manipulable. Por otro lado, el algoritmo también devuelve dos archivos con nodos y aristas dispuestos para su representación visual en forma de red semántica —por ejemplo, mediante el software *Gephi*—, que también ha permitido responder a las hipótesis planteadas.

A partir de los resultados que proporciona el programa desarrollado, se han podido realizar múltiples apreciaciones sobre las relaciones entre las métricas propuestas y el contenido de los tuits. En particular, ha sido posible visualizar el peso de cada categoría en el discurso estudiado en comparación con las demás, así como observar si los conceptos científicos presentes en la muestra de datos son centrales en el discurso o bien periféricos. A continuación se listan las conclusiones, por un lado, las relativas a las características técnicas de la herramienta, y por el otro, las primeras tendencias observadas respecto a la comunicación de la ciencia en los doce casos estudiados.

Rasgos técnicos

Una vez establecido el método de análisis e implementado dentro del programa informático, desde el punto de vista técnico puede concluirse respecto a la herramienta creada que:

- Cada tuit es un amalgama compuesto por distintos términos, y cada término, a su vez, puede clasificarse por categorías de forma sencilla. Se ha mostrado que las seis categorías creadas arrojan diferencias de impacto significativas entre sí.
- Los coeficientes propuestos de popularidad y polemicidad, que se basan en los *retweets* y los *likes* acumulados por los términos del discurso y en última instancia por las categorías, tienen un valor comparativo útil, en especial cuando se investigan casos específicos. Mientras que la idea de la polemicidad estriba en investigar qué temas generan más debate o controversia, la popularidad es una medida de la atención que reciben, ya sea positiva o negativa.
- Los archivos creados por el algoritmo para representar las redes semánticas con los conceptos del discurso en términos de co-ocurrencias en el tuit se generan de forma eficiente, lo que permite explorar cómo se combinan los distintos tipos de información. Para cada uno de los discursos estudiados, la red semántica debe representarse conservando la misma topología al mostrar la acumulación de *likes*, *retweets* u otras variables —es decir, que los nodos mantengan su posición en la red para que sea posible la comparabilidad—, lo que permite evaluar el peso relativo de las distintas categorías en los discursos.
- Si existe una preferencia en los usuarios receptores que suscita el *retweet* y/o el *like* sobre determinados emparejamientos entre términos científicos y de otra índole, deben investigarse las causas y mirar de cerca la redes conceptuales, dado que por ahora el programa informático no revela por qué ciertas combinaciones generan más actividad de *likes* y *retweets*.
- En los análisis no se ofrecen medidas absolutas que evalúen las categorías por separado como sucedía en algunas encuestas de percepción social de la ciencia, sino que se estudian términos con distintos pesos en la muestra total. En este sentido, aseverar de forma genérica que la ciencia interesa poco puede ser atrevido, aunque la herramienta sí permite valorar la contribución de cada categoría y en ese ejercicio todo apunta a que los términos científicos neutros no despiertan interés especial entre el público generalista, sino al contrario.
- La lista de palabras clasificadas es acumulativa, lo que facilita el análisis al investigador interesado e incrementa considerablemente la eficiencia de los estudios cuando se trabaja sobre un ámbito de la ciencia en concreto —en el presente proyecto, a modo de ejemplo se ha tomado en campo de la exploración espacial—. Así, esta lista de palabras categorizadas

siempre crecerá en tamaño y facilitará análisis posteriores aplicados a nuevos conjuntos de *tweets*, para los que gran parte del trabajo ya estará hecho —a falta de clasificar unas cuantas palabras más: las más relevantes en el nuevo discurso a estudiar—. Este mecanismo proporciona análisis cada vez más afinados de los discursos de ciencia, fácilmente reproducibles por otros investigadores y que supongan un bajo coste en cuanto a recursos intelectuales y económicos, como complemento o alternativa a las encuestas a la población, que requieren grandes despliegues y sustanciosa financiación.

Tendencias detectadas en la comunicación de la ciencia

Los doce estudios de caso escogidos en el capítulo 4 constituyen ejemplos para ilustrar las posibilidades de la herramienta. No obstante, si bien el método de análisis es la contribución principal de la presente tesis, los resultados obtenidos al aplicarse a varios ejemplos relevantes parece que exhiben propiedades muy interesantes para examinar en trabajos futuros —se han utilizado distintos tipos de perfiles así como noticias de ciencia que han despertado atención mediática—. En particular, los discursos estudiados parecen revelar dos tendencias:

- (1) Las palabras relacionadas con la ciencia no suelen despertar un interés especial. En los casos de carácter más mediático —Tyson, Musk, Aldrin, WoW! y Oumuamua—, que cuentan con un público receptor generalista, el interés detectado es bajo. En el resto de casos —instituciones y perfiles de científicos que divulgan de manera más especializada—, el interés de los usuarios por los términos científicos exhibe una ligera tendencia negativa pero en general es regular, presumiblemente tratándose un público previamente interesado —«público atento»—.
- (2) El impacto de una comunicación emocional tiene claros efectos en el receptor, ya sea sobre cuestiones de ciencia o no¹. En cualquier caso, las redes semánticas muestran que los emparejamientos entre términos con carga emocional y conceptos científicos tienen un impacto positivo en el receptor —lo que no implica necesariamente la aprobación del contenido del tuit por parte del usuario—.

A continuación se listan las conclusiones específicas de los casos estudiados:

- En los discursos sobre ciencia en Twitter, hay una presencia mayoritaria de conceptos pertenecientes a la categoría «ciencia», sin embargo, estos términos científicos neutros no tienen un impacto especial entre los usuarios receptores de los tuits. La presencia de este tipo de conceptos en los discursos de figuras mediáticas y de divulgadores especializados

¹ ¿Se trata de una característica común en el usuario receptor medio de Twitter? En ocasiones se ha sugerido que los tuits con elevada carga de opinión y, en particular, los que exhiben posturas polarizadas obtienen más visibilidad en esta red social. Si en el caso del discurso científico este fenómeno se debe a una cuestión de empatía, de escarnio o de cualquier otro motivo, son interpretaciones que no pueden apoyarse con el presente diseño experimental. Esto indica una vía de investigación.

suele rondar en torno al 50% de los términos categorizados, mientras que en el caso de las instituciones se dispara, con una incidencia de cerca de 2/3, siendo la frecuencia de uso de términos que no hacen alusión a la ciencia en ambos perfiles baja —NASA y ESA—. En el caso de los eventos mediáticos estudiados —Oumuamua y WoW!—, el porcentaje también es más elevado, lo que parece razonable dado que se divulgan conceptos centrales relativos noticias científicas específicas que adquieren popularidad en determinado momento.

- En cuanto al impacto, incluyendo la reacción y las preferencias del público, una interpretación que parece plausible es que los seguidores de los perfiles institucionales y de los perfiles más especializados suelen ser personas previamente interesadas en la ciencia, el «público atento» acuñado por Jon Miller —capítulo 2—. En concreto, la ciencia tiene un impacto proporcional a la cantidad de información de contenido científico liberada por estos perfiles. En los otros casos, como por ejemplo el de la señal WoW!, el análisis muestra una presencia inicial de más del 70 % de términos científicos pero que resulta en una acumulación tanto de *retweets* como de *likes* de cerca del 25%, en consonancia con los casos anteriores para los que se ha interpretado que contaban con un público menos especializado.
- Aunque el discurso predominante de los ejemplos estudiados se compone de palabras asociadas a contenido científico, son los conceptos que tienen carga emocional los que reciben mayor atención por parte del usuario receptor, generando un impacto positivo en todos los casos estudiados, tanto en términos de *retweets* como de *likes*. En particular, para los casos de figuras mediáticas como Tyson y Musk y de las noticias en medios de comunicación de masas WoW! y Oumuamua, dicho impacto es muy elevado. En cambio, para los ejemplos de comunicación científica más especializada, si bien la comunicación con carga emocional sigue presentando un impacto positivo, este es mucho más moderado.
- Respecto al último punto, puede sugerirse que quizá en ese caso el seguidor medio no sea tan impresionable y presente un carácter más cauteloso, particularmente común en las personas instruidas en ciencia. Si se admite esta interpretación, parece razonable pensar que ese «público atento» no solo se interesa por la ciencia, sino que de alguna forma tiene integrados otros aspectos de la misma como los relativos a la «actitud científica» de John Dewey —capítulo 1— que contempla la comprensión de la metodología de la ciencia
- En cualquier caso, la tendencia general sigue siendo la de un impacto positivo para la comunicación emocional dentro del propio discurso científico, por lo que una estrategia para la difusión de la ciencia es comunicarla de forma personal, acompañada de valoraciones u opiniones, muestras de entusiasmo o de desaprobación. Para profundizar en este aspecto, debe antes determinarse si la polarización de opiniones es o no la principal responsable de la magnitud del impacto en Twitter.

- En concreto, la categoría de medios de comunicación es la que ofrece el resultado más débil en cuanto al interés que suscita, presentando tasas de popularidad bajas, excepto en el caso específico de Elon Musk, quizá por su carácter controvertido como figura pública mediática. Como inclinación general, no obstante, la categoría de medios pierde protagonismo frente al resto; la socio-política sería la que produciría un impacto más variable, seguida de la cultural. Estos aspectos quedan abiertos a interpretación y a perfeccionar el diseño del método de análisis en el futuro.
- Los coeficientes de popularidad y polemicidad varían entre los distintos discursos estudiados y los distintos perfiles, por lo que presuntamente puede que no relevan tendencias generales, aunque para casos particulares, sin embargo, sí pueden revestir interés —por ejemplo, Tyson habla mucho de cuestiones climáticas, que despiertan controversia—. En los perfiles institucionales, por otra parte, no destaca el contenido polémico para ninguna categoría en especial, un rasgo que puede indicar que la herramienta está bien diseñada, dado que este fenómeno reflejaría los protocolos de comunicación de las organizaciones.
- La categoría «creencias» presenta por lo general un carácter controvertido, presumiblemente debido a su naturaleza sensible. Son temas que no abundan en los discursos estudiados pero que por regla general gozan de gran impacto en las muestras analizadas. En el caso particular de los perfiles institucionales estudiados, no hay contribución de términos de esta categoría. Si bien este fenómeno puede parecer trivial, de nuevo conviene incidir en que se trata de un resultado coherente con las prácticas de comunicación institucional, por lo que la propuesta metodológica vertebrada en el presente proyecto de investigación gana credibilidad.
- No debe olvidarse que no se estudia el impacto de las categorías de forma absoluta, sino que en los tuits co-ocurren palabras pertenecientes a distintas categorías, por lo que ciertas combinaciones suscitan más interés que otras, como los emparejamientos de conceptos científicos con términos con carga emocional, una cuestión evidenciada mediante la red semántica.
- Los conceptos periféricos a la discusión científica, es decir, aquellos que tratan cuestiones adyacentes al debate de los discursos estudiados, presentan mayor interés que los centrales, siendo además mayoritariamente no científicos; aunque existen temas científicos puntuales que suscitan mayor atención, sin ser los habituales en el discurso de estas cuentas de usuario. En los ejemplos de noticias que han presentado un pico mediático, la red semántica está visiblemente más centralizada, al observarse mayor cohesión entre los nodos centrales; siendo la interpretación de esto último la idea de que se divulgan los conceptos centrales relativos a los titulares de la noticia en cuestión.

- Cuando se ha aplicado el algoritmo a una de las noticias, Oumuamua, en distintos momentos del tiempo en los que ha despertado la atención mediática, en concreto con una separación de un año, los resultados han sido sorprendentemente similares, lo que sugiere que es posible rastrear patrones en las actitudes del público hacia la ciencia a través de herramientas como la propuesta en este trabajo.

Con todo, resulta especialmente llamativa la ratificación con datos empíricos del efecto de la comunicación emocional en el discurso científico, en este caso en el ecosistema Twitter. Además, la categoría compuesta por palabras con carga emocional produce un impacto elevado, en particular, entre el público generalista, no tanto entre el público atento. En general, dentro del propio discurso científico, los términos relacionados con la ciencia suscitan por sí mismos menor impacto —acumulan menos *retweets* y *likes*—. Quizá no es tanto que la ciencia interesa menos, sino más bien que la comunicación emocional causa mayor impacto, sea sobre cuestiones científicas o no.

Potencialidad de la herramienta

En el presente proyecto de investigación se han estudiado varios ejemplos de distinta naturaleza para probar cómo se aplica la herramienta desarrollada y qué resultados potenciales se pueden obtener, o al menos qué vías de investigación es razonable explorar. Si bien no se trata de un estudio enfocado de forma precisa sobre los casos de estudio analizados, sí se han detectado una serie de facetas en la comunicación de la ciencia que dan cuenta de la potencialidad de la herramienta —aunque la misma puede aplicarse a la investigación en otros campos del conocimiento—.

Tras los doce estudios de caso efectuados en el capítulo 4 y las conclusiones enunciadas arriba, se ha visto que el método propuesto en 3.3. parece apropiado. Además, esta serie de estudios ha revelado, como decía, tendencias muy relevantes a efectos prácticos de esta tesis que evidencian el potencial del algoritmo, por ejemplo, para proporcionar valoraciones periódicas comparables y beneficiar a las administraciones en la elaboración de planes concretos de divulgación científica así como acciones similares. Otra vía a explorar es la de intentar determinar si la creciente interacción de los científicos en las redes sociales es útil para los propósitos del progreso de la ciencia y para su comprensión pública.

Naturalmente, las características que se han encontrado en los casos escogidos para el análisis requieren ser analizadas a gran escala, con conjuntos de datos masivos y en diferentes ámbitos de la ciencia, para comprobar si las tendencias identificadas pueden extrapolarse a un marco más general o bien para averiguar si se cumplen para ámbitos específicos de la ciencia o perfiles con propiedades particulares —un aspecto que ya ha tratado de abordarse de forma preliminar—. En cualquier caso, también debe profundizarse en la determinación del carácter de las audiencias — público atento, público general, otros subconjuntos...—, dado que el tipo de audiencia parece ser muy relevante a la hora de

diseñar las estrategias de comunicación, una tarea para la que la herramienta propuesta en la presente tesis puede ser de suma utilidad en la construcción del discurso en la actividad de difundir la ciencia a la sociedad.

En síntesis, pueden extraerse dos acciones de investigación para desarrollar en un futuro inmediato: (1) realizar un estudio aplicando este método sobre un volumen elevado de perfiles o sobre conversaciones relacionadas con la ciencia extrayendo un conjunto masivo de datos; y (2) utilizar la herramienta para tratar de mejorar las estrategias de comunicación de determinadas instituciones o de comunicadores que lo requieran.

Por último, solo queda concluir que la herramienta diseñada parece prometedora para la investigación futura, un resultado excitante a efectos prácticos de esta tesis, cuyo cometido era buscar formas de complementar los estudios de percepción social de la ciencia.

CONCLUSIONS

Citizens have witnessed, throughout the last two centuries, the accelerated growth of the techno-scientific system, the result of technological changes that powerfully modify their world; with inventions such as the compass, the printing press, the telescope or, later, the steam engine, the automobile and so many others. In particular, the success of the scientific enterprise has been gaining the confidence of a public that generally does not understand the theoretical assumptions behind its achievements, but enjoys the increasingly abundant goods and services provided by its advances.

However, as the intellectual products of science become more and more abstract, the gap between scientists and the public widens (for example, with the developments in quantum mechanics in the early 20th century) and confidence in science gradually weakens. The public's view is shifting from a science of certainties practiced by the elites to a science plagued by uncertainty practiced by scientists who are abstracted from the world, especially since the advent of the atomic age at the end of World War II, which gave rise to a public opinion that was aware of the dual nature of scientific knowledge, which could be both a source of well-being and a generator of unprecedented dangers (Pardo, 2014).

Thus, a series of core considerations emerge throughout the 20th century for the purpose of investigating the relations between science and society. On the one hand, in an attempt to reconcile these relationships, it is suggested that there should be a commitment by the scientist to disseminate his or her results to the lay public (Dewey, 1933). On the other hand, scientific culture is perceived as contrary to literary or humanist culture, when it should be complementary (Snow, 1959). And by way of criticism, the reproach that science shows an image of openness when in fact it is dogmatic (Latour, 1999).

In the academic sphere, the conception of science is also undergoing an unprecedented change. The idea held by the Vienna Circle that scientific progress is subject to well applied mathematical and logical rules, but completely isolated from the social context of discoveries, is truncated with the publication of *The Structure of Scientific Revolutions* (Kuhn, 1962), which offers instead a consensualist vision of science in which scientists work in communities and often respond to particular interests; economic, ideological or political. Also from the field of the sociology of science arises the idea of the *ethos* of science (Merton, 1957), that is, that there are certain values or norms that govern the conduct of the scientist when he/she carries out his/her activity in communities and that are linked to the values and interests of society, ascribed to the «scientific institution». In this sense, scientific activity is articulated with politics and economy.

An essential phenomenon that comes into play in the discussion is that the social networks of scientists are beginning to operate at a global level, with interaction between researchers from different countries and the creation of international societies. With the Second World War, and in particular with the Manhattan Project, so-called Big Science was born (Watson, 2002); a new way of doing science through large-scale scientific projects that, due to their high budgets and organizational complexity, depend on the scientific policies applied by governments and institutions. However, with the creation of the atomic bomb, together with climate awareness, science suffers a crisis of legitimacy in the eyes of the public that oscillates between admiration and mistrust.

Subsequently, other types of pharaonic projects continue to be agreed upon between countries, but they are not linked to military nature, such as the space race or particle accelerators. Largely because of the financial requirements of this type of project, the configuration of research agendas falls mainly on the political class. Against this background, the academic freedom and personal independence of the researcher is questioned and the question arises: who should design the research agenda; the scientists or the politicians? Some thinkers reflect on the place of science in a democratic society and how it should proceed in a democratic system (Kitcher, 2001; Longino, 2001). The three communities potentially involved in deliberating scientific issues are the scientific, the political and the citizen communities. The idea of democratizing science can be understood in two ways, which also feed into each other: (1) democratizing scientific practice; and (2) democratizing knowledge. Some experts thus wonder about which disputes require public debate and consensus-building and to what extent the public should participate in decision-making, for which various theoretical proposals have been developed, such as meetings between informed citizens or deliberative polls.

In any case, both to address public controversies and, more generally, to set agendas, the public authorities maintain that it is desirable to have informed agents who can participate in the debates on science and technology. This gives rise to a basic concern: that of improving access to scientific information and making scientific knowledge available in a comprehensible form, a phenomenon that involves filtering science to society through strategies of either education or communication, both to disseminate knowledge and to ensure that the public is aware of what the taxpayer's money is being invested in.

Beyond formal education, which is beyond the scope of this thesis, public communication of science fulfills a mediating task between the scientific world and the non-expert citizen. Through mechanisms such as science popularization and science journalism, citizens can ideally cultivate an appreciation of science, learn to contextualize it and develop a critical spirit; which, among other things, enables them to recognize bad science practices or pseudosciences of all kinds. They would serve to build a public image of science and

scientists, as well as to strengthen their social legitimacy, for example, in order to foster vocations among young people or to place a country in the economic vanguard.

There is an open debate about how to preserve the truthfulness of scientific discourse, without falling into its trivialization, in the exercise of transmitting science to the citizenship. Specifically, communication studies have demanded that the idea of the vulgarization of concepts as a betrayal to science must be discarded and that media dissemination be often denigrated, because paradoxically it fulfils a propagandistic function (Lafuente and Elena, 1995).

On another front, as has been pointed out throughout this thesis, the most influential phenomenon in the exercise of communication in today's technological societies is undoubtedly the emergence of the Internet, which facilitates massive and instantaneous access to information and the exchange of ideas among users. As a consequence, new channels, formats and diverse agents proliferate, so that information is decentralized and the public becomes its own content administrator. Indeed, there is an emergence of actions independent of the mass media to disseminate science carried out by scientists or science amateurs.

Once the appropriate exercise of reflection on the nature of science, its social appropriation and the patterns and tensions derived from its communication has been carried out, the question of how we can measure interest in science, expectations and attitudes towards it, in the most reliable way, has been addressed in Chapter 2. To this end, we have reviewed the theoretical assumptions of studies on the social perception of science, a discipline that emerged in the mid-20th century, as well as some of the most relevant empirical studies. As a note of interest, it should be pointed out that these studies were promoted, for the most part, from the sphere of public institutions due to the need to guide scientific policies in an environment of accelerated techno-scientific production and with increasingly large funding needs. In particular, it is possible to identify three elements that have been studied in empirical works over the years:

- Knowledge, which in turn can be divided into several types: (i) encyclopedic: to know names, dates, discoveries and definitions, also known as textbook knowledge; (ii) methodological: to understand the rules and tools; (iii) institutional (understanding the academic field); and (iv) political and systemic (understanding connections with other fields and systems).
- Interest, which is measured by paying attention to the patterns of consumption of scientific information and the type of sources that generate it, as well as the declared interest and the way in which the information is presented.

- Attitudes, which include expectations, predisposition, sense of responsibility, positioning on the effects of science, knowing your limits, having a perception of risk or showing confidence.

At the theoretical level, the discipline has migrated from its original reference to public ignorance (the so-called deficit model) to an orientation towards fostering dialogue, discussion and public debate. This new approach is the result of the crisis of confidence mentioned above, which is found in both directions: from individuals to institutions and vice versa. A «contextual model» (Wynne, 1995) is thus postulated for which the public is not merely a recipient of scientific content, but an active agent. In particular, from the 21st century onwards, the idea of engagement, based on the postulates of deliberative democracy and defended as essential for the empowerment of citizens in matters of science, takes on a central role and becomes the central pillar of the efforts of institutions, which are entrusted with reconciling a complex relationship between the public and science that also contributes to producing a more robust science by integrating the social dimension.

In particular, with the theoretical investigation of this thesis, it has been detected that there are great difficulties in the field of study of the social perception of science, both at the theoretical and empirical levels, which can be summarized as follows (1) there is no theoretical consensus; (2) the surveys continue to be based on deficit models; (3) the interpretation of the results has evolved little and deals with generalities; and (4) the efforts made are not sufficiently profitable due to the results obtained. Furthermore, one of the ideas on which agencies have traditionally relied when designing surveys and implementing certain policies is that the more you know about science, the more you like it; however, this slogan has not been corroborated by subsequent analysis (Pardo & Calvo, 2002).

These reflections give way to the empirical part of the thesis, its most original contribution, whose starting premise has been that the social network Twitter, understood as a space for citizen participation, can be useful for addressing issues similar to those dealt with in surveys on the social perception of science.

It has already been pointed out that, throughout the first two chapters, the need to broaden the perspective in studies of the social perception of science to the framework of scientific culture has been detected, and it has also been pointed out that the current trend in scientific communication is to involve the public in dialogue. It has also been emphasized that public manifestations of opinion on scientific issues should not be ignored (Holton, 2003), and in this sense the urgency of having a better understanding of the relations between science and society embodied in the new virtual environments has been pointed out: the digital social networks, which are used both as a means to obtain information and to debate current scientific issues (Brossard and Scheufele, 2013); and in which the public sometimes interacts directly with scientists. In this sense, the analysis of science discourses on social networks can

be a useful complement to the classic social perception surveys (Hill, Dean, and Murphy, 2013; Li, 2019), which traditionally examine citizens' «interest», «knowledge» and «attitudes» towards science.

These research objectives can be redefined in the digital habitat by thinking about the potential offered by modern analytical tools, as digital media provide the possibility to further investigate public debates on scientific issues by paying attention to new voices and diverse contexts (Shan et al., 2014); for example, by examining the impact of the discourse of «science influencers». One of the ways to implement these avenues of study is by making use of the large volumes of data that some platforms such as Twitter make publicly available to the researcher who requires it, although not exempt from the ethical debate about the use of data. In general, social networks leave a record of activity that is easily accessible and susceptible to analysis, constituting an emerging field for academic research, facilitated by the growing computing and data processing power of today's computers.

Specifically, it has been argued on numerous occasions that Twitter actively reflects the social fabric (Harvey, 2014), and therefore presumably constitutes an appropriate means for studying the science-public interaction in greater depth. The fact that Twitter introduced the tendency to inform in real time makes it particularly attractive, according to some academics, for research in public communication of science (Büchi, 2017) since the content that is generated daily can be linked to scientific news (Brown, 2014). It should be pointed out that the idea of the «public» as the subject of research in social perception surveys is transferred to that of the «user» in social network analyses, where other agents besides the general public are incorporated, such as the media, universities and institutions, private disseminators or scientists themselves; therefore, a research tool based on Twitter would make it possible to explore, for example, the dialogue between experts and non-experts.

It should be clarified, however, that this work does not intend to ignore that Twitter is a manipulated information space in which scientific activism is not necessarily neutral, and that in this sense the platform has exhibited a massive use of disinformation techniques, lobbying actions designed to influence interests, attitudes, etc. Therefore, the important limitation that Twitter does not constitute a free reflection of influences on social relations and attitudes must be pointed out. As the scientific, political and social fields are articulated together, these observations are particularly relevant as many techno-science issues are of a controversial nature, and therefore, although they are beyond the scope of this research, they should be considered in future work.

Regarding the use of Twitter, it has already been highlighted on several occasions that it is both an information network and a social network (Myers et al., 2014). In this sense, beyond the classic one-way model, on this platform information is disseminated in the form of conversations (Schmidt, 2014) and its users interact, create networks and generate

community. Indeed, research on Twitter has revealed interesting aspects about the use of the network and the performance of its users on it. After reviewing chapter 3, the most relevant ones for the justification and design of this project are shown in Table 23. In particular, it is crucial to point out that the dissemination of messages on Twitter not only depends on the connection between agents, but is also influenced by the topics that are disseminated (De Choudhury et al., 2010). This is the approach taken in this research.

Academic research and Twitter	
	Sets of tweets can be collected by searching for keywords, including metadata.
	Data from 2009 suggest that the content of most tweets is banal (41%), of the type «I'm eating a sandwich» (Pear Analytics, 2009).
	Tweets support a semantic representation (Narr et al., 2011).
	The content of the tweets is analyzed using natural language processing (NLP) techniques (Silge and Robinson, 2016).
	Human encoders can reveal subtle information from tweets (Uren and Dadzie, 2015).
	The use of finite word lists to identify opinionated tweets is common (Zhao et al., 2011).
Content of tweets	«Sentiment analysis» of tweet content is common (Liu, 2011; 2012), reflecting users' emotional perceptions expressed in natural language (Dehkharghani, 2014), also based on predetermined word lists (Dodds et al., 2011).
	A modest positive correlation has been detected between the number of retweets and the emotional charge present in the content of web links in Twitter messages (Veltri and Atanasova, 2015).
	Emotional messages on Twitter have a higher tendency to retweet (Stieglitz & Dang-Xuan, 2013; Veltri & Atanasova, 2015) and reflect users' emotional perceptions expressed in natural language (Dehkharghani, Mercan, Javeed, & Saygin, 2014), usually identified from predetermined word lists.
	When tweeting, users use Twitter more to personally post about their daily activities than they do about informational posts —80% versus 20%— (Naaman, Boase & Lai, 2010; Dann, 2010).
	User accounts can be collected by searching for profiles, including associated metadata.
	Studies are conducted on the influence of agents on Twitter.
	Several studies have been conducted for the categorization of user roles based on their communication intentions—for example in Java et al. (2007); Kolari et al. (2007); Cha et al. (2012)-.
Actor networks	The key to the spread of tweets lies more at the level of intermediation- that a user belongs to several communities- rather than having more connections within the same group (Congosto, 2016).
	Organizations are more likely to use one-way communication models (Waters and Jamal, 2011) and not engage in frequent conversations.

Having too many or too few followers instills less reliability, while having a number of followers in an account not far removed from the number of followers is perceived as a more credible or competent user (Westerman, Spence and Van-Der-Heide, 2012).

When it comes to following profiles, the use of Twitter has been highlighted according to specific information needs (Hughes and Palen, 2009)

Table 23: Relevant characteristics for the present thesis on academic research carried out on Twitter.

With regard to the methodologies used, when reviewing the academic research that is carried out using Twitter as a research object, it is worth noting that there is little agreement on which methods are reliable and which information can be revealed to us (Veltri and Atanasova, 2015), as no rigorous methodologies have been developed to allow for reliable systematic analysis (Kahle, Sharon and Baram-Tsabari, 2016). There are several techniques for the analysis of social networks used in the processing of Twitter (data sets of tweets), such as text mining, text cleaning packages, sentiment analysis and natural language processing, among the most popular. However, for the analysis of the content of tweets, in addition to these computational and automated quantitative methods (useful for working with large amounts of data), qualitative methods are also combined in various investigations to reveal subtle aspects of the information transmitted in the messages.

According to this, the way to approach the studies of attitudes and social perception in Twitter in this work has been through the analysis of the content of tweets, which also admit a semantic representation (Narr et al., 2011). An appropriate technique that has been used is that of natural language processing (Silge and Robinson, 2016) involving a human coder who supervises the process, aware of the conceptual context of the discourse being investigated. On the other hand, strictly quantitative analyses of the statistics associated to each tweet, for example the number of retweets, which constitute the typical way in which messages are propagated among communities (Grabowicz et al., 2012), can complement this semantic information and allow the evaluation of the impact of the content, as intended.

In particular, it has already been established from the introduction that, for the present work, Twitter is chosen as the scenario for scientific communication with the intention of providing a method of analysis capable of discovering trends in what forms of communicating science are most effective, studying the impact of scientific information by examining what characteristics of tweets with this type of content are most likely to obtain likes and retweets. Before doing so, it has also been necessary to review different works that have been carried out with this approach.

In line with general research on Twitter, specific academic studies on science communication on this social network are also carried out, broadly speaking, through two approaches: (1) studies on the most influential actors in science communication; and (2) research on specific

science topics to assess impact and public reaction, focusing on the content of the tweets. A sample of the type of results obtained in this direction is shown in Table 24. Although they are of an anecdotal nature, they are a first step towards the development of tools that provide more general measures using larger volumes of data, and have served as inspiration for the methodological design of this research project.

Twitter as a tool for science communication	
Content of tweets	The studies that have attracted the most academic attention are those related to the public's perception of risk, for example, those related to nuclear energy, the climate debate, etc.
	In studies on the climate change debate, the public expresses its opinion through Twitter, and social, technological and political concerns are tracked in the speeches (Pearce et al., 2014).
	There are also studies on health-related issues to understand the public's emotional stance (Becker et al., 2016).
	As for highly specialized subjects such as nanotechnology, the debate on Twitter is not conversational but is dominated by a few experts (Veltri, 2013).
	Personal profiles work better than institutional ones in terms of interactions (Pérez-Rodríguez et al., 2018).
	Sometimes studies analyze the emotional side of user response.
Actor networks	The main users of scientific communication can differentiate between science communicators (Ribas, 2012), whether professional or amateur, institutions; universities, research centres and other organisations (Kahle, Sharon and Baram-Tsabari, 2016); and scientists tweeting their findings, sometimes to make an impact among the scientific community itself (Peters et al., 2014) or on civil society (Walter, Lörcher and Brüggemann, 2019).
	Scientists interact more with other scientists on Twitter (Walter, Lörcher & Brüggemann, 2019), but they consider the communication of science to society important and adjust their vocabulary accordingly (Walter, Lörcher & Brüggemann, 2019).
	Metrics on Twitter are being investigated as a potential indicator of the impact of scientific publications (Priem, Groth & Taraborelli, 2012), a modern concept of «altmetrics».
	One research approach to be explored is to focus on successful disseminators who enjoy great influence (such as «science stars»), examining the dynamics of publication and the impact of their discourse.

Table 24: Features of interest for this thesis on specific academic research on science communication carried out on Twitter.

It can be summarized that the main functions of Twitter as a science communication tool are those of: (1) informing the interested public; (2) consolidating and developing communities; (3) reporting on the interactions between journalists, experts and the public; (4) increasing the impact of scientific publications; and (5) aligning science and society (and the opposite).

Note that, depending on the actors involved and their apparent objectives, these functions are configured in specific and empirically observable ways.

Thus, there are various exploratory works on science communication on Twitter focused on specific areas; for example, those that have attracted the most academic attention are those related to citizens' perception of risk, such as those relating to the climate debate (Pearce et al., 2014). To these specific studies we intend to add those provided in this thesis project (chapter 4), which are of a similar nature. But in addition, it also provides an effective tool for carrying out a multitude of future studies that are easily comparable with each other (chapter 3).

In fact, an algorithm has been designed (see Annex) capable of systematically detecting trends in the publics of science, through the analysis of the available discourses on scientific issues. The specific question that has guided the construction of the computer program is: what are these discourses about and how can we quantify them in order to estimate the characteristics that generate greater dissemination or circulation of information? To address this challenge, the tool is capable of analysing large datasets, and returns measures of the degree of interest, popularity and polemicity of information released on Twitter from conversations about science, using sets of tweets collected from (1) profiles of users dealing with scientific issues (including media figures, specialized disseminators and institutional profiles); or from (2) decentralized discussions on fashionable scientific topics that have attracted media attention.

This approach is intended to corroborate the first hypothesis H1 put forward at the beginning of this document, the most general:

H1: Researching public response to science debates through social networks such as Twitter will reveal more insightful information about attitudes towards science and the image of scientists in society.

This hypothesis has been partially resolved in a favourable manner. As shown in a list of specific conclusions below, in the particular case of Twitter the variables associated with the tweets reveal clear information about the public's attitudes towards science, and with the statistics associated with the tweets it is possible to evaluate to what extent the public exhibits an attitude of approval towards science, and even allow the construction of new indicators; such as those proposed for «popularity» and «polemicity». With regard to the image of scientists, it remains to be seen how the data can be exploited to provide complementary information to the surveys. For the moment, appreciable differences have been detected between the studied profiles of scientists and those of institutions, but it is necessary to find a rigorous way of making comparisons.

On a practical level, the objective of the thesis was to present the possibilities offered by the methodological tool built to analyze sets of tweets and to inform about the impact of the discourses generated on Twitter on scientific topics. In particular, a specific question inspired by the results of the classic surveys and already stated in the introduction, which was to be reported by the computer program, was the following: what arouses interest in science, scientific advances and discoveries themselves or aspects linked to the daily life of human beings, such as cultural, political and even emotional factors? In fact, these ideas also took the form of the H2 and H3 hypotheses:

H2: Public expressions of interest on Twitter about scientific issues occur mostly when they are associated with other factors such as cultural or socio-political ones, not so much with concerns about acquiring neutral scientific knowledge.

Although this is a hypothesis that requires in-depth knowledge of the context (it is difficult to assess whether the public has a real predilection for science), the research project presented in this thesis has obtained interesting results, in the form of trends among the receiving users, which pave the way in the desired direction. Again, below are a number of specific conclusions from the cases studied (chapter 4) that appropriately address the issues raised in H2, and preliminarily reveal that science gains approval among users when neutral scientific information is raised in combination with other types of information.

On the other hand, we also try to discover trends on which ways of communicating science are more effective considering, in particular, the emotional side, in this respect the third hypothesis H3 of the research project has been stated as follows:

H3: Strategies for science communication on Twitter that include a personal discourse with a certain amount of opinion and emotional charge, have a significantly higher impact.

This hypothesis is perhaps the one that has been answered most strongly. As listed below, in the specific conclusions, there are cases in which the impact of emotionally charged communication is overwhelming, and it is always positive for all cases. These results coincide with the revised studies dedicated to understand the emotional posture of the audience in Twitter (Becker et al., 2016). Already in other contexts, it had been suggested the idea that a communication of science for which an emotional discourse is built, awakens a special bond with the audience (Kaiser et al., 2014), and in particular in this work, measuring the emotional charge of the discourse has revealed a clear effect among the audience receiving the tweets.

Specifically, to find out the degree of interest that the scientific contents arouse, a classification of the terms used in the speeches to be studied by categories has been proposed, being these: «science», «culture», «political-social», «beliefs», «media» and

«emotional». This categorization has been simple thanks to the design of the algorithm, which arranges the words in order of relevance in an easily manipulated list. On the other hand, the algorithm also returns two files with nodes and edges arranged for their visual representation in the form of a semantic network (for example, using the Gephi software), which has also made it possible to respond to the hypotheses raised.

Based on the results provided by the program developed, it has been possible to make multiple assessments on the relationships between the proposed metrics and the content of the tweets. In particular, it has been possible to visualize the weight of each category in the studied discourse in comparison with the others, as well as to observe if the scientific concepts present in the data sample are central in the discourse or peripheral. The conclusions are listed below, on the one hand, those related to the technical characteristics of the tool, and on the other hand, the first trends observed regarding the communication of science in the twelve cases studied.

Technical features

Once the analysis method has been established and implemented within the software, from a technical point of view it can be concluded that:

- Each tweet is an amalgamation of different terms, and each term, in turn, can be classified into a different type of information in a simple way. It has been demonstrated that the six categories created that respond to different conceptual areas and to emotional expressions of communication, show significant differences between them.
- The proposed coefficients of popularity and polemicity, which are based on the *retweets* and *likes* accumulated by the terms of the discourse and ultimately by the categories, have shown a useful comparative value, especially when investigating specific cases. While the idea of polemicity is to investigate which issues generate the most debate or controversy, popularity is a measure of the attention they receive, whether positive or negative.
- The files created by the algorithm to represent the semantic networks with the concepts of discourse in terms of co-occurrences in the tweet are efficiently generated, which allows exploring how the different types of information are combined. For each one of the discourses studied, the semantic network must be represented preserving the same topology by showing the accumulation of *likes*, *retweets* or other variables (that is, that the nodes maintain their position in the network so that comparability is possible), which allows evaluating the relative weight of the different categories in the discourses.
- If there is a preference among users for retweeting and/or like over certain matches between scientific terms linked to other kind terms, the causes should be investigated and the conceptual networks should be looked at closely, as the software does not yet reveal why certain combinations generate more like and retweet activity.

- The analyses do not provide absolute measures that evaluate the categories separately as was the case in some surveys for research on the social perception of science, but rather study terms with different weights in the total sample. In this sense, it may be a bold assertion that science is of little interest, although the tool does allow the contribution of each category to be assessed and in this exercise everything points to the fact that neutral scientific terms do not arouse special interest among the general public, but rather the opposite.
- The list of classified words is cumulative, which facilitates analysis for the interested researcher and considerably increases the efficiency of studies when working on a specific area of science (in this project, as an example, it has been taken from the field of space exploration). Thus, this list of categorized words will always grow in size and will facilitate subsequent analyses applied to new sets of tweets, for which a large part of the work will already be done (without classifying a few more words: the most relevant ones in the new discourse to be studied). This mechanism provides increasingly refined analyses of science discourses, easily reproducible by other researchers and involving low cost in terms of intellectual and economic resources, as a complement or alternative to population surveys, which require large deployments and substantial funding.

Trends in science communication

The twelve case studies chosen in Chapter 4 are examples to illustrate the possibilities of the tool. However, while the method of analysis is the main contribution of this thesis, the results obtained when applied to several relevant examples seem to exhibit very interesting properties to be examined in future work (different types of profiles have been used as well as science news that have attracted media attention). In particular, the discourses studied seem to reveal two trends:

- (1) Words related to science do not usually arouse special interest. In the more media-oriented cases, Tyson, Musk, Aldrin, WoW! and Oumuamua, which have a general target audience, the interest detected is low. In the rest of the cases, institutions and profiles of scientists that communicate science in a more specialized way, the interest of the users for the scientific terms exhibits a slight negative tendency but in general it is regular, presumably being a public previously interested: «attentive public».
- (2) The impact of an emotional communication has clear effects on the receiver, whether on science or not. In any case, semantic networks show that the pairings between emotionally charged terms and scientific concepts have a positive impact on the receiver, which does not necessarily imply the user's approval of the content of the tweet.

The following are the specific conclusions of the cases studied:

- In science discourses on Twitter, there is a majority presence of concepts belonging to the category «science», however, these neutral scientific terms do not have a special impact among users interacting with tweets which contain them. The presence of this type of concepts in the discourses of media figures and specialized disseminators is usually around 50% of the categorized terms, while in the case of the institutions it shoots up, with an incidence of about 2/3, being the frequency of use of terms that do not allude to science in both profiles low (NASA and ESA). In the case of the media events studied (Oumuamua and WoW!), the percentage is also higher, which seems reasonable given that central concepts relating to specific scientific news are disseminated and become popular at a certain time.
- In terms of retweets and likes, including public reaction and preferences, one interpretation that seems plausible is that the followers of institutional profiles and more specialized profiles are usually people previously interested in science, the «attentive public» coined by Jon Miller (chapter 2). In particular, science has an impact proportional to the amount of information of scientific content released by these profiles. In the other cases, such as the WoW! signal, the analysis shows an initial presence of more than 70% of scientific terms but resulting in an accumulation of both *retweets* and *likes* of about 25%, in line with previous cases for which they have been interpreted as having a less specialized audience.
- Although the predominant discourse in the examples studied is composed of words associated with scientific content, the concepts that are emotionally charged receive most attention from the user, generating a positive impact in all the cases studied, both in terms of *retweets* and *likes*. In particular, for the cases of media figures such as Tyson and Musk and news in mass media WoW! and Oumuamua, this impact is very high. In contrast, for the more specialized science communication examples, emotionally charged communication still has a positive impact, being much more moderate.
- With respect to the last point, it can be suggested that perhaps in this case the average follower is not so impressionable and presents a more cautious character, particularly common in people educated in science. If this interpretation is admitted, it seems reasonable to think that this «attentive public» is not only interested in science, but that somehow it has integrated other aspects of it, such as those related to John Dewey's «scientific attitude» (chapter 1) which contemplates the understanding of the methodology of science.
- The general tendency continues to be one of positive impact for emotional communication within the scientific discourse by itself, so a strategy for the dissemination of science is to communicate it in a personal way, accompanied by judgments or opinions, signs of enthusiasm or disapproval. In order to go deeper into this aspect, it must first be determined whether or not the polarization of opinions is the main responsible for the magnitude of the impact on Twitter.

- Specifically, the media category offers the weakest result in terms of interest, with low popularity rates, except in the specific case of Elon Musk, perhaps because of its controversial nature as a public media figure. As a general inclination, however, the category of media loses prominence compared to the rest; the socio-political one would be the one that would produce the most variable impact, followed by the cultural one. These aspects remain open to interpretation and to perfecting the design of the method of analysis in the future.
- The coefficients of popularity and polemicity vary between the different discourses studied and the different profiles, so presumably they may not reveal general trends, although for particular cases they may be of interest (for example, Tyson talks a lot about climate issues, which arouse controversy). The institutional profiles, on the other hand, do not highlight controversial content for any particular category, a feature that may indicate that the tool is well designed, since this phenomenon would reflect the organizations' communication protocols.
- The category «beliefs» is generally of a controversial kind, presumably because of its sensitive nature. In the particular case of the institutional profiles studied, there is no contribution of terms from this category, which seems reasonable according to the institutional communication practices and therefore provides credibility to this work.
- It should not be forgotten that the impact of the categories is not studied in an absolute way, but rather that words belonging to different categories co-occur in the tweets, so that certain combinations arouse more interest than others, such as the pairing of scientific concepts with emotionally charged terms, a question evidenced by the semantic network.
- The concepts that are peripheral to the scientific discussion, that is, those that deal with questions adjacent to the debate of the discourses studied, are of greater interest than the central ones, and are also mostly non-scientific; although there are specific scientific topics that attract more attention, without being the usual ones in the discourse extracted from the user accounts studied. In the examples of news that have presented a media peak, the semantic network is visibly more centralized, since more cohesion between the central nodes can be observed; being a plausible interpretation the idea that the central concepts related to the headlines of the news in question are spread.
- When the algorithm has been applied to one of the news items, Oumuamua, at different moments in time when it has attracted media attention, specifically one year apart, the results have been surprisingly similar, suggesting that it is possible to track patterns in public attitudes towards science through tools such as the one proposed in this work.

In general, it is especially striking to ratify with empirical data the effect of emotional communication on scientific discourse, in this case on the Twitter ecosystem. Moreover, the

category composed of emotionally charged words produces a high impact particularly among the general public, not so much among the «attentive public». In general, within the scientific discourse itself, science-related terms have less impact by themselves (that is, they accumulate fewer *retweets* and *likes*). Perhaps it is not so much that science is less interesting, but rather that emotional communication has a greater impact, whether on scientific issues or not.

Potential of the tool

In the present research project, several examples of different nature have been studied to test how the developed tool is applied and what potential results can be obtained, or at least what research directions are reasonable to explore. Although this is not a study focused precisely on the case studies analyzed, a series of facets in science communication have been detected that show the potential of the tool; which can be applied to research in other fields of knowledge.

Following the twelve case studies in Chapter 4 and the conclusions set out above, the method proposed in 3.3. seems appropriate. Furthermore, this series of studies has revealed, as I said, very relevant trends for the practical purposes of this thesis, which show the potential of the algorithm, for example, to provide periodic comparable assessments and to benefit administrations in drawing up specific plans for the dissemination of science to general public and similar actions. Another approach to explore, is to try to determine whether the increasing interaction of scientists in social networks is useful for the purposes of progress in science and for public understanding.

Naturally, the characteristics found in the cases chosen for analysis need to be examined on a large scale, with massive data sets and in different areas of science, to see if the trends identified can be extrapolated to a more general framework or to find out if they are common in specific areas of science or among profiles with particular properties, an aspect that has already been addressed in a preliminary way. In any case, it is also necessary to go deeper into the determination of the character of the audiences (attentive public, general public or other subsets), given that the type of audience seems to be very relevant when designing communication strategies, a task for which the tool proposed in this thesis can be extremely useful in the construction of the discourse in the activity of communicating science to society.

In summary, two steps can be extracted for the immediate future: (1) to carry out a study applying this method on a high volume of profiles or on science-related conversations by extracting a massive set of data; and (2) to use the tool, either as an individual communicator of science, or as a specific institution, to try to improve its communication strategies.

Finally, it only remains to conclude that the tool designed seems promising for future research, an exciting result for practical purposes of this thesis, whose task was to find ways to complement the studies of social perception of science.

ANEXO I: ALGORITMO

A continuación, el código desarrollado en el apartado 3.3. para el análisis de los tuits.

```
#!/usr/bin/swift
import Foundation

class Graph {
    class Node {
        let id: Int
        var favoriteCount: Int
        var retweetCount: Int
        var wordCount: Int
        var tweetIds: Set<Int>
        var category: Category

        init(id: Int, favoriteCount: Int, retweetCount: Int, wordCount:
Int, tweetIds: Set<Int>, category: Category) {
            self.id = id
            self.favoriteCount = favoriteCount
            self.retweetCount = retweetCount
            self.wordCount = wordCount
            self.tweetIds = tweetIds
            self.category = category
        }
    }

    struct Edge: Hashable {
        let sourceNodeId: Int
        let targetNodeId: Int
    }

    enum Category: CustomStringConvertible, Equatable {

        case uncategorized
        case garbage
        case other(string: String)

        var description: String {
            switch self {
            case .uncategorized:
                return "uncategorized"
            case .garbage:
                return "garbage"
            case .other(let string):
                return string
            }
        }

        var isDiscardable: Bool {
            switch self {
            case .uncategorized, .garbage:
                return true
            case .other:
                return false
            }
        }

        static func from(string value: String?) -> Category {
```

```

    guard let value = value else {
        return .uncategorized
    }

    if value == "uncategorized" {
        return .uncategorized
    } else if value == "garbage" {
        return .garbage
    } else {
        return .other(string: value)
    }
}

private var nodes: [String: Node] = [:]
private var uncategorizedNodes: [String: Node] = [:]
private var edgeWeights: [Edge: Int] = [:]

private var tweetNodeIds: [Int: Set<Int>] = [:]

private var categorizedWords: [String: String] = [:]

private var totalCategorizedWordCount = 0
private var totalWordCount = 0

init(categorizedWords: [String: String]) {
    self.categorizedWords = categorizedWords
}

func addNodesAndEdges(fromRow row: [String: String]) {
    guard
        let word = row["word"],
        let favoriteCountString = row["favoriteCount"],
        let favoriteCount = Int(favoriteCountString),
        let retweetCountString = row["retweetCount"],
        let retweetCount = Int(retweetCountString),
        let tweetIdString = row["id"],
        let tweetId = Int(tweetIdString),
        nodes[word]?.tweetIds.contains(tweetId) != true else {
        return
    }

    let node: Node

    if let existingNode = nodes[word] ?? uncategorizedNodes[word] {
        node = existingNode
        node.favoriteCount += favoriteCount
        node.retweetCount += retweetCount
        node.wordCount += 1
        node.tweetIds.insert(tweetId)
    } else {
        node = Node(id: nodes.count,
                    favoriteCount: favoriteCount,
                    retweetCount: retweetCount,
                    wordCount: 1,
                    tweetIds: [tweetId],
                    category: Category.from(string:
categorizedWords[word]))

        if !node.category.isDiscardable {
            nodes[word] = node
        } else if node.category == .uncategorized {
            uncategorizedNodes[word] = node
        }
    }
}

```

```

    }
}

totalWordCount += 1

guard !node.category.isDiscardable else {
    return
}

if let nodeIds = tweetNodeIds[tweetId] {
    for previousNodeId in nodeIds {
        let edge = Edge(sourceNodeId: node.id, targetNodeId:
previousNodeId)
        edgeWeights[edge] = (edgeWeights[edge] ?? 0) + 1
    }
    tweetNodeIds[tweetId]?.insert(node.id)
} else {
    tweetNodeIds[tweetId] = [node.id]
}

totalCategorizedWordCount += 1
}

func nodesCsv() -> String {
    var csv =
    "Id,Label,favoriteRate,retweetRate,wordCount,wordFrequency,popularity,pole
micity,category\n"

    for (word, node) in nodes {
        let favoriteRate = Double(node.favoriteCount) /
Double(node.tweetIds.count)
        let retweetRate = Double(node.retweetCount) /
Double(node.tweetIds.count)
        let wordFrequency = Double(node.wordCount) /
Double(totalCategorizedWordCount)
        let popularity = retweetRate / wordFrequency
        let polemicity = favoriteRate == 0 ? 0.0 : (retweetRate /
favoriteRate)

        csv += "\((node.id),\((word),\((favoriteRate),\((retweetRate),\
(node.wordCount),\((wordFrequency),\((popularity),\((polemicity),\
(node.category)\n"
    }

    return csv
}

func edgesCsv() -> String {
    var csv = "Source,Target,Type,Id,Weight\n"
    for (index, element) in edgeWeights.enumerated() {
        csv += "\((element.key.sourceNodeId),\
(element.key.targetNodeId),Undirected,\((index),\((Double(element.value))\n"
    }
    return csv
}

func categorizedWordsCsv() -> String {
    var uncategorizedWords: [(word: String, relevance: Double)] = []

    for (word, node) in uncategorizedNodes {

```

```

        let favoriteRate = Double(node.favoriteCount) /
Double(node.tweetIds.count)
        let retweetRate = Double(node.retweetCount) /
Double(node.tweetIds.count)
        let wordFrequency = Double(node.wordCount) /
Double(totalWordCount)
        let relevance = (favoriteRate * 0.000048 + retweetRate *
0.00045 + wordFrequency * 1000) / 3

        uncategorizedWords.append((word: word, relevance:
relevance))
    }

    var csv = "word,category\n"
    for (word, category) in categorizedWords {
        csv += "\(word),\(category)\n"
    }
    for (word, _) in uncategorizedWords.sorted(by: { $0.relevance >
$1.relevance }) {
        csv += "\(word),uncategorized\n"
    }
    return csv
}
}

class FileStreamReader {

    private let encoding: String.Encoding
    private let chunkSize: Int
    private let fileHandle: FileHandle
    private var buffer: Data
    private let delimPattern : Data
    private var isAtEOF: Bool = false

    init?(url: URL, delimiter: String = "\n", encoding: String.Encoding
= .utf8, chunkSize: Int = 4096)
    {
        guard let fileHandle = try? FileHandle(forReadingFrom: url) else
{ return nil }
        self.fileHandle = fileHandle
        self.chunkSize = chunkSize
        self.encoding = encoding
        buffer = Data(capacity: chunkSize)
        delimPattern = delimiter.data(using: .utf8)!
    }

    deinit {
        fileHandle.closeFile()
    }

    func rewind() {
        fileHandle.seek(toFileOffset: 0)
        buffer.removeAll(keepingCapacity: true)
        isAtEOF = false
    }

    func nextLine() -> String? {
        if isAtEOF { return nil }

        repeat {
            if let range = buffer.range(of: delimPattern, options: [],
in: buffer.startIndex..

```

```

        let subData = buffer.subdata(in:
buffer.startIndex..

```

```

        let csvRowReader = CsvRowReader(fileStreamReader:
fileStreamReader) else {
            return categorizedWords
        }

        while let row = csvRowReader.nextRow() {
            if
                let word = row["word"],
                let category = row["category"],
                category != "uncategorized" {
                    categorizedWords[word] = category
                }
        }

        return categorizedWords
    }

    guard CommandLine.arguments.count >= 2 else {
        print("Usage: main.swift <filename>")
        exit(1)
    }

    let inputFilePath = CommandLine.arguments[1]
    let inputFileUrl = URL(fileURLWithPath: inputFilePath)

    guard FileManager.default.fileExists(atPath: inputFilePath) else {
        print("File \(inputFileUrl.lastPathComponent) not found!")
        exit(1)
    }

    guard
        let fileStreamReader = FileStreamReader(url: inputFileUrl),
        let csvRowReader = CsvRowReader(fileStreamReader: fileStreamReader)
    else {
        print("File \(inputFileUrl.lastPathComponent) couldn't be read!")
        exit(1)
    }

    let categorizedWordsFileUrl = URL(fileURLWithPath:
"categorized_words.csv")
    var graph = Graph(categorizedWords: loadCategorizedWords(from:
categorizedWordsFileUrl))

    while let row = csvRowReader.nextRow() {
        graph.addNodeAndEdges(fromRow: row)
    }

    let nodesFileUrl =
inputFileUrl.deletingLastPathComponent().appendingPathComponent(inputFileU
rl.deletingPathExtension().lastPathComponent + "_nodes.csv")
    let edgesFileUrl =
inputFileUrl.deletingLastPathComponent().appendingPathComponent(inputFileU
rl.deletingPathExtension().lastPathComponent + "_edges.csv")

    do {
        try graph.nodesCsv().write(to: nodesFileUrl, atomically: false,
encoding: .utf8)
        print("Wrote nodes to \(nodesFileUrl.absoluteString)")
    }
    catch {
        print("Couldn't write to \(nodesFileUrl.absoluteString)")
    }

```

```
        exit(1)
    }

    do {
        try graph.edgesCsv().write(to: edgesFileUrl, atomically: false,
encoding: .utf8)
        print("Wrote edges to \((edgesFileUrl.absoluteString)")
    }
    catch {
        print("Couldn't write to \((edgesFileUrl.absoluteString)")
        exit(1)
    }

    do {
        try graph.categorizedWordsCsv().write(to: categorizedWordsFileUrl,
atomically: false, encoding: .utf8)
        print("Wrote categorized words to \
(categorizedWordsFileUrl.absoluteString)")
    }
    catch {
        print("Couldn't write to \((categorizedWordsFileUrl.absoluteString)")
        exit(1)
    }
}
```

ANEXO II: ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS

Tablas	Página
Tabla 1. Rasgos distintivos del periodismo científico y de la divulgación de la ciencia.	75
Tabla 2. Relación de definiciones de Scientific Literacy.	95
Tabla 3. Acepciones de la alfabetización científica.	98
Tabla 4. Visión de conjunto de los tres paradigmas.	113
Tabla 5. La participación formativa como fenómeno de aprendizaje social: requisitos y consecuencias.	123
Tabla 6. Tipología del público y participación.	123
Tabla 7. Tipologías del <i>engagement</i> .	124
Tabla 8. De la comprensión pública de la ciencia a la participación pública.	127
Tabla 9. Ejemplo de expresiones de interés hacia la ciencia en el informe Davis.	135
Tabla 10. Proyectos de la Comisión Europea para el <i>engagement</i> .	147
Tabla 11. Indicadores cuantitativos de <i>engagement</i> .	148
Tabla 12. Los dos niveles de la comunicación de la ciencia.	157
Tabla 13. Terminología básica del entorno Twitter.	170
Tabla 14. Descripción de las categorías para analizar discursos en Twitter.	184
Tabla 15. Muestra ficticia de tuits en inglés y estadísticas asociadas.	185
Tabla 16. Definición de variables I.	186
Tabla 17. Definición de variables II.	188
Tabla 18. Tareas propuestas para el análisis de una muestra de tuits.	190
Tabla 19. Visión de conjunto de la clasificación por categorías de los términos más frecuentes en el discurso de @neiltyson.	200
Tabla 20. Visión de conjunto de la clasificación por categorías de los términos que acumulan mayor número de <i>retweets</i> en el discurso de @neiltyson.	202
Tabla 21. Visión de conjunto de la clasificación por categorías de los términos que acumulan mayor número de <i>likes</i> en el discurso de @neiltyson.	203
Tabla 22. Relación de perfiles de los divulgadores escogidos para el análisis con sus estadísticas asociadas.	213
Tabla 23. Características relevantes para la presente tesis sobre la investigación académica que se realiza en Twitter.	230
Tabla 24. Rasgos de interés para la presente tesis sobre la investigación académica específica sobre comunicación científica que se realiza en Twitter.	232

Figuras	Página
Figura 1. Cantidad de usuarios activos mensuales de Twitter en todo el mundo a lo largo del tiempo.	168
Figura 2. Primer tuit enviado desde el espacio por el astronauta T. J. Creamer.	170
Figura 3. Los 15 términos más frecuentes en la muestra de tuits del discurso de @neiltyson.	199
Figura 4. Preferencias del discurso de @neiltyson por categorías.	201
Figura 5. Acumulación de <i>retweets</i> y de <i>likes</i> por categorías en el discurso de @neiltyson.	202
Figura 6. Preferencias del discurso de @neiltyson, acumulación de <i>retweets</i> y de <i>likes</i> por categorías.	204
Figura 7. Popularidad y polemicidad por categorías en el discurso de @neiltyson.	204
Figura 8. Red semántica del discurso de @neiltyson clasificada por categorías.	205
Figura 9. Red semántica del discurso de @neiltyson clasificada por categorías.	206
Figura 10. Comparación de los discursos de Neil deGrasse Tyson y Elon Musk.	211
Figura 11. Comparación de los discursos en Twitter de diferentes divulgadores científicos.	214
Figura 12. Preferencias del discurso de la NASA y la ESA, acumulación de <i>retweets</i> y de <i>likes</i> por categorías. Popularidad y polemicidad en dicho discurso. Redes semánticas.	218
Figura 13. Análisis para la Señal WoW! en base a las distintas categorías diferenciadas en el estudio.	219
Figura 14. Discurso generado en Twitter sobre el objeto interestelar Oumuamua.	221
Figura 15. Análisis del caso Oumuamua en dos periodos en base a las distintas categorías diferenciadas en el estudio.	222

REFERENCIAS

AAAS. (1986). *Science for all Americans*: American Association for the Advancement of Science. Oxford University Press.

Aiello, L. M., Petkos, G., Martin, C., Corney, D., Papadopoulos, S., Skraba, R., . . . Jaimes, A. (2013). Sensing Trending Topics in Twitter. *IEEE Transactions on Multimedia*, 15(6), 1268-1282. doi:10.1109/TMM.2013.2265080

Alberts, B., Cicerone, R. J., Fienberg, S. E., Kamb, A., McNutt, M., Nerem, R. M., . . . Jamieson, K. H. (2015). Self-correction in science at work. *Science*, 348(6242), 1420-1422. doi:10.1126/science.aab3847

Alcíbar, M. (2004). La divulgación mediática de la ciencia y la tecnología como recontextualización discursiva. *Anàlisi: Quaderns de comunicació i cultura*, 43-70.

Alcíbar, M. (2015). Comunicación pública de la ciencia y la tecnología: una aproximación crítica a su historia conceptual. *Arbor*, 191(773), 242.

Alcíbar, M. (2017). ¿Por qué la divulgación científica es la Cenicienta en el Reino de la Ciencia..., y debería dejar de serlo? Retrieved from <https://www.investigacionyciencia.es/blogs/ciencia-y-sociedad/98/posts/por-qu-la-divulgacin-cientfica-es-la-cenicienta-en-el-reino-de-la-ciencia-y-debera-dejar-de-serlo-15173>

Alfalahi, K., Atif, Y., & Harous, S. (2013). *Community detection in social networks through similarity virtual networks*. Paper presented at the IEEE/ACM International Conference on Advances in Social Networks Analysis and Mining, New York.

Allum, N., Sturgis, P., Tabourazi, D., & Brunton-Smith, I. (2008). Science knowledge and attitudes across cultures: a meta-analysis. *Public Understanding of Science*, 17(1), 35-54. doi:10.1177/0963662506070159

Alperin, J. P., Gomez, C. J., & Haustein, S. (2019). Identifying diffusion patterns of research articles on Twitter: A case study of online engagement with open access articles. *Public Understanding of Science*, 28(1), 2-18. doi:10.1177/0963662518761733

Álvarez-Bornstein, B., & Montesi, M. (2019). Who is interacting with researchers on Twitter? A survey in the field of Information Science. *2019*, 10(2), 20. doi:10.4403/jlis.it-12530

Amend, E., & Secko, D. M. (2012). In the Face of Critique: A Metasynthesis of the Experiences of Journalists Covering Health and Science. *Science Communication*, 34(2), 241-282. doi:10.1177/1075547011409952

Anderson, A., Brossard, D., Scheufele, D., Xenos, M., & Ladwig, P. (2013). The “Nasty Effect:” Online Incivility and Risk Perceptions of Emerging Technologies. *Journal of Computer-Mediated Communication*, 19. doi:10.1111/jcc4.12009

Ares de Blas, F. (2010). La divulgación científica, clave para la democracia del siglo XXI. In *Ciclo de conferencias*. A Coruña: Cátedra Jorge Juan.

Armentia, J. (2002). Ciencia vs pseudociencias. *Mediatika. Cuadernos de medios de comunicación*(8). Retrieved from <http://ojs.eusko-ikaskuntza.eus/index.php/mediatika/article/view/127>

Bacon, F. (1620). *Novum organum scientiarum*. In *Novum Organum, sive indicia vera de Interpretatione Naturae* [New organon, or true directions concerning the interpretation of nature] (pp. 45). England.

Baker, M. (2016). 1,500 scientists lift the lid on reproducibility. *Nature*, 533(7604), 452-454. Retrieved from <https://www.nature.com/news/1-500-scientists-lift-the-lid-on-reproducibility-1.19970>

Ballesteros, F. (2011). Gramáticas extraterrestres: La comunicación con civilizaciones interestelares a la luz de la ciencia. Valencia: Universitat de València.

Barnes, S. B., & Dolby, R. G. A. (1970). The Scientific Ethos : A deviant viewpoint. *European Journal of Sociology*, 11(1), 3-25. doi:10.1017/S0003975600001934

Barrio Alonso, C. (2008). La apropiación social de la ciencia: nuevas formas. *Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad-CTS*, 4(10), 213-225.

Bastian, M., Heymann, S., & Jacomy, M. (2009). *Gephi: an open source software for exploring and manipulating networks*. Paper presented at the Third international AAAI conference on weblogs and social media, San José, California, EE. UU.

Bauer, M. (2009). The Evolution of Public Understanding of Science—Discourse and Comparative Evidence. *Science, Technology and Society*, 14(2), 221-240. doi:10.1177/097172180901400202

Bauer, M. (2012). The changing culture of science across old Europe: 1989 to 2005. In M. Bauer, R. Shukla, & N. Allum (Eds.), *The culture of science. How public relates to science across the globe* (pp. 92-125). Nueva York and Londres: Routledge.

Bauer, M. (2014). Special issue: Public Engagement in Science. *Public Understanding of Science*, 23(1), 3-120. Retrieved from <https://journals.sagepub.com/toc/pusa/23/1>

- Bauer, M., Allum, N., & Miller, S. (2007). What can we learn from 25 years of PUS survey research? Liberating and expanding the agenda. *Public Understanding of Science*, 16(1), 79-95. doi:10.1177/0963662506071287
- Bauer, M., & Durant, J. (1997). Belief in astrology: a social-psychological analysis. *Culture and Cosmos: A Journal of the History of Astrology and Cultural astronomy*, 1(1), 55-71.
- Bauer, M., Durant, J., & Evans, G. (1994). European public perceptions of science. *International Journal of Public Opinion Research*, 6(2), 163-186. doi:10.1093/ijpor/6.2.163
- Bauer, M., & Gaskell, G. (1999). Towards a Paradigm for Research on Social Representations. *Journal for the Theory of Social Behaviour*, 29(2), 163-186. doi:10.1111/1468-5914.00096
- Bauer, M., & Gregory, J. (2007). From journalism to corporate communication in post-war Britain. *Journalism, science and society: Science communication between news and public relations*, 33-51.
- Bauer, M., Howard, S., Romo Ramos, Y. J., Massarani, L., & Amorim, L. (2013). Global science journalism report: working conditions & practices, professional ethos and future expectations: Science and Development Network.
- Bauer, M., & Schoon, I. (1993). Mapping variety in public understanding of science. *Public Understanding of Science*, 2(2), 141-155. doi:10.1088/0963-6625/2/2/004
- Bauer, M., Shukla, R., & Allum, N. (2012). Towards cultural indicators of science with global validity. In M. Bauer, R. Shukla, & N. Allum (Eds.), *The culture of science: How the public relates to science across the globe* (pp. 1-17). New York and Abingdon: Routledge.
- Beck, U. (1992). *Risk society: Towards a new modernity*. London, UK: Sage Publications.
- Becker, B. F. H., Larson, H. J., Bonhoeffer, J., van Mulligen, E. M., Kors, J. A., & Sturkenboom, M. C. J. M. (2016). Evaluation of a multinational, multilingual vaccine debate on Twitter. *Vaccine*, 34(50), 6166-6171. doi:https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2016.11.007
- Ben-David, Y. (1991). *Scientific growth: essays on the social organization and ethos of science*. Berkeley: University of California Press.
- Bensaude Vincent, B. (2014). The politics of buzzwords at the interface of technoscience, market and society: The case of 'public engagement in science'. *Public Understanding of Science*, 23(3), 238-253. doi:10.1177/0963662513515371
- Berger, J., & Milkman, K. L. (2012). What makes online content viral? *Journal of marketing research*, 49(2), 192-205. doi:https://doi.org/10.2139/ssrn.1528077
- Bernal, J. D. ({1939} 2010). *The Social Function of Science*. Londres: Faber & Faber.

Bhattacharya, S., Srinivasan, P., & Polgreen, P. (2014). Engagement with Health Agencies on Twitter. *PLoS One*, 9(11), e112235. doi:10.1371/journal.pone.0112235

Bialy, S., & Loeb, A. (2018). Could Solar Radiation Pressure Explain 'Oumuamua's Peculiar Acceleration? *The Astrophysical Journal*, 868(1), L1. doi:10.3847/2041-8213/aaeda8

Blei, D. M., Ng, A. Y., & Jordan, M. I. (2003). Latent dirichlet allocation. *Journal of machine Learning research*, 3(Jan), 993-1022. Retrieved from <http://www.jmlr.org/papers/volume3/blei03a/blei03a.pdf>

Bloor, D. ({1976} 1991). *Knowledge and social imagery* (Second ed.). Chicago: University of Chicago Press.

Bodmer, W. (2010). Public Understanding of Science: the BA, the Royal Society and COPUS. *Notes and Records of the Royal Society of London*, 64, S151-S161. Retrieved from www.jstor.org/stable/20753930

Boyd, D. (2009). Twitter: 'Pointless Babble' or Peripheral Awareness+ Social Grooming. *Aphogenia*, 16, 2009. Retrieved from http://www.zephorias.org/thoughts/archives/2009/08/16/twitter_pointle.html

Boyd, D., Golder, S., & Lotan, G. (2010, 5-8 Jan. 2010). *Tweet, Tweet, Retweet: Conversational Aspects of Retweeting on Twitter*. Paper presented at the 2010 43rd Hawaii International Conference on System Sciences.

Bradley, M. M., & Lang, P. J. (1999). *Affective norms for English words (ANEW): Instruction manual and affective ratings*. Retrieved from University of Florida: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.306.3881>

Braeckman, J., Boudry, M., & Blancke, S. (2017). ¿ De dónde surgen las pseudociencias? Un enfoque epidemiológico sobre la cuestión. *Mètode Science Studies Journal*(95), 63-69. doi:10.7203/metode.8.10007

Britannica, E. (1911). Whewell, William. In *Encyclopædia Britannica* (11 ed., Vol. 28). Cambridge: Cambridge University Press.

Brockman, J. (1995). *Third culture: Beyond the scientific revolution*: Simon and Schuster.

Brossard, D., & Lewenstein, B. (2010). A Critical Appraisal of Models of Public Understanding of Science: Using Practice to Inform Theory. In L. Kahlor & P. Stout (Eds.), *Understanding and communicating science: New agendas in communication* (pp. 11-39). New York: Routledge.

Brossard, D., & Scheufele, D. A. (2013). Science, New Media, and the Public. *Science*, 339(6115), 40-41. doi:10.1126/science.1232329

- Brown, P. (2014). An explosion of alternatives. *EMBO reports*, 15(8), 827-832. doi:10.15252/embr.201439130
- Brown, P., & Mikkelsen, E. J. (1997). No safe place: Toxic waste, leukemia, and community action. USA: University of California Press.
- Bruner, J. (1988). Realidad mental y mundos posibles. Barcelona: Gedisa.
- Bruner, J. (1990). Actos de significado mas alla de la revolucion cognitiva. Madrid: Alianza.
- Bucchi, M. (2013). Style in science communication. *Public Understanding of Science*, 22(8), 904-915. doi:10.1177/0963662513498202
- Bucchi, M., & Neresini, F. (2008). Science and Public Participation. In E. J. Hackett, O. Amsterdamska, M. Lynch, & J. Wajcman (Eds.), *The handbook of science and technology studies* (pp. 449-472). Cambridge & London: The MIT Press.
- Büchi, M. (2016). Microblogging as an extension of science reporting. *Public Understanding of Science*, 26(8), 953-968. doi:10.1177/0963662516657794
- Bunge, M. (2001). Diagnosing pseudoscience. In *Philosophy in Crisis: The Need for Reconstruction* (pp. 161-190): Prometheus Books.
- Burningham, K. (1998). A Noisy Road or Noisy Resident?: A Demonstration of the Utility of Social Constructionism for Analysing Environmental Problems. *The Sociological Review*, 46(3), 536-563. doi:10.1111/1467-954x.00130
- Burns, T. W., O'Connor, D. J., & Stockmayer, S. M. (2003). Science Communication: A Contemporary Definition. *Public Understanding of Science*, 12(2), 183-202. doi:10.1177/09636625030122004
- Bush, V. (1945). *Science, the Endless Frontier*. Washington, USA: United States Government Printing Office Retrieved from <https://www.nsf.gov/od/lpa/nsf50/vbush1945.htm>
- Bybee, R. W. (1997). Achieving scientific literacy: From purposes to practices. Portsmouth, USA: Heinemann.
- Callon, M. (1999). The Role of Lay People in the Production and Dissemination of Scientific Knowledge. *Science, Technology and Society*, 4(1), 81-94. doi:10.1177/097172189900400106
- Callon, M., Lascoumes, P., & Barthe, Y. (2002). Agir dans un Monde Incertain: Essai sur la Démocratie Technique. *Revue Française de Sociologie*, 43. doi:10.2307/3322888
- Callon, M., & Rabeharisoa, V. (2008). The Growing Engagement of Emergent Concerned Groups in Political and Economic Life: Lessons from the French Association of Neuromuscular

Disease Patients. *Science, Technology, & Human Values*, 33(2), 230-261. doi:10.1177/0162243907311264

Calsamiglia, H. (1997). Divulgar: itinerarios discursivos del saber: Una necesidad, un problema, un hecho. *Quark*, 9-18.

Calvo Hernando, M. (1992). *Periodismo científico*. Madrid: Paraninfo.

Calvo Hernando, M. (2001). *Divulgación y periodismo científico*. México: UNAM.

Campanario, J. M. (1999). La ciencia que no enseñamos. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 17(3), 397-410.

Carnap, R., Hahn, H., & Neurath, O. (1929). The scientific conception of the world: The Vienna Circle. In E. M. Society (Ed.), *Wissenschaftliche Weltausfassung*. Vienna.

Carson, R. (1962). *Silent Spring*. Boston, USA: Houghton Mifflin Company.

Casado, F. J. (2007). Sputnik: un "bip-bip" que cambió el mundo. *Sociedad Geográfica Española*(27), 16-27. Retrieved from <https://sge.org/publicaciones/numero-de-boletin/boletin-27/sputnik-un-bip-bip-que-cambio-el-mundo/>

Casino, G. (2017). Pseudociencia y mala ciencia en biomedicina. *Mètode Science Studies Journal*, 10. doi:10.7203/metode.8.10019

Cassany, R., Cortiñas, S., & Elduque, A. (2018). Comunicar la ciencia: El perfil del periodista científico en España. *Comunicar*, 26(55), 09-18. Retrieved from <https://doi.org/10.3916/C55-2018-01>

Castells, M. (2001). *The Internet galaxy: Reflections on the Internet, business, and society*. Oxford & New York: Oxford University Press.

Castillo, C., Mendoza, M., & Poblete, B. (2011). *Information credibility on twitter*. Paper presented at the Proceedings of the 20th international conference on World wide web, Hyderabad, India. <https://doi.org/10.1145/1963405.1963500>

Ceron, A., Curini, L., Iacus, S. M., & Porro, G. (2014). Every tweet counts? How sentiment analysis of social media can improve our knowledge of citizens' political preferences with an application to Italy and France. *New Media & Society*, 16(2), 340-358. doi:10.1177/1461444813480466

Cha, M., Haddadi, H., Benevenuto, F., & Gummadi, K. P. (2010). *Measuring user influence in twitter: The million follower fallacy*. Paper presented at the fourth international AAAI conference on weblogs and social media.

Chamberlin, L., & Lehmann, K. (2011). Twitter in higher education. *Cutting-edge Technologies in Higher Education*, 1, 375-391. doi:10.1108/S2044-9968(2011)0000001021

Chew, C., & Eysenbach, G. (2010). Pandemics in the Age of Twitter: Content Analysis of Tweets during the 2009 H1N1 Outbreak. *PLoS One*, 5(11), e14118. doi:10.1371/journal.pone.0014118

Clement, J. (2019). Number of monthly active Twitter users worldwide from 1st quarter 2010 to 1st quarter 2019. Retrieved from <https://www.statista.com/statistics/282087/number-of-monthly-active-twitter-users/>

Clement, J. (2020). Distribution of Twitter users worldwide as of April 2020, by age group. Retrieved from <https://www.statista.com/statistics/283119/age-distribution-of-global-twitter-users/>

Collins, H., & Pinch, T. (1993). *The Golem: What Everyone Should Know about Science*. Cambridge: Cambridge University Press.

Commission, E. (2002). *Science and Society Action Plan*. Retrieved from Luxemburg, EU: https://ec.europa.eu/research/swafs/pdf/pub_gender_equality/ss_ap_en.pdf

Commission, E. (2008). *Public Engagement in Science*. Retrieved from Brussels, Europe: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/2d7d42ad-d69e-46ab-94bd-035b068ae676/language-en>

Commission, E. (2014a). Horizon 2020. Retrieved from <https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/what-horizon-2020>

Commission, E. (2014b). *Responsible research & innovation. Horizon 2020*. European Union: European Commission Retrieved from <https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en/h2020-section/responsible-research-innovation>

Commission, E. (2014c). *Science with and for Society (SwafS)*. Retrieved from <https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en/h2020-section/science-and-society>

Commission, E. (2020). Horizonte Europa. El próximo programa de inversión en investigación e innovación de la Unión Europea (2021-2027). In E. Commission (Ed.). EU: European Commission.

Congosto, M. L. (2016). *Caracterización de usuarios y propagación de mensajes en Twitter en el entorno de temas sociales*. (Doctoral thesis). Universidad Carlos III de Madrid, Leganés, Madrid, ES. Retrieved from <https://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/22826>

- Consortium, S. (2013). Green Paper on citizen science, citizen science for Europe: Towards a better society of empowered citizens and enhanced research. *The Societize Consortium of the European Commission*.
- Converse, P. E. (1964) 2006). The nature of belief systems in mass publics. *Critical review*, 18(1-3), 1-74. doi:10.1080/08913810608443650
- Cooter, R., & Pumfrey, S. (1994). Separate Spheres and Public Places: Reflections on the History of Science Popularization and Science in Popular Culture. *History of Science*, 32(3), 237-267. doi:10.1177/007327539403200301
- Cortassa, C. G. (2010). Del déficit al diálogo, ¿y después?: una reconstrucción crítica de los estudios de comprensión pública de la ciencia. *CTS: Revista iberoamericana de ciencia, tecnología y sociedad*, 5(15), 47-72.
- Cortiñas Rovira, S. (2008). Las metáforas del ADN: una revisión de los procesos divulgativos. *Journal of Science Communication*, 7(1). doi:https://doi.org/10.22323/2.07010202
- Cortiñas-Rovira, S., Alonso-Marcos, F., Pont-Sorribes, C., & Escribà-Sales, E. (2015). Science journalists' perceptions and attitudes to pseudoscience in Spain. *Public Understanding of Science*, 24(4), 450-465. doi:10.1177/0963662514558991
- Côté, I. M., & Darling, E. S. (2018). Scientists on Twitter: Preaching to the choir or singing from the rooftops? *FACETS*, 3(1), 682-694. doi:10.1139/facets-2018-0002
- COTEC. (2006). Tecnología e Innovación en España. Retrieved from Madrid:
- Crowther, J. G. (1949). *Science in liberated Europe*. London, UK: Pilot Press.
- Crowther, J. G., Howarth, O. J. R., & Riley, D. P. (1942). *Science and world order*. Harmondsworth: Penguin.
- Cuevas, A. (2008). Conocimiento científico, ciudadanía y democracia. *Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad-CTS*, 4(10), 67-83.
- Cuevas, A. (2016). *Organización y estructura del conocimiento científico*. Buenos Aires, Argentina: EUDEBA.
- Culp, J. (2014). *Neil DeGrasse Tyson*. New York: The Rosen Publishing Group.
- D'Urso, S. C. (2018). Towards the final frontier: using strategic communication activities to engage the latent public as a key stakeholder in a corporate mission. *International Journal of Strategic Communication*, 12(3), 288-307. doi:10.1080/1553118X.2018.1464008
- Daamen, D. D., & Van Der Lans, I. A. (1995). The changeability of public opinions about new technology: assimilation effects in attitude surveys. In M. Bauer (Ed.), *Resistance to New*

Technology: Nuclear Power, Information Technology and Biotechnology (pp. 81-96). Cambridge: Cambridge University Press.

Dann, S. (2010). Twitter content classification. *First Monday*, 15(12). doi:<https://doi.org/10.5210/fm.v15i12.2745>

Darling, E. S., Shiffman, D., Côté, I. M., & Drew, J. A. (2013). The role of Twitter in the life cycle of a scientific publication. *Ideas in Ecology and Evolution*, 6(1). doi:<https://doi.org/10.4033/iee.2013.6.6.f>

Davidson, R. A. (1986). Source of funding and outcome of clinical trials. *Journal of General Internal Medicine*, 1(3), 155-158. doi:[10.1007/BF02602327](https://doi.org/10.1007/BF02602327)

Davies, S. R. (2013). Constituting Public Engagement: Meanings and Genealogies of PEST in Two U.K. Studies. *Science Communication*, 35(6), 687-707. doi:[10.1177/1075547013478203](https://doi.org/10.1177/1075547013478203)

Davies, S. R., & Horst, M. (2016). *Science communication: Culture, identity and citizenship*. London: Springer.

Davis, R. C. (1958). The public impact of science in the mass media. A report on a nation-wide survey for the National Association of Science Writers. Retrieved from Michigan, EE. UU.: <https://searchworks.stanford.edu/view/2804687>

De Bustos, E. (2000). *La metáfora: ensayos transdisciplinarios*. Madrid: Fondo de Cultura Económica de España.

De Choudhury, M., Lin, Y.-R., Sundaram, H., Candan, K. S., Xie, L., & Kelliher, A. (2010). How does the data sampling strategy impact the discovery of information diffusion in social media? Paper presented at the Fourth International AAAI Conference on Weblogs and Social Media.

De Semir, V. (2011). *Meta Análisis: Comunicación científica y periodismo científico*. Retrieved from Madrid: <https://www.fecyt.es/es/publicacion/meta-analisis-comunicacion-cientifica-y-periodismo-cientifico>

De Semir, V., & Revuelta, G. (2002). Ciencia y medicina en La Vanguardia y The New York Times. Un capítulo de la historia del periodismo científico. *Quark: Ciencia, medicina, comunicación y cultura*, 26. Retrieved from <http://hdl.handle.net/10234/182964>

De Solla Price, D. J. (1963). *Little science, big science* (Vol. 5): Columbia University Press New York.

De Solla Price, D. J. (1965). Networks of Scientific Papers. *Science*, 149(3683), 510-515. doi:[10.1126/science.149.3683.510](https://doi.org/10.1126/science.149.3683.510)

Dehkharghani, R., Mercan, H., Javeed, A., & Saygin, Y. (2014). Sentimental causal rule discovery from Twitter. *Expert Systems with Applications*, 41(10), 4950-4958. doi:<https://doi.org/10.1016/j.eswa.2014.02.024>

Descartes, R. (1637). Discours de la méthode pour bien conduire sa raison et chercher la vérité dans les sciences [Discourse on the Method of Rightly Conducting One's Reason and of Seeking Truth in the Sciences]. In. Leiden, Netherlands.

Developer, A. (2014). Swift programming language. California, EE. UU.: Apple Inc. Retrieved from <https://developer.apple.com/swift/>

Dewey, J. (1934). The Supreme Intellectual Obligation. *Bulletin of the American Association of University Professors (1915-1955)*, 20(5), 306-309. doi:10.2307/40218960

Díaz-Faes, A. A., Bowman, T. D., & Costas, R. (2019). Towards a second generation of 'social media metrics': Characterizing Twitter communities of attention around science. *PLoS One*, 14(5), e0216408. doi:10.1371/journal.pone.0216408

Dodds, P. S., Harris, K. D., Kloumann, I. M., Bliss, C. A., & Danforth, C. M. (2011). Temporal Patterns of Happiness and Information in a Global Social Network: Hedonometrics and Twitter. *PLoS One*, 6(12), e26752. doi:10.1371/journal.pone.0026752

Dornan, C. (1990). Some problems in conceptualizing the issue of "science and the media". *Critical Studies in Mass Communication*, 7(1), 48-71. doi:10.1080/15295039009360163

Dorsey, J. (2009) Twitter creator Jack Dorsey illuminates the site's founding document. Part I/ Interviewer: D. Sarno. Los Angeles Times, Los Angeles Times, L.A.

Douglas, H. E. (2009). *Science, Policy, and the Value-Free Ideal*. Pittsburgh, USA: University of Pittsburgh Press.

Douglas, M., & Wildavsky, A. (1982). Risk and Culture An Essay on the Selection of Technological and Environmental Dangers (1 ed.): University of California Press.

Durant, J., Evans, G., & Thomas, G. (1989). The public understanding of science. *Nature*, 340(6228), 11-14. doi:10.1038/340011a0

Durant, J., Evans, G., & Thomas, G. (1992). Public understanding of science in Britain: the role of medicine in the popular representation of science. *Public Understanding of Science*, 1(2), 161-182. doi:10.1088/0963-6625/1/2/002

Eagly, A. H., & Chaiken, S. (1993). *The psychology of attitudes*. Orlando, USA: Harcourt Brace Jovanovich College Publishers.

Ehman, J. (2017). Explanation of the Code "6EQUJ5". On the Wow! Computer Printout. Retrieved from <http://www.bigear.org/6equj5.htm>

Ellis, I. (2018). *Humorists vs. Religion: Critical Voices from Mark Twain to Neil DeGrasse Tyson*. Jefferson, North Carolina: McFarland.

Epstein, S. (1995). The Construction of Lay Expertise: AIDS Activism and the Forging of Credibility in the Reform of Clinical Trials. *Science, Technology, & Human Values*, 20(4), 408-437. doi:10.1177/016224399502000402

Eriksson, L. (2007). Strong Program. In G. Ritzer (Ed.), *The Blackwell Encyclopedia of Sociology*: John Wiley & Sons.

Escobar, J. M. (2017). El problema del déficit en los modelos democráticos de divulgación científica. *Arbor: Ciencia, pensamiento y cultura*, 193(785), 4. doi:<http://dx.doi.org/10.3989/arbor.2017.785n3012>

Esparza, S., O'Mahony, M., & Smyth, B. (2012). Mining the Real-Time Web: A Novel Approach to Product Recommendation. *Knowledge-Based Systems (JKBS)*, 29, 3-11. doi:10.1016/j.knosys.2011.07.007

Evans, G., & Durant, J. (1995). The relationship between knowledge and attitudes in the public understanding of science in Britain. *Public Understanding of Science*, 4(1), 57-74. doi:10.1088/0963-6625/4/1/004

Fanelli, D. (2009). How Many Scientists Fabricate and Falsify Research? A Systematic Review and Meta-Analysis of Survey Data. *PLoS One*, 4(5), e5738. doi:10.1371/journal.pone.0005738

Fasce, A. (2018). *El problema de la demarcación ciencia/pseudociencia desde una perspectiva cognitiva*. (PhD doctoral thesis). Universidad de Valencia, Valencia, SP. Retrieved from <http://roderic.uv.es/handle/10550/68342>

Fayard, P. (1992). Let's stop persecuting people who don't think like Galileo! *Public Understanding of Science*, 1(1), 15-16. doi:10.1088/0963-6625/1/1/003

Feyerabend, P. (1975). *How to defend society against science* (Vol. 2).

Feyerabend, P. (1987). *Farewell to reason*. London: Verso books.

Feyerabend, P. (1975} 1986). *Tratado contra el método: esquema de una teoría anarquista del conocimiento*. Madrid: Tecnos.

Fiorino, D. J. (1989). Environmental risk and democratic process: a critical review. *Columbia Journal of Environmental Law*, 14, 501-547.

Fortson, L., Masters, K., Nichol, R., Edmondson, E., Lintott, C., Raddick, J., & Wallin, J. (2012). Galaxy zoo. *Advances in machine learning and data mining for astronomy, 2012*, 213-236.

Francescutti, L. P. (2014). Los públicos de la ciencia. *Quaderns de la Fundació Dr. Antoni Esteve*, 1-53.

Franklin, J. (1998). El fin del periodismo científico. *Quark*, 53-53.

Gabel, L. L. (1976). *The development of a model to determine perceptions of scientific literacy*. (PhD Doctoral dissertation). Ohio State University, Ohio, USA. Retrieved from <https://bit.ly/2RItRic>

García Agustín, J. (2012). *La información periodística de la ciencia*. (Tesis doctoral). Universidad Complutense de Madrid, Madrid. Retrieved from <https://eprints.ucm.es/14427/>

García Dauder, S., & Pérez Sedeño, E. (2017). *Las 'mentiras' científicas sobre las mujeres*. Madrid: Catarata.

García Rodríguez, M., & Díaz García, I. (2014). *La participación formativa como fenómeno de aprendizaje social: requisitos y consecuencias*. Paper presented at the Congreso Iberoamericano de Ciencia, Tecnología, Innovación y Educación, Buenos Aires.

Gaskell, G., Wright, D., & O'Muircheartaigh, C. (1993). Measuring scientific interest: the effect of knowledge questions on interest ratings. *Public Understanding of Science*, 2(1), 39-57. doi:10.1088/0963-6625/2/1/003

Gerhards, J., & Schäfer, M. S. (2010). Is the internet a better public sphere? Comparing old and new media in the USA and Germany. *New Media & Society*, 12(1), 143-160. doi:10.1177/1461444809341444

Gibbons, M. (1999). Science's new social contract with society. *Nature*, 402(6761), C81-C84. doi:10.1038/35011576

Giddens, A. (1990). *The consequences of modernity*. Cambridge, UK: Polity Press & Blackwell Publishers.

Giddens, A. (1991). *Modernity and self-identity: Self and society in the late modern age*. USA: Stanford University Press.

Godin, B. (2012). The culture of science and the politics of numbers. In M. Bauer, R. Shukla, & N. Allum (Eds.), *The culture of science. How public relates to science across the globe* (pp. 18-35). New York and London: Routledge.

Godin, B., & Gingras, Y. (2000). What is scientific and technological culture and how is it measured? A multidimensional model. *Public Understanding of Science*, 9(1), 43-58. doi:10.1088/0963-6625/9/1/303

Goldacre, B. (2008). *Bad Science*: HarperCollins.

Gómez, A., & Balmer, B. (2013). Ciencia y política: una cuestión de fronteras. In A. Gómez & A. F. Canales (Eds.), *Estudios políticos de la ciencia: políticas y desarrollo científico en el siglo XX* (pp. 15-34). Madrid: Plaza y Valdés.

Gómez, A., & Canales, A. F. (2013). Estudios políticos de la ciencia. Políticas y desarrollo científico en el siglo XX. Madrid: Plaza y Valdés.

González-Alcaide, G., Valderrama-Zurián, J. C., & Aleixandre-Benavent, R. (2009). La investigación teórica sobre la divulgación de la Ciencia en España: situación actual y retos para el futuro. *Arbor*, 185(738), 861-869.

Government, U. S. (1993). Office for Research Integrity (ORI). Retrieved from <https://ori.hhs.gov/about-ori>

Grabowicz, P. A., Ramasco, J. J., Moro, E., Pujol, J. M., & Eguiluz, V. M. (2012). Social Features of Online Networks: The Strength of Intermediary Ties in Online Social Media. *PLoS One*, 7(1), e29358. doi:10.1371/journal.pone.0029358

Gramberger, M. (2006). *Participación ciudadana*. París: OCDE Retrieved from <http://www.oecd.org/centrodemexico/publicaciones/37873406.pdf>

Grant, M. J., & Booth, A. (2009). A typology of reviews: an analysis of 14 review types and associated methodologies. *Health Information & Libraries Journal*, 26(2), 91-108.

Gregory, J., & Miller, S. (1998). *Science in public: Communication, culture, and credibility*. Cambridge: Plenum Press.

Gross, P. R., & Levitt, N. (1994) 1998). *Higher superstition: The academic left and its quarrels with science*. Baltimore, Maryland, USA: Johns Hopkins University Press.

Guimarães Pereira, A. (2015). Public Engagement about science, technology and innovation. In E. Commission (Ed.), *European Commission Dialogues*. Split, EU: Publications Office of the European Union.

Habermas, J. (2010). *Facticidad y validez. Sobre el derecho y el Estado democrático de derecho en términos de teoría del discurso* (6ª ed.).

Hagstrom, W. O. (1965). *The scientific community*. New York, USA: Basic Books.

- Hall, N. (2014). The Kardashian index: a measure of discrepant social media profile for scientists. *Genome Biology*, 15(7), 424. doi:10.1186/s13059-014-0424-0
- Hansson, S. O. (2008). Science and pseudo-science. In E. N. Zalta (Ed.), *Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Summer 2017 ed.). USA: Metaphysics Research Lab, Stanford University.
- Hardwig, J. (1985). Epistemic Dependence. *Journal of Philosophy*, The, 82, 335-349. doi:10.2307/2026523
- Harvey, K. (2014). Klout Score. In K. Harvey (Ed.), *Encyclopedia of Social Media and Politics* (pp. 753-754). Thousand Oaks, California: SAGE Publications, Inc.
- Haunschild, R., Leydesdorff, L., Bornmann, L., Hellsten, I., & Marx, W. (2019). Does the public discuss other topics on climate change than researchers? A comparison of explorative networks based on author keywords and hashtags. *Journal of Informetrics*, 13(2), 695-707. doi:https://doi.org/10.1016/j.joi.2019.03.008
- Haustein, S. (2019). Scholarly Twitter Metrics. In W. Glänzel, H. F. Moed, U. Schmoch, & M. Thelwall (Eds.), *Springer Handbook of Science and Technology Indicators* (pp. 729-760). Cham: Springer International Publishing.
- Haustein, S., Bowman, T. D., & Costas, R. (2016). Interpreting 'Altmetrics': Viewing Acts on Social Media through the Lens of Citation and Social Theories. In C. Sugimoto (Ed.), *Theories of Informetrics and Scholarly Communication* (pp. 372-406). Berlin, Boston: De Gruyter.
- Haustein, S., Costas, R., & Larivière, V. (2015). Correction: Characterizing Social Media Metrics of Scholarly Papers: The Effect of Document Properties and Collaboration Patterns. *PLoS One*, 10(5), e0127830. doi:10.1371/journal.pone.0127830
- Hawking, S. (1988). *A Brief History of Time: From the Big Bang to Black Holes*, 1988. London: Bantam.
- Hellsten, I., & Leydesdorff, L. (2019). Automated analysis of actor–topic networks on twitter: New approaches to the analysis of socio-semantic networks. *Journal of the Association for Information Science and Technology*, 71(1), 3-15. doi:10.1002/asi.24207
- Hilgartner, S. (1990). The Dominant View of Popularization: Conceptual Problems, Political Uses. *Social Studies of Science*, 20(3), 519-539. doi:10.1177/030631290020003006
- Höijer, B. (2010). Emotional anchoring and objectification in the media reporting on climate change. *Public Understanding of Science*, 19(6), 717-731. doi:10.1177/0963662509348863
- Holton, A. E., Baek, K., Coddington, M., & Yaschur, C. (2014). Seeking and Sharing: Motivations for Linking on Twitter. *Communication Research Reports*, 31(1), 33-40. doi:10.1080/08824096.2013.843165

Holton, G. J. (1993). *Science and anti-science*. Cambridge, USA London, UK: Harvard University Press.

Honeycutt, C., & Herring, S. C. (2009, 5-8 Jan. 2009). *Beyond Microblogging: Conversation and Collaboration via Twitter*. Paper presented at the 2009 42nd Hawaii International Conference on System Sciences.

Huber, B., Barnidge, M., Gil de Zúñiga, H., & Liu, J. (2019). Fostering public trust in science: The role of social media. *Public Understanding of Science*, 28(7), 759-777. doi:10.1177/0963662519869097

Huberman, B. A., Romero, D. M., & Wu, F. (2008). Social networks that matter: Twitter under the microscope. *First Monday*, 14(1). doi:https://doi.org/10.5210/fm.v14i1.2317

Hughes, A. L., & Palen, L. (2009). Twitter adoption and use in mass convergence and emergency events. *International journal of emergency management*, 6(3-4), 248-260. doi:https://doi.org/10.1504/ijem.2009.031564

Hull, D. L. (1988). A mechanism and its metaphysics: An evolutionary account of the social and conceptual development of science. *Biology and Philosophy*, 3(2), 123-155. doi:10.1007/BF00140989

Hume, D. ({1748} 1999). *An enquiry concerning human understanding* (T. L. Beauchamp Ed.). Great Britain: Oxford University Press.

Invernizzi, N. (2004). Participación ciudadana en ciencia y tecnología en América Latina: una oportunidad para refundar el compromiso social de la universidad pública. *Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad-CTS*, 1(2), 67-83.

Ioannidis, J. P. A. (2005). Why Most Published Research Findings Are False. *PLOS Medicine*, 2(8), e124. doi:10.1371/journal.pmed.0020124

Irwin, A. (1995). *Citizen science: A study of people, expertise and sustainable development*. London & New York: Routledge.

Irwin, A. (2014). From deficit to democracy (re-visited). *Public Understanding of Science*, 23(1), 71-76. doi:10.1177/0963662513510646

Irwin, A., & Wynne, B. (1996). *Misunderstanding science? The public reconstruction of science and technology*. Cambridge: Cambridge University Press.

Jahng, M. R., & Lee, N. (2018). When Scientists Tweet for Social Changes: Dialogic Communication and Collective Mobilization Strategies by Flint Water Study Scientists on Twitter. *Science Communication*, 40(1), 89-108. doi:10.1177/1075547017751948

Jasanoff, S. (2003). Technologies of Humility: Citizen Participation in Governing Science. *Minerva*, 41(3), 223-244. doi:10.1023/A:1025557512320

Jasanoff, S. (2005). *Designs on Nature: Science and Democracy in Europe and the United States*. Princeton: Princeton University Press.

Jasanoff, S. (2014). A mirror for science. *Public Understanding of Science*, 23(1), 21-26. doi:10.1177/0963662513505509

Jasanoff, S. (2020). Civic Epistemologies. Retrieved from <https://sheilajasanoff.org/research/civic-epistemologies/>

Java, A., Song, X., Finin, T., & Tseng, B. (2007). *Why we twitter: understanding microblogging usage and communities*. Paper presented at the Proceedings of the 9th WebKDD and 1st SNA-KDD 2007 workshop on Web mining and social network analysis, San Jose, California. <https://doi.org/10.1145/1348549.1348556>

Johnson, S. B., Park, H. S., Gross, C. P., & Yu, J. B. (2017). Use of Alternative Medicine for Cancer and Its Impact on Survival. *JNCI: Journal of the National Cancer Institute*, 110(1), 121-124. doi:10.1093/jnci/djx145

Kahle, K., Sharon, A. J., & Baram-Tsabari, A. (2016). Footprints of Fascination: Digital Traces of Public Engagement with Particle Physics on CERN's Social Media Platforms. *PLoS One*, 11(5), e0156409. doi:10.1371/journal.pone.0156409

Kaiser, D., Durant, J., Levenson, T., Wiehe, B., & Linett, P. (2014). *The evolving culture of science engagement: an exploratory initiative of MIT & Culture Kettle*. Retrieved from Massachusetts, USA: <http://www.cultureofscienceengagement.net/s/Evolving-Culture-of-Science-Engagement-Phase-1-Report.pdf>

Kapoor, K. K., Tamilmani, K., Rana, N. P., Patil, P., Dwivedi, Y. K., & Nerur, S. (2018). Advances in Social Media Research: Past, Present and Future. *Information Systems Frontiers*, 20(3), 531-558. doi:10.1007/s10796-017-9810-y

Ke, Q., Ahn, Y.-Y., & Sugimoto, C. R. (2017). A systematic identification and analysis of scientists on Twitter. *PLoS One*, 12(4), e0175368. doi:10.1371/journal.pone.0175368

Keller, E. F. (1983). A Feeling for the Organism: The Life and Work of Barbara McClintock. In (pp. 235). San Francisco, USA: WH Freeman.

Kevles, D. J. (1977). The National Science Foundation and the Debate over Postwar Research Policy, 1942-1945: A Political Interpretation of Science – The Endless Frontier. *Isis*, 68(1), 5-26. doi:10.1086/351711

Kiernan, V. (2006). *Embargoed science*. Chicago: University of Illinois Press.

Kitcher, P. (1993). *The Advancement of Science: Science without Legend, Objectivity without Illusions* (1995 ed.). New York: Oxford University Press.

Kitcher, P. (1998). A Plea for Science Studies. In N. Koertge (Ed.), *A House Built on Sand: Exposing Postmodernist Myths About Science* (pp. 32-56): Oxford: Oxford University Press.

Kitcher, P. (2001). *Science, truth, and democracy*. New York, USA: Oxford University Press.

Kitcher, P. (2011). *Science in a Democratic Society*. New York, USA: Prometheus books.

Kleinman, D. (2000). Democratizations of science and technology. In D. Kleinman (Ed.), *Science, technology, and democracy* (Vol. 139, pp. 166). Albany, USA: State University of New York Press.

Knorr-Cetina, K. D. (1981). *The manufacture of knowledge: An essay on the constructivist and contextual nature of science*: Pergamon Press.

Kolari, P., Finin, T., Yesha, Y., Yesha, Y., Lyons, K., Perelgut, S., & Hawkins, J. (2007). *On the structure, properties and utility of internal corporate blogs*. Paper presented at the Proceedings of the International Conference on Weblogs and Social Media (ICWSM 2007).

König, L., & Jucks, R. (2019). Hot topics in science communication: Aggressive language decreases trustworthiness and credibility in scientific debates. *Public Understanding of Science*, 28(4), 401-416. doi:10.1177/0963662519833903

Koren, M. (2019). When a Harvard Professor Talks About Aliens. Retrieved from <https://www.theatlantic.com/science/archive/2019/01/oumuamua-interstellar-harvard-astrophysicist/580948/>

Kuhn, T. S. (1962). *The structure of scientific revolutions*. Chicago, London: University of Chicago Press.

Kuhn, T. S. (2004). *La estructura de las revoluciones científicas*, trad. Argentina: Fondo de Cultura Económica.

Kwak, H., Lee, C., Park, H., & Moon, S. (2010). *What is Twitter, a social network or a news media?* Paper presented at the Proceedings of the 19th international conference on World wide web, Raleigh, North Carolina, USA. <http://wwwconference.org/proceedings/www2010/starthere.htm>

LaFollette, M. C. (2013). *Science on American television: A history*: University of Chicago Press.

Lafuente, A. (2006). Ciencia 2.0. Revista madri+d. Monografía: revista de investigación en gestión de la innovación y tecnología, Nº Extra 1. Retrieved from <http://www.madrimasd.org/revista/revistaespecial1/articulos/lafuente.asp>

Lafuente, A., & Elena, A. (1996). Los científicos ante su imagen y su público. *Claves de Razón Práctica*(67), 48-55.

Lakatos, I. (1970). History of Science and Its Rational Reconstructions. PSA: Proceedings of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association, 1970, 91-136. Retrieved from www.jstor.org/stable/495757

Lakatos, I. (1978). *Mathematics, Science and Epistemology: Volume 2: Philosophical Papers* (J. Worrall & G. Currie Eds. Vol. 2). Cambridge: Cambridge University Press.

Lakoff, G., & Johnson, M. (1987). La estructura metafórica del sistema conceptual humano. In D. A. Norman (Ed.), *Perspectivas de la Ciencia Cognitiva* (pp. 233-247). Barcelona: Paidós.

Lancet, T. E. o. T. (2010). Retraction—Ileal-lymphoid-nodular hyperplasia, non-specific colitis, and pervasive developmental disorder in children. *The Lancet*, 375(9713), 445. doi:[https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(10\)60175-4](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(10)60175-4)

Laspra, B. (2015). Concepto y dimensiones de la cultura científica. Una revisión crítica de los paradigmas en comprensión pública de la ciencia. (PhD Doctoral dissertation). Universidad de Oviedo, Oviedo, Spain.

Latour, B. (1999). Pandora's hope: essays on the reality of science studies: Harvard university press.

Latour, B., & Woolgar, S. (1986). Laboratory life: the construction of scientific facts. Princeton, New Jersey: Princeton University Press.

Laugksch, R. C. (2000). Scientific literacy: A conceptual overview. *Science education*, 84(1), 71-94. doi:[https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-237X\(200001\)84:1<71::AID-SCE6>3.0.CO;2-C](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-237X(200001)84:1<71::AID-SCE6>3.0.CO;2-C)

Layton, D., Jenkins, E., & Donnelly, J. (1994). Scientific and technological literacy: meanings and rationales; an annotated bibliography. Retrieved from Paris: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000101262>

Leek, J. (2013). A summary of the evidence that most published research is false. Retrieved from <https://simplystatistics.org/2013/12/16/a-summary-of-the-evidence-that-most-published-research-is-false/>

Lengwiler, M. (2008). Participatory Approaches in Science and Technology: Historical Origins and Current Practices in Critical Perspective. *Science, Technology, & Human Values*, 33(2), 186-200. doi:10.1177/0162243907311262

- Leshner, A. I. (2003). Public Engagement with Science. *Science*, 299(5609), 977-977. doi:10.1126/science.299.5609.977
- Lévy-Leblond, J.-M. (1992). About misunderstandings about misunderstandings. *Public Understanding of Science*, 1(1), 17-21. doi:10.1088/0963-6625/1/1/004
- Lewenstein, B. (1995). Science and the Media. In S. Jasanoff, G. Markle, J. Petersen, & T. Pinch (Eds.), *Handbook of science and technology studies* (pp. 343-360). London: SAGE Publications.
- Lewenstein, B. (2010). Modelos de comprensión pública: la política de la participación pública. *Artefactos*, 3(1), 13-29. Retrieved from <https://hdl.handle.net/1813/37363>
- Li, N., Akin, H., Su, L. Y.-F., Brossard, D., Xenos, M., & Scheufele, D. A. (2016). Tweeting disaster: An analysis of online discourse about nuclear power in the wake of the Fukushima Daiichi nuclear accident. *Journal of Science Communication*, 15(5), A02. doi:<https://doi.org/10.22323/2.15050202>
- Li, R., Crowe, J., Leifer, D., Zou, L., & Schoof, J. (2019). Beyond big data: Social media challenges and opportunities for understanding social perception of energy. *Energy Research & Social Science*, 56. doi:10.1016/j.erss.2019.101217
- Liakopoulos, M. (2002). Pandora's Box or panacea? Using metaphors to create the public representations of biotechnology. *Public Understanding of Science*, 11(1), 5-32. doi:10.1088/0963-6625/11/1/301
- Liang, X., Su, L. Y.-F., Yeo, S. K., Scheufele, D. A., Brossard, D., Xenos, M., . . . Corley, E. A. (2014). Building Buzz:(Scientists) Communicating Science in New Media Environments. *Journalism & Mass Communication Quarterly*, 91(4), 772-791. doi:10.1177/1077699014550092
- Lin, Y.-R., Keegan, B., Margolin, D., & Lazer, D. (2014). Rising Tides or Rising Stars?: Dynamics of Shared Attention on Twitter during Media Events. *PLoS One*, 9(5), e94093. doi:10.1371/journal.pone.0094093
- Liu, B. (2011). Opinion Mining and Sentiment Analysis. In *Web Data Mining: Exploring Hyperlinks, Contents, and Usage Data* (pp. 459-526). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Liu, B. (2012). Sentiment analysis and opinion mining. *Synthesis lectures on human language technologies*, 5(1), 1-167. doi:<https://doi.org/10.2200/S00416ED1V01Y201204HLT016>
- Liu, X. (2009). Beyond science literacy: Science and the public. *International Journal of Environmental and Science Education*, 4(3), 301-311. Retrieved from <https://eric.ed.gov/?id=EJ884399>

Longino, H. (1990). *Science as social knowledge: Values and objectivity in scientific inquiry*. Princeton, USA: Princeton University Press.

Longino, H. (2001). *The fate of knowledge*. Princeton, USA: Princeton University Press.

Longino, H. (2019). The Social Dimensions of Scientific Knowledge. In E. N. Zalta (Ed.), *Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Summer 2019 Edition ed.). USA: Metaphysics Research Lab, Stanford University.

López-Pérez, L., & Olvera-Lobo, M. D. (2016). Comunicación pública de la ciencia a través de la web 2.0: El caso de los centros de investigación y universidades públicas de España. *El profesional de la información*, 25(3), 441-448. doi:<http://dx.doi.org/10.3145/epi.2016.may.14>

López-Pérez, L., & Olvera-Lobo, M. D. (2019). Participación digital del público en la ciencia de excelencia española: análisis de los proyectos financiados por el European Research Council. *El profesional de la información*, 28(1), 6. doi:<https://doi.org/10.3145/epi.2019.ene.06>

Lords, H. o. (2000). *Science and society, 3rd Report*. Retrieved from London, EU: <https://publications.parliament.uk/pa/ld199900/ldselect/ldsctech/38/3801.htm>

Mandavilli, A. (2011). Peer review: Trial by Twitter. *Nature*, 469(7330), 286-287. doi:10.1038/469286a

Matthes, J., & Kohring, M. (2008). The Content Analysis of Media Frames: Toward Improving Reliability and Validity. *Journal of Communication*, 58(2), 258-279. doi:10.1111/j.1460-2466.2008.00384.x

McFarland, L. A., & Ployhart, R. E. (2015). Social media: A contextual framework to guide research and practice. *Journal of Applied Psychology*, 100(6), 1653-1677. doi:10.1037/a0039244

McMullin, E. (1982). Values in Science. PSA: Proceedings of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association, 1982(2), 3-28. doi:10.1086/psaprocbienmeetp.1982.2.192409

Mejlgaard, N., & Ravn, T. (2015). Analytical report on the dimension of citizen engagement and participation of societal actors in research and innovation. Retrieved from Europe:

Mejlgaard, N., Ravn, T., Rask, M. T., Mačiukaitė-Žvinienė, S., & Tauginienė, L. (2015). *Final Report Summary PE2020*. Retrieved from EU: <https://cordis.europa.eu/project/id/611826/reporting>

Mejlgaard, N., & Stares, S. (2013). Performed and preferred participation in science and technology across Europe: Exploring an alternative idea of “democratic deficit”. *Public Understanding of Science*, 22(6), 660-673. doi:10.1177/09636625124446560

- Mellor, F., & Webster, S. (2017). *Written evidence submitted by the Science Communication Unit, Imperial College London (COM0014)*. Retrieved from London: <http://data.parliament.uk/writtenevidence/committeeevidence.svc/evidencedocument/science-and-technology-committee/science-communication/written/32372.pdf>
- Mention. (2018). 2018 Twitter Report. Retrieved from <https://info.mention.com/hubfs/Twitter%20Engagement%20Report%202018%20%7C%20Mention.pdf>
- Merton, R. K. (1942). Science and technology in a democratic order. *Journal of legal and political sociology*, 1(1), 115-126.
- Merton, R. K. (1968). The Matthew Effect in Science. The reward and communication systems of science are considered, 159(3810), 56-63. doi:10.1126/science.159.3810.56
- Merton, R. K. (1980). Los imperativos institucionales de la ciencia. In B. Barnes (Ed.), *Estudios sobre sociología de la ciencia*. Madrid: Alianza Editorial.
- Merton, R. K. ({1942} 1973). *The Normative Structure of Science* (N. W. Storer Ed.). Chicago: University of Chicago Press.
- Merton, R. K. ({1957} 1968). *Social theory and social structure*. New Your, USA: The Free Press.
- Metaxas, P., Mustafaraj, E., Wong, K., Zeng, L., Keefe, M. O., & Finn, S. (2015). *What Do Retweets Indicate? Results from User Survey and Meta-Review of Research*. Paper presented at the International AAAI Conference on Web and Social Media, North America.
- Micheli, M., Farnocchia, D., Meech, K. J., Buie, M. W., Hainaut, O. R., Prialnik, D., . . . Petropoulos, A. E. (2018). Non-gravitational acceleration in the trajectory of 1I/2017 U1 ('Oumuamua). *Nature*, 559(7713), 223-226. doi:10.1038/s41586-018-0254-4
- Michels, A. (2011). Innovations in democratic governance: how does citizen participation contribute to a better democracy? *International Review of Administrative Sciences*, 77(2), 275-293. doi:10.1177/0020852311399851
- Miller, J. (1983). Scientific Literacy: A Conceptual and Empirical Review. *Daedalus*, 112(2), 29-48. Retrieved from www.jstor.org/stable/20024852
- Miller, J. (1998). The measurement of civic scientific literacy. *Public Understanding of Science*, 7(3), 203-223. doi:10.1088/0963-6625/7/3/001
- Miller, J. (2004). Public Understanding of, and Attitudes toward, Scientific Research: What We Know and What We Need to Know. *Public Understanding of Science*, 13(3), 273-294. doi:10.1177/0963662504044908

Miller, J. (2014). La importancia de la alfabetización científica en un mundo just in time. In B. Laspra & E. Muñoz (Eds.), *Culturas científicas e innovadoras. Progreso social* (pp. 73-99). Buenos Aires: Eudeba.

Miller, J. D., Pardo, R., & Niwa, F. (1997). Public perceptions of science and technology. A comparative study of the European Union, the United States, Japan, and Canada. Madrid: Fundación BBV & Chicago Academy of Sciences.

Miller, S. (2001). Public understanding of science at the crossroads. *Public Understanding of Science*, 10(1), 115-120. doi:10.3109/a036859

Mirowski, P., & Sent, E.-M. (2002). *Science bought and sold: Essays in the economics of science*: University of Chicago Press.

Mohammadi, E., Thelwall, M., Kwasny, M., & Holmes, K. L. (2018). Academic information on Twitter: A user survey. *PLoS One*, 13(5), e0197265-e0197265. doi:10.1371/journal.pone.0197265

Montañés, Ó. (2011). *Problemas epistemológicos de la comunicación pública de la ciencia*. (PhD Doctoral dissertation). Universidad de Salamanca, Salamanca. Retrieved from <http://www.cervantesvirtual.com/nd/ark:/59851/bmc4t751> Biblioteca Virtual Miguel de Cervantes database.

Montuschi, E. (2000). Metaphor in Science. In W. Newton-Smith (Ed.), *A Companion to the Philosophy of Science* (pp. 277-282). Oxford: Blackwell Publishing.

Moreno-Castro, C. (1999). La información científico técnica y la formación democrática de los ciudadanos [Scientific-technical information and the democratic formation of citizens]. *Comunicar: Revista científica iberoamericana de comunicación y educación*, VII(13), 95-100. doi:<https://doi.org/10.3916/C13-1999-14>

Moreno-Castro, C. (2010). La construcción periodística de la ciencia a través de los medios de comunicación social: hacia una taxonomía de la difusión del conocimiento científico. *Journalistic construction of Science through the Mass Media: Towards a taxonomy of the broadcast of Scientific knowledge*. Retrieved from <http://hdl.handle.net/10366/120836>

Moreno-Castro, C., Corell-Doménech, M., & Camano-Puig, R. (2019). Which has more influence on perception of pseudo-therapies: the media's information, friends or acquaintances opinion, or educational background? *Communication & Society*, 32, 35-49. doi:10.15581/003.32.3.35-49

Moreno-Castro, C., Lopera, E., Vengut, E., Medvecky, F., Mendoza, I., Ordoñez, J., . . . Cabrera, Y. (2019). ScienceFlows. Retrieved from <http://scienceflows.com>

Morison, I. (2006). SETI in the new Millennium. *Astronomy & Geophysics*, 47(4), 4.12-14.16. doi:10.1111/j.1468-4004.2006.47412.x

Mulkay, M. J. (1976). Norms and ideology in science. *Social Science Information*, 15(4-5), 637-656. doi:10.1177/053901847601500406

Muñoz van den Eynde, A. (2012). Diez años de encuestas de percepción social de la ciencia y la tecnología en España: ha cambiado la actitud de la población. In *Percepción Social de la Ciencia y la Tecnología 2012* (pp. 257-291). Madrid: Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología.

Muñoz van den Eynde, A. (2014). Reflexión cognitiva. Implicaciones para la validez de las encuestas de percepción social de la ciencia y la tecnología. In A. Muñoz van den Eynde & E. Lopera Pareja (Eds.), *La percepción social de la ciencia: claves para la cultura científica* (pp. 47-79). Madrid: Los Libros de la Catarata.

Murphy, J., Hill, C. A., & Dean, E. (2013). Social Media, Sociality, and Survey Research. In E. D. C.A. Hill, J. Murphy (Ed.), *Social Media, Sociality, and Survey Research* (pp. 1-33): John Wiley & Sons.

Murphy, J., Link, M. W., Childs, J. H., Tesfaye, C. L., Dean, E., Stern, M., . . . Harwood, P. (2014). Social media in public opinion research: Executive summary of the aapor task force on emerging technologies in public opinion research. *Public Opinion Quarterly*, 78(4), 788-794. doi:https://doi.org/doi:10.1093/poq/nfu053

Murthy, D. (2012). Towards a Sociological Understanding of Social Media: Theorizing Twitter. *Sociology*, 46(6), 1059-1073. doi:10.1177/0038038511422553

Myers, G. (2003). Discourse Studies of Scientific Popularization: Questioning the Boundaries. *Discourse Studies*, 5(2), 265-279. doi:10.1177/1461445603005002006

Myers, S. A., Sharma, A., Gupta, P., & Lin, J. (2014). *Information network or social network? the structure of the twitter follow graph*. Paper presented at the Proceedings of the 23rd International Conference on World Wide Web, Seoul, Korea. https://doi.org/10.1145/2567948.2576939

Naaman, M., Boase, J., & Lai, C.-H. (2010). *Is it really about me? message content in social awareness streams*. Paper presented at the Proceedings of the 2010 ACM conference on Computer supported cooperative work, Savannah, Georgia, USA. https://doi.org/10.1145/1718918.1718953

Narr, S., Luca, E. W. D., & Albayrak, S. (2011). *Extracting semantic annotations from twitter*. Paper presented at the Proceedings of the fourth workshop on Exploiting semantic

annotations in information retrieval, Glasgow, Scotland, UK. <https://doi.org/10.1145/2064713.2064723>

Neill, U. S. (2008). Publish or perish, but at what cost? *The Journal of clinical investigation*, 118(7), 2368-2368. doi:10.1172/JCI36371

Neresini, F., & Bucchi, M. (2011). Which indicators for the new public engagement activities? An exploratory study of European research institutions. *Public Understanding of Science*, 20(1), 64-79. doi:<https://doi.org/10.1177/0963662510388363>

Nielsen, R. K., & Schrøder, K. C. (2014). The Relative Importance of Social Media for Accessing, Finding, and Engaging with News. *Digital Journalism*, 2(4), 472-489. doi:10.1080/21670811.2013.872420

Nisbet, M. C., & Scheufele, D. A. (2009). What's next for science communication? Promising directions and lingering distractions. *American Journal of Botany*, 96(10), 1767-1778. doi:10.3732/ajb.0900041

Nosek, B. A., Alter, G., Banks, G. C., Borsboom, D., Bowman, S. D., Breckler, S. J., . . . Yarkoni, T. (2015). Promoting an open research culture. *Science*, 348(6242), 1422-1425. doi:10.1126/science.aab2374

Nowotny, H., Scott, P., & Gibbons, M. (2001). Re-Thinking Science: Knowledge and the Public in An Age of Uncertainty. *Contemporary Sociology*, 32. doi:10.2307/3089636

Nowotny, H., Scott, P., & Gibbons, M. (2003). Introduction: 'Mode 2' Revisited: The New Production of Knowledge. *Minerva*, 41(3), 179-194. Retrieved from www.jstor.org/stable/41821245

O'Reilly, T. (2007). What is Web 2.0: Design patterns and business models for the next generation of software. *Communications & strategies*(1), 17.

Okasha, S. (2016). *Philosophy of Science: Very Short Introduction*: Oxford University Press.

Ovejero, F. (2001). Razones de la divulgación o razones de la ciencia. *Treballs de la Societat Catalana de Biologia*, 23-29. Retrieved from <https://www.raco.cat/index.php/TreballsSCBiologia/article/view/251404/0>

Owen, R., Macnaghten, P., & Stilgoe, J. (2012). Responsible research and innovation: From science in society to science for society, with society. *Science and Public Policy*, 39(6), 751-760. doi:10.1093/scipol/scs093

Pardo, R. (2001). La cultura científico-tecnológica de las sociedades de la modernidad tardía. *Treballs de la Societat Catalana de Biologia*(51), 35-63. Retrieved from <http://revistes.iec.cat/index.php/TSCB/article/view/6546/60281>

Pardo, R. (2014). De la alfabetización científica a la cultura científica: un nuevo modelo de apropiación social de la ciencia. In B. Laspra & E. Muñoz (Eds.), *Culturas científicas e innovadoras. Progreso social* (pp. 39-72). Buenos Aires: Eudeba.

Pardo, R., & Calvo, F. (2002). Attitudes toward science among the European public: a methodological analysis. *Public Understanding of Science*, 11(2), 155-195. doi:10.1088/0963-6625/11/2/305

Paulos, J. A. (1996). *Un matemático lee el periódico* (A. P. Moya, Trans.). Barcelona, ES: Tusquets.

PearAnalytics. (2009). *Twitter study*. Retrieved from San Antonio, TX: <https://pearanalytics.com/wp-content/uploads/2012/12/Twitter-Study-August-2009.pdf>

Pearce, W., Holmberg, K., Hellsten, I., & Nerlich, B. (2014). Climate Change on Twitter: Topics, Communities and Conversations about the 2013 IPCC Working Group 1 Report. *PLoS One*, 9(4), e94785. doi:10.1371/journal.pone.0094785

Peirce, C. S. (1868). Some consequences of four incapacities. *Journal of Speculative Philosophy*, 2(3), 140-157.

Pella, M. O., O'hearn, G. T., & Gale, C. W. (1966). Referents to scientific literacy. *Journal of Research in Science Teaching*, 4(3), 199-208. doi:10.1002/tea.3660040317

Percastre-Mendizábal, S., Pont-Sorribes, C., & Codina, L. (2017). A sample design proposal for the analysis of Twitter in political communication. *El profesional de la información (EPI)*, 26(4), 579-588. doi:<https://doi.org/10.3145/epi.2017.jul.02>

Pérez-Rodríguez, A. V., González-Pedraz, C., & Alonso-Berrocal, J. L. (2018). Twitter como herramienta de comunicación científica en España. Principales agentes y redes de comunicación [Twitter as a tool for science communication in Spain. Main agents and communication networks]. *Communication Papers*, 7(13), 95-112. doi:https://doi.org/10.33115/udg_bib/cp.v7i13.21986

Peters, H. P. (2013). Gap Between Science and Media Revisited: Scientists as Public Communicators. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 110. doi:10.1073/pnas.1212745110

Peters, H. P., Dunwoody, S., Allgaier, J., Lo, Y.-Y., & Brossard, D. (2014). Public communication of science 2.0. *EMBO reports*, 15(7), 749-753. doi:10.15252/embr.201438979

Peters, P. (2000). From information to attitudes? Thoughts on the relationship between knowledge about science and technology and attitudes toward technologies. In M. Dierkes &

C. v. Grote (Eds.), *Between understanding and trust. The public, science and technology* (pp. 265-286). London and New York: Routledge.

Pickering, A. (1984). *Constructing Quarks: A Sociological History of Particle Physics*. Chicago, USA: University of Chicago Press.

Pigliucci, M. (2013). The demarcation problem. A (belated) response to Laudan. In M. Pigliucci & M. Boudry (Eds.), *Philosophy of pseudoscience: Reconsidering the demarcation problem* (Vol. 9). USA: University of Chicago Press.

Pisani, F., & Piotet, D. (2009). La alquimia de las multitudes: cómo la web está cambiando el mundo. Retrieved from Barcelona:

Polanyi, M. (1962). The Republic of science. *Minerva*, 1(1), 54-73. doi:10.1007/bf01101453

Pont Sorribes, C., Cortiñas Rovira, S., & Di Bonito, I. (2013). Challenges and opportunities for science journalists in adopting new technologies: the case of Spain. *Journal of Science Communication*, 12(3). doi:https://doi.org/10.22323/2.12030205

Popli, R. (1999). Scientific literacy for all citizens: different concepts and contents. *Public Understanding of Science*, 8(2), 123-137. doi:10.1088/0963-6625/8/2/304

Popper, K. ({1934} 1962). La lógica de la investigación científica. Conjeturas y Refutaciones (V. S. d. Zavala, Trans.). Madrid: Tecnos.

Popper, K. ({1962} 2003). *Conjectures and Refutations: The Growth of Scientific Knowledge* (S. Micali Ed.). New York, London: Basic Books.

Prewitt, K. (1997). *Analfabetismo científico y teoría democrática*. México DF: UNESCO, Red Pop y Fondo de Cultura Económica.

Priem, J., Groth, P., & Taraborelli, D. (2012). The Altmetrics Collection. *PLoS One*, 7(11), e48753. doi:10.1371/journal.pone.0048753

Quercia, D., Ellis, J., Capra, L., & Crowcroft, J. (2011, 9-11 Oct). *In the Mood for Being Influential on Twitter*. Paper presented at the 2011 IEEE Third International Conference on Privacy, Security, Risk and Trust and 2011 IEEE Third International Conference on Social Computing, Boston, MA, USA.

Quiñónez Gómez, H. A., & Sánchez Colmenares, M. F. (2017). Uso de twitter en el Periodismo científico. Caso: El Nacional y El Universal en Venezuela (septiembre-octubre de 2014). *Estudios sobre el Mensaje Periodístico*, 23(1), 553-568. doi:https://doi.org/10.5209/esmp.55613

- Ranger, M., & Bultitude, K. (2016). 'The kind of mildly curious sort of science interested person like me': Science bloggers' practices relating to audience recruitment. *Public Understanding of Science*, 25(3), 361-378. doi:10.1177/0963662514555054
- Raza, G., & Singh, S. (2012). The cultures of public understanding of science: Defining cultural distance. In M. Bauer, R. Shukla, & N. Allum (Eds.), *The culture of science: How the public relates to science across the globe* (pp. 282-299). New York: Routledge.
- Raza, G., Singh, S., & Dutt, B. (2002). Public, Science, and Cultural Distance. *Science Communication*, 23(3), 293-309. doi:10.1177/107554700202300305
- Raza, G., Singh, S., Dutt, B., & Chandra, J. (1996). Confluence of Science and Peoples' Knowledge at the Sangam. In (pp. 132). New Delhi: NISTED.
- Ribas, C. (2012). La divulgación y la comunicación de la ciencia, en la encrucijada. *Sociedad Española de Bioquímica y Biología Molecular*, 173, 10-12. Retrieved from <http://www.escepticos.es/node/3175>
- Riesch, H., & Mendel, J. (2014). Science Blogging: Networks, Boundaries and Limitations. *Science as Culture*, 23, 51-72.
- Riesch, H., & Potter, C. (2014). Citizen science as seen by scientists: Methodological, epistemological and ethical dimensions. *Public Understanding of Science*, 23(1), 107-120. doi:10.1177/0963662513497324
- Roberts, D. A. (2007). Scientific literacy/Science literacy. In S. Abell & N. Lederman (Eds.), *Handbook of research on science education* (pp. 729-780). London and New York: Routledge.
- Robinson-Garcia, N., Costas, R., Isett, K., Melkers, J., & Hicks, D. (2017). The unbearable emptiness of tweeting—About journal articles. *PLoS One*, 12(8), e0183551. doi:10.1371/journal.pone.0183551
- Rogers, R. (2013). *Debanalizing Twitter: the transformation of an object of study*. Paper presented at the Proceedings of the 5th Annual ACM Web Science Conference, Paris, France. <https://doi.org/10.1145/2464464.2464511>
- Rosen, A., & Ihara, I. (2017). Giving you more characters to express yourself. Retrieved from https://blog.twitter.com/official/en_us/topics/product/2017/Giving-you-more-characters-to-express-yourself.html
- Rosen, C., Guenther, L., & Froehlich, K. (2016). The Question of Newsworthiness: A Cross-Comparison Among Science Journalists' Selection Criteria in Argentina, France, and Germany. *Science Communication*, 38(3), 328-355. doi:10.1177/1075547016645585

Rosselli, R., Martini, M., & Bragazzi, N. L. (2016). The old and the new: vaccine hesitancy in the era of the Web 2.0. Challenges and opportunities. *Journal of preventive medicine and hygiene*, 57(1), E47-E50. Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27346940>

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4910443/>

Roth, A. (2003). Introducción para el análisis de las Políticas Públicas. *Cuadernos de Administración*, 19(30), 113-128.

Rowe, G., & Frewer, L. J. (2000). Public Participation Methods: A Framework for Evaluation. *Science, Technology, & Human Values*, 25(1), 3-29. doi:10.1177/016224390002500101

Rowe, G., & Frewer, L. J. (2005). A Typology of Public Engagement Mechanisms. *Science, Technology, & Human Values*, 30(2), 251-290. doi:10.1177/0162243904271724

Rowe, G., Horlick-Jones, T., Walls, J., & Pidgeon, N. (2005). Difficulties in evaluating public engagement initiatives: reflections on an evaluation of the UK GM Nation? public debate about transgenic crops. *Public Understanding of Science*, 14(4), 331-352. doi:10.1177/0963662505056611

Rowlands, I., Nicholas, D., Russell, B., Canty, N., & Watkinson, A. (2011). Social media use in the research workflow. *Learned Publishing*, 24(3), 183-195. doi:10.1087/20110306

Runge, K. K., Yeo, S. K., Cacciatore, M., Scheufele, D. A., Brossard, D., Xenos, M., . . . Su, L. Y.-F. (2013). Tweeting nano: how public discourses about nanotechnology develop in social media environments. *Journal of Nanoparticle Research*, 15(1), 1381. doi:10.1007/s11051-012-1381-8

Sagan, C., Druyan, A., Soter, S., Malone, A., & Andorfer, G. (1980). *Cosmos: A personal voyage* [Television series]. Arlington, VA: Public Broadcasting Service.

Santana, M. (2006). *Explicación, experimentos y tecnología*. Universidad de La Laguna, Retrieved from <http://riull.ull.es/xmlui/handle/915/9854>

Sasahara, K., Hirata, Y., Toyoda, M., Kitsuregawa, M., & Aihara, K. (2013). Quantifying Collective Attention from Tweet Stream. *PLoS One*, 8(4), e61823. doi:10.1371/journal.pone.0061823

Schäfer, M. S. (2009). From Public Understanding to Public Engagement: An Empirical Assessment of Changes in Science Coverage. *Science Communication*, 30(4), 475-505. doi:10.1177/1075547008326943

Schäfer, M. S. (2012). Online communication on climate change and climate politics: a literature review. *WIREs Climate Change*, 3(6), 527-543. doi:10.1002/wcc.191

Schmidt, J.-H. (2014). Twitter and the rise of personal publics. In K. Weller, A. Bruns, J. Burgess, M. Mahrt, & C. Puschmann (Eds.), *Twitter and society* (pp. 3-14). New York, USA.

Science, C. f. O. (2015). Guidelines for Transparency and Openness Promotion (TOP) in journal policies and practices: "The TOP Guidelines" (Version 1.0.1). Retrieved from Virginia, USA: <https://cos.io/top/>

Seargeant, J., & Steele, J. (1998). Consulting the public: Guidelines and good practice (Vol. 849): Policy Studies Institute.

Senabre, E., Ferran-Ferrer, N., & Perelló, J. (2018). Participatory design of citizen science experiments. *Comunicar. Media Education Research Journal*, 26(1).

Shamos, M. H. (1995). *The myth of scientific literacy*. New Jersey, USA: Rutgers University Press.

Shan, L., Regan, Á., De Brún, A., Barnett, J., van der Sanden, M. C. A., Wall, P., & McConnon, Á. (2014). Food crisis coverage by social and traditional media: A case study of the 2008 Irish dioxin crisis. *Public Understanding of Science*, 23(8), 911-928. doi:10.1177/0963662512472315

Shapere, D. (1984). *Reason and the Search for Knowledge* (R. S. Cohen & M. W. Wartofsky Eds.). Dordrecht, Holland: D. Reidel Publishing Company.

Shapin, S. (1990). Science and the public. In R. C. Olby, G. N. Cantor, J. R. R. Christie, & M. J. S. Hodge (Eds.), *Companion to the History of Modern Science*. London: Routledge.

Shapin, S., & Schaffer, S. (1985) (2017). *Leviathan and the Air-Pump: Hobbes, Boyle, and the Experimental Life*. USA: Princeton University Press.

Shema, H., Bar-Ilan, J., & Thelwall, M. (2012). Research Blogs and the Discussion of Scholarly Information. *PLoS One*, 7(5), e35869. doi:10.1371/journal.pone.0035869

Shen, B. S. P. (1975). Science Literacy: Public understanding of science is becoming vitally needed in developing and industrialized countries alike. *American Scientist*, 63(3), 265-268. Retrieved from www.jstor.org/stable/27845461

Shermer, M. (2011). What Is Pseudoscience? Distinguishing between science and pseudoscience is problematic. Retrieved from <https://www.scientificamerican.com/article/what-is-pseudoscience/>

Shukla, R., & Bauer, M. (2007). Construction and validation of science culture index : Results from comparative analysis of engagement knowledge and attitudes to science: India and Europe. London and Delhi: Royal Society.

- Shukla, R., & Bauer, M. (2012). The science culture index (SCI): Construction and validation. In M. Bauer, R. Shukla, & N. Allum (Eds.), *The Culture of Science* (pp. 179-199). New York and London: Routledge.
- Silge, J., & Robinson, D. (2016a). R package tidytext. Text mining using dplyr, ggplot2, and other tidy tools: GitHub. Retrieved from <https://github.com/juliasilge/tidytext>
- Silge, J., & Robinson, D. (2016b). tidytext: Text mining and analysis using tidy data principles in R. *Journal of Open Source Software*, 1(3), 37. doi:10.21105/joss.00037
- Slovic, P., & Peters, E. (1998). The importance of worldviews in risk perception. *Risk decision and policy*, 3(2), 165-170. doi:<https://doi.org/10.1080/135753098348275>
- Small, T. A. (2011). What the hashtag? *Information, Communication & Society*, 14(6), 872-895. doi:10.1080/1369118X.2011.554572
- Smith, G. (2005). Beyond the ballot: 57 democratic innovations from around the world. Exeter, EU: Power Inquiry.
- Smith, K. (2020). 60 Incredible and Interesting Twitter Stats and Statistics. Retrieved from <https://www.brandwatch.com/blog/twitter-stats-and-statistics/>
- Snow, C. P. (1959). *The two cultures*. Paper presented at the The Rede Lecture, Cambridge.
- social, W. a. (2019). Digital 2019 Q4 Global digital statshot. Retrieved from <https://wearesocial.com/blog/2019/10/the-global-state-of-digital-in-october-2019>
- Society, R. (1985). *The Public Understanding of Science* (0854032576). Retrieved from London, EU: https://royalsociety.org/~media/Royal_Society_Content/policy/publications/1985/10700.pdf
- Sokal, A. (1998). What the Social Text Affair Does and Does Not Prove. In N. Koertge (Ed.), *A House Built on Sand: Exposing Postmodernist Myths about Science*. Oxford, UK: Oxford University Press.
- Sokal, A. D. (1996). Transgressing the Boundaries: Toward a Transformative Hermeneutics of Quantum Gravity. *Social Text*(46/47), 217-252. doi:10.2307/466856
- Stadler, F. (2015). The Vienna circle: Studies in the origins, development, and influence of logical empiricism (Vol. 4): Springer.
- Statista. (2019, October 2019). Global social media ranking 2019. Retrieved from <https://bit.ly/2DndVxY>
- Stats, I. L. (2019). Twitter Usage Statistics. Retrieved from <https://www.internetlivestats.com/twitter-statistics/#.XjqtauOpz9g.twitter>

Steelman, J. R. (1947). *Science and Public Policy*. Washington, USA: United States Government Printing Office

Stein, M. I. (1962). Creativity and the scientist. In B. Barber & W. Hirsch (Eds.), *The sociology of science* (pp. 329-343): The Free Press.

Stieglitz, S., & Dang-Xuan, L. (2013). Emotions and Information Diffusion in Social Media — Sentiment of Microblogs and Sharing Behavior. *Journal of Management Information Systems*, 29, 217-248. doi:10.2753/MIS0742-1222290408

Stilgoe, J., Lock, S. J., & Wilsdon, J. (2014). Why should we promote public engagement with science? *Public Understanding of Science*, 23(1), 4-15. doi:10.1177/0963662513518154

Stirling, A. (2008). "Opening Up" and "Closing Down": Power, Participation, and Pluralism in the Social Appraisal of Technology. *Science, Technology, & Human Values*, 33(2), 262-294. doi:10.1177/0162243907311265

Stokes, D. E. (2011). *Pasteur's quadrant: Basic science and technological innovation*: Brookings Institution Press.

Sturgis, P., & Allum, N. (2004). Science in Society: Re-Evaluating the Deficit Model of Public Attitudes. *Public Understanding of Science*, 13(1), 55-74. doi:10.1177/0963662504042690

Sugimoto, C. R., Work, S., Larivière, V., & Haustein, S. (2017). Scholarly use of social media and altmetrics: A review of the literature. *Journal of the Association for Information Science and Technology*, 68(9), 2037-2062. doi:10.1002/asi.23833

Sutton, J., Palen, L., & Shklovski, I. (2008). Backchannels on the Front Lines: Emergent Uses of Social Media in the 2007 Southern California Wildfires. *Proceedings of the 5th International ISCRAM Conference*.

Team, R. C. (2014). *R: A language and environment for statistical computing*. Vienna, Austria.: R Foundation for Statistical Computing. Retrieved from <https://www.r-project.org>

Tecnología, F. E. p. I. C. y. I. (2005). *Percepción social de la ciencia y la tecnología en España 2005*. Retrieved from Madrid:

Tecnología, F. E. p. I. C. y. I. (2018). *Percepción social de la ciencia y la tecnología en España 2018*. Retrieved from Madrid:

Thagard, P. R. (1978). *Why astrology is a pseudoscience*. Paper presented at the PSA: Proceedings of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association.

- Thelwall, M., Haustein, S., Larivière, V., & Sugimoto, C. R. (2013). Do Altmetrics Work? Twitter and Ten Other Social Web Services. *PLoS One*, 8(5), e64841. doi:10.1371/journal.pone.0064841
- Thomas, G., & Durant, J. (1987). Why should we promote the public understanding of science? In M. Shortland (Ed.), *Scientific Literacy Papers: A Journal of Research in Science, Education and the Public* (pp. 1-14). Oxford: University of Oxford Department for External Studies.
- Thorne, K. (2014). *The science of Interstellar*: WW Norton & Company.
- Thornton, S. (2019). Karl Popper. In E. N. Zalta (Ed.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Winter 2019 ed.): Metaphysics Research Lab, Stanford University.
- Topçu, S. (2008). Confronting Nuclear Risks: Counter-Expertise as Politics Within the French Nuclear Energy Debate. 3(2), 225. doi:10.3167/nc.2008.030205
- Torres-Salinas, D., Cabezas-Clavijo, Á., & Jiménez-Contreras, E. (2013). Altmetrics: nuevos indicadores para la comunicación científica en la Web 2.0. *Comunicar*, XXI(41), 53-60. doi:https://doi.org/10.3916/C41-2013-05
- Torres-Salinas, D., Robinson-García, N., & Cabezas-Clavijo, Á. (2011). Compartir los datos de investigación: introducción al data sharing. *El profesional de la información*, 21(2), 173-184. doi:https://doi.org/10.3145/epi.2012.mar.08
- Townsend, M. (2011). Big Bang Theory fuels physics boom. Retrieved from <https://www.theguardian.com/education/2011/nov/06/big-bang-theory-physics-boom>
- Trench, B. (2008). Internet: Turning science communication inside-out? In M. Bucchi & B. Trench (Eds.), *Handbook of Public Communication of Science and Technology*. London and New York: Routledge.
- Turney, J. (2006). Literatura de la realidad: la nueva ciencia popular. *Quark*, 23-29.
- Twitter (Producer). (2019). Application Programming Interface. Retrieved from <https://developer.twitter.com>
- Uddin, M., Imran, M., & Sajjad, H. (2014). *Understanding Types of Users on Twitter*. Paper presented at the SocialCom-Stanford, California, USA. <https://arxiv.org/abs/1406.1335>
- Uren, V., & Dadzie, A.-S. (2015). Public science communication on Twitter: a visual analytic approach. *Aslib Journal of Information Management*, 67(3), 337-355. doi:10.1108/AJIM-10-2014-0137

- Van Dijck, J. (2011). Tracing Twitter: The rise of a microblogging platform. *International Journal of Media & Cultural Politics*, 7(3), 333-348. doi:10.1386/macp.7.3.333_1
- Van Liere, D. (2010). *How far does a tweet travel? Information brokers in the twitterverse*. Paper presented at the Proceedings of the International Workshop on Modeling Social Media, Toronto, Ontario, Canada. <https://doi.org/10.1145/1835980.1835986>
- Van Noorden, R. (2014). Online collaboration: Scientists and the social network. *Nature news*, 512(7513), 126-129. doi:<https://doi.org/10.1038/512126a>
- Vargiu, A. (2014). Indicators for the Evaluation of Public Engagement of Higher Education Institutions. *Journal of the Knowledge Economy*, 5(3), 562-584. doi:10.1007/s13132-014-0194-7
- Veletsianos, G. (2011). Higher education scholars' participation and practices on Twitter. *Journal of Computer Assisted Learning*, 28. doi:10.1111/j.1365-2729.2011.00449.x
- Veltri, G. (2013). Microblogging and nanotweets: Nanotechnology on Twitter. *Public Understanding of Science*, 22(7), 832-849. doi:10.1177/0963662512463510
- Veltri, G., & Atanasova, D. (2015). Climate change on Twitter: Content, media ecology and information sharing behaviour. *Public Understanding of Science*, 26. doi:10.1177/0963662515613702
- Vinck, D. (2015). *Ciencias y sociedad: sociología del trabajo científico*: Gedisa.
- Vogt, C. (2012). The spiral of scientific culture and cultural well-being: Brazil and Ibero-America. *Public Understanding of Science*, 21(1), 4-16. doi:10.1177/0963662511420410
- Walter, S., Lörcher, I., & Brüggemann, M. (2019). Scientific networks on Twitter: Analyzing scientists' interactions in the climate change debate. *Public Understanding of Science*, 28(6), 696-712. doi:10.1177/0963662519844131
- Wampler, B. (2012). Participation, Representation, and Social Justice: Using Participatory Governance to Transform Representative Democracy. *Polity*, 44(4), 666-682. doi:10.1057/pol.2012.21
- Ward, T. (2017). The 40-Year Old Mystery of The "Wow!" Signal Has Just Been Solved. Retrieved from <https://www.sciencealert.com/the-40-year-old-mystery-of-the-wow-signal-was-just-solved>
- Wasike, B. (2019). Citations Gone #Social: Examining the Effect of Altmetrics on Citations and Readership in Communication Research. *Social Science Computer Review*. doi:10.1177/0894439319873563

- Waters, R. D., & Jamal, J. Y. (2011). Tweet, tweet, tweet: A content analysis of nonprofit organizations' Twitter updates. *Public Relations Review*, 37(3), 321-324. doi:<https://doi.org/10.1016/j.pubrev.2011.03.002>
- Watson, P. (2002). *Historia intelectual del siglo XX*. Barcelona: Crítica.
- Weigold, M. F., & Treise, D. (2004). Attracting Teen Surfers to Science Web Sites. *Public Understanding of Science*, 13(3), 229-248. doi:10.1177/0963662504045504
- Weinberg, A. M. (1961). Impact of Large-Scale Science on the United States. *Science*, 134(3473), 161-164. Retrieved from www.jstor.org/stable/1708292
- Weinberg, A. M. (1963). Criteria for scientific choice. *Minerva*, 1(2), 159-171. doi:10.1007/BF01096248
- Weller, K., Bruns, A., Burgess, J., Mahrt, M., & Puschmann, C. (2013). *Twitter and Society*: Peter Lang.
- Westerman, D., Spence, P. R., & Van Der Heide, B. (2012). A social network as information: The effect of system generated reports of connectedness on credibility on Twitter. *Computers in Human Behavior*, 28(1), 199-206. doi:<https://doi.org/10.1016/j.chb.2011.09.001>
- White, S. (2014). Minecraft in space: Why Nasa is embracing Kerbal space program. *The Guardian*, 22.
- Whitley, R. D. (1970). Black Boxism and the Sociology of Science: A Discussion of the Major Developments in the Field. *The Sociological Review*, 18(1), 61-92. doi:10.1111/j.1467-954X.1970.tb03176.x
- Wilkinson, D., & Thelwall, M. (2012). Trending Twitter topics in English: An international comparison. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 63(8), 1631-1646. doi:10.1002/asi.22713
- Williams, E. (2013) *Ev Williams on Twitter's Early Years*/Interviewer: I. Lapowsky. Inc.
- Wilsdon, J., & Willis, R. (2004). See-through Science: Why public engagement needs to move upstream.
- Wilson, C. (2019). Updated: Lifespan of a Social Media Post. Retrieved from <https://mtomconsulting.com/updated-lifespan-of-a-social-media-post/>
- Winterton, S. L., Guek, H. P., & Brooks, S. J. (2012). A charismatic new species of green lacewing discovered in Malaysia (Neuroptera, Chrysopidae): the confluence of citizen scientist, online image database and cybertaxonomy. *ZooKeys*(214), 1.

- Wynne, B. (1992). Public understanding of science research: new horizons or hall of mirrors? *Public Understanding of Science*, 1(1), 37-43. doi:10.1088/0963-6625/1/1/008
- Wynne, B. (1993). Public uptake of science: a case for institutional reflexivity. *Public Understanding of Science*, 2(4), 321-337. doi:10.1088/0963-6625/2/4/003
- Wynne, B. (1995). Public understanding of science. In S. Jasanoff, G. E. Markle, J. C. Peterson, & T. Pinch (Eds.), *Handbook of science and technology studies* (Vol. 1, pp. 361-388): SAGE Publications, Inc.
- Wynne, B. (2014). Further disorientation in the hall of mirrors. *Public Understanding of Science*, 23(1), 60-70. doi:10.1177/0963662513505397
- Yardi, S., & Boyd, D. (2010). Dynamic Debates: An Analysis of Group Polarization Over Time on Twitter. *Bulletin of Science, Technology & Society*, 30(5), 316-327. doi:10.1177/0270467610380011
- Zhao, W. X., Jiang, J., Weng, J., He, J., Lim, E.-P., Yan, H., & Li, X. (2011). *Comparing Twitter and Traditional Media Using Topic Models*. Paper presented at the ECIR 2011, Berlin, Heidelberg.
- Ziman, J. (1991). Public Understanding of Science. *Science, Technology, & Human Values*, 16(1), 99-105. doi:10.1177/016224399101600106
- Ziman, J. (2003). Ciencia y sociedad civil. *Isegoría*, 0(28), 5-17. doi:https://doi.org/10.3989/isegoria.2003.i28.503
- Ziman, J. (1978) 1991). *Reliable knowledge: An exploration of the grounds for belief in science*. Cambridge: Cambridge University Press.