

El grafè: Comunicació i transferència de coneixement
a través de la premsa online i de metodologies de
disseny participatives

Blanca Guasch i Balcells

TESI DOCTORAL UPF / 2019

DIRECTORS DE LA TESI

Dr. Sergi Cortiñas Rovira

Dra. Marta González Colominas (Elisava)

DEPARTAMENT DE COMUNICACIÓ



Al temps

Agraïments

Després de més de tres anys de tesi doctoral, me n'adono del llarg camí que he fet per arribar on sóc avui. Aquests anys de recerca m'han portat a viure milers d'experiències, a adquirir més coneixement del què em pensava i a sentir-me acompanyada de moltes persones que m'han anat obrint portes i m'han acompanyat en aquest camí. És per això que ara només puc donar gràcies a tot el recolzament rebut.

Primerament, vull agrair la tasca dels meus directors de tesi, el Dr. Sergi Cortiñas Rovira i la Dra. Marta González Colominas, ja que sense ells no hauria arribat fins aquí. Gràcies per les tutories, les hores dedicades, les correccions i aportacions, la guia i l'acompanyament. També vull donar les gràcies al Dr. Javier Peña Andrés, per haver cregut en mi des que em va conèixer. Gràcies per l'oportunitat, el suport, l'energia i la motivació.

Així mateix, vull dirigir un agraïment als dos departaments que han acollit la meua recerca. D'una banda, el Grup de Recerca en Comunicació Científica (GRECC) de la Universitat Pompeu Fabra i, de l'altra, l'*Advanced and Smart Materials Research Group* d'Elisava Escola Universitària. Gràcies, també, a Elisava pel finançament que m'ha aportat per poder realitzar aquest doctorat.

Per la realització dels tallers que m'han permès dur a terme l'experimentació de la tesi, vull agrair especialment la col·laboració de MATERPLAT, CSIC, CIC EnergiGUNE, ETSII-UPM, ITENE, EXPOQUIMIA, Fira Gran Via i el Col·legi Maristes Montserrat. Gràcies per haver-me cedit els vostres espais, per la facilitat de treballar amb vosaltres, i per haver-me acollit amb els braços oberts. Gràcies, alhora, als 281 participants que han viscut algun dels meus tallers, per la vostra motivació, ment oberta i actitud proactiva.

En el terreny més personal, voldria agrair als meus alumnes d'Elisava tot el què m'han aportat amb els seus dubtes i inquietuds. La motivació i entrega que han despertat en mi a través de les interessants converses que sorgien a les classes i al laboratori.

A les meves amigues de Lleida, les de tota la vida, els hi agraeixo ser-hi sempre. Sento el vostre recolzament en tot el què faig, malgrat la distància. Gràcies per les converses, els consells, els ànims, la comprensió en moments difícils, els riures incontrolables i la força imparabile que tenim quan fem pinya.

Finalment, i com no podia ser d'altra manera, agraeixo a la meva família tot el suport que m'ha donat, i que em segueix i seguirà donant durant tota la vida. Perquè res té sentit si no es fa amb amor, i aquesta és la norma no escrita que sempre ens ha guiat. Gràcies avis, germans, tiets, cosins i nebots, perquè m'heu ensenyat a viure estimant i perquè, amb gestos petits però poderosos, sempre em recordeu el què és important. Gràcies pares, per tot. Perquè la gran quantitat de coses per les que us he de donar les gràcies no hi caben en aquesta pàgina. Gràcies per donar-me la vida, per omplir-la de llum i color, i per ser-ne cada dia una part tan important.

“Nanotechnology is an idea that most people simply didn’t believe”

Ralph Merkle

“The true sign of intelligence is not knowledge but imagination”

Albert Einstein

Resum

La rapidesa amb què dia a dia evoluciona la ciència fa que sigui gairebé impossible per a la societat estar ben informada sobre els darrers avenços; fet que dificulta la presa de decisions i la vinculació ciutadana en ciència. En aquesta tesi s'analitza la comunicació que s'està duent a terme sobre un avenç científic rellevant en ciència de materials: el grafè, un material bidimensional aïllat per primer cop l'any 2004, que presenta unes propietats úniques i excepcionals. Alhora, es proposa una nova via de comunicació per al grafè, mitjançant l'aplicació de metodologies de disseny participatives en tallers cooperatius amb experts, no experts i estudiants de secundària. Els resultats desvetllen, entre d'altres, que el discurs transmès en premsa té un to marcadament positiu; que l'electrònica és el sector de major interès per l'aplicació del grafè, i que la recerca i el finançament són els temes més tractats. D'altra banda, les metodologies de disseny participatives han demostrat ser útils per connectar el grafè amb diferents sectors de la indústria, amb la societat, i amb l'àmbit educatiu, a més d'aportar altres beneficis socials, culturals i econòmics.

Abstract

The rapidity with which science evolves every day makes it almost impossible for society to be well informed about the latest scientific advances. This makes it difficult for decision-making and the public engagement in science. This thesis analyzes the communication that is being carried out on a relevant scientific advance in materials science: graphene, a two-dimensional material isolated for the first time in 2004, which has unique and exceptional properties. Besides that, a new communication channel for graphene is proposed through the application of participatory design methodologies in cooperative workshops with experts, non-experts, and high school students. The results reveal that the information transmitted in the press has a markedly positive tone; that electronics is the sector of greatest interest for the application of graphene, and that research and funding are the most commented topics, among others. On the other hand, participatory design methodologies have proven to be useful for connecting graphene with different industry sectors, with society, and with the educational field. Moreover, they provide other social, cultural, and economic benefits.

Pròleg

En aquesta tesi doctoral es presenta un estudi sobre la comunicació del grafè i, alhora, es proposa una nova via de divulgació i intercanvi a través de l'aplicació de metodologies de disseny en tallers participatius per a diferents públics. La comunicació científica és una disciplina molt àmplia que permet una gran varietat de formats. És per això que, mitjançant la realització d'aquesta tesi, s'ha volgut revalorar la manera en què s'estan transmetent avui en dia els coneixements sobre un avenç científic tan rellevant com el grafè.

El grafè és un nanomaterial descobert l'any 2004 a la Universitat de Manchester. Fou el primer material bidimensional en ser aïllat, i les seves propietats superen amb escreix les dels materials convencionals. A partir del seu descobriment, es va desencadenar la recerca en materials bidimensionals i la creació de molts centres i instituts tecnològics. A banda d'això, l'anomenat "boom" del grafè va generar peces periodístiques en nombroses publicacions, generalment centrades en l'exaltació del material, de les seves propietats, i de les possibles futures aplicacions (com, per exemple, plaques fotovoltaïques transparents, dispositius electrònics flexibles, bateries amb gairebé el 100% d'eficiència energètica o equipaments mèdics domèstics).

No obstant, en ciència de materials es necessiten anys de recerca abans que un material pugui ser aplicat, estandarditzat i comercialitzat en plenes condicions. Per aquest motiu, la rapidesa de la comunicació xoca ara, i des de ja fa uns anys, amb la lentitud de la ciència. Aquest buit temporal ha generat inquietud per diverses bandes: l'interès i alhora el desconeixement de les empreses, l'enorme inversió per part de la Unió Europea i de diverses multinacionals, la competitivitat d'un mercat sense regulació ni normatives, el sensacionalisme en premsa, la manca d'estudis sobre toxicitat, la falta de legislació en tots els països, etc., són factors latents des de l'any 2004, i sembla que així seguiran durant els propers anys.

En aquest context, dirigit per la potencialitat d'un material, és on neix i s'engloba aquesta tesi doctoral. La tesi s'inicia amb un recull de totes les notícies sobre el grafè publicades per tres diaris de referència internacional en la seva versió en línia: *The New*

York Times (Estats Units), *The Guardian* (Regne Unit) i *El País* (Espanya). L'anàlisi es realitza sobre les notícies publicades entre l'octubre de l'any 2004, coincidint amb el primer aïllament del grafè, i l'octubre del 2017. En base als resultats d'aquesta anàlisi, i havent detectat els punts febles en la comunicació de masses sobre el grafè, es consideren diverses opcions per incrementar i aportar valor a tal comunicació.

Es consideren diferents formats i vies i, finalment, s'opta per la generació de tallers participatius amb la inclusió de metodologies del camp del disseny, pel fet de ser una disciplina que ofereix nombroses possibilitats de treball cooperatiu. En els tallers s'empren diferents tècniques creatives, i les sessions són moderades per la figura d'una facilitadora. Cada sèrie de tallers es presenta en aquesta tesi com un cas d'estudi, focalitzat en un públic objectiu diferent:

- **Cas d'estudi 1: Tallers amb experts**

Aquests tallers s'anomenen "*Graphene Days*" (GD), i es realitzen amb experts de l'àmbit del grafè provinents de centres de recerca, i experts d'empreses de diferents sectors. Es duen a terme cinc sessions a cinc ciutats diferents: (GD1) Construcció i hàbitat, a Barcelona; (GD2) Energia, a Vitòria; (GD3) Transport, a Madrid; (GD4) Alimentació i embalatge, a València i (GD5) Salut, a L'Hospitalet de Llobregat. A part de transmetre coneixements sobre el grafè a les empreses dels sectors mencionats, aquests tallers van també dirigits a posar en contacte CIÈNCIA i INDÚSTRIA, i a generar un nou espai de diàleg amb un llenguatge comú i així propiciar possibles futures col·laboracions.

- **Cas d'estudi 2: Tallers amb no experts**

El segon cas d'estudi es destina a persones adultes no relacionades amb el grafè i, ni tan sols, amb la ciència o amb cap empresa que treballi o tingui la intenció de treballar amb grafè. Així doncs, aquest cas d'estudi es destina purament a la divulgació científica, o al què podríem anomenar connexió entre CIÈNCIA i SOCIETAT. Es realitzen quatre tallers a Barcelona anomenats "Tallers de Creativitat amb Grafè". Les sessions no focalitzen en un tema o sector en concret, sinó que es deixa que els participants decideixin quina direcció prendre i en quins temes aprofundir.

- **Cas d'estudi 3: Tallers amb estudiants de secundària**

Finalment, el tercer cas d'estudi es realitza a l'àmbit educatiu. Es creu convenient incloure aquest àmbit per representar la interacció entre CIÈNCIA i EDUCACIÓ. Es realitzen tres tallers en un institut de Lleida amb alumnes de primer d'E.S.O. (Educació Secundària Obligatòria), d'entre 11 i 13 anys. L'activitat s'anomena "Grafè a l'Aula" i, en ella, s'utilitza el joc com a recurs central per les diferents parts de la sessió.

De cada un d'aquests casos d'estudi, així com de l'anàlisi de notícies en els diaris mencionats, se n'ha redactat i publicat un article científic. Els quatre articles formen el cos d'aquesta tesi, que pren el format de compendi de publicacions en la modalitat A que ofereix el Departament de Comunicació de la Universitat Pompeu Fabra. Aquesta modalitat requereix un conjunt de tres articles publicats (o acceptats per a la seva publicació) en revistes acadèmiques avaluades que formin part dels repertoris Web of Science (ISI) o Scopus. També requereix que el/la doctorand/a sigui el/la primer/a signant, i que almenys un article hagi estat publicat en llengua anglesa.

En el cas d'aquesta tesi, s'han publicat (o acceptat) quatre articles en llengua anglesa que compleixen amb els requeriments mencionats en el paràgraf anterior. Són els següents:

Guasch, B., Cortiñas, S., González, M., Justel-Vázquez, S., & Peña, J. (2019). The Representation of Graphene in the Online Press of the United States, the United Kingdom, and Spain. *International Journal of Communication*, 13, 966–990. Disponible a <https://ijoc.org/index.php/ijoc/article/view/9843/2580>

Guasch, B., Cortiñas, S., González, M., & Peña, J. (2019). Design Methodologies for Bridging Science, Technology, and Industry: A Graphene-Centered Case Study. *The International Journal of Design Management and Professional Practice*, 13(1). <https://doi.org/10.18848/2325-162X/CGP/v13i01/1-20>

Guasch, B., González, M., & Cortiñas, S. (2019). Enhancing Scientific Knowledge Transfer through Design Methodologies: A Graphene-Centered Case Study. *The International Journal of Design in Society*, 13(2). <https://doi.org/10.18848/2325-1328/CGP/v13i02/63-85>

Guasch, B., González, M., & Cortiñas, S. (Acceptat per a la seva publicació).
Educational Toolkit Based on Design Methodologies to Promote Scientific
Knowledge Transfer in Secondary Schools: A Graphene-Centered Case Study.
Journal of Technology and Science Education.

La memòria que es presenta a continuació recull i relaciona la informació inclosa en els articles, els quals s'inclouen en els annexos. La intenció d'aquesta memòria no és altra que la de constatar la coherència investigadora entre les quatre publicacions i alhora donar una visió global i integrada dels continguts treballats.

La tesi s'ha realitzat dins del Grup d'Investigació en Comunicació Científica (GRECC) del Departament de Comunicació de la Universitat Pompeu Fabra, i en col·laboració amb l'*Advanced and Smart Materials Research Group* d'Elisava Escola Universitària. Aquesta dualitat ha permès realitzar una tesi altament relacionada amb tres àmbits aparentment molt distants: la comunicació, la ciència de materials i el disseny.

Índex

	Pàg.
Agraïments	v
Resum	ix
Pròleg	xi
Llista de figures	xix
Llista de taules	xix
1. INTRODUCCIÓ	1
2. MARC TEÒRIC	7
2.1. Comunicació científica	7
a) Ètica de la comunicació científica	9
b) La pràctica divulgadora	11
2.2. Transferència de coneixement	17
a) Aula invertida i aprenentatge combinat	18
b) Argumentació científica	19
c) Estratègies i entorns d'aprenentatge	21
2.3. Efectivitat de la comunicació científica	23
a) El rol dels mediadors com a experts adaptatius	23
b) Implementació de canvis	25
c) La col·laboració com a recurs	27
d) Public Engagement with Science (PES)	29
2.4. Metodologies de disseny participatives	32
a) La creativitat com a eina de treball	36
b) “Pensar amb les mans”: Els mapes conceptuals	38
c) Conceptes clau	40
2.5. El grafè i la seva comunicació	41
3. OBJECTIUS	45
4. PREGUNTES DE RECERCA	49

5. METODOLOGIA	51
5.1. Anàlisi de contingut	51
5.2. Marc metodològic dels casos d'estudi	55
5.3. Definició dels casos d'estudi	70
a) Tallers participatius amb experts	70
b) Tallers participatius amb no experts	71
c) Tallers participatius amb estudiants de secundària	72
5.4. Estratègies d'avaluació dels casos d'estudi	73
6. RESULTATS	77
6.1. Resultats de l'anàlisi de premsa	78
6.2. Resultats dels tallers amb experts	81
6.3. Resultats dels tallers amb no experts	83
6.4. Resultats dels tallers amb estudiants de secundària	87
7. DISCUSSIÓ	91
7.1. Visió sobre el grafè en les peces periodístiques	91
7.2. El disseny com a eina de comunicació científica	93
7.3. Pensar amb les mans per interioritzar coneixement	96
7.4. Connexió entre ciència, indústria, societat i educació	101
7.5. Beneficis de les metodologies de disseny participatives	103
8. CONCLUSIONS	107
9. REFLEXIÓ FINAL	121
9.1. Limitacions de la recerca i futures vies d'investigació	122
9.2. Suggeriments professionals	123
9.3. Conflicte d'interessos i finançament	126

10. BIBLIOGRAFIA	127
11. ANNEXOS	155
11.1. Article I	157
11.2. Article II	185
11.3. Article III	211
11.4. Article IV	239
11.5. Elements gràfics desenvolupats pels casos d'estudi	265
11.6. Kit d'elements Manual Thinking	303
11.7. Enquestes d'avaluació dels tallers	304

Llista de figures

	Pàg.
Figura 1. Marc conceptual de la tesi i parts amb què s'estructura	4
Figura 2. Conceptes clau per a la comprensió del marc teòric, la metodologia i l'experimentació en casos d'estudi de la tesi	41
Figura 3. Distribució de les metodologies de disseny participatives emprades en els tallers segons les fases del procés de disseny en les quals es solen utilitzar	56
Figura 4. Aspectes comuns en el disseny i la realització dels tres casos d'estudi	69

Llista de taules

	Pàg.
Taula 1. Nomenclatura de les preguntes de recerca i objectius dels articles	51
Taula 2. Fases definides per a cada cas d'estudi i llistat de metodologies emprades	55
Taula 3. Estratègies d'anàlisi i avaluació de resultats dels tres casos d'estudi ...	74
Taula 4. Relació entre les fases dels tallers (Taula 2), els camps d'anàlisi i avaluació (Taula 3) i la nomenclatura de les preguntes de recerca i objectius (Taula 1) dels quatre articles inclosos en la tesi	77

1. INTRODUCCIÓ

La comunicació d'avenços científics entre els diferents nivells de la societat és un component intrínsec del desenvolupament econòmic, així com una part essencial de la cultura d'una societat (Bucchi, 2013). De fet, la vida de tots els individus que integren una comunitat o societat es veu afectada, d'una forma o altra, per tots els camps de la ciència (Shugart & Racaniello, 2015), i els ciutadans necessiten informar-se dels avenços de la ciència per poder ser capaços de prendre decisions en conseqüència, d'adaptar solucions a problemes reals i d'integrar noves rutines o actituds en la seva vida diària (von Winterfeldt, 2013).

Per moltes institucions de recerca, comunicar els seus avenços és cada cop més important (Dominique Brossard & Lewenstein, 2009). Per aquest motiu, han nascut estudis que critiquen la conceptualització del públic com a “monolític” i no apte per a la comprensió de conceptes complexos (Collins & Evans, 2007); així com estudis que diferencien els diferents públics amb termes com ara: “científics”, “mediadors”, “públic general” i “públic interessat”, per exemple (Burns, O'Connor, & Stocklmayer, 2003). Aquesta nova concepció de la societat trenca amb l'anomenat “model de dèficit”, el qual considera que el públic general presenta un dèficit de coneixement que, consegüentment, fa que sigui incapaç d'entendre o de tractar amb temes científics i tecnològics (Ahteensuu, 2012; Besley & Nisbet, 2013; Suldovsky, 2016).

Els mitjans de comunicació de masses, que generalment inclouen premsa, televisió, ràdio, i plataformes online com ara blogs i xarxes socials (Seguí-Simarro, Poza-Luján, & Mulet-Salort, 2015), són els principals transmissors de coneixement científic un cop s'acaba l'educació formal a les escoles i instituts (Dahlstrom, 2014). Això converteix als periodistes en mediadors del coneixement, ja que són els encarregats de transformar discursos científics complexos en llenguatges comprensibles per l'audiència general (Meyer, 2010; Rice & Giles, 2016).

No obstant, hi ha altres vies per les quals es dona i/o es pot donar la comunicació científica. Considerant que els humans són, per naturalesa, curiosos, lúdics i exploradors (Czikszenmihalyi, 1990; Liu & Falk, 2014; Venville, Rennie, Hanbury, & Longnecker,

2013), i que l'interès per la ciència és sovint elevat (Gaskell et al., 2011), els processos de vinculació i participació ciutadana en ciència resulten interessants, ja que permeten implicar a la societat en experiències que beneficien a la ciència (captació d'interessos per part de la societat) i també a la societat (transferència de coneixement) (Irwin, 2014; Stilgoe, Lock, & Wilsdon, 2014).

Així doncs, en un context de comunicació científica dominat pels mitjans de comunicació i, més concretament, per les institucions de premsa online (Bechmann, 2012; Wade & Schramm, 1969; Wolf & Schnauber, 2015), la present tesi pretén analitzar el coneixement que s'està transmetent en premsa sobre un tema científic actual i, d'altra banda, aportar a l'àmbit de la comunicació científica una estratègia basada en la participació/col·laboració i en un enfocament d'aprenentatge actiu (Misseyani, Lytras, Papadopoulou, & Marouli, 2018; Torío, 2019) per fer arribar el coneixement científic a la societat i alhora facilitar l'intercanvi de coneixements a diferents grups amb nivells d'expertesa.

Les metodologies de disseny participatives són una eina que permet facilitar qualsevol procés de participació ciutadana o "*Public Engagement with Science*" (Besley, Dudo, Yuan, & Lawrence, 2018; Irwin, 2014; Salmon, Priestley, & Goven, 2017; Stilgoe et al., 2014). Aquestes metodologies neixen de l'àmbit del disseny i permeten treballar des del pensament creatiu; i un dels seus majors avantatges és que poden ser aplicades a qualsevol altre àmbit de coneixement, disciplina o context (Curedale, 2016; Razzouk & Shute, 2012).

La rellevància d'aquestes metodologies rau en el fet que permeten generar experiències creatives que faciliten el diàleg i la transferència de coneixements (Hanington & Martin, 2012). També permeten la conceptualització de propostes per a l'aplicació de qualsevol avenç científic i tecnològic a través d'activitats dinàmiques i divertides que potencien la motivació, l'interès, la participació i les habilitats socials dels participants, entre d'altres (Doorley, Holcomb, Klebahn, Segovia, & Utley, 2018; Mason, Shuman, & Cook, 2013; Sanders, 2002; Sanders & Stappers, 2008; Tumbaco, Cabanilla, Pavón, & Acosta, 2018).

El fet d'emprar aquestes metodologies en comunicació científica no implica que altres tècniques o recursos siguin menys adequades o beneficioses. Ara bé, poden aquestes metodologies sumar-se a la resta de tècniques que s'empren en el camp de la comunicació científica com una activitat beneficiosa? Poden ajudar a generar connexions amb diferents perfils i grups d'individus de manera eficaç? Aquest és l'objectiu principal sobre el qual es construeix la present tesi.

Shugart i Racaniello (2015) argumenten que per explicar la ciència de manera eficient, cal fer-ho sense emprar argot, i que una comunicació clara és bàsica, necessària i indispensable perquè grups socials pertanyents a diferents disciplines s'entenguin. Cada individu, pertanyent o no a la comunitat científica, prové d'un context diferent i té una identitat i un tipus d'expertesa diferent (Falk, 2009; Longnecker, 2016). Per aquest motiu, el treball interdisciplinari necessita de llenguatges clars i amb els quals hi puguin treballar individus de diferents procedències (Luzón, 2013).

A fi de poder experimentar i avaluar l'aplicació de les metodologies de disseny participatives en comunicació científica, s'ha escollit un avenç científic, recent i rellevant, amb el qual treballar. L'avenç seleccionat és el grafè, un material bidimensional compost d'àtoms de carboni i aïllat per primer cop l'any 2004 a la Universitat de Manchester (Novoselov et al., 2004).

El grafè és un nanomaterial que representa una de les deu tecnologies que podrien canviar radicalment la vida de les persones en el futur (van Woensel & Archer, 2015), degut a les propietats úniques que presenta. És el material més dur i resistent conegut fins al moment, així com el millor conductor elèctric i tèrmic; a més, és flexible i transparent, imprimible, lleuger i fàcil d'obtenir (Mertens, 2018). Els seus descobridors, Andre Geim i Konstantin Novoselov, van rebre el premi Nobel de física l'any 2010 per la seva troballa (The Royal Swedish Academy of Sciences, 2010); fet que desencadenà nombroses inversions en el material i la creació de múltiples centres de recerca destinats a la seva investigació.

La raó per la qual s'ha decidit centrar la tesi en el grafè és per la seva rellevància en un món cada vegada més centrat en la tecnologia i l'eficiència energètica. A més, donat que el material s'aïllà per primer cop l'any 2004, i que la ciència de materials

evoluciona molt lentament, el grafè encara es troba en els seus inicis. És per això que resulta adequat per a la conceptualització de possibles productes i la visualització d'escenaris futurs.

La tesi que es desenvolupa en les següents pàgines i capítols s'estructura en dues parts diferenciades. D'una banda, l'anàlisi de contingut de les notícies publicades sobre el grafè en tres diaris amb repercussió internacional: *The New York Times* (Estats Units), *The Guardian* (Regne Unit) i *El País* (Espanya). D'altra banda, l'anàlisi de l'aplicació de metodologies de disseny participatives en sessions creatives per a la comunicació i transferència de coneixement del grafè. Aquesta segona part s'ha dut a terme per mitjà de la realització de tres casos d'estudi: (1) cinc tallers amb experts anomenats “*Graphene Days*”; (2) quatre tallers amb no experts anomenats “Tallers de Creativitat amb Grafè”; i (3) tres tallers amb estudiants de secundària anomenats “Grafè a l'Aula”.

La Figura 1 recull de manera gràfica aquestes parts, les quals, com s'observa, sorgeixen de l'anàlisi i experimentació a partir de les quatre vies principals que connecten la comunitat científica amb la societat (mitjans de comunicació, indústria, accions directes i educació). Aquestes vies són les que permeten que es duguin a terme processos de comunicació científica, és a dir, de disseminació i transferència de coneixement. Les fletxes internes del cercle “Ciència” fan referència a l'intercanvi de coneixements entre experts; procés que també forma part de la comunicació científica.

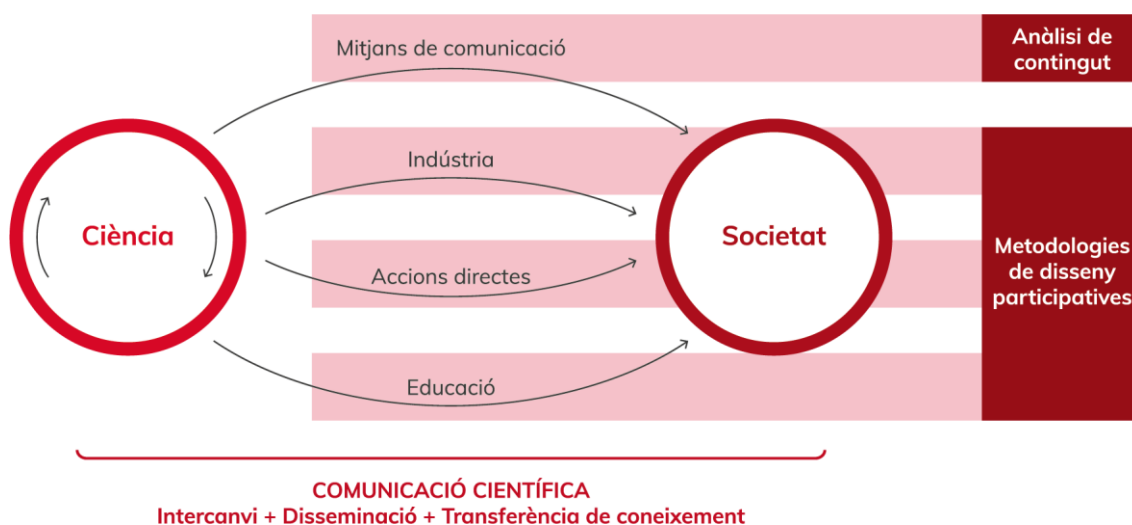


Figura 1. Marc conceptual de la tesi i parts amb què s'estructura.

La primera part (anàlisi de contingut) i els tres casos d'estudi de la segona part (metodologies de disseny participatives) coincideixen amb els quatre articles, publicats en revistes científiques, que configuren aquesta tesi per compendi de publicacions.

Tal com enuncia Pombo (2000), la comunicació científica abasta tres nivells: la comunicació horitzontal entre experts (legitimació), la comunicació transversal entre ciència i societat (difusió) i la comunicació vertical entre generacions (docència). Els tallers amb experts d'aquesta tesi corresponen al primer nivell, de legitimació; els tallers amb no experts responen al nivell de difusió; i, finalment, els tallers amb estudiants de secundària pertanyen al tercer nivell, de docència. La raó per la qual s'ha decidit fer una anàlisi de premsa prèvia a l'experimentació amb aquests tres nivells de la comunicació científica és per la informació que la premsa dóna sobre el què està rebent actualment la societat. La metodologia i el contingut dels casos d'estudi s'ha basat en els resultats de l'estudi de premsa: en tractar de millorar els punts febles detectats en la transmissió de coneixements a través de peces periodístiques.

La present memòria tracta d'unificar els continguts dels quatre articles i demostrar-ne la coherència investigadora, així com d'aportar una reflexió conjunta sobre l'experiència que ha suposat la realització de la tesi.

El Grup de Recerca en Comunicació Científica (GRECC) de la Universitat Pompeu Fabra té una extensa i demostrada experiència en l'estudi, des d'un punt de vista acadèmic, de la comunicació i la divulgació de la ciència (Cortiñas Rovira, 2007, 2009b, 2009a; Pont Sorribes, Cortiñas Rovira, & Di Bonito, 2013). La tesi s'inclou dins d'aquest grup de recerca i tracta d'aportar una nova perspectiva fonamentada en l'aplicació de metodologies pròpies del camp del disseny com a recurs favorable per a la comunicació científica.

2. MARC TEÒRIC

2.1. Comunicació científica

La ciència i la tecnologia evolucionen, any rere any, de forma més ràpida i trencadora, fent que sigui gairebé impossible estar al dia amb els nous avenços (Rice & Giles, 2016; Takahashi & Tandoc, 2016). És per això que la comunicació científica resulta una disciplina necessària i molt rellevant en la transmissió de coneixement científic a tots nivells de la societat i per a diferents públics, ja que es tracta de la línia contínua d'interaccions entre investigadors, desenvolupadors, responsables polítics i ciutadans, a més de les persones mediadores que fan possibles la majoria d'aquestes interaccions (Davies & Horst, 2016; van der Sanden & Flipse, 2015; Wehrmann & van der Sanden, 2017).

Molts autors han definit el concepte de comunicació científica al llarg dels anys i, malgrat les definicions variïn, hi ha certs aspectes sempre comuns en qualsevol procés de comunicació de la ciència (Bell, Lewenstein, Shouse, & Feder, 2009; Burns et al., 2003; European Commission, 2012; Fischhoff & Scheufele, 2013; L. S. Johnson, 2005; Jucan & Jucan, 2014; Latour, 2010; Office of Science and Technology and Wellcome Trust, 2000; Wiener, Schmeling, & Hopf, 2017):

- El primer aspecte comú és que l'objectiu principal de qualsevol procés de comunicació científica és el d'aconseguir una transferència de coneixement favorable. Així doncs, l'ensenyança i l'aprenentatge hi són sempre presents, bé sigui en una direcció (per exemple, d'expert a no expert) o bé en ambdues direccions (per exemple, entre experts de diferents àmbits).
- La comunicació científica es dona en molts àmbits, i pot ocórrer, generalment, entre: experts del mateix àmbit; experts de diferents àmbits; experts i mediadors (intermediaris); mediadors i no experts; experts i no experts. Així doncs, la informació no sempre ha de partir necessàriament d'un expert, ja que un mediador pot fer de transmissor de coneixement. Un exemple de mediadors

poden ser els periodistes en redactar una notícia, o bé els professors de ciència i tecnologia en impartir una classe.

- Per la seva definició i característiques, la comunicació científica no s'ha d'entendre com una realitat rígida o fixa, sinó líquida i canviant. No ha de servir per imposar consens social, sinó que cal entendre-la com un procés humà de relació i intercanvi. Per tant, la comunicació científica no implica uniformitat, ni pel què fa als continguts o informació, ni al llenguatge o format. Es poden emprar, doncs, molts formats de disseminació d'informació científica, i aquests no són ni estàndards ni limitats.
- La comunicació científica es tracta, moltes vegades, com un “pont” entre informació científica i destinataris o públic. Per tant, no hauria de ser entesa com una disciplina que pretén imposar un consens social, sinó com un procés més humà, no lligat a conceptes com la tecnocràcia o la funcionalitat.
- El concepte de divulgació científica se sol emprar, moltes vegades, com a sinònim de comunicació científica, quan aquesta es dóna entre experts i no experts. És a dir, divulgació implica que el receptor de la informació científica sigui el públic general, la societat.

La rellevància d'una bona transmissió de coneixement científic recau en el fet que el coneixement de la societat pot influir en la presa de decisions en temes relacionats amb la ciència (Shugart & Racaniello, 2015). Per exemple, pot incrementar el finançament, estimular la generació de noves polítiques, o accelerar la inclusió d'un nou avenç tecnològic al mercat, entre d'altres (Scharrer, Rupieper, Stadtler, & Bromme, 2017).

Sense un aprenentatge continu i eficaç per part de la societat, les creences socials no estan alineades amb la realitat (Dietz, 2013). Per aquest motiu, els ciutadans han de confiar en la disciplina de la comunicació científica i en els mediadors per informar-los sobre els fets que han de saber per poder prendre decisions; des de les decisions més quotidianes fins a les que poden definir el rumb de la recerca científica i dels futurs avenços tecnològics i, fins i tot, la creació de noves legislacions (Dietz, 2013).

La ciència i la tecnologia prenen un paper molt important en la naturalesa i la qualitat de vida d'una societat, per la qual cosa no és d'estranyar que els individus es vegin cada cop més exposats a problemes o reptes que tenen algun component científic. Des d'una decisió individual sobre una vacuna, fins a una decisió regional o estatal sobre la disponibilitat d'aigua o decisions globals sobre el canvi climàtic, requereixen que la ciència tingui veu durant el procés de presa de decisions (Shugart & Racaniello, 2015).

Besley, Dudo i Yuan (2018) enumeren els sis objectius de la comunicació científica. Aquests són:

1. Demostrar l'expertesa de la comunitat científica.
2. Escoltar el que pensen els altres sobre temes científics.
3. Demostrar que la comunitat científica es preocupa pel benestar de la societat.
4. Demostrar l'obertura i transparència de la comunitat científica.
5. Demostrar que els científics comparteixen valors com a comunitat.
6. Enunciar i emmarcar les implicacions en la recerca per tal que els membres de la societat puguin reflexionar sobre un tema, de tal forma que aquest tingui ressonància amb els seus valors.

Aquests sis objectius estan relacionats amb un enteniment de la comunicació científica com a via intermediària multi-dimensional on la confiança, l'equitat i la identitat hi tenen un pes molt important (Besley, Dudo, & Yuan, 2018).

a) Ètica de la comunicació científica

La comunicació científica es fonamenta en la idea que com més coneixement, millor. És a dir, que "més coneixement" és millor que "menys coneixement", i que cal informar a tots els públics, dels més als menys especialitzats, perquè aquests puguin prendre millors decisions de cara al futur (Medvecky & Leach, 2017). Tal com afirmen Medvecky i Leach (2017), cal transmetre coneixement "pel bé del coneixement", per incrementar l'alfabetització i la cultura de la societat; la qual cosa aporta a la disciplina de la comunicació científica un significat certament moral.

Ara bé, qui decideix el què és moral transmetre? És èticament correcte transmetre coneixements sobre com crear armes biològiques, per exemple? La comunicació científica neix a partir de la unió de tres camps o disciplines: la ciència, la comunicació i la mediació (generalment associada al periodisme) (Priest, 2010). Aquesta unió és un dels punts forts de la comunicació científica, però a vegades també representa una debilitat, ja que es tracta de camps amb interessos molt diferents (Seguí-Simarro et al., 2015). A fi d'entendre els fonaments de la comunicació científica, cal atendre a les normes ètiques que guien la ciència, la comunicació i la mediació.

Probablement, les normes més establertes de la ciència són les enunciades pel sociòleg Robert Merton l'any 1942, sota l'acrònim CUDOS (*Communalism, Universalism, Disinterestedness, and Organized Scepticism*) (Merton, 1942). Aquestes són: Comunalisme (el coneixement científic és propietat comuna de tota la comunitat científica), Universalisme (la validesa de les afirmacions científiques hauria de basar-se en criteris universals), Desinteressament (tot treball científic hauria de perseguir el benefici de la comunitat científica com a institució, no el benefici personal), i Escepticisme Organitzat (no s'haurien d'acceptar informacions científiques fins que aquestes no s'hagin examinat i testejat).

D'altra banda, les normes ètiques de la comunicació es recullen en el "*NCA Credo for Ethical Communication*" (National Communication Association, 1999). En ell s'afirma que una comunicació ètica hauria de millorar o potenciar el valor i la dignitat humana, tot fomentant la Veracitat, l'Equitat, la Responsabilitat, la Integritat Personal i el Respecte per un mateix i pels altres.

Pel què fa a la mediació i al periodisme, hi ha diverses normes i guies ètiques, però totes elles conflueixen en els mateixos elements. Un exemple són les normes establertes en el "*SPJ Code of Ethics*" (Society of Professional Journalists, 2014), que inclouen: la Veracitat i Precisió en la redacció de continguts; el Principi de Limitació de Danys (el qual requereix que els mediadors valorin i contrastin la necessitat d'informació per part del públic envers els danys potencials que tal informació pugui ocasionar); i el Principi d'Independència (que sosté que l'obligació principal dels periodistes i mediadors és servir al públic).

Totes aquestes normes ètiques formen, o haurien de formar part, de qualsevol procés de comunicació científica. Ara bé, un aspecte important en comunicació científica és fer la ciència atractiva pel públic, per tal que aquest públic la trobi interessant, l'accepti, i l'integri (Dahlstrom & Ho, 2012). És per aquest motiu que moltes vegades s'empra la narrativa com a recurs, així com un to sensacionalista per transmetre coneixements científics (Dahlstrom, 2014). Aquest fet deixa la comunicació científica en un espai ètic difós, en què no acaba de quedar clar quins són els principis que l'han de regir. Es podria dir que aquesta disciplina té un espai ètic normatiu (que és la suma de les normes ètiques de la ciència, la comunicació i la mediació) i un altre espai ètic descriptiu (que es tracta d'un espai nou, on es prioritzen certes normes per segons quins contextos i finalitats) (Medvecky & Leach, 2017).

Per tant, la comunicació científica no pot fonamentar-se en cap de les tres guies ètiques dels seus sub-camps o disciplines; bàsicament perquè no és ni ciència pura, ni comunicació pura, ni mediació pura. Sovint és una barreja de les tres, però, alhora, també és una disciplina diferent que no sempre respon a aquestes. La resposta a què és exactament la comunicació científica i quins principis la guien és un debat ètic obert on múltiples autors n'han donat diferents punts de vista (Dahlstrom & Ho, 2012; Gasparyan, Gerasimov, Voronov, & Kitas, 2015; Gasparyan, Yessirkepov, Diyanova, & Kitas, 2015; Kueffer & Larson, 2014; Medvecky & Leach, 2017; Toulmin, 2003). Tots ells coincideixen en què, com més s'apropi la comunicació científica als principis ètics de les tres disciplines mencionades, més ètic en serà el resultat. Deixant, així, el debat obert, en els següents apartats es tractarà d'entrar més en el detall de la comunicació i divulgació científiques pel què fa a processos, pràctiques i transferència de coneixement.

b) La pràctica divulgadora

En la majoria de processos de divulgació científica s'esdevé un canvi en el llenguatge, per tal que continguts complexos puguin ser assequibles per públics amplis (Cortiñas Rovira, 2008). No obstant, moltes vegades aquesta transformació del llenguatge implica una simplificació de continguts. Tal com afirma Luzón (2013), la comunicació de la ciència no s'hauria d'abordar a través de la simplificació de continguts, sinó a través de

la re-contextualització del discurs científic. Aquesta re-contextualització es refereix a una adaptació dels continguts a un domini diferent, però sense pèrdua d'informació.

Generalment, els anomenats mediadors, tant individuals (persones) com col·lectius (empreses o institucions), són els que s'encarreguen d'aquesta re-contextualització. A aquests mediadors també se'ls anomena intermediaris o "agents de coneixement" ("*knowledge brokers*") (Lomas, 2007; Meyer, 2010). Les teories de la intermediació de coneixement demostren que, d'una banda, els contextos sociopolítics i, de l'altra, les organitzacions medidores, configuren la forma en què la societat interactua amb el coneixement, l'interpreta i l'entén (W. L. Allen, 2018). La mediació de coneixements és necessària també dins de la pròpia comunitat científica, degut a la multiplicitat d'àmbits i experteses existents (Collins, 2014).

Així doncs, s'anomena mediació o intermediació del coneixement a tota activitat que vincula investigadors (científics) amb qualsevol "responsable de decisió" (ciutadans, polítics, empresaris, responsables d'institucions, etc.) (Lomas, 2007). Els mediadors són els encarregats de dur a terme aquestes activitats, i la seva tasca consisteix en "traduir" i "empaquetar" la informació de manera que sigui més accessible, a fi de donar forma al coneixement que circula a través seu (Bandola-Gill & Lyall, 2017; Spiegelhalter, 2017). Es distingeixen tres categories de mediació: (a) la gestió del coneixement, que inclou la generació, interpretació i intercanvi de coneixement; (b) l'enllaç i interconnexió entre investigadors i responsables de decisió; i (c) el desenvolupament de capacitats que promoguin intercanvis més rellevants en el futur (Ward, House, & Hamer, 2009).

És important que recursos com el coneixement i el finançament flueixin de manera bidireccional entre acadèmics/científics i els diferents públics; i la manera de fer-ho és a través dels mediadors (Sundquist, 1978). Per la rellevància d'aquesta posició intermèdia, un element fonamental de la mediació és la credibilitat, ja que sovint els mediadors creen i afegixen nous continguts en el procés de transformació del discurs científic (W. L. Allen, 2018; Druckman, 2001; Meyer, 2010). En això també hi tenen a veure els diferents valors, prioritats i contextos sociopolítics tant dels mediadors com del públic receptor de la informació, ja que aquests influeixen en la interpretació del coneixement i en la consegüent presa de decisions (Oliver, Innvar, Lorenc, Woodman, & Thomas, 2014).

El concepte de qualitat es fa aquí important. Aconseguir una bona qualitat en la transmissió de coneixements és un dels grans reptes de científics i mediadors. De fet, sovint els comunicadors de ciència no tenen els recursos necessaris per aconseguir la qualitat que es desitjaria (Clark et al., 2016). Nombrosos autors han escrit sobre el buit existent entre científics i mediadors, i entre científics i societat, així com la incapacitat de la majoria de científics per adoptar llenguatges senzills en la transmissió dels seus coneixements (Gauchat, 2011; Jensen & Buckley, 2014; Seguí-Simarro et al., 2015).

Un altre impediment per aconseguir una divulgació científica de qualitat és el fet que la ciència sigui considerada, en molts casos, com quelcom inamovible i irrefutable per part de la societat (Bucchi, 2013); sobretot quan ni tan sols els propis investigadors es posen d'acord en la definició de "ciència" com a tal (Salmon et al., 2017):

- D'una banda, els investigadors d'àmbits científics defineixen la ciència com un procés sistemàtic d'observació i experimentació que condueix a una comprensió profunda sobre l'estructura i la naturalesa del món físic i natural; a través del desenvolupament i prova d'hipòtesis i principis.
- D'altra banda, els investigadors d'àmbits socials entenen la ciència com una activitat social, no exempta o distanciada de la influència social, ni dels processos i tendències que es troben en altres àmbits d'activitat. També veuen la ciència com un recurs discursiu utilitzat per legitimar les agendes d'aquells qui tenen interessos polítics o econòmics particulars, des d'individus fins a governs, empreses i altres institucions.

Aquestes diferències de base poden complicar molt la concepció de la ciència per part de la societat. Segons Bucchi (2013), la ciència hauria de passar de la "fase heroica" i distanciada de la societat en què es troba a una fase on la qualitat sigui la prioritat de totes les parts implicades. De fet, tots els individus de la societat s'enfronten, cada dia, a tota una sèrie d'informacions socials, polítiques i mediambientals, sobre les quals s'espera que prenguin les decisions adequades en cada cas (Takahashi & Tandoc, 2016). No obstant, només alguns pocs adults tenen formació de cada tema en concret i, tanmateix, es pretén que els ciutadans puguin generar arguments i emetre judicis en votar o recolzar un grup, una idea o un partit polític (Miller, 2010).

En la majoria d'estudis sobre divulgació científica i comprensió de la ciència per part del públic hi apareix la idea de dèficit d'informació, o "model de dèficit" (Ahteensuu, 2012; Besley & Nisbet, 2013). Aquest model es basa en la consideració que el públic no expert presenta un dèficit de coneixement sobre temes científics i tecnològics, que resulta en escepticisme o hostilitat envers la ciència per manca d'informació i d'enteniment (Suldovsky, 2016). La crítica envers aquest model és cada cop més forta, i hi ha una tendència creixent a considerar que el buit entre la comunitat científica i el públic no és culpa d'un dèficit de coneixement, sinó d'una mala comunicació per part dels científics (Bucchi, 2004, 2008; Yearley, 2004). Per aquest motiu, els investigadors són cada cop més conscients de les seves idees preconcebudes lligades al model de dèficit i, poc a poc, intenten obrir-se al públic o "públics" (M. Bauer, 2008; Borchelt & Nielsen, 2008; Macdonald, 2007).

La idea de dirigir-se als diferents "públics" de manera plural és una forma de reconèixer que no només existeix un perfil de públic no expert, sinó que hi ha diferents nivells d'alfabetització sobre la ciència en una mateixa societat. Aquesta concepció permet detectar que cada grup té necessitats de cognició i aprenentatge diferents, en funció de la seva edat, procedència, nivell d'estudis i interessos, entre d'altres (Einsiedel, 2008).

Sens dubte, científics, mediadors i no experts habiten entorns d'informació i llenguatges diferents (Zhao, Leiserowitz, Maibach, & Roser-Renouf, 2011). Per tal que la comunicació i la divulgació científiques siguin eficients, cal que el públic pugui confiar plenament en la informació que rep. Per tant, treballar en la credibilitat és imprescindible, i aquesta es basa en dos aspectes: l'experiència o perícia (que inclou el coneixement i la precisió) i la fiabilitat (que implica característiques com integritat, motivació, caliu i amabilitat) (Fiske & Dupree, 2014).

Altres tècniques que milloren la pràctica divulgadora són el fet de tenir en compte aspectes culturals, l'ús de recursos literaris com ara metàfores i símils, l'humor, l'ús d'imatges o esquemes visuals i la integració de recursos multi-sensorials (Boeynaems, Burgers, Konijn, & Steen, 2017; Kueffer & Larson, 2014; Medin & Bang, 2014; Riesch, 2014; Rodríguez Estrada & Davis, 2015).

Alguns autors creuen que la comunicació científica hauria de ser una tasca essencial dels científics, ja que aquests són els qui tenen l'expertesa i el domini sobre els temes que han de ser comunicats (M. W. Bauer & Jensen, 2011; Hu, Li, Zhang, & Zhu, 2018; Shugart & Racaniello, 2015). De fet, molts científics dediquen part del seu temps a comunicar la seva feina, així com a assegurar una bona cobertura mediàtica dels seus avenços (Besley, Dudo, Yuan, & Abi Ghannam, 2016; Besley, Oh, & Nisbet, 2013; Grand, Davies, Holliman, & Adams, 2015; Jensen & Holliman, 2016; Takahashi & Tandoc, 2016). Generalment, ho fan per dos motius: primer, perquè creuen en la seva tasca com a investigadors i en l'altruisme de la comunicació científica i, segon, perquè el fet que els mitjans de comunicació s'interessin per un tema aporta legitimitat a la recerca, la qual cosa resulta d'interès per les institucions acadèmiques (Tsfati, Cohen, & Gunther, 2010).

Existeixen altres motius, com ara el sentit de l'obligació, el gaudi personal, la pròpia promoció, la disponibilitat de temps, o altres raons personals (Besley, Dudo, Yuan, et al., 2018; Besley et al., 2013; Dudo, 2012). Tanmateix, hi ha certes barreres que poden desencoratjar als científics en al seva tasca divulgadora, com ara la manca d'incentius per part de les institucions de recerca, la manca de recursos destinats a divulgació, la manca d'aptituds comunicatives, o la manca de suport per part de càrrecs superiors (Dunwoody, Brossard, & Dudo, 2009; Shugart & Racaniello, 2015; The Royal Society, 2006).

El que està clar és que, en parlar de pràctica divulgadora, els mitjans de comunicació són els majors mediadors entre ciència i societat, ja que s'empren com a vehicle per mantenir la societat informada i són la font més consultada d'informació científica pels adults (Dudo & Besley, 2016; National Science Board, 2012). Tot i el buit existent entre científics i mediadors (degut a que habiten àmbits de coneixement i llenguatges molt diferents), i malgrat la visió crítica dels científics envers els mitjans de comunicació, la pròpia experiència personal dels científics en tractar amb periodistes és principalment positiva (Besley & Nisbet, 2013). La majoria de científics coincideixen en què, com més notícies sobre ciència es publiquen, més es fomenta l'interès per part del públic; la qual cosa fa incrementar el coneixement sobre un tema per part de la societat (Rainie & Funk, 2015).

En general, els mitjans no dediquen la mateixa atenció a qüestions com la política i la delinqüència, que a continguts científics i tecnològics; de la qual cosa se'n deriva una cobertura periodística molt més baixa per la ciència i la tecnologia, enfront als altres temàtiques (Baker, Williams, Lybbert, & Johnson, 2012). Aquesta relativa baixa cobertura es correspon probablement amb els següents tres factors: en primer lloc, la manca aparent de notícies o de contingut noticiable en comparació amb altres camps; en segon lloc, el repte que suposa pels periodistes entendre, saber interpretar i transmetre temes complexos; i, en tercer lloc, la percepció dels periodistes sobre el nivell d'alfabetització de la societat, que pot fer creure als periodistes que certs temes no faran augmentar la lectura de les seves notícies (Baker et al., 2012). Aquest darrer factor resulta certament irònic, tenint en compte que moltes publicacions consideren els mitjans de comunicació com la via clau en la transmissió de coneixement sobre temes complexos, com, per exemple, el canvi climàtic (Kahlor & Rosenthal, 2009; O'Neill & Nicholson-Cole, 2009).

Són, doncs, els periodistes els qui decideixen quins avenços són noticiables, és a dir, quins temes són més interessants pels lectors (Seguí-Simarro et al., 2015). Per norma general, serà noticiable tot allò que tingui el potencial d'aportar beneficis socials, culturals, econòmics, polítics i mediambientals. Aquesta tasca de selecció de la informació més rellevant per a la societat converteix als periodistes en “guardians de la ciència” (“*scientific gatekeepers*”), com així han definit varis autors (Eveland & Cooper, 2013; Shoemaker & Vos, 2009). El procés de configuració de l'agenda mediàtica es coneix com a *agenda setting* i, amb ell, les agències de notícies seleccionen els temes a disseminar; fet que segueix succeint en l'actual ecosistema informatiu digital (Boumans, Trilling, Vliegthart, & Boomgaarden, 2018; McCombs, 2004).

Malgrat el pas de la premsa en paper a la premsa en línia que s'està esdevenint en els darrers anys, el contingut més consultat segueix sent el de les agències periodístiques tradicionals, fet que es deu als forts vincles de la societat amb aquestes organitzacions i a la confiança adquirida al llarg dels anys (Bechmann, 2012; Wade & Schramm, 1969; Wolf & Schnauber, 2015). Del que no hi ha dubte és que, actualment, Internet és la font principal de consulta d'informació sobre temes científics i tecnològics per part de qualsevol grup de la societat (A. A. Anderson, Brossard, & Scheufele, 2010; Beaujon, 2012; Günther & Domahidi, 2017; National Science Board, 2014).

2.2. Transferència de coneixement

El concepte de transferència de coneixement es refereix a tot procés mitjançant el qual es crea una relació o vincle d'ensenyament-aprenentatge (Choo, Linderman, & Schroeder, 2007; Sharon Lynch, Kuipers, Pyke, & Szesze, 2005). L'objectiu principal de tots els sistemes de transferència de coneixement (principalment el sistema educatiu i la comunicació científica) sempre ha estat el de desenvolupar, en un individu, les capacitats de pensar i de processar nous coneixements, els quals hagin estat adquirits a través d'una relació d'ensenyament-aprenentatge (Valdez & Bungihan, 2019). L'individu s'ha de poder desenvolupar al seu propi ritme, ha de poder explorar el seu potencial, ha d'aprendre a afrontar-se a diverses situacions i ha de saber com gestionar i resoldre conflictes (Pimvichai, Yuenyong, & Buaraphan, 2019). Per completar el cicle, els coneixements apresos s'han d'aplicar de manera eficaç a la societat, creant així un vincle continu d'inversió i retorn (Valdez & Bungihan, 2019). Per tant, la transferència de coneixement sempre persegueix obtenir, a llarg termini, el benefici de la societat.

Els processos de transferència de coneixement es donen, per norma general, entre una figura de transmissor (educador, mestre, professor, expert) i una figura de receptor (alumne, deixeble, aprenent, no expert). Per tant, la transferència de coneixement no és més que el pas entre dos processos: de la difusió del coneixement (transmissió) a l'apropiació del coneixement (recepció i adopció) (Torío, 2019). Durant el procés d'ensenyament-aprenentatge, el transmissor ha de ser capaç de reconèixer la manera de pensar del receptor, per així ajudar-lo a construir i comprendre el coneixement segons les seves capacitats; només així es podrà garantir una bona transferència de coneixement (Mamlok-Naaman, Hofstein, & Taitelbaum, 2012).

En aquest procés, les tècniques, eines i estratègies emprades per part del transmissor han de ser dinàmiques, a fi de respondre a les diverses necessitats d'aprenentatge dels receptors, en cas que n'hi hagi més d'un (Mamlok-Naaman et al., 2012; Minstrell & Stimpson, 2013). D'aquesta adequació de mitjans i eines en depèn que la transferència de coneixement sigui un èxit o un fracàs (Davis, Petish, & Smithey, 2006). Per exemple, molts processos d'aprenentatge de les ciències es centren en la memorització de continguts, enlloc de focalitzar en la pràctica del pensament crític, l'anàlisi lògica i la

resolució sistemàtica de problemes reals (Pimvichai et al., 2019). És, doncs, molt important que cada procés de transmissió s'adapti acuradament a les necessitats, l'interès, la motivació i les característiques dels receptors, ja que un bon enfocament d'ensenyament contribueix a uns resultats d'aprenentatge de major qualitat (Choo et al., 2007; Valdez & Bungihan, 2019).

a) Aula invertida i aprenentatge combinat

L'aula invertida és un concepte que transforma la idea tradicional i unidireccional d'ensenyament emprat en col·legis, instituts, acadèmies i universitats, per donar lloc a un model d'aprenentatge basat en la pràctica, de la qual l'alumne (receptor) n'ha d'extreure, poc a poc, la teoria (Eldy et al., 2019). Es fonamenta en proporcionar a l'estudiant tots aquells recursos necessaris (conferències enregistrades, vídeos, tests en línia, exercicis, etc.) per facilitar un aprenentatge independent i transformar les aules en espais de debat, d'interacció i de resolució de dubtes (Mason et al., 2013). Un concepte relacionat amb l'aula invertida és el d'aprenentatge combinat, el qual s'abasteix dels aspectes més positius de l'ensenyament a l'aula i els més positius de l'aprenentatge independent per crear experiències amb major flexibilitat i possibilitats, les quals solen augmentar la motivació dels estudiants (Eldy et al., 2019).

L'objectiu principal de l'aula invertida i de l'aprenentatge combinat és animar als estudiants que solen tenir problemes de cognició i d'aprenentatge a extreure conclusions sense prejudicis de fets que hagin pogut observar, enlloc de limitar-se a copiar apunts en una classe tradicional, per després memoritzar-los (O'Flaherty & Phillips, 2015). La satisfacció dels estudiants envers el seu aprenentatge per matèries complexes en aplicar aquestes tècniques és més gran que amb el format d'aula tradicional (Baepler, Walker, & Driessen, 2014). Això probablement es deu a que, en l'aula invertida i en els processos combinats, els estudiants han de ser més actius i han de demostrar les seves habilitats tot llegint, discutint, escrivint, explorant les seves pròpies actituds i valors, focalitzant en la comprensió de temes complexos i, en general, pensant i expressant el seu procés de pensament (Baepler et al., 2014; Uzunboylu & Karagözlü, 2017). En definitiva, l'ús de l'aula invertida i de l'aprenentatge combinat en l'ensenyament de matèries complexes és beneficiós pels estudiants (Capone, Del Sorbo, & Fiore, 2017).

b) Argumentació científica

En el sistema educatiu és molt fàcil detectar que, en gairebé tots els processos, el transmissor del coneixement és el professor, mentre que els receptors són els alumnes. Ara bé, en altres entorns, transmissor i receptor poden estar molt distanciats i/o poden alternar el seu rol en una mateixa conversa o entorn d'interacció. De fet, un cop els individus es troben fora de l'aprenentatge formal de les escoles, els mitjans de comunicació es converteixen en la font principal d'informació científica (National Science Board, 2012), i la Internet és el recurs més emprat per entendre i ampliar el coneixement sobre els temes transmesos a través dels mitjans (Falk & Needham, 2013; Miller, 2010).

En el cas dels mitjans, són els periodistes els qui actuen de transmissors (tot i que prèviament fossin receptors del mateix coneixement, on els científics n'eren els transmissors). En canvi, en el cas d'Internet, hi poden haver múltiples transmissors i receptors interactuant constantment a través de debats i fòrums digitals, o de les xarxes socials (Meraz, 2011; Van Noorden, 2014; Wolf & Schnauber, 2015).

Aquest escenari virtual, on l'abundància de la informació i d'interlocutors és desmesurada, és un clar exemple de la paradoxa "coneixement-ignorància" (Ungar, 2000). La paradoxa suggereix que la sobresaturació de l'entorn d'informació ha creat grups de coneixement especialitzats i ha augmentat el nivell d'ignorància general sobre temes científics. És a dir, hi ha desinformació per culpa de sobresaturació d'informació.

Malgrat aquesta desinformació generalitzada, el públic sol apreciar la ciència, i la sol valorar de manera positiva (Takahashi & Tandoc, 2016). Aquesta apreciació es relaciona amb un coneixement moderat de la ciència. La importància d'aconseguir una bona transferència de coneixement de temes científics rau en la pròpia importància del coneixement científic, el qual pot explicar la majoria de fenòmens que envolten i preocupen als humans (Malka, Krosnick, & Langer, 2009). Així mateix, el coneixement científic pot ser un fort pronòstic de les actituds envers la ciència, tot i que en això també hi afecten altres factors contextuais i demogràfics (Sturgis & Allum, 2004).

En definitiva, l'apreciació per la ciència en fa créixer l'interès i augmenta el coneixement científic de la societat, que alhora crea actituds envers la ciència.

Així com la relació entre apreciació, coneixement i actituds envers la ciència, hi ha també una relació entre l'habilitat d'argumentar ciència i la comprensió de la ciència. L'argumentació científica és una habilitat comunicativa molt rellevant en l'aprenentatge de ciències, ja que es basa en la capacitat de raonar. Es defineix com un procés o acció on l'aprenent o receptor explica raonadament un concepte i/o en proporciona una justificació amb proves i recursos de suport (Pimvichai et al., 2019). És a dir, el receptor es converteix en transmissor a fi d'integrar el coneixement. Per aconseguir-ho, ha d'utilitzar els seus coneixements científics i capacitats cognitives per generar un argument i així participar en un procés social d'intercanvi i defensa del seu raonament, tot assolint els objectius d'aprenentatge (Sampson, Grooms, & Walker, 2009).

Tot procés d'argumentació científica consta de: (a) un motiu o evidència; (b) un reclam; (c) una garantia de suport, entesa com a hipòtesis o pressuposicions que recolzen l'argument; (d) rèpliques, refutacions o contra arguments; (e) arguments de suport addicionals a la garantia, per fer front a les rèpliques; i (f) qualificadors, entesos com a expressions del llenguatge que ajuden en l'argumentació (Toulmin, 2003).

L'argumentació científica constitueix una de les moltes estratègies d'aprenentatge que es poden emprar per facilitar la comprensió de temàtiques complexes. Les estratègies d'aprenentatge es defineixen com tots aquells procediments que s'utilitzen de manera conscient, controlada i intencional, com a instruments per facilitar l'aprenentatge i la resolució de problemes o reptes relacionats (Díaz-Barriga & Hernández-Rojas, 2002). Dos exemples d'estratègies bastant conegudes són l'aprenentatge basat en la recerca i un enfocament d'aprenentatge actiu (Misseyanni et al., 2018; Torío, 2019). Ambdues estratègies fomenten i promouen el pas o transformació de l'aprenentatge centrat en el transmissor a l'aprenentatge centrat en el receptor, i impliquen una major autonomia per part del segon (McDaniel, Dell Felder, Gordon, Hrutka, & Quinn, 2000). Les tres motivacions teòriques en l'aplicació d'aquestes estratègies són: (a) la participació en el procés científic, (b) l'apropiació activa del coneixement, i (c) el desenvolupament d'una actitud crítica-reflexiva científicament rellevant (Karber & Wustmann, 2015).

c) Estratègies i entorns d'aprenentatge

L'aprenentatge amb enfocament actiu pot prendre molts formats. Dos exemples en són l'educació basada en projectes i l'educació basada en treballs de camp (Kandamby, 2018). Ambdues tècniques s'empren en els entorns educatius per demostrar l'aplicabilitat real del què s'ensenya a l'aula, així com per practicar l'observació i recopilació d'informació, l'aplicació de coneixements previs, la presa de decisions, la reflexió i discussió, el treball en equip, les habilitats comunicatives, la relació amb entorns socials, la utilització de dades de primera mà i l'extracció de conclusions a partir de l'experiència (Bloom, 1984; Corradi, Gherardi, & Verzelloni, 2010; Mills & Treagust, 2014; Vassala, 2006; J. Wilson, 2011). Aquesta llista d'habilitats forma part del què s'anomena aprenentatge no intencionat, el qual inclou totes aquelles pràctiques addicionals que es fan en la recerca i adquisició de coneixement a través de mecanismes d'aprenentatge dinàmics (Nesbit & Mayer, 2010). Un altre aprenentatge no intencionat que es sol esdevenir tant en l'educació basada en projectes com en els treballs de camp és l'aprenentatge cognitiu i/o afectiu, que es basa en les emocions, vivències personals, sentiments i reaccions (DeWitt & Storksdieck, 2008).

Tant el treball per projectes com el treball de camp es consideren estratègies informals o dinàmiques, on l'aprenent ha d'adoptar una actitud participativa i proactiva en tot moment (Kandamby, 2018). Les estratègies d'aprenentatge informals s'apliquen de forma habitual com a part del currículum de molts cursos, degut a la gran quantitat de beneficis d'aprenentatge no intencionat que aporten. En el cas d'aquestes estratègies, el rol del transmissor de coneixement és el de supervisor de l'activitat, guia i suport (Torío, 2019). És qui observa i valora el rendiment dels receptors, en valida els resultats, vetlla per l'assoliment dels objectius, aporta comentaris i manté una bona relació amb els receptors durant tot el procés (Kandamby, 2018).

Per assolir una bona transferència de coneixement, l'aplicació de les estratègies d'aprenentatge actives o informals ha d'afavorir la "capacitat d'aprendre a aprendre" (Romero, Cazorla, & Buzón, 2017), potenciant així l'autonomia, l'interès i la motivació dels receptors i aconseguint un aprenentatge significatiu (Andueza-Correa, 2016; Dadach, 2013; Fry, Ketteridge, & Marshall, 2009; Waldrop, 2015). "Aprendre a

aprendre” significa adquirir les habilitats metacognitives necessàries perquè el receptor del coneixement pugui entendre i regular els seus propis processos d’aprenentatge (Martín-Ortega, 2010).

A banda dels processos i estratègies comentats, un bon entorn d’aprenentatge que faciliti els processos de reflexió, raonament lògic i intuïtiu, memorització i visualització, a més de la motivació, és necessari per obtenir una bona comprensió de nous conceptes, sobretot en aquells processos en què transmissor i receptor es troben en un mateix espai (Felder & Silverman, 1988). Moltes disciplines i àrees de coneixement, com ara l’art, la fotografia, la geologia, la geografia, la física, l’astronomia, la botànica, la història i l’educació física ofereixen la possibilitat d’aprendre a través de l’experiència i de la descoberta de l’entorn (J. Wilson, 2011). El fet de posar en pràctica l’aprenentatge a mesura que s’integra, així com el fet de poder aprendre sobre un tema en l’entorn en què es dona de forma natural, en sol millorar la comprensió (DeWitt & Storksdieck, 2008).

A part de l’entorn en si, un bon entorn d’aprenentatge també depèn, en gran part, del transmissor de coneixement. Amb la sobresaturació d’informació que pateix actualment la societat, cal replantejar el rol de professors, mestres o divulgadors (Torío, 2019). La informació sobre qualsevol tema i en qualsevol nivell de profunditat es troba disponible a través de les tecnologies digitals. En un context així, el paper del transmissor no es pot limitar a fer accessibles els continguts, sinó que ha d’aportar un valor afegit en la producció, transformació, aplicació i valoració crítica dels coneixements transmesos (Bonvillian, W. B. & Singer, 2013; McDaniel et al., 2000).

Per finalitzar aquest apartat, cal afegir que hi ha un procés de transferència de coneixement on tots els agents implicats són, alhora, transmissors i receptors. Es tracta de la “coproducció de coneixement” (Salmon et al., 2017). La coproducció fa referència a la forma en què certs processos naturals i/o socials es produeixen conjuntament de forma espontània i natural (Jasanoff, 2004). En l’àmbit de la investigació interdisciplinària, s’utilitza aquest terme per definir qualsevol procés de col·laboració interactiu, que implica tant a acadèmics (experts) com a no acadèmics (no experts), amb els seus diferents tipus de coneixement, per generar o produir un coneixement conjunt sobre una temàtica concreta (Gibbons et al., 1994; Mobjörk, 2010; Pohl et al., 2010).

2.3. Efectivitat de la comunicació científica

La principal necessitat en comunicació científica no és només aconseguir un major compromís per part de científics i mediadors en la transferència de coneixement, sinó també, i sobretot, obtenir una implicació d'aquests més efectiva (Besley, Dudo, & Yuan, 2018). En aquest sentit, els investigadors en comunicació tenen un paper important en ajudar a millorar la capacitat dels investigadors científics per articular el coneixement de tal forma que els públics més amplis el puguin entendre. Aquest procés implica aclarir els objectius de la comunicació i, alhora, comprendre com diferents tàctiques divulgatives poden ajudar als científics a complir tals objectius (Besley, Dudo, & Yuan, 2018).

a) El rol dels mediadors com a experts adaptatius

Segons Longnecker (2016), la comunicació científica és com la jardineria: molts la poden dur a terme, però per ser-ne un expert cal interessar-s'hi, adquirir experiència, estar disposat a aprendre dels altres, seguir una planificació, experimentar, fallar i aprendre del fracàs, i saber reflexionar sobre els resultats. Per tant, si es pretén millorar l'efectivitat de la comunicació científica, cal que els comunicadors o mediadors siguin "experts adaptatius" (Wehrmann & van der Sanden, 2017), és a dir, que siguin capaços de construir una rutina de treball basada en la innovació.

D'entrada, sembla que "rutina" i "innovació" hagin de ser conceptes o processos contradictoris, però els professionals que saben integrar aquests dos elements són els que més es poden adaptar per fer front a incerteses o conflictes (Wehrmann & van der Sanden, 2017). La innovació és un procés iteratiu en què es combinen i s'apliquen coneixements amb la finalitat de comprendre i resoldre problemes complexos (Hatano & Inagaki, 1986; Schwartz, Bransford, & Sears, 2005). Així doncs, un mediador que sàpiga lidiar amb incerteses en les seves pràctiques quotidianes, podrà articular millor el seu valor afegit com a comunicador de la ciència i transmissor de coneixement.

D'altra banda, els mediadors han de poder dialogar amb totes les parts implicades en els processos comunicatius i entendre els seus interessos. Han de cercar solucions que

s'adaptin a cada entorn i siguin coherents, perseguint sempre l'efectivitat de la comunicació. Així doncs, han de ser flexibles i capaços de prendre decisions ràpidament, de canviar d'estratègia amb facilitat, i de generar noves solucions (Wehrmann & van der Sanden, 2017). A través de la pràctica, l'experiència, el coneixement i la intuïció, els mediadors desenvolupen un sentit especial sobre "el què funciona i el què no", així com a través de la curiositat, la persistència, la reflexió, la repetició, la comparació i l'avaluació (Wehrmann & Henze-Rietveld, 2016). També cal que desenvolupin habilitats cognitives, motivacionals, afectives, socials i relacionals per millorar l'empatia, la credibilitat i la confiança que transmeten (Hatano & Inagaki, 1986). Qualsevol persona que comuniqui ciència pot millorar l'efectivitat del què comunica comprenent com les persones reben la informació, i com la utilitzen (Longnecker, 2016).

Tant la confiança transmesa com la credibilitat de la font són dos factors que afecten l'efectivitat de la comunicació científica (Frewer, Scholderer, & Bredahl, 2003; Wynne, 1992, 2006). És normal que el públic es presenti escèptic en rebre una nova informació. De fet, l'escepticisme saludable és un aspecte important i essencial del pensament crític (Ennis, 1962). Tanmateix, part de la tasca de comunicadors i mediadors és contrarestar aquest escepticisme, a fi que el públic integri el coneixement. La resposta de molts comunicadors davant la desconfiança o l'escepticisme és donar més evidència per recolzar l'argument (Longnecker, 2016). Ara bé, l'evidència resulta inestimable en el pensament crític (Ahteensuu, 2012; Petty, McMichael, & Brannon, 1992), ja que aquest tipus de pensament treballa a partir de creences pròpies, reaccions instantànies, i decisions que es prenen de forma subjectiva o intuïtiva (Kahneman, 2011). Per tant, l'evidència per si sola no és suficient per convèncer sobre un canvi de pensament o creença.

La claredat i l'accessibilitat de la informació són dos altres factors clau per aconseguir que la comunicació científica sigui eficaç (Longnecker & Gondwe, 2014). D'altra banda, els factors normatius (Cialdini, 2003) i els emocionals (Fredrickson & Branigan, 2005) són igual d'importants, ja que les percepcions i normes socials afecten a l'atenció que se li dona a la informació (Cacciatore, Scheufele, & Iyengar, 2016; Cialdini, 2003; Kahan et al., 2012). Per posar un exemple d'aquesta rellevància, la Teoria de la Conducta Planificada (*Theory of Planned Behavior, TPB*) (Ajzen, 1991) assenyala que

la presa de decisions i la conducta dels individus es veuen influenciades pel què pensen els altres, així com per la percepció del què poden pensar els altres. Per tant, qualsevol presa de decisió té sempre una cara social, que depèn de l'opinió i la percepció, fins i tot, del què pot ser que pensin altres persones (Wynne, 1992). Amb aquesta complexitat d'aspectes que afecten la creació del pensament, és difícil determinar amb exactitud l'efectivitat que tindrà una peça comunicativa.

b) Implementació de canvis

Probablement, la millor manera per determinar l'efectivitat de la comunicació científica és l'avaluació de la implementació de canvis (en el comportament, en l'entorn, en hàbits quotidians, en actituds, etc.) a partir de la integració d'un nou coneixement. Besley, Dudo i Yuan (2018) afirmen que l'efectivitat en comunicació científica hauria de ser avaluada per experts de l'àmbit de la ciència i de la comunicació, per tal de percebre la manera en què la informació transmesa afecta al comportament dels receptors.

Així doncs, per poder avaluar aquesta efectivitat, cal que els individus tinguin accés a la informació, comptin amb l'aprovació de la comunitat en què es troben, i puguin disposar dels mitjans necessaris (infraestructura, recursos) per implementar el canvi (Fishbein & Cappella, 2006; Harre, 2011; Lee & Garvin, 2003). És, també, necessari que els individus reconeguin la seva capacitat d'implementar el canvi (Bandura, 1978; Ryan & Deci, 2000), i que s'estableixin polítiques d'apoderament de les persones per tal que això sigui possible (Abecasis, Longnecker, Schmidt, & Clifton, 2013; Garvin & Eyles, 2001). En el concepte d'apoderament s'hi troba implícita la idea d'identitat.

El sentit de la identitat afecta el compromís amb la informació en rebre-la, processar-la i utilitzar-la (Longnecker, 2016). Per tant, resulta un eix central en l'eficàcia de la comunicació científica. Si una informació és clara i accessible, però no considera la identitat de qui la rep, s'arrisca a ser ineficaç (Abecasis, Schmidt, Longnecker, & Clifton, 2013; P. S. Hart & Nisbet, 2012; Kahan et al., 2012; Lee & Garvin, 2003). Alhora, cal considerar que un mateix individu pot tenir diferents identitats (com, per exemple: mare, ciutadana, científica i professora), i que l'atenció a una informació pot dependre d'un moment concret, segons la identitat que predomini en aquell moment

(Falk, 2009). De la mateixa manera, els factors demogràfics i socioeconòmics afecten a la recepció i l'ús de la informació com a variables objectives de la identitat (Castelfranchi, Vilela, Lima, Moreira, & Massarani, 2013; Falk, 2009).

Addicionalment, la font i el to de presentació d'una temàtica poden tenir efecte en l'atenció que un individu presta a la informació (A. A. Anderson, Brossard, Scheufele, Xenos, & Ladwig, 2014; Rogers, 2003; Wynne, 1992, 2006). Tanmateix, aquesta atenció depèn principalment de la rellevància de tal informació per a les necessitats immediates (Falk & Dierking, 2012). Per tant, es torna a relacionar amb la identitat.

Educació, psicologia, cognició, valors, creences i actituds afecten, doncs, directament, a l'acceptació o, per contra, al rebuig de nova informació (Harre, 2011; Lee & Garvin, 2003). La utilització d'aquests aspectes com a recursos s'empra molt en àmbits com el màrqueting, la promoció de la salut i el turisme, que empen les experiències personals, els desitjos i les aspiracions humanes per canviar o consolidar valors, actituds i conductes (Packer & Ballantyne, 2013; Walker & Moscardo, 2014). Un cop s'ha acceptat i incorporat un discurs a la comprensió personal, és difícil canviar-lo, sobretot si aquest discurs es comparteix amb l'entorn social de l'individu (Cook & Lewandowsky, 2016; Harre, 2011; Larson, Cooper, Eskola, Katz, & Ratzan, 2011). Per contra, quan un discurs o nova informació no coincideix amb les creences i/o el coneixement ja existent, es pot produir una dissonància cognitiva, la qual pot fer que l'individu prengui diferents estratègies: o bé que ignori la nova informació, o bé que reestructuri el seu marc mental per adaptar-la, o, com a última opció, que es quedi amb un coneixement esbiaixat o erroni sobre un tema (Lewandowsky, Ecker, Seifert, Schwarz, & Cook, 2012).

Després d'aquesta reflexió sobre l'efectivitat de la comunicació científica, es pot afirmar que l'avaluació d'efectivitat de qualsevol peça d'informació és complexa i implica múltiples factors; majoritàriament difícils de controlar perquè depenen de la identitat, la percepció i les creences personals dels individus, entre altres. De forma genèrica, l'objectiu d'una comunicació científica eficaç és el de proporcionar quelcom satisfactori per a la societat, i potencialment útil. Qualsevol avaluació que permeti mesurar aquests factors, encara que només sigui en part, podrà determinar si una comunicació científica és efectiva o no.

c) La col·laboració com a recurs

Les activitats cooperatives són sovint un recurs emprat en comunicació científica, bé de forma directa o bé indirecta. La cooperació es treballa molt en l'àmbit científic, i el fet d'incloure no experts o experts d'altres àmbits en processos de treball pot potenciar la transferència de coneixement. Alhora, també pot generar noves oportunitats de recerca, desenvolupament i innovació (Coulter, 2013). Per tant, resulta un procés molt favorable per diverses raons. No obstant, es tracta d'una pràctica encara poc utilitzada en la majoria de processos habituals de laboratoris i empreses, ja que gran part de la comunitat científica encara sol adreçar la comunicació dels seus avenços de forma molt limitada, considerant-la una via per educar la societat, enlloc d'una via per implicar al públic en processos de ciència i en la presa de decisions (Dudo & Besley, 2016).

Alguns autors coincideixen en què les relacions entre ciència i indústria són un vehicle pel coneixement i el creixement econòmic, i que la combinació de participants de diferents àmbits en una activitat conjunta pot dur a la generació de resultats inesperats i molt interessants (Mueller, 2007; Schmickl & Kieser, 2008). Addicionalment, el fet d'aproximar un tema complex en col·laboració amb participants d'altres àmbits ofereix la possibilitat de tractar-lo des de diferents punts de vista, valorar diferents perspectives, interactuar en múltiples direccions i resoldre més d'un problema a la vegada. D'altra banda, la generació de debats multi-direccionals permet una transferència de coneixement menys manipulada i, per tant, més fiable que la transmissió d'informació a través de discursos sensacionalistes (com els que sovint es troben en premsa) que pretenen persuadir l'audiència (Fiske & Dupree, 2014).

A part de la col·laboració entre la comunitat científica i les empreses, la participació del públic en esdeveniments cooperatius amb científics és també molt rellevant, ja que pot arribar a crear una societat més especialitzada i promoure la importància de l'avanç de la ciència (Haywood & Besley, 2014). Al cap i a la fi, la ciència és una disciplina capaç de satisfer les necessitats econòmiques, polítiques, socials i culturals de la societat, i la innovació consisteix en donar-li a aquesta ciència una sortida al món real (Design United, 2013; Lloyd, 2017). La ciència de la psicologia ofereix algunes idees interessants pel què fa a l'estudi del comportament humà, que poden ajudar a

comprendre com les persones interactuen amb el coneixement, l'integren, i prenen decisions en conseqüència. A continuació es destaquen quatre aspectes sobre la conducta humana extrets de l'àmbit de la psicologia i rellevants per conceptualitzar una millor estratègia de comunicació científica:

- a) **La cognició es basa, principalment, en l'experiència.** Dècades d'investigació en psicologia social, cognitiva i clínica han demostrat que el cervell humà es basa en dos sistemes de processament, qualitativament diferents (Chaiken & Trope, 1999; Evans, 2008; Sloman, 1996). El primer sistema es descriu com a intuïtiu, automàtic, afectiu, emocional, basat en l'experiència i ràpid, mentre que el segon sistema és racional, analític, lent, i es basa en l'esforç i la deliberació (Kahneman, 2011). A la pràctica, aquests dos sistemes interactuen contínuament i guien el judici humà i la presa de decisions (LeDoux, 1989). Malgrat tot, quan divergeixen, el primer sistema (emocional, automàtic i experiencial) exerceix una influència més gran en l'orientació de la presa de decisions (Loewenstein, Hsee, Weber, & Welch, 2001). Per tant, l'experiència és una mestra molt potent, ja que la manera com les persones es senten davant d'una situació sovint determina o influeix en les seves reaccions i decisions, més que no pas la seva anàlisi sobre la situació (Slovic & Peters, 2006).

- b) **Els contextos socials guien la presa de decisions.** Al llarg de l'evolució s'ha observat que les persones són éssers socials que responen a normes grupals (societat); i és a través de la comparació social que es valida la correcció de les pròpies opinions i decisions (Festinger, 1954). Així doncs, les normes i contextos socials juguen un paper molt important en la presa de decisions i poden ser poderoses fonts d'influència en molts casos. Com més parla un entorn social sobre un tema, més s'amplifica la percepció de risc o afectació, així com la intenció d'actuar per part dels individus (Renn, 2011; van der Linden, 2015).

- c) **El què no es veu, no existeix.** El que és més proper en temps i espai es percep com a més important. Això és el què s'anomena distància psicològica, i aquesta fa prioritzar les temàtiques que més afecten en la immediatesa (van der Linden, Maibach, & Leiserowitz, 2015). Per tant, les preocupacions del dia a dia prevalen sobre la planificació del futur, per exemple (Berns, Laibson, &

Loewenstein, 2007; van Vugt, Griskevicius, & Schultz, 2014). En canvi, a mesura que augmenta la distància (espacial o temporal) amb una realitat o situació, les representacions mentals es tornen menys concretes i cada cop més abstractes (Trope & Liberman, 2010).

d) La motivació intrínseca és la més duradora. En psicologia, es solen distingir dues fonts de motivació: intrínseca (basada en processos personals i interns) i extrínseca (basada en incentius externs) (van der Linden et al., 2015). La majoria d'individus es preocupen constantment de manera intrínseca pel benestar (econòmic, social, cultural, polític, etc.) dels altres i del medi ambient (Stern, Dietz, Abel, Guagnano, & Kalof, 1999). Conseqüentment, apel·lar a les motivacions intrínseques de les persones és un motor més eficaç i durador que apel·lar a les motivacions extrínseques, ja que aquestes segones són generalment més intenses però molt menys duradores (Bolderdijk, Steg, Geller, Lehman, & Postmes, 2013; Deci, Koestner, & Ryan, 1999).

Com s'enuncia en aquests quatre punts, l'experiència, la interacció social, la proximitat a una temàtica i la potenciació de la motivació intrínseca són quatre aspectes essencials per guiar el comportament i la presa de decisions de les persones. Mitjançant la realització de pràctiques col·laboratives sobre una temàtica concreta, es poden abordar aquestes quatre característiques mentre, alhora, es transmet coneixement.

d) Public Engagement with Science (PES)

Una pràctica extensament coneguda en la comunitat científica per permetre situacions de col·laboració és l'anomenada *Public Engagement with Science* (PES), que es traduiria com a compromís, engatjament o vinculació del públic amb la ciència. L'objectiu principal del PES és permetre als ciutadans influir, de manera democràtica, en les decisions sobre el desenvolupament i l'ús de la ciència i la tecnologia (Besley & Nisbet, 2013; Davies, 2013; Kreimer, Levin, & Jensen, 2011; Stilgoe et al., 2014).

Actualment, el foment de la participació del públic en processos científics és un dels principals reptes en el camp de la comunicació científica (Stilgoe et al., 2014); no

només pel fet que implica canvis en la manera de pensar i dissenyar processos i activitats, sinó també perquè generalment comporta temps de preparació i captació. No obstant, malgrat aquestes dificultats, la gamma d'activitats de divulgació dissenyades per potenciar la participació ciutadana en la ciència ha augmentat notablement al llarg dels darrers anys (Einsiedel, 2008).

Un factor rellevant que afecta en la participació del públic en contextos i esdeveniments científics és el relacionat amb les emocions que sorgeixen a mesura que l'individu interactua amb una informació. Les emocions desencadenen un conjunt de respostes (fisiològiques, de conducta, etc.) que permeten a l'individu afrontar problemes i/o oportunitats (Lerner & Keltner, 2000). Aquestes respostes fan que es desenvolupin accions o preferències que estan en consonància amb les emocions.

Una emoció destacable en aquest procés és la sorpresa. Es tracta d'una emoció ambigua sobre la qual hi ha un extens debat entre psicòlegs sobre si provoca una reacció positiva, negativa, mixta o neutral (Noordewier & Breugelmans, 2013). En qualsevol cas, els experts afirmen que la sorpresa pot conduir l'individu a tenir més consciència sobre la informació que rep, ja que es produeix per esdeveniments inesperats, interrompent pensaments en curs, i motiva a parar atenció a un estímul inesperat (Noordewier & Breugelmans, 2013).

Per causa d'aquest increment d'atenció, la sorpresa també pot comportar un major interès, tot i que hi ha cert risc en la pràctica. El risc es troba en què aquesta emoció té dues dimensions: d'una banda la novetat i, d'altra banda, el potencial d'afrontar aquesta novetat. Si s'experimenta quelcom molt nou (alt nivell de novetat), però l'individu no té la capacitat de comprendre-ho (baix nivell de potencial d'afrontament), és probable que perdi l'interès (W. L. Allen, 2018). Per això és important que en els processos d'implicació i participació del públic en ciència es tingui en compte que cal sorprendre per captar l'atenció, però sempre considerant la capacitat dels participants per fer front als reptes que se'ls hi plantegen i a la complexitat de la informació que es transmet.

En relació amb la complexitat de la informació i a com el públic la capta i desglossa per interpretar-la, hi ha una eina que és de molta utilitat: la resolució de conflictes. Es tracta de la capacitat que té un individu de participar en el processament intel·lectual per

comprendre i resoldre situacions problemàtiques, en les quals no hi ha un mètode de solució directe i evident (OECD, 2014, 2017). Aquesta capacitat s'empra sovint com a estratègia de treball en equip per plantejar situacions significatives i contextualitzades, i proporcionar fonts, orientació i instrucció als participants a mesura que aprenen nous coneixements i resolen un conflicte plantejat (Killen, 2006). Mitjançant l'aplicació de la resolució de conflictes com a eina de treball en processos de col·laboració, es pot aconseguir millorar la interacció entre participants, la predisposició a tractar amb situacions complicades, la reflexió personal, i les habilitats resolutives dels individus que integren el grup de treball (Killen, 2006; OECD, 2014, 2017).

La resolució de conflictes és un procés dinàmic que sovint desconcerta als participants, degut a la incertesa en el camí de trobar una resposta al problema plantejat (Valdez & Bungihan, 2019). No obstant, pot resultar molt gratificant un cop s'ha aconseguit l'objectiu. Un aspecte important durant el procés de cerca de solucions és que els participants siguin perceptius, de manera que s'adonin de si la solució que poc a poc van construint s'apropa o s'allunya de resoldre el conflicte (American Chemical Society, 2012).

A més de perceptius, cal que siguin reflexius. El terme "reflexivitat" s'usa en moltes disciplines i contextos, i és la voluntat o capacitat de qüestionar les pròpies suposicions, com aquestes es relacionen amb estructures de poder de la societat, i com aquestes configuren les accions pròpies (L. Anderson, 2008; Wynne, 1993). La reflexivitat requereix auto-interrogar-se, a fi d'analitzar de manera crítica els supòsits, les expectatives i el posicionament propis, i replantejar-se l'establert. Cal destacar que no es tracta simplement d'un procés de pensament intern, sinó d'un pensament lligat a una acció; amb la qual cosa, el pensament reflexiu permet generar maneres d'actuar que d'altra forma no serien possibles (Salmon et al., 2017). És per això que resulta interessant fomentar una actitud reflexiva envers el compromís del públic amb la ciència (M. W. Bauer & Jensen, 2011).

Per la seva naturalesa crítica i alhora proactiva, la reflexivitat s'hauria d'integrar en processos de vinculació del públic en ciència (PES) com a eina de treball per generar nous pensaments i enfocaments (Irwin, 2014).

2.4. Metodologies de disseny participatives

S'anomenen “metodologies de disseny” totes aquelles metodologies que s'utilitzen en l'àmbit del disseny per conceptualitzar i desenvolupar nous productes i serveis. Existeixen centenars de processos, mètodes, tècniques i eines dins d'aquest camp, i totes elles es caracteritzen per basar-se en la creativitat, i per oferir la possibilitat d'estructurar converses entorn a informacions rellevants; fet que permet als dissenyadors entendre i empatitzar amb les persones i, com a conseqüència, crear productes significatius (Hanington & Martin, 2012). Per tant, l'ús de metodologies de disseny pren sempre una perspectiva centrada en la societat.

A més a més, la gran majoria d'aquestes metodologies s'apliquen en equip. Per això es parla de “metodologies de disseny participatives”. Aquestes metodologies sovint s'engloben sota el nom “*Design Thinking*” o “pensament creatiu” (Carroll, Goldman, Britos, & Koh, 2010; Curedale, 2016; de Bono, 1994; Design United, 2013; Dorst, 2011; Leblanc, 2016; Razzouk & Shute, 2012). Altres conceptes i moviments del camp del disseny es relacionen també amb aquests (com ara “co-disseny” o “co-creació”), però tots ells coincideixen amb l'enfocament centrat en l'humà i en la societat, i el fet que es tracta d'un conjunt molt ampli de mètodes, tècniques i recursos creatius que poden ser aplicats a diferents problemes o reptes per grups interdisciplinaris (Curedale, 2016; Sanders, 2002; Sanders & Stappers, 2008).

L'aspecte clau en la utilització d'aquestes metodologies participatives és l'alt nivell d'innovació que es pot aconseguir. Això es deu a que les tècniques que s'apliquen en aquestes activitats tenen la intenció d'arribar a utilitzar els dos tipus de coneixement que tenim els humans: el tàcit i el pràctic (Spinuzzi, 2005). El coneixement tàcit inclou tot allò que una persona sap sense saber com expressar-ho. El pràctic, en canvi, fa referència a la manera com una persona fa una cosa basant-se en l'experiència prèvia, de manera inconscient. La combinació d'aquests dos tipus de coneixement en una experiència compartida fa que es puguin visualitzar aspectes impossibles de detectar mitjançant l'ús d'altres metodologies.

En l'aplicació de les metodologies de disseny participatives hi ha tres aspectes indispensables (Inmark, 2010; Raijmakers, Thompson, & Van de Garde-Perik, 2012; Rodríguez Estrada & Davis, 2015; Sanders & Stappers, 2008):

- a) **El disseny de les sessions.** Degut a que aquestes metodologies s'empren en equip, cal dissenyar bé les sessions de treball. Això significa crear una estructuració dels mètodes que es duran a terme, amb un temps concret dedicat a cada part de la sessió, i la selecció o creació dels materials de treball.

- b) **La consideració i utilització de recursos multi-sensorials.** En el camp del disseny, la informació visual és molt rellevant, però també l'olfactiva, la tàctil, la gustativa i l'auditiva. L'ús d'imatges, sons, i altres materials que es puguin tocar i manipular és sempre una ajuda per oferir una sessió més completa i atendre a les diferents capacitats receptives i interpretatives dels participants.

- c) **La figura de facilitador/a.** El facilitador o la facilitadora és la persona encarregada de l'organització de les sessions (estructuració, generació de materials, reserva i organització de l'espai, logística, etc.) i de la moderació d'aquestes (guia de l'activitat, control del temps, motivació, resolució de dubtes i conflictes, etc.). És qui encoratja als participants a expressar els seus pensaments i les seves idees, i a generar un ambient creatiu i cooperatiu.

Aquestes metodologies no només s'utilitzen en el camp del disseny. De fet, per això són cada cop més rellevants. Algunes empreses han integrat activitats de co-disseny en les seves activitats habituals per innovar en els seus productes i serveis (Koskinen & Krogh, 2015). Amb elles, inclouen els seus usuaris o consumidors en el procés de generació de nous productes, fent que així aquests siguin proactius i expressin les seves necessitats i desitjos, convertint-se en co-creadors de la seva futura experiència com a usuaris (Guersenzvaig, 2010). D'aquesta manera és com les metodologies de disseny participatives tenen la capacitat de penetrar en altres àmbits, d'aportar beneficis a empreses i institucions i, com a darrera instància, de beneficiar a la societat (European Commission, 2007). Metodologies similars també s'utilitzen a les escoles, on les activitats centrades en l'estudiant estan substituint, poc a poc, les centrades en el/la professor/a en l'educació de la ciència (Pratt, 2002).

Tal com afirmen Wehrmann i van der Sanden (2017), el disseny és un mitjà per trobar solucions a tot tipus de problemes de forma sistemàtica. Per aquest motiu, aquests dos autors apliquen les metodologies de disseny com a forma d'aprenentatge a la Delft University of Technology, on els estudiants treballen, al llarg del curs, amb equips multidisciplinaris de quatre o cinc persones de diferents disciplines tecnològiques. En el procés d'aprenentatge, els alumnes combinen els seus coneixements teòrics i pràctics, l'experiència pròpia, la creativitat i la intuïció de manera explícita i estructurada per trobar una solució de comunicació concreta (des d'una estratègia de comunicació fins a una eina de suport de presa de decisions pels professionals de la comunicació científica) (Wehrmann & van der Sanden, 2017). Aquest és un clar exemple d'aplicació de les metodologies de disseny participatives fora de l'àmbit del disseny.

Val a dir que no totes les metodologies de disseny participatives són aplicables a qualsevol procés, sinó que existeixen diferents metodologies per les diferents etapes del procés creatiu. Generalment, tot procés creatiu es compon de les següents cinc fases (Brown, 2009; Doorley et al., 2018):

- a) **Empatitzar.** L'empatia és la fonamentació de tot procés de disseny centrat en l'usuari. Per entendre les necessitats d'un usuari, cal sentir empatia cap a ell, cal observar-lo i analitzar el seu comportament en el context en el què es mou. També cal interactuar-hi i generar diàlegs, així com posar-se a la seva pell i experimentar allò que ell experimenta. En aquesta fase es solen emprar metodologies de recerca, observació, consulta, recollida d'informació i estructuració de dades.
- b) **Definir.** En la fase de definició és quan es desempaqueten i sintetitzen els resultats obtinguts en la fase d'empatia en necessitats específiques, per plantejar un repte concret a resoldre a partir d'aquest punt. Cal desenvolupar una comprensió profunda de l'usuari i del seu entorn, així com determinar el punt de vista des del qual es tractarà de trobar resposta a les seves necessitats. Les metodologies emprades en aquesta fase solen estar destinades a la creació de mapes mentals o visuals que permeten entendre i donar nous significats a les dades de la fase anterior.

- c) **Idear.** La fase d'ideació és la fase en què es generen les idees per donar resposta al repte definit. És una fase on cal obrir la ment per explorar un espai de solució ampli, on hi pot haver una gran quantitat i diversitat d'idees. En finalitzar el procés d'ideació, es fa una selecció de la idea definitiva. Per la realització d'aquesta fase es sol fer ús de metodologies on la creativitat n'és l'eina de treball, des de mapes amb núvols temàtics de propostes fins a jocs de rol.
- d) **Prototipar.** El prototipatge és la fase en què es dóna forma a la solució escollida. Un prototip pot ser qualsevol cosa que tingui una forma física (un mur de notes, un joc de rol, un espai, un objecte, una interfície o una història explicada en vinyetes, per exemple). Els prototips permeten l'experimentació i la interacció, i poden ajudar a impulsar una empatia més profunda, així com a fer tangible una solució. En aquesta fase, les metodologies de treball depenen dels materials amb què es crea el prototip. Són metodologies que generalment impliquen materials voluminosos, o bé elements gràfics i sensorials.
- e) **Testejar.** Aquesta última fase ofereix l'oportunitat de provar i avaluar el prototip desenvolupat amb usuaris reals, a fi de poder-lo millorar i perfeccionar. És una fase iterativa en la qual es tracta d'esbrinar si la solució trobada és adequada, si cal que es modifiqui, o si cal plantejar una altra solució. Les metodologies que es solen utilitzar són d'avaluació i reflexió.

Així doncs, en dissenyar una sessió basada en metodologies de disseny participatives, és molt important que es seleccionin bé les metodologies per a cada fase. Les fases poden variar en funció de les necessitats específiques de cada sessió i dels participants, però aquestes cinc fases bàsiques serveixen, en qualsevol dels casos, com a referència.

Alguns autors plantegen que el rol dels dissenyadors hauria de ser o serà, cada cop més, el de facilitar sessions de co-disseny, degut a la seva empatia, els recursos creatius de què disposen, i a la seva facilitat per entendre a les persones, atendre a necessitats, la motivació i la creativitat (Fortier & Chung, 2013; Raijmakers et al., 2012).

a) La creativitat com a eina de treball

En l'àmbit del disseny, la creativitat és el motor de funcionament de qualsevol procés. Per aquesta raó, les metodologies de disseny es basen en la intel·ligència creativa, que és un tipus d'intel·ligència nascuda de la combinació entre diversos aspectes subjectius de la personalitat. Aquests són: el caràcter d'un individu, la seva manera de percebre la realitat, la manera que té de processar informació, els seus valors personals, la seva reacció a diferents situacions, la manera de fer les coses i aconseguir objectius, i altres elements subjectius lligats a la conducta, l'actitud, la imaginació i el coneixement (Gastelú, 2011; A. J. Rowe, 2004).

Les activitats lúdiques potencien la intel·ligència creativa, tot treballant en valors i afavorint el desenvolupament psicològic i social de l'individu, així com la formació de la seva personalitat (Gómez-Rodríguez, Patricia-Molano, & Rodríguez-Calderón, 2015). A més, aquestes activitats es poden orientar cap a l'adquisició de coneixements, tot combinant l'aprenentatge amb el gaudi personal (Tumbaco et al., 2018). S'ha demostrat que els estats emocionals positius poden facilitar la receptivitat a l'aprenentatge (Fredrickson & Branigan, 2005): La participació activa, el gaudi, la diversió (que no necessàriament és sinònim de distreure's o entretenir-se) i la satisfacció amb el que s'experimenta són elements que augmenten la propensió a l'aprenentatge (Ainley & Ainley, 2011; Czikszentmihalyi, 1990; Liu & Falk, 2014; Packer & Ballantyne, 2004; Pegrum, Bartle, & Longnecker, 2015).

Quan les activitats lúdiques s'apliquen a àmbits originàriament no lúdics, succeeix un procés de ludificació o gamificació, que consisteix en la utilització dels elements essencials del joc en contextos i activitats que habitualment no es consideren un joc (Deterding, Dixon, Khaled, & Nacke, 2011). La gamificació es considera una forma divertida i participativa d'aplicar la creativitat a àmbits on normalment no es planteja aplicar-la. Les àrees més comunes d'aplicació són l'educació, l'oci, la salut, el màrqueting i els entorns empresarials (Muangsrinoon & Boonbrahm, 2019).

S'ha demostrat que una gamificació ben conceptualitzada i aplicada pot tenir un impacte positiu en la salut i el benestar de les persones (D. Johnson et al., 2016). De fet, la

Teoria d'Autodeterminació (Ryan & Deci, 2000) estableix que les necessitats psicològiques bàsiques que inclouen l'autodeterminació de les persones són l'autonomia (necessitat d'independència), la competència (necessitat d'habilitat) i la relació (necessitat d'interacció social). La gamificació, a través dels seus elements, processos, eines i contextos, permet satisfer aquestes tres necessitats (Muangsrinoon & Boonbrahm, 2019).

Una altra pràctica que es basa en la creativitat i que, consegüentment, treballa la intel·ligència creativa, és al visualització. Cada cop s'utilitza més la visualització com a recurs en contextos científics per donar sentit a dades complexes i comunicar conclusions de forma àmplia i senzilla (W. L. Allen, 2018; Rodríguez Estrada & Davis, 2015). Tanmateix, la traducció de coneixement científic en forma de recurs visual no és un procés senzill. Si s'aplica la idea de mediació a l'àmbit visual, es podria dir que col·lectors de dades, dissenyadors gràfics i artistes són mediadors del contingut científic en la generació d'esquemes i representacions visuals (W. L. Allen, 2018). En aquesta mediació visual, científics, dissenyadors i públic operen en un espai de visualització complex i diferent. La generació de connexions entre les diferents identitats visuals és essencial per a una bona traducció del coneixement.

És ben clar que les representacions visuals de dades, idees i elements no són noves. Històricament, el recurs visual sempre ha estat central en la comunicació científica (Bucchi & Saracino, 2016); principalment, degut a la claredat que pot transmetre una imatge enfront a un text, i a la rapidesa amb què la ment humana la pot processar. D'altra banda, els diferents recursos visuals i elements gràfics poden afectar a la percepció dels usuaris i/o generar respostes emocionals (Bucchi & Saracino, 2016; Herring, VanDyke, Cummins, & Melton, 2017; H. Kennedy & Hill, 2018). Probablement degut a aquestes respostes emocionals, les activitats de comunicació i divulgació científica fetes en col·laboració amb artistes i/o dissenyadors incrementen l'interès del públic per la ciència (Drumm, Belantara, Dorney, Waters, & Peris, 2015; Ede, 2002; Halpern, 2012).

Els participants d'activitats de divulgació científica es solen caracteritzar per considerar el valor de la cultura científica més positivament que la mitja del públic general (Kato-Nitta, Maeda, Iwahashi, & Tachikawa, 2018). També posseeixen més "capital cultural"

i actituds de recolzament envers la ciència, així com comportaments més proactius a l'hora de participar en activitats de vinculació de la societat en els processos de ciència (Kato-Nitta et al., 2018). Per motiu d'aquest capital cultural, és possible que aquest tipus de públic sigui també més propens a admirar l'art i a entendre les visualitzacions (Drumm et al., 2015; Ede, 2002).

Hi ha moltes més maneres d'entendre i aplicar la creativitat com a eina de treball. Les pròpies metodologies de disseny participatives en són, en si mateixes, un clar exemple. En el seu ús, cal prendre una actitud creativa i una mentalitat oberta, i seguir les següents recomanacions (Doorley et al., 2018):

- Mostrar el què es vol explicar, enlloc de descriure-ho.
- Focalitzar en l'empatia i els valors humans.
- Comunicar amb claredat i coherència.
- Utilitzar l'experimentació per pensar i aprendre, no només per validar una idea.
- Ser conscient del procés que es segueix i de l'objectiu a assolir.
- Enfocar-se en l'acció.
- Treballar des de la col·laboració i la diversitat.

b) “Pensar amb les mans”: Els mapes conceptuals

Els mapes conceptuals són una tècnica gràfica que mostra informació organitzada de forma jeràrquica, així com altres relacions entre conceptes (Romero et al., 2017). Dit d'una altra manera, són un recurs esquemàtic per representar un conjunt de significats conceptuals inclosos en una estructura de proposicions (Novak & Gowin, 1988).

Es poden considerar com una xarxa de conceptes on hi ha una idea central, al voltant de la qual s'hi van col·locant la resta d'idees de forma lògica i organitzada a mesura que es construeix el mapa, de tal manera que la importància o especificitat de conceptes quedi clara. Els conceptes s'associen entre si tot enllaçant paraules, de forma que dos o més conceptes units formen una proposició amb un significat concret i diferent al dels conceptes aïllats (Aguilar-Tamayo, 2006; Novak, 2012).

Quan s'apliquen els mapes conceptuals a l'aprenentatge, els nous coneixements s'assimilen a mesura que es van creant i establint enllaços amb coneixements previs, que actuen com a àncora dels nous conceptes, tot incloent-los en l'estructura cognitiva de l'aprenent o estudiant (Novak, Mintzes, & Wandersee, 2005). Així és com els nous conceptes es converteixen en coneixements definits i diferenciats, que enriqueixen la xarxa de significats i amplien la matriu d'aprenentatge (Novak et al., 2005). D'aquesta manera, els nous continguts integrats són més fàcils de retenir i menys vulnerables a ser oblidats (Novak, 2010; Romance & Vitale, 2013).

Per aquest motiu s'ha decidit anomenar aquest apartat "Pensar amb les mans", perquè justament d'això tracten els mapes conceptuals. Qualsevol recurs gràfic construït pels estudiants, aprenents o receptors de nou coneixement, on s'hi relacionin conceptes, que permeti que després aquesta xarxa de conceptes sigui integrada en el propi coneixement, és un procés de pensament a través de les mans; a través de l'escriptura i la seva captació visual. En resum, els mapes conceptuals són beneficiosos perquè:

- Proporcionen una comprensió ràpida i senzilla de nous conceptes, encara que aquests siguin complexos. Ho aconsegueixen tot promovent la síntesi d'idees, la pròpia expressió i l'activitat col·laborativa (Ojeda Cabrera, Díaz Cuéllar, González Landrián, Pinedo Melis, & Hernández Gener, 2007).
- Permeten substituir l'aprenentatge "de memòria" per un aprenentatge reflexiu a través del qual es poden organitzar les idees de forma seqüencial (Gallego-Arrufat, Crisol-Moya, & Gámiz-Sánchez, 2013).
- Contribueixen a un aprenentatge més efectiu, a través de l'adquisició de la competència "d'aprendre a aprendre", l'autonomia i la iniciativa personal, entre d'altres (Vidal-Ledo, Vialart-Vidal, & Ríos-Vialart, 2007).
- Permeten establir noves relacions entre conceptes i, per tant, nous significats; facilitant així l'aprenentatge significatiu mitjançant l'organització, la jerarquia i la comprensió de la informació (Mendonça, 2013).

- Afavoreixen l'agilitat i l'habilitat en l'organització de conceptes d'una matèria concreta, amb un gran impacte visual, senzillesa i atractiu estètic; aspectes que fan que tals conceptes siguin més fàcils de recordar per mitjà de la visualització (Romero et al., 2017).
- Permeten analitzar l'estructuració del coneixement i validar les relacions que s'estableixen sobre el nou coneixement (Edmondson, 2005).
- Potencien la creativitat i la motivació, i fins i tot poden arribar a millorar l'autoestima, l'actitud i el rendiment acadèmic (Molina-Azcárate, 2013).

Per tots aquests avantatges, l'ús de mapes conceptuals com a recurs d'aprenentatge resulta recomanable. De fet, no es tracta d'una estratègia nova, tal com demostren varis estudis en diferents nivells d'aprenentatge (Adesope & Nesbit, 2010; de Benito, Darder, & Salinas, 2012; Kinchin, 2014; Vázquez & López, 2016). Com més s'utilitzi aquesta tècnica en els entorns educatius i de transferència de coneixement, més integrada estarà en la manera d'aprendre de les persones (Mendonça, 2013; Soto-Carrión, Chata-Mamani, & Jiménez-Mendoza, 2014).

c) Conceptes clau

De forma molt sintetitzada, s'ha volgut generar un esquema per plasmar la relació entre els conceptes més rellevants que s'han mencionat en els apartats anteriors, i que seran importants en la resta de la tesi (Figura 2).

La Figura 2 evidencia la innovació que sorgeix a partir de la connexió entre comunicació científica i disseny. Mediadors de la informació i dissenyadors entren processos similars d'anàlisi, empatia amb la societat i generació de coneixement per solucionar reptes. Unint aquestes dues disciplines, es poden assimilar processos i treure profit de qualsevol vincle entre ciència i societat, tant per transferir coneixement com per dissenyar. En la figura, també s'etiqueten els públics que es consideren experts, no experts i estudiants.

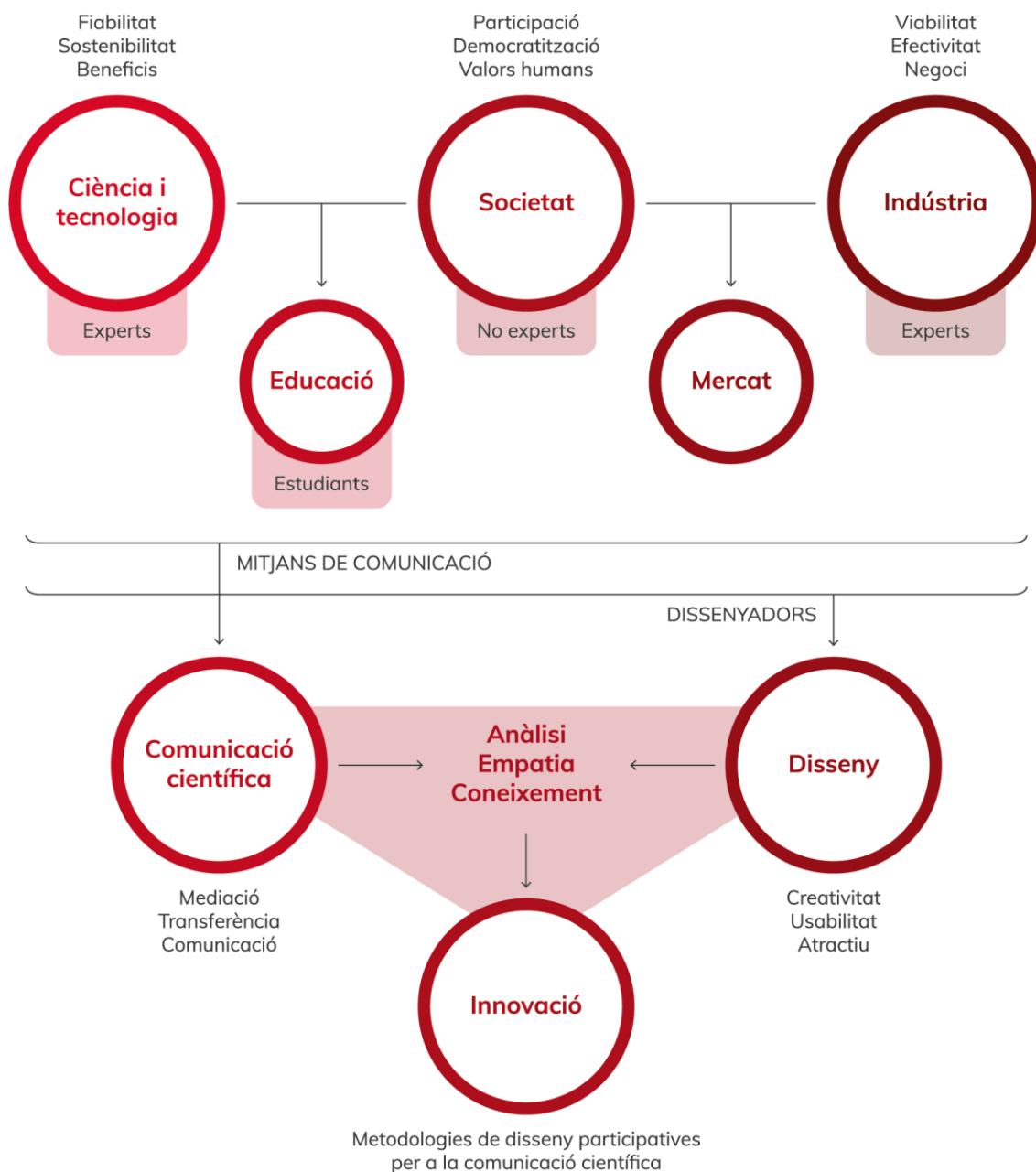


Figura 2. Conceptes clau per a la comprensió del marc teòric, la metodologia i l'experimentació en casos d'estudi de la tesi.

2.5. El grafè i la seva comunicació

El grafè és un nanomaterial compost per una única capa d'àtoms de carboni units entre ells formant un patró hexagonal (Mertens, 2018). El seu descobriment, l'any 2004, va ser molt rellevant a escala mundial, ja que implicà un canvi de paradigma en la ciència de materials i obrí la possibilitat de desenvolupar noves aplicacions industrials, fins llavors inconcebibles (Ferrari et al., 2015; Novoselov et al., 2012, 2004). Això es deu a

les propietats del material, el qual resulta altament resistent, dur, transparent, flexible i conductor tèrmic i elèctric, entre d'altres. També és orgànic i, per tant, compostable; i s'extreu principalment del grafit, que és un dels minerals més abundants a l'escorça terrestre (Mertens, 2018). De fet, se'l sol anomenar “*the wonder material*”, “el material meravella” (Geim, 2009). L'any 2010, s'atorgà a Andre Geim i Konstantin Novoselov el premi Nobel de física pel seu descobriment (The Royal Swedish Academy of Sciences, 2010).

Actualment, el grafè es troba al capdavant de la ciència de materials i la nanotecnologia. D'acord amb el Parlament Europeu, és una de les deu tecnologies que podrien tenir més impacte en la vida de les persones en els propers anys (van Woensel & Archer, 2015). Molts governs i grans corporacions han invertit en la recerca, producció i desenvolupament d'aplicacions amb grafè, i cada any neixen més centres tecnològics dedicats al material (Ghavanini, 2015; Graphene Flagship, 2015; Hirsch, 2015; Intellectual Property Office, 2015; Phantoms Foundation, 2019; The University of Manchester, 2015).

Així mateix, també augmenten, any a any, les publicacions científiques sobre el grafè i la creació de noves patents (Ahn, Sung, Kim, & Sung, 2015; Buxton, 2013; Wang, Yan, & Ma, 2012). Experts de diferents àmbits afirmen que les empreses que sàpiguen adaptar-se i entendre com fer ús de les nanotecnologies i els nanomaterials seran les que conduiran la indústria en els propers anys (Correia & Serena-Domingo, 2010; European Commission, 2012).

Els principals camps d'aplicació del grafè són múltiples, i molt diversos. Destaca l'interès per aplicar-lo en electrònica i dispositius flexibles, transport, arquitectura, equipament mèdic, purificació d'aigua, sistemes d'energies renovables, bateries i teixits intel·ligents, entre d'altres (Ferrari et al., 2015; Novoselov et al., 2012). Els Estats Units, la Xina, l'Índia, el Regne Unit, Espanya i Turquia, en aquest ordre, són els països líders en producció de grafè (Ahn et al., 2015; Nixon, 2015). Pel què fa a la recerca, el Regne Unit, Espanya, la Xina i els Estats Units encapçalen la llista (Phantoms Foundation, 2019).

Malgrat que en les darreres dècades s'han fet centenars d'estudis en la comunicació de masses (Eveland & Cooper, 2013), no hi ha cap estudi mediàtic sobre el grafè. Aquest fet probablement es deu a que el material encara es troba en les fases inicials del seu desenvolupament. La Graphene Flagship sí que ha realitzat activitats formatives relacionades amb el grafè. Entre elles hi destaquen nombroses conferències i alguns seminaris participatius dirigits a experts de l'àmbit del grafè (Fogden, 2016; Hirsch, 2015; Lloyd, 2017).

La comunicació en els mitjans de la nanotecnologia, àmbit en el qual s'hi troba el grafè, ha estat més analitzada al llarg dels anys. Alguns estudis mostren que la majoria de comunicacions mediàtiques centrades en nanotecnologia tenen un to altament positiu i optimista (Dudo, Dunwoody, & Scheufele, 2009; Lewenstein, Gorss, & Radin, 2005; Veltri, 2012). La majoria de peces periodístiques es centren en les possibilitats d'aplicació de nous materials i noves tecnologies en productes per al mercat, mentre que aspectes poc coneguts com la toxicitat i la sostenibilitat no queden mencionats (Lewenstein et al., 2005; Petersen, Anderson, Allan, & Wilkinson, 2009).

3. OBJECTIUS

Tal com s'enunciava en el pròleg, aquesta tesi presenta, primerament, una anàlisi de la comunicació en premsa del grafè, seguida d'una proposta comunicativa basada en metodologies de disseny participatives i adaptada a diferents públics. Els objectius plantejats amb aquestes finalitats són els següents:

1. Compilar totes les peces periodístiques sobre el grafè publicades en tres diaris amb repercussió internacional i analitzar-ne els atributs principals.

Com a punt de partida de la tesi, es realitzarà una compilació de totes les notícies sobre el grafè publicades en tres diaris de caire internacional. Així doncs, es seleccionaran diaris que estiguin disponibles en línia i que, preferentment, s'editin en països líders en producció, investigació i/o desenvolupament d'aplicacions de grafè. Només s'analitzaran aquelles peces on el grafè en sigui el tema central o un dels temes centrals amb, com a mínim, el 50% de la notícia dedicat al material. L'anàlisi inclourà la cobertura periodística del grafè al llarg dels anys, així com l'autoria o font de les notícies publicades. També es considerarà el tractament de les peces periodístiques, el seu focus temàtic i els subtemes més recurrents; així com els sectors, propietats i països/continents mencionats. Per tal que l'anàlisi de contingut sigui més complerta, es dedicarà també una part de l'anàlisi a aspectes més qualitatius, amb especial atenció al to del discurs de les peces periodístiques, els aspectes negatius mencionats sobre el grafè i els recursos literaris emprats. Es tractarà de determinar també quins recursos literaris s'empren més freqüentment, i per què.

2. Dissenyar i realitzar tallers participatius basats en metodologies de disseny per experts, a fi de fusionar el coneixement científic i tecnològic sobre el grafè amb els principals sectors de la indústria i el mercat.

Aquest segon objectiu es fonamenta en la necessitat d'una comunicació directa entre ciència i indústria, a fi que el grafè tingui sortides viables en productes per al mercat. El fet d'unir ciència i indústria pot aportar grans beneficis en l'aplicació de nous materials i tecnologies, com ara una major rapidesa en la creació de normatives i legislació, o una regulació més eficaç i la utilització

d'avenços tecnològics per part de la societat. No obstant, sovint existeix una barrera entre el llenguatge que empren científics i empreses. Això es deu als diferents objectius professionals d'uns i altres, que en la majoria de casos prenen direccions diferents. A través d'aquest objectiu es tractarà de generar una activitat on el diàleg entre científics i empresaris sigui fàcil i fluid. L'activitat promourà la interacció i la generació de sinèrgies a través d'una sèrie de dinàmiques cooperatives on els participants hauran d'idear propostes d'aplicació per al grafè en el mercat i avaluar-ne la viabilitat.

3. Dissenyar i realitzar tallers participatius basats en metodologies de disseny per no experts, a fi de transmetre el coneixement sobre el grafè a membres de la societat interessats en el material.

Com a tercer objectiu es planteja generar una sèrie de tallers on la societat en sigui el centre, efectuant una acció directa entre coneixement científic i individus. Generalment, abans que la informació sobre un avenç científic arribi a la societat hi ha múltiples intermediaris que transformen el discurs científic en un discurs més assequible pel públic general. No obstant, aquesta traducció del llenguatge sol venir acompanyada de sensacionalisme o d'altres interessos per part del comunicador, que poden afectar en la percepció de la informació pel part del receptor. Mitjançant la realització de tallers participatius amb membres del públic general, es pretén fer arribar la informació científica el menys transformada possible, i deixar que els participants siguin els qui descobreixin el coneixement sobre el grafè a través de l'experiència. La captació de participants es farà a través de centres cívics i altres equipaments culturals, i els grups de treball seran reduïts per tal de poder atendre les inquietuds dels participants de la millor manera possible.

4. Dissenyar un conjunt d'eines educatives o *toolkit* basat en metodologies de disseny per estudiants de secundària, i aplicar-lo en la realització de tallers participatius amb estudiants a fi de fer arribar el grafè a les aules.

El darrer objectiu d'aquesta tesi focalitza en l'àmbit educatiu. En aquest cas, s'empraran les metodologies de disseny participatives per fer arribar el grafè als estudiants de secundària. Per aquest propòsit es desenvoluparà un *toolkit* amb jocs i eines educatives basades en metodologies de disseny per tal que els

professors de ciència puguin ensenyar què és el grafè, les seves propietats i les seves aplicacions, a alumnes de secundària. La innovació en metodologies educatives, així com el treball en equip, pot ajudar a facilitar l'aprenentatge de temàtiques complexes i alhora fer que tal aprenentatge sigui més divertit i, per tant, més memorable. Així doncs, el conjunt d'eines educatives o *toolkit* es plantejarà com un conjunt d'elements per treballar en equip amb metodologies innovadores. Les diferents parts i dinàmiques de l'activitat es designaran amb verbs que incitaran a l'acció, com ara “proposa” o “transmet i endevina”. Aquest *toolkit* es testejarà amb la realització d'una sèrie de tallers amb estudiants de primer d'E.S.O. (Educació Secundària Obligatòria).

Aquests quatre objectius marquen el punt de partida dels quatre articles científics que configuren la tesi. El primer d'ells respon a la finalitat d'analitzar el què s'està transmetent sobre el grafè en els mitjans de comunicació, mentre que els altres tres són la base per la generació de tres casos d'estudi centrats en l'aplicació de metodologies de disseny participatives en la comunicació, divulgació i transmissió de coneixement del grafè.

4. PREGUNTES DE RECERCA

Per tal de respondre als objectius plantejats, s'han formulat cinc preguntes de recerca que seran el punt de referència al llarg de l'estudi i guiaran la posterior discussió dels resultats obtinguts.

- 1. Quina visió es transmet sobre el grafè en les peces periodístiques publicades sobre el material en tres diaris de referència internacional durant els primers anys posteriors al seu descobriment?**
- 2. Són les metodologies de disseny participatives una bona eina per comunicar i transmetre coneixements científics sobre el grafè?**
- 3. El fet d'aplicar coneixement recentment adquirit en una activitat creativa cooperativa ajuda a interioritzar aquest nou coneixement?**
- 4. Són les metodologies de disseny participatives una activitat beneficiosa per generar connexions entre la comunitat científica (en aquest cas, del grafè) i la indústria, la societat i els entorns educatius?**
- 5. Les metodologies de disseny participatives poden oferir altres beneficis (socials, culturals, econòmics, etc.) més enllà del pedagògic/educatiu en la seva aplicació en tallers per comunicar avenços científics?**

5. METODOLOGIA

La metodologia d'aquesta tesi recull, en si mateixa, un gran nombre de metodologies. D'una banda, el mètode d'anàlisi de contingut per a l'estudi de les notícies publicades sobre el grafè i, de l'altra, vint-i-dues metodologies participatives de l'àmbit del disseny per a la realització dels casos d'estudi. En aquest capítol es mostra la informació més rellevant pel què fa al marc metodològic de la tesi i al disseny dels tres casos d'estudi. Per entrar més en detall, es recomana consultar els articles que configuren el contingut de la tesi; adjunts en els annexos.

A fi d'evitar possibles confusions entre les preguntes de recerca i objectius dels articles, i les preguntes de recerca i objectius de la memòria, s'utilitza la nomenclatura definida en la Taula 1.

<i>Article</i>	<i>Terme</i>	<i>Abreviació</i>	<i>Nomenclatura</i>
I	Anàlisi de Contingut	AC	AC.PR(<i>n</i>)
	Preguntes de Recerca	PR	
II	Tallers amb Experts	TE	TE.O(<i>n</i>)
	Objectius	O	
III	Tallers amb No experts	TN	TN.O(<i>n</i>)
	Objectius	O	
IV	Tallers amb estudiants de Secundària	TS	TS.O(<i>n</i>)
	Objectius	O	

Taula 1. Nomenclatura de les preguntes de recerca i objectius dels articles.

5.1. Anàlisi de contingut

La primera part de la tesi es destina a una anàlisi de contingut de totes les notícies on el grafè n'és el tema central, publicades en tres diaris amb repercussió internacional de tres països líders en producció i recerca del grafè. Els diaris i països seleccionats són els següents: *The New York Times* (Estats Units), *The Guardian* (Regne Unit) i *El País* (Espanya); en la seva versió en línia. Aquests tres diaris són seleccionats degut a la seva llarga trajectòria periodística i prestigi, el seu enfocament clarament internacional, i la

seva extensa audiència (ComScore, 2018). En el cas de *The New York Times*, s'inclou també el contingut de la seva secció *The Science Times* ja que, malgrat sigui una secció que funcioni en certa manera de forma independent, la majoria de notícies sobre temes científics s'han publicat dins seu en els últims anys.

L'anàlisi de contingut és una tècnica sistemàtica i replicable d'anàlisi d'un cos d'informació mitjançant la classificació i categorització, la tabulació i l'avaluació del contingut (Altheide, 1996; Krippendorff, 2004a; Neuendorf, 2002). S'aplica aquesta tècnica a l'anàlisi de totes les notícies sobre el grafè publicades en els diaris mencionats, entre l'octubre de 2004 i l'octubre de 2017, coincidint amb els primers 13 anys d'existència del grafè.

La unitat d'anàlisi és la peça periodística individual, i es consideren peces periodístiques analitzables totes aquelles que tracten sobre el grafè en, com a mínim, el 50% del text, a fi d'eliminar totes aquelles notícies que contenen contingut tangencialment relacionat amb el material (Dudo, Dunwoody, & Scheufele, 2011; Pedhazur & Pedhazur-Schmelkin, 1991). Així mateix, també s'eliminen de l'anàlisi els llistats, vídeos i enquestes publicades pels diaris. Després d'aplicar els filtres de selecció, s'inclouen dins l'anàlisi 19 peces periodístiques de *The New York Times*, 22 de *The Guardian* i 26 d'*El País*; 67 peces d'informació en total.

Aquestes 67 peces són analitzades en base a quatre preguntes de recerca, algunes de les quals contenen una doble pregunta sobre el mateix tema. Les preguntes s'enumeren a continuació, i són les que marquen la creació dels quatre camps d'anàlisi:

AC.PR1 Quina és la freqüència de publicació de les notícies sobre el grafè a cada mitjà analitzat? Amb quins fets socials, polítics, governamentals i/o econòmics es relacionen els pics de publicació?

Aquesta primera pregunta tracta de quantificar el nombre total de peces periodístiques publicades en cada un dels tres diaris analitzats i construir una línia temporal de publicació. Alhora, va dirigida a desvetllar si hi ha pics de publicació i esbrinar si aquests pics es relacionen amb fets d'altres àmbits, succeïts en els anys dins l'estudi.

AC.PR2 Les peces periodístiques sobre el grafè són majoritàriament redactades per periodistes o per altres fonts? Quin tractament se'ls hi acostuma a donar a tals peces?

La segona pregunta de recerca es destina a quantificar les fonts de les notícies sobre el grafè, per saber si són peces majoritàriament creades per periodistes, o bé per altres institucions com laboratoris o empreses. D'altra banda, també es vol saber el tractament periodístic que se'ls hi dona a les peces, és a dir, si es tracta d'articles de caire general, articles de fons, crítiques, entrevistes o altres.

AC.PR3 Quins són el principals temes, països, continents, propietats i sectors coberts en les peces periodístiques sobre el grafè?

La tercera pregunta es centra en el contingut de les peces periodístiques. Primerament, en els subtemes més tractats, que es detecten després d'una primera lectura i valoració. En segon lloc, en el focus geogràfic de les notícies, tant a nivell de cada diari (si focalitza en notícies nacionals o internacionals, regionals o altres) com pel què fa a la quantificació dels països i continents més citats en tot el gruix de notícies. Finalment, aquesta pregunta també aborda la detecció de quines propietats sobre el material i quins sectors d'aplicació són mencionats, i en quina mesura.

AC.PR4 Són les peces periodístiques majoritàriament tractades amb un to positiu o també es reporten les implicacions negatives del grafè? Quin tipus de llenguatge s'utilitza?

Degut al gran optimisme generat en els mitjans entorn la nanotecnologia, l'última pregunta de recerca s'enfoca a verificar o desmentir si en la comunicació del grafè també s'empra majoritàriament el to positiu o no, o bé si es tracta d'un to equilibrat. Aquesta pregunta també pretén desvetllar aspectes qualitius de les notícies, com ara els aspectes negatius comentats i els recursos literaris emprats.

En base a les quatre preguntes de recerca i a anàlisis de continguts d'altres autors (Dudo et al., 2011; Stacy Lynch & Peer, 2002), es determinen quatre camps d'anàlisi. Per cada camp es defineixen entre dues i cinc categories, amb les seves respectives variables:

AC.PR1 Cobertura

AC.PR1.a Diari. Variables: *The New York Times*; *The Guardian*; *El País*.

AC.PR1.b Any. Variables: 2004; 2005; 2006; 2007; 2008; 2009; 2010; 2011; 2012; 2013; 2014; 2015; 2016; 2017.

AC.PR2 Autoria i tractament

AC.PR2.a Origen/font. Variables: personal (peces procedents dels periodistes que treballen al diari); servei/agència de notícies (peces procedents d'altres serveis de notícies); extern (provinent d'una empresa, laboratori, universitat o centre tecnològic); lector (contingut editorial o cartes).

AC.PR2.b Tractament. Variables: article general; article de fons; article d'opinió; entrevista; altres.

AC.PR3 Focus temàtic i contingut

AC.PR3.a Subtemes (%). Variables: descobriment del grafè; recerca/finançament; característiques del material; aplicacions.

AC.PR3.b Focus geogràfic. Variables: internacional; nacional; estatal/regional; cap.

AC.PR3.c Països i continents mencionats. Variables: tots els països i continents.

AC.PR3.d Propietats mencionades. Qualsevol propietat mencionada és considerada.

AC.PR3.e Sectors mencionats. Qualsevol sector mencionat és considerat.

AC.PR4 Aspectes qualitius

AC.PR4.a To del discurs. Variables: positiu (focalitza en els avantatges del grafè); equilibrat (tant els aspectes positius com negatius són explicats i comentats); negatiu (focalitza en els inconvenients/desavantatges del grafè); crític (aportació d'opinions personals i judicis subjectius); cap.

AC.PR4.b Aspectes negatius. Tots els aspectes negatius són considerats.

AC.PR4.c Recursos literaris. Tots els recursos literaris són considerats.

En l'estudi es realitza una avaluació de fiabilitat inter-codificadora a fi de reduir la possibilitat d'error i garantir la qualitat de l'anàlisi (Hoffman, 2006; Krippendorff, 2004b; Lombard, Snyder-Duch, & Bracken, 2002).

5.2. Marc metodològic dels casos d'estudi

La segona part de la tesi es basa en tres casos d'estudi fonamentats en l'aplicació de metodologies de disseny participatives per a la comunicació, divulgació i transferència de coneixement del grafè. Les tres sèries de tallers es dissenyen de manera que la interacció i el diàleg siguin aspectes centrals i s'adapten els grups de treball a les necessitats específiques de cada públic.

En els tres casos d'estudi s'apliquen entre sis i divuit metodologies de disseny participatives, distribuïdes en diferents fases i combinades entre elles. La Taula 2 mostra les fases definides per a cada cas, així com la llista de metodologies que s'hi engloben (de Bono, 1985; Design United, 2013; Dignan, 2011; Hanington & Martin, 2012; G. Hart, 1996; Ouden, 2013; Robertson, 1946; Sanders, 2002; Sanders & Stappers, 2008).

<i>Taller</i>	<i>Fases</i>	<i>Metodologies</i>
Experts	(a) Ideació (a') Construcció d'idees (a'') Anàlisi DAFO ¹ (b) Propostes (c) Reptes i estratègies	<i>Value framework, brainstorm graphic organizers, focus group, mind mapping, participant observation, participatory action research, participatory design, research through design, collage, role-playing, generative research, concept mapping, cognitive mapping, evaluative research, mental model diagram, stakeholders map, thematic network, six thinking hats</i>
No experts ²	(a) Empatitzar (b) Definir (c) Idear (d) Prototipar (e) Avaluar	<i>Collage, cognitive mapping, mind mapping, creative toolkit, stakeholders map, five Ws</i>
Estudiants de secundària	(a) Escolta i entén (b) Memoritza (c) Transmet i endevina (d) Proposa (e) Explica i valora	<i>Cognitive mapping, gamification, mental model diagram, collage, participatory design, research through design, concept mapping, evaluative research, fly-on-the-wall observation</i>
¹ Debilitats, Amenaces, Fortaleses i Oportunitats. ² Els noms de les fases dels tallers amb no experts no es mostren explícitament a l'article corresponent, sinó només les metodologies. Les cinc fases es corresponen a les fases definides en el procés de <i>design thinking</i> (Leblanc, 2016).		

Taula 2. Fases definides per a cada cas d'estudi i llistat de metodologies emprades.

La selecció de metodologies es fa atenent a les necessitats de cada fase de treball. La Figura 3 mostra les etapes del procés de disseny en les quals es sol utilitzar cada metodologia (Brown, 2009; de Bono, 1985; Dignan, 2011; Doorley et al., 2018; Hanington & Martin, 2012; G. Hart, 1996).

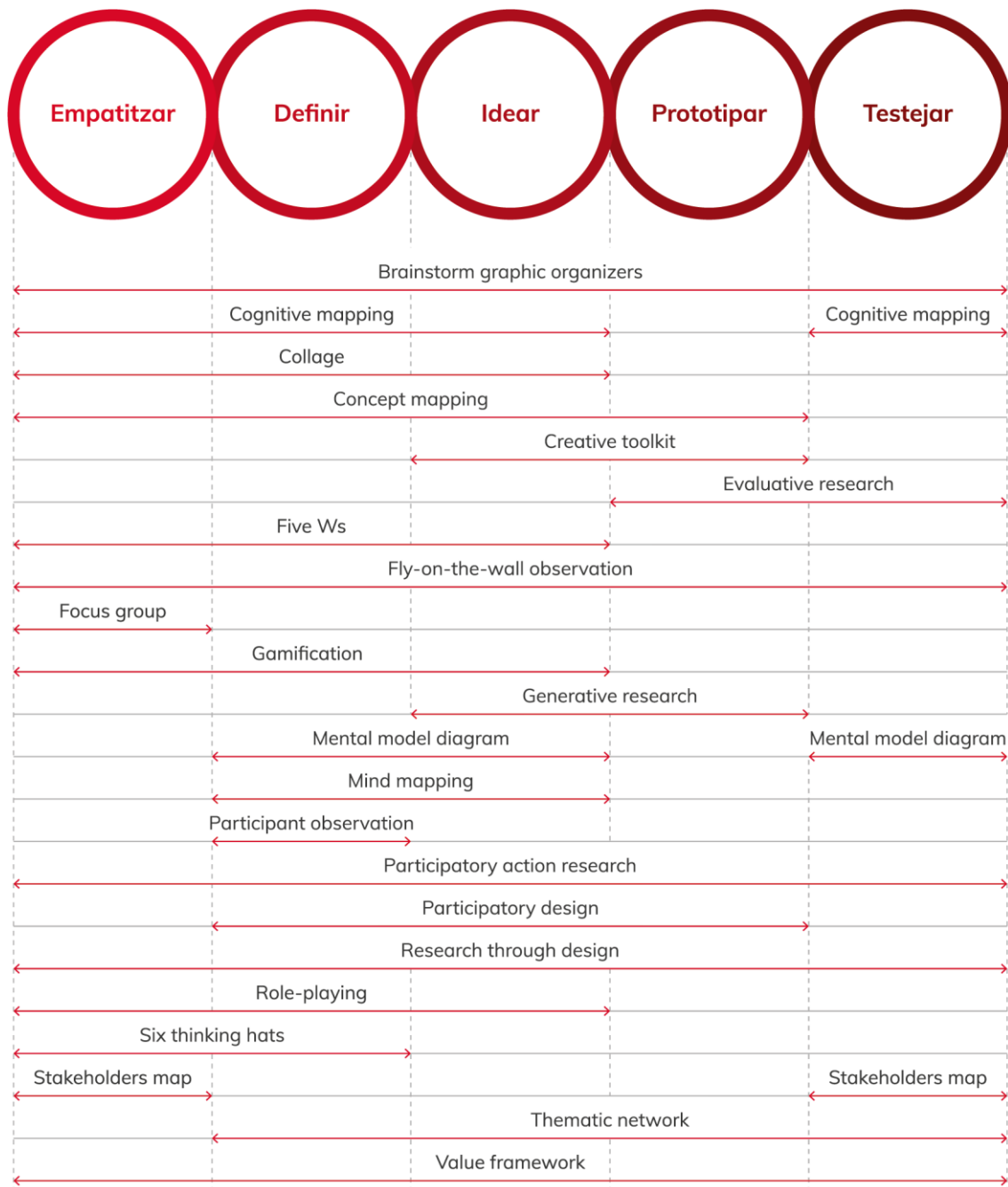


Figura 3. Distribució de les metodologies de disseny participatiu emprades en els tallers segons les fases del procés de disseny en les quals es solen utilitzar.

A continuació es presenten, mitjançant una breu definició, totes les metodologies de disseny participatives emprades en els tallers de creativitat i incloses tant en la Taula 2 com en la Figura 3. En les definicions, les paraules “mètode”, “procés”, “tècnica” i “eina” s’empren en algunes ocasions per designar les metodologies. Això és degut a que les definicions d’aquests termes tenen certes similituds i, de fet, existeix una jerarquia de termes (Guersenzvaig, 2018): “metodologia” significa “estudi i teoria dels mètodes”; el “mètode” és el “mode o manera formalitzada de dur a terme el procés de disseny”; el “procés” és “l’aplicació pràctica del mètode”, referint-se a “successos i accions específiques”; les “tècniques” són “regles transmeses susceptibles de ser aplicades repetides vegades o procediments específics per utilitzar una eina”; i finalment, una “eina” és un “dispositiu o instrument emprat per dur a terme una funció en particular” (Guersenzvaig, 2018, p. 70). Les metodologies de disseny participatives es fonamenten en l’estudi i aplicació del mètode de treball, o conjunt de procediments específics, dels dissenyadors. Alhora, són una manera de dur a terme un procés de disseny i impliquen el treball amb eines concretes. Per aquesta multiplicat de perspectives que, a la vegada, són complementàries, és usual que els termes “metodologia”, “mètode”, “procés”, “tècnica” i “eina” es confonguin i/o complementin en les definicions.

En aquesta tesi s’ha decidit emprar la paraula “metodologia”, ja que és un terme més ampli que implica, en si mateix, la l’aplicació i utilització de les tècniques i eines necessàries per aconseguir un objectiu. Com que en cada fase de treball hi havia un objectiu implícit, els casos d’estudi i els respectius articles científics associats mencionen sempre el terme “metodologies”. La raó per la qual es mantenen i combinen els tres termes en aquest apartat és per plasmar l’ajustada i constant relació entre mètodes, tècniques i eines en l’àmbit de les metodologies de disseny participatives. Es llisten per ordre alfabètic:

1. ***Brainstorm graphic organizers***, “organitzadors de pluja d’idees” (Hanington & Martin, 2012; Hyerle, 1996): Aquest és un mètode d’organització de conceptes que tracta de substituir les llistes habituals que es creen en les sessions de pluja d’idees per esquemes visuals amb les idees generades. Hi ha tres formes bàsiques d’organització: en forma de xarxa, en forma d’arbre i en forma de diagrama de flux. Totes tres són vàlides i freqüentment utilitzades. La tria del tipus d’organització es decideix en funció dels objectius o tipologia de la

informació que es tracta en cada cas. Les pluges d'idees s'empren habitualment en les fases inicials de les sessions de creativitat, per tal de deixar fluir el pensament i que els participants comencin a obrir la ment. Mitjançant el procés d'organització es poden trobar nous significats a termes i conceptes que inicialment hagin sorgit de forma separada. El procés també permet crear noves relacions entre idees, detectar patrons, visualitzar agrupacions conceptuals i documentar el què es parla.

Aquesta metodologia s'ha emprat com a eina per dissenyar els mapes de treball dels tallers amb experts, juntament amb el *value framework*.

- 2. Cognitive mapping**, “mapatge cognitiu” (Ackermann, Eden, & Cropper, 1992; Design United, 2013; Kelly, 1955): El mapatge cognitiu és una tècnica de visualització d'informació que s'empra per estructurar reptes complexos i facilitar, així, la presa de decisions. A mesura que el mapa es construeix, es van revelant patrons subjectius de raonament dels participants, així com la naturalesa subjacent del repte o problema a solucionar. El format que pren aquesta tècnica és el d'un mapa visual en forma de xarxa d'idees i associacions, i s'utilitza en fases on s'han de prendre decisions que marcaran el camí de futures fases. Aquest tipus de mapatge pot, també, facilitar la presa de notes durant una explicació ja que, com el seu nom indica, es tracta d'un mapatge fruit de la cognició. L'ús de l'eina es considera un èxit quan aquesta és capaç de generar una bastida que permet reflexionar, explorar i generar noves idees i pensaments entorn a un conflicte, a fi de resoldre'l.

Aquesta metodologia s'ha emprat en la fase (c) Reptes i estratègies dels tallers amb experts, la fase (b) Definir dels tallers amb no experts i la fase (a) Escolta i entén dels tallers amb estudiants.

- 3. Collage** (Sanders & William, 2001; Stappers & Sanders, 2003): El collage és una eina molt emprada a les escoles, sobretot amb nens petits, i això es deu a la capacitat d'aquesta eina per mostrar sentiments, pensaments, opinions i desitjos que moltes vegades resulten difícils d'articular. El collage proporciona l'oportunitat de projectar informació personal en artefactes visuals i, alhora,

utilitzar aquests artefactes com una referència tangible al voltant de la qual es poden estructurar converses. Per al desenvolupament de l'activitat, es necessita una base (habitualment de paper o cartró); una col·lecció d'imatges, paraules, formes i altres recursos visuals i tangibles; i quelcom que permeti enganxar els recursos o artefactes visuals a la base. Una característica bàsica d'aquesta metodologia és la multiplicitat d'interpretacions que es poden fer dels recursos visuals aportats, així com l'ús d'aquests per detectar personalitats, desitjos i somnis, patrons, comportaments, interessos i necessitats, entre altres.

Aquesta metodologia s'ha emprat en les fases (a) Ideació i (a'') Anàlisi DAFO dels tallers amb experts, la fase (a) Empatitzar dels tallers amb no experts i les fases (b) Memoritza i (c) Transmet i endevina dels tallers amb estudiants.

- 4. *Concept mapping***, “mapatge conceptual” (Adesope & Nesbit, 2010; Novak & Cañas, 2008; Romero et al., 2017): Un mapa conceptual és una eina que permet de connectar un gran nombre d'idees, objectes i esdeveniments en relació a un camp concret. El mapatge de conceptes consisteix en la generació d'un marc visual que permet integrar tota mena d'elements sota un “paraigües” conceptual més ampli. Generalment s'inicia amb una pregunta a la qual se li vol donar resposta des de diferents perspectives. S'elabora una llista amb els conceptes que se situaran sota aquest “paraigües” i, seguidament, s'organitzen els conceptes de la llista de tal forma que tinguin sentit i es puguin trobar noves relacions entre ells. L'aplicació d'aquesta metodologia es realitza quan es volen cercar nous sentits i significats en un mateix àmbit d'informació. El procés inicial de generar la pregunta serveix per definir el context, i els passos posteriors es dediquen a respondre-la, i a omplir el context de contingut.

Aquesta metodologia s'ha emprat en la fase (b) Propostes dels tallers amb experts i la fase (d) Proposa dels tallers amb estudiants.

- 5. *Creative toolkit***, “kit d'eines creatives” (Hanington & Martin, 2012; Sanders & William, 2001): Tal com el seu nom indica, un kit d'eines creatives és una col·lecció d'elements físics que permeten realitzar prototipatges cooperatius. Múltiples elements de diferents tipus es poden incloure en un kit d'eines

creatives; es pot tractar d'elements flexibles i/o rígids, fets de diferents materials (plàstics, metalls, ceràmiques, fibres, teixits, fusta, paper, etc.), elements d'unió, eines de tall i modelatge, formes bidimensionals i/o tridimensionals, peces d'encaix, eines de dibuix i escriptura, símbols, etc. El fet d'involucrar als participants d'una sessió creativa en la generació d'un artefacte tangible permet que aquests puguin projectar els seus pensaments, sentiments, desitjos i emocions sobre tal artefacte. Tal com la tècnica del collage, això fa que surtin a la llum aquests aspectes de la persona que normalment són difícils d'articular. A més a més, aquesta activitat fomenta el treball en equip i la creativitat.

Aquesta metodologia s'ha emprat en la fase (d) Prototipar dels tallers amb no experts.

- 6. *Evaluative research***, “recerca avaluativa” (Barnum, 2010; Kittur, Chi, & Suh, 2008): La recerca avaluativa és la metodologia mitjançant la qual usuaris reals d'un producte en desenvolupament el proven i testegen per fer-ne una avaluació. Així doncs, es tracta d'una prova del producte quan aquest encara es troba en les seves fases inicials de conceptualització i prototipatge. És per això que es tracta d'una tècnica que combina la recerca amb l'avaluació. El seu objectiu principal és captar i establir una correspondència entre les expectacions humanes de l'usuari i l'artefacte o prototip d'anàlisi. És una de les tècniques més emprades pels dissenyadors en la conceptualització de nous productes, ja que permet avaluar abans de produir. Els dos aspectes que més s'avaluen són el rendiment o funcionalitat del producte i la preferència de tria per part de l'usuari. També es capten altres factors com ara l'ergonomia, la usabilitat, la resposta a l'estètica i la ressonància emocional de tot plegat.

Aquesta metodologia s'ha emprat en la fase (c) Reptes i estratègies dels tallers amb experts i la fase (e) Explica i valora dels tallers amb estudiants.

- 7. *Five Ws***, “cinc Ws” (G. Hart, 1996; Robertson, 1946): El mètode de les cinc Ws neix dels pronoms interrogatius en anglès *who*, *what*, *when*, *where* i *why*, als quals normalment també se'ls hi afegeix el sisè pronom *how*. De fet, alguns autors l'anomenen “*five Ws and how*”, “*5W1H*” o “*six Ws*”. Aquesta

metodologia serveix per plantejar i respondre les preguntes més bàsiques davant de qualsevol situació, repte o problema: qui (o per a qui), què, quan, on, per què i com. S'empra en moltes disciplines, des del periodisme fins al disseny, i és una fórmula coneguda per respondre a tota la informació necessària sobre una notícia, producte o situació utilitzant el mínim de paraules o instruccions. Qualsevol projecte, investigació o producte que respongui a aquestes qüestions de manera senzilla i directa tindrà una bona comunicació i, per tant, serà entès amb més facilitat.

Aquesta metodologia s'ha emprat com a unió entre les fases (b) Definir i (c) Idear dels tallers amb no experts.

8. ***Fly-on-the-wall observation***, “observació de mosca a la paret” (Landsberger, 1958; Zeisel, 2006): Aquesta tècnica es diferencia d'altres tipus d'observació pel fet que l'investigador no s'involucra en les activitats realitzades en la sessió. Com si fos, literalment, una “mosca a la paret”; d'aquí li ve el nom. El que es pretén aconseguir amb la seva aplicació és minimitzar la potencial desviació per influència de l'observador en l'activitat. Generalment es duu a terme de forma flexible, sense una estructura marcada ni criteris de cerca especificats. L'observador pot, senzillament, anar prenent notes de l'observació. Malgrat parlar d'observació, cal destacar que aquesta no es basa únicament en el què es veu, sinó també en el què s'escolta i, fins i tot, es sent. A fi de conduir la tècnica de la millor manera possible, els participants no han de saber que són observats, ja que el fet de saber-ho també pot influir en el seu comportament.

Aquesta metodologia s'ha emprat en tot el transcurs dels tallers amb estudiants.

9. ***Focus group***, “grup de discussió” (Goodman, Kuniavsky, & Moed, 2012; Krueger & Casey, 2008): Els grups de discussió són grups de persones que es creen i dissenyen per mesurar les seves opinions, sentiments i actituds envers un producte o servei. Aquest mètode de captar informació s'utilitza normalment en estudis de mercat, per detectar hàbits de compra, preferències i processos de presa de decisions. El seu poder o valor recau en la dinàmica de grup que es crea, ja que els participants no són gent a l'atzar, sinó persones seleccionades per

algun motiu concret, que varia en cada cas. Aquesta selecció es fa de manera que els participants de seguida sentin que pertanyen al mateix perfil, de tal forma que es vegin com a companys; com a iguals. En un escenari d'iguals, la por a ser jutjat disminueix i la probabilitat que els participants s'obrin i s'expressin lliurement augmenta. Els resultats d'un grup de discussió no són extrapolables a tota la població, però resulten molt útils per detectar patrons i tendències.

Aquesta metodologia s'ha emprat en la fase (a') Construcció d'idees dels tallers amb experts.

10. *Gamification*, “ludificació” o “gamificació” (Deterding et al., 2011; Dignan, 2011; D. Johnson et al., 2016): La gamificació és el procés pel qual una disciplina no relacionada amb el joc adopta metodologies del disseny de jocs i/o principis del joc en el seu context. És a dir, és una re-contextualització de les dinàmiques generades en el joc a escenaris on generalment aquestes no s'empren. La finalitat d'aquesta tècnica és generar eines per facilitar el treball en equip i la resolució de problemes, tot potenciant la motivació, la fluïdesa, la participació, l'aprenentatge i la facilitat d'ús. Avui en dia, moltes empreses estan adoptant aquest tipus de tècniques, així com escoles i instituts. La majoria d'estudis sobre la gamificació demostren que aquesta té un impacte positiu en els individus i grups de treball. El fet que aquests es diverteixin mentre aprenen i generen coneixement fa que mantinguin l'atenció i les ganes de participar en tot moment. Tant la competitivitat com la cooperació s'utilitzen com a recursos en aquest tipus de dinàmiques, i ambdues ajuden en la socialització, la rapidesa de reacció i el lideratge, entre altres.

Aquesta metodologia s'ha emprat en les fases (b) Memoritza i (c) Transmet i endevina dels tallers amb estudiants.

11. *Generative research*, “recerca generativa” (Hanington, 2007; Sanders, 2000): La recerca generativa es relaciona directament amb la recerca exploratòria, ja que és un mètode d'investigació basat en explorar noves oportunitats a partir de la generació o creació de formes i artefactes. És una metodologia projectiva i constructiva, i les dinàmiques que es creen són similars a les que es poden crear

amb la utilització d'un kit d'eines creatives. Es poden emprar múltiples elements i materials per dur-la a terme, i la diferència amb l'aplicació de kits d'eines creatives és que, en aquest cas, no es tracta de projectar quelcom ja ideat, sinó d'idear creant. La generació passa a ser una forma de conceptualització. Un aspecte clau en la seva aplicació és la generació de debats entorn al què es va creant. El fet d'anar discutint les formes fa que aquestes evolucionin a través de les aportacions constants per part de tots els participants.

Aquesta metodologia s'ha emprat en la fase (b) Propostes dels tallers amb experts.

12. *Mental model diagram*, “diagrama de model mental” (Johnson-Laird, 1983; Young, 2008): El diagrama de model mental és una eina d'anàlisi molt estructurada on s'alineen els comportaments, creences i emocions de la societat amb els productes, serveis i característiques que s'ofereixen. S'utilitza per detectar quins productes ja existents satisfan les necessitats i desitjos de la societat i alhora permet detectar buits i/o proposar nous productes en base al què vol la societat. El propòsit d'aquesta tècnica és detectar els sentiments associats al consum o ús per evitar que els productes no estiguin alineats amb els desitjos dels usuaris. El desenvolupament es fa a través de la creació d'un mapa visual dividit en dues parts. La part superior conté les característiques emocionals, mentre que la part inferior conté els productes. Els conceptes es van situant al mapa formant columnes de conceptes agrupats o relacionats, i les columnes de la part superior s'alineen amb les de la part inferior, i es poden crear codis de colors.

Aquesta metodologia s'ha emprat en la fase (c) Reptes i estratègies dels tallers amb experts i les fases (b) Memoritza i (c) Transmet i endevina dels tallers amb estudiants.

13. *Mind mapping*, “mapatge mental” (Hanington & Martin, 2012; Hyerle, 1996): El mapatge mental és un mètode que permet organitzar visualment un àmbit problemàtic per entendre'l millor. Així doncs, es tracta d'una eina de pensament visual que ajuda a externalitzar la informació mental sobre un tema per poder

entendre, consolidar, interpretar, comunicar, emmagatzemar i recuperar aquesta informació. El material que en resulta de la seva aplicació és un mapa visual esquemàtic amb gran potencial mnemònic. És a dir, amb elements que faciliten que allò que en ell s'hi plasma sigui fàcilment recordat. El seu ús es recomana en fases on cal entendre informació complexa o molt diversa. S'anomena mapatge mental perquè, a través d'un esquema visual, es reflecteix la forma de pensar dels humans; la forma en què s'estructura la ment. Aquesta mai és lineal, sinó un patró d'idees complexes relacionades entre si, que només tenen sentit a través de connexions.

Aquesta metodologia s'ha emprat en la fase (a') Construcció d'idees dels tallers amb experts i la fase (c) Idear dels tallers amb no experts.

14. *Participant observation*, “observació participant” (Dewalt & Dewalt, 2002; Goodman et al., 2012; Zeisel, 2006): Aquesta és una tècnica d'observació etnogràfica immersiva, que consisteix en experimentar una situació en un context, activitat o cultura i analitzar-la des de l'experiència. És un mètode sorgit de la disciplina de l'antropologia i adaptat al camp del disseny. Mentre que en antropologia es duen a terme observacions participants de llarga durada en contextos més amplis, en el camp del disseny la pràctica d'aquesta tècnica s'aplica, generalment, durant una sessió de creativitat i en un espai reduït. En una observació participant, no només es documenta el què és físicament evident, sinó també tot allò intangible, com ara la motivació i les interaccions entre participants, les percepcions, en llenguatge, etc. En alguns casos, es pot adoptar un rol per implicar-se més en la dinàmica participant.

Aquesta metodologia s'ha emprat en la fase (a') Construcció d'idees dels tallers amb experts.

15. *Participatory action research*, “recerca d'acció participativa” (Lewin, 1946; Robson, 2002): Aquesta és una metodologia cíclica i col·laborativa que cerca aconseguir un canvi real en una comunitat o societat. És un mètode que persegueix els ideals d'empoderament, emancipació i activisme, i es sol aplicar en àmbits educatius, àmbits de justícia social i d'igualtat. També s'aplica quan el

fet d'involucrar professionals de forma directa en la recerca social serveix per aportar habilitats i experiències per facilitar el canvi. Es tracta d'un mètode poc estructurat, on la característica principal és la cooperació. Normalment s'utilitzen mapes visuals per facilitar el treball en equip, i les converses s'estructuren entorn a una mateixa temàtica. Els diàlegs van únicament encarats a generar propostes de qualsevol tipus per aportar solucions a la temàtica plantejada.

Aquesta metodologia s'ha emprat en la fase (a') Construcció d'idees dels tallers amb experts.

16. *Participatory design*, “disseny participatiu” (Kuhn & Winograd, 1996; Sanders, 2002; Spinuzzi, 2005): El disseny participatiu inclou totes aquelles tècniques i eines que impliquen una consulta activa amb els usuaris, clients i altres grups d'interès en un procés de disseny. Idealment es realitza per mitjà de sessions presencials fonamentades en la co-creació i el co-disseny. La seva aplicació inclou el treball amb eines d'investigació i conceptualització de molts tipus, des d'estudis culturals fins a tallers. El disseny participatiu es fonamenta en la visió creativa dels participants per inspirar i ajudar a guiar un procés de disseny. El descobriment personal per part dels participants, la seva predisposició a participar de forma proactiva, l'anhel per entendre la realitat i la generació d'escenaris i conceptes futurs són quatre dimensions perseguides en el propòsit dels participants d'activitats de disseny participatiu.

Aquesta metodologia s'ha emprat en la fase (a') Construcció d'idees dels tallers amb experts i la fase (d) Proposa dels tallers amb estudiants.

17. *Research through design*, “recerca a través del disseny” (Fortier & Chung, 2013; Leblanc, 2016; Markussen, Krogh, & Bang, 2015): En el camp del disseny, hi ha tres formes d'investigar: (a) la recerca en disseny, (b) la recerca per al disseny i (c) la recerca a través del disseny. La primera d'elles és la més comuna, que inclou l'activitat d'investigar sobre la història, l'estètica, la percepció o la teoria del disseny. La segona implica que el material de referència, és a dir, allò investigat, és el que s'acaba materialitzant per convertir-

se en artefacte dissenyat. I finalment, la recerca a través del disseny està constituïda pel propi procés de disseny, que inclou la investigació en materials i referents, les tasques creatives i tècniques de desenvolupament i l'acte de gravar, documentar i comunicar els passos i iteracions del disseny. És a dir, la recerca a través del disseny reconeix que el procés de disseny és, en si mateix, una activitat de recerca legítima, ja que dins seu conté la recerca d'eines i processos, la cerca de respostes, l'encabiment en un context i un marc teòric, l'assimilació i, alhora, la creació de coneixements.

Aquesta metodologia s'ha emprat en la fase (a') Construcció d'idees dels tallers amb experts i la fase (d) Proposa dels tallers amb estudiants.

18. *Role-playing*, “jocs de rol” (Brunette, 1982; Sommer & Sommer, 2002): Les dinàmiques o jocs de rol són exercicis on els participants assumeixen la manera de pensar, el comportament o les rutines d'una altra persona o perfil d'usuari. Aquesta tècnica es fa servir per experimentar possibles escenaris reals i/o per donar diferents punts de vista a una temàtica. Resulta útil fer un joc de rol en aquelles situacions on l'activitat es desenvolupa en un espai on no hi ha accés al públic més ampli. La tècnica no requereix material, més que potser targetes on hi hagi els rols especificats, i la presència de participants. Es poden realitzar dinàmiques de rol de molts tipus, algunes més actives que altres, i sempre s'han d'adequar a les capacitats del grup. En una mateixa dinàmica, els participants poden prendre més d'un rol, i així experimentar les sensacions de posar-se en la pell de més d'un personatge.

Aquesta metodologia s'ha emprat en les fases (a) Ideació i (a'') Anàlisi DAFO dels tallers amb experts.

19. *Six thinking hats*, “sis barrets per pensar” (de Bono, 1985): Aquesta és una metodologia per a dinàmiques de grup que inclou sis barrets de diferents colors. Cada color representa una manera de pensar diferent, cadascuna centrada en uns aspectes en concret. Els participants s'han de posar el barret d'un color (literalment o de manera figurada) i fer les aportacions que creguin adients, focalitzant en les característiques del color del barret que porten. Aquests són els

diferents colors i els respectius trets característics: (a) blau, centrat en els processos, la planificació i l'organització; (b) blanc, centrat en els fets, l'objectivitat i la neutralitat; (c) vermell, centrat en els sentiments, la intuïció i les emocions; (d) verd, centrat en la creativitat, les idees innovadores, les alternatives i les possibilitats; (e) groc, centrat en els beneficis, la utilitat i el costat positiu de les coses; i (f) negre, centrat en la precaució, les dificultats, els perills i els riscos.

Aquesta metodologia s'ha emprat en la fase (a") Anàlisi DAFO dels tallers amb experts.

20. Stakeholders map, “mapa de grups d'interès” (Hanington & Martin, 2012): El mapeig dels grups d'interès és un procés que es realitza, normalment, després d'haver conceptualitzat un producte. Es tracta de la generació d'un mapa que ajuda a consolidar visualment els constituents d'un projecte de disseny. En el mapa s'hi afegeixen tots els grups d'interès implicats en el disseny, la producció, el transport i distribució, l'ús, i la gestió de final de vida del producte, a fi que aquest comuniqui la xarxa necessària perquè el producte tiri endavant i alhora representi la base dels passos a seguir en la introducció del producte en el mercat. Generalment, els mapes de grup d'interès es construeixen de forma especulativa. No obstant, és important que aquests siguin exhaustius. Els grups que figuren en el mapa es poden identificar per noms genèrics, noms específics, o fins i tot noms de persones concretes.

Aquesta metodologia s'ha emprat en la fase (c) Reptes i estratègies dels tallers amb experts i la fase (e) Avaluar dels tallers amb no experts.

21. Thematic network, “xarxa temàtica” (Attride-Stirling, 2001; Toulmin, 2003): L'aplicació d'aquest mètode es realitza un cop s'ha col·lectat una sèrie de dades o informació, i quan es necessita un mètode que ajudi a distribuir i jerarquitzar aquesta informació per donar-li sentit. Les xarxes temàtiques ajuden a identificar, organitzar, classificar i connectar els temes més representatius d'un gruix d'informació. Dins de tota xarxa temàtica hi ha tres classes de temes: (a) temes bàsics, (b) temes organitzatius i (c) temes globals. Els primers representen

els conceptes més obvis i alhora més dispersos, i generalment no poden comunicar res significatiu per si sols. A mesura que es combinen entre ells, neixen els temes organitzatius, els quals serveixen per organitzar els temes bàsics en grups de temes similars. El fet de relacionar-los fa que prenguin més coherència. Finalment, els temes globals són les representacions més abstractes o genèriques. Serveixen de resum de la resta de temes i articulen el significat global de les dades.

Aquesta metodologia s'ha emprat per a concluir els tallers amb experts.

22. Value framework, “marc de valor” (Design United, 2013; Ouden, 2013): El marc de valor és una metodologia fonamentada en la creació de valor compartit per a les persones, les organitzacions i la societat. Tracta de dissenyar solucions per a reptes socials a tots els nivells, a través de la col·laboració entre organitzacions públiques i privades, amb i sense ànim de lucre, grans i petites, etc. En l'ús d'aquest mètode es combinen diferents perspectives sobre el valor de l'economia, la psicologia, la sociologia i l'ecologia, i s'utilitza en sessions de creativitat per definir noves propostes de valor, així com per enriquir propostes ja existents. La seva aplicació promou l'aportació de noves perspectives sobre un tema, sempre amb la missió de fons d'aportar valor a la societat a través de la innovació i la col·laboració.

Aquesta metodologia s'ha emprat com a eina per dissenyar els mapes de treball dels tallers amb experts, juntament amb els *brainstorm graphic organizers*.

A banda de les metodologies de disseny participatives, que són específiques per a cada fase de cada sèrie de tallers, hi ha una sèrie d'aspectes comuns en el disseny i realització dels tres casos d'estudi (Figura 4). En primer lloc, el fet d'aplicar la col·laboració com a recurs per aconseguir la transferència de coneixement desitjada (Coulter, 2013; Dietz, 2013; Dietz & Pfund, 1988; European Commission, 2007). Tal com en els processos de *Public Engagement with Science* (Besley, Dudo, Yuan, et al., 2018; Salmon et al., 2017; Stilgoe et al., 2014), s'utilitza la vinculació ciutadana per comunicar un avenç científic (el grafè) i transferir-ne el seu coneixement (la seva configuració i propietats, les seves possibles aplicacions, les dificultats, incògnites i promeses, etc.).

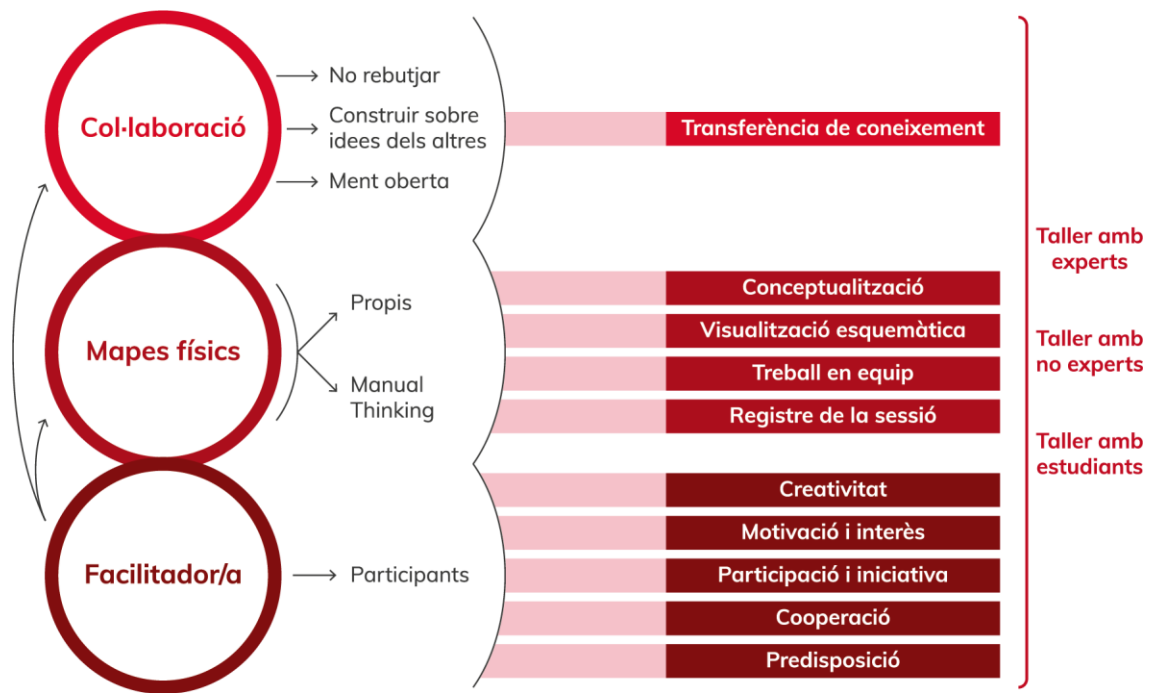


Figura 4. Aspectes comuns en el disseny i la realització dels tres casos d'estudi.

Algunes normes o guies marcades en tots els tallers per potenciar la col·laboració són: el fet de no rebutjar cap idea (per poder aconseguir una conceptualització àmplia i en cap cas limitada), el fet de construir sobre les idees dels altres (com a part de la cooperació), i el fet de mantenir la ment oberta al llarg de tota la sessió.

En segon lloc, l'ús de mapes físics com a recurs de conceptualització, visualització esquemàtica, treball en equip i registre de la sessió (Figura 4). En alguns casos, els mapes i materials necessaris es dissenyen per l'ocasió, i en altres s'utilitzen els materials inclosos en el kit Manual Thinking (Huber & Veldman, 2015). En tots els casos, però, els mapes queden com a conclusió i serveixen per consultar tot el que s'ha parlat i generat en una sessió de treball. També serveixen perquè totes les veus es sentin i perquè un participant o una idea no dominin el debat al llarg de tota la sessió, sinó que hi pugui haver multiplicitat d'idees, opinions i aportacions.

Un tercer aspecte comú és la presència de persones facilitadores en totes les sessions (Cruickshank & Evans, 2012; Sanders & Stappers, 2008), que promouen la creativitat, motivació, participació, cooperació i predisposició dels participants (Figura 4).

5.3. Definició dels casos d'estudi

Degut a que les fases, temporització i materials de cada sessió es detallen àmpliament en els articles i són característiques molt específiques de cada cas d'estudi, aquest apartat es dedica a presentar únicament l'abast de les sessions. Així doncs, es comenta el nombre de sessions, el nombre de participants i la seva captació, la distribució dels participants en grups de treball, les temàtiques a tractar en els tallers (en cas que aquestes estiguessin preestablertes) i les institucions que han col·laborat en cada cas. També s'enumeren els objectius de cada cas d'estudi, tot fent ús de la nomenclatura detallada en l'inici d'aquest capítol (Taula 1).

a) Tallers participatius amb experts

Es realitzen cinc tallers amb experts, anomenats “*Graphene Days*”, entre l'abril del 2016 i l'octubre del 2017; cada un d'ells relacionat amb un sector del mercat diferent: (GD1) Construcció i hàbitat, (GD2) Energia, (GD3) Transport, (GD4) Alimentació i embalatge, i (GD5) Salut (Global Industry Classification Standard, 2016). Els experts inclosos en aquests tallers són experts de dos tipus: d'una banda, investigadors i personal de centres tecnològics que treballen amb grafè i, de l'altra, professionals d'empreses nacionals i internacionals líders en els diferents sectors tractats.

Els tallers es duen a terme en cinc institucions situades en el territori espanyol i relacionades amb la recerca, producció i desenvolupament del grafè: Elisava (Barcelona), CIC EnergiGUNE (Vitòria), ETSII-UPM (Madrid), ITENE (València) i EXPOQUIMIA (Fira Gran Via, Hospitalet de Llobregat). A les diferents sessions hi atenen 42, 32, 42, 30 i 22 participants, respectivament; amb un total de 168 assistents captats a través de MATERPLAT (*Plataforma Tecnològica Española de Materiales Avanzados y Nanomateriales*).

Per condicions específiques de cada *Graphene Day* (nombre de participants, sales de treball, etc.), es fan 6, 4, 5, 4 i 1 grups de treball, respectivament, per a la realització de la sessió dinàmica.

Els objectius d'aquest cas d'estudi s'enumeren a continuació:

- TE.O1** **Aplicar les metodologies de disseny participatives en la creació de tallers on científics i empresaris puguin detectar les principals implicacions en l'aplicació del grafè en productes per al mercat.**
- TE.O2** **Generar mapes sectorials que reflecteixin noves oportunitats per al grafè en el mercat i prefigurin el futur d'aquesta nanotecnologia.**
- TE.O3** **Valorar si les propostes generades focalitzen en les propietats del grafè i/o en els sectors d'aplicació, així com si són més realistes o especulatives.**
- TE.O4** **Detectar quins són els reptes principals per al desenvolupament de les propostes d'aplicació del grafè generades i, alhora, definir les estratègies que caldria seguir per superar-los.**
- TE.O5** **Valorar si les metodologies de disseny participatives poden facilitar la transferència de coneixement científic i tecnològic.**

b) Tallers participatius amb no experts

Es duen a terme quatre tallers amb no experts, anomenats "Tallers de Creativitat amb Grafè", durant el mes de juliol del 2018 a Barcelona. Cada sessió consta d'entre 4 i 6 participants, amb un total de 20 participants; cap d'ells relacionat professionalment amb el grafè. El fet de realitzar els tallers amb poques persones es deu a la necessitat de dedicar més atenció a cada participant. Com que es tracta de no experts, necessiten més assessorament, supervisió i suport que, per exemple, un grup d'experts.

La captació de participants es fa a través de fulletons informatius impresos i en línia situats en centres cívics de la ciutat i altres equipaments culturals. Un cop rebudes les sol·licituds de participació, es seleccionen persones adultes d'entre 20 i 40 anys, amb una varietat significativa de formació i professions, i es distribueixen aleatòriament en quatre grups.

Els objectius corresponents a aquest cas d'estudi són:

- TN.O1 Dissenyar un taller participatiu a partir de metodologies del camp del disseny per contribuir a que membres de la societat general puguin entendre què és el grafè.**
- TN.O2 Transmetre coneixement científic sobre el grafè a membres de la societat no relacionats amb el material en les seves activitats i rutines habituals.**
- TN.O3 Valorar si les metodologies de disseny participatives són una bona oportunitat per aconseguir una transferència de coneixement exitosa sobre un tema científic concret.**
- TN.O4 Contribuir a tancar la bretxa existent entre ciència i societat, focalitzant en la creativitat com a eina per entendre i integrar coneixements.**
- TN.O5 Generar materials i espais de treball que permetin crear un llenguatge fàcil i comú entre els participants, tot mantenint el rigor científic.**

c) Tallers participatius amb estudiants de secundària

Es genera un conjunt d'eines didàctiques per emprar en la transmissió de coneixements científics a les aules de secundària. A fi de testejar aquest conjunt d'eines o *toolkit*, es realitzen tres tallers amb 30, 32 i 31 estudiants, respectivament; un total de 93 estudiants de primer d'E.S.O. (Educació Secundària Obligatoria) d'entre 11 i 13 anys. Els tallers es centren en la transmissió de coneixements sobre el grafè, i es realitzen al col·legi Maristes Montserrat de Lleida. Dins de cada sessió, es separen els alumnes en tres grups d'entre 10 i 11 alumnes.

Es defineixen els següents objectius:

- TS.O1 Introduir conceptes bàsics sobre el grafè a estudiants de primer d'E.S.O. i sensibilitzar sobre la importància d'aquest material.**

- TS.O2** Actualitzar els coneixements dels professors de secundària, tant pel què fa al coneixement del grafè com a l'aplicació de metodologies de disseny participatives a l'aula, i promoure l'interès de temes científics i tecnològics als estudiants de primer d'E.S.O.
- TS.O3** Reduir la complexitat generalment associada a la ciència a través de dinàmiques i jocs que promoguin la participació i l'actitud proactiva.
- TS.O4** Generar un ambient positiu a l'aula a través del treball en equip i d'un equilibri entre competitivitat i cooperació.
- TS.O5** Valorar si la presència d'un/a facilitador/a incrementa la motivació, empatia, claredat, resolució de dubtes i interacció amb els estudiants i, alhora, avaluar si aquests aspectes afecten en la transferència de coneixement científic.

Cadascun d'aquests objectius es relaciona amb una categoria d'anàlisi:

- TS.O1 (a) Adquisició de coneixements
- TS.O2 (b) Satisfacció
- TS.O3 (c) Dificultats
- TS.O4 (d) Treball en equip
- TS.O5 (e) Rol de la facilitadora

5.4. Estratègies d'avaluació dels casos d'estudi

La Taula 3 resumeix les tècniques d'anàlisi i avaluació de resultats de cada cas d'estudi. Com s'observa, la majoria són específiques de cada cas, tot i que algunes de les tècniques s'assimilen. La primera similitud es troba en el fet que tant en els tallers amb experts com en els tallers amb no experts es fa una categorització de les propostes generades en els mapes de treball, i s'empra l'escala de distribució de realistes a especulatives i de basades en propietats del grafè a basades en sectors d'aplicació. La segona similitud es dona entre els tallers amb no experts i els tallers amb estudiants de

secundària, ja que en ambdós casos es fa ús d'enquestes per rebre una valoració de la sessió per part dels participants.

<i>Tallers</i>	<i>Anàlisi i avaluació de resultats</i>
Experts	<ul style="list-style-type: none"> • Fases (a), (a'') i (c): Categorització de tots els conceptes generats en els mapes de treball (generació de categories i distribució de les anotacions dels participants en elles, per fases). • Fase (b): Consideració, a través d'una valoració quantitativa, de si les propostes conceptualitzades són realistes, especulatives, basades en les propietats del grafè i/o basades en els seus sectors d'aplicació.
No experts	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicació del pla d'avaluació complet de Spicer (2017). • Categorització de les propostes generades en els mapes de treball (generació de categories i distribució de les propostes en elles). • Classificació de les propostes en una escala gradual segons si són més realistes o més especulatives, i en una altra escala segons si es basen més en les propietats del grafè o en la funcionalitat de l'aplicació. • Valoració de validesa i fiabilitat (Noble & Smith, 2015). • Realització d'enquestes en format digital al cap de tres mesos amb les següents categories: (a) Contingut, (b) Metodologies i (c) Valoració general.
Estudiants de secundària	<ul style="list-style-type: none"> • Realització d'enquestes en format imprès al cap d'un mes amb les següents categories: (a) Adquisició de coneixements, (b) Satisfacció, (c) Dificultats, (d) Treball en equip i (e) Rol de la facilitadora (Hugerat, 2016). Es realitzen dos format d'enquesta: una amb camps quantitativs pels alumnes i una amb camps qualitativs per professors.

Taula 3. Estratègies d'anàlisi i avaluació de resultats dels tres casos d'estudi.

L'estratègia d'avaluació de cada cas d'estudi s'ha construït en base a l'experiència. Per aquest motiu, en el primer cas d'estudi es centra l'avaluació en la generació de propostes i, poc a poc, es canvia l'enfocament cap a una avaluació més centrada en els participants, pel què fa a la seva satisfacció amb l'activitat, a l'ús de les metodologies de disseny participatives i a la transferència de coneixement aconseguida.

L'avaluació de les propostes generades en els mapes de treball per a l'aplicació del grafè en productes per al mercat és necessària en cas que tals propostes es vulguin dur al mercat. Es recomana, doncs, consultar els mapes generats en les sessions si es vol donar

una sortida comercial a les propostes i així obtenir-ne un benefici econòmic. Com que en aquesta tesi es persegueix l'objectiu de comunicar i transferir coneixement sobre el grafè, s'ha cregut convenient virar l'enfocament de cara a l'avaluació per part dels participants. En el següent capítol es mostren els resultats fruit del pla d'avaluació recollida en la Taula 3 d'aquest apartat.

6. RESULTATS

Els resultats de la present tesi es poden consultar en profunditat en els quatre articles associats, adjunts en l'annex. Aquest capítol recull un resum dels resultats obtinguts, tant en l'anàlisi de premsa com en la realització dels casos d'estudi, posant èmfasi en la informació que es creu més rellevant per demostrar la coherència investigadora dels quatre articles del compendi. En els articles es poden consultar també gràfics i altres recursos visuals que il·lustren els resultats de manera més atractiva.

Per a la bona comprensió dels resultats, la Taula 4 mostra un recordatori de la nomenclatura de fases de cada cas d'estudi i dels camps d'avaluació, així com de les preguntes de recerca i objectius de cada article.

<i>Article</i>	<i>Fases</i>	<i>Camps d'anàlisi i avaluació</i>	<i>Preguntes i objectius</i>
<u>I</u> Anàlisi de contingut	–	(a) Cobertura (b) Autoria i tractament (c) Focus temàtic i contingut (d) Aspectes qualitius	AC.PR(n)
<u>II</u> Tallers amb experts	(a) Ideació (a') Construcció d'idees (a'') Anàlisi DAFO (b) Propostes (c) Reptes i estratègies	–	TE.O(n)
<u>III</u> Tallers amb no experts	(a) Empatitzar (b) Definir (c) Idear (d) Prototipar (e) Avaluar	(a) Contingut (b) Metodologies (c) Valoració general	TN.O(n)
<u>IV</u> Tallers amb estudiants de secundària	(a) Escolta i entén (b) Memoritza (c) Transmet i endevina (d) Proposa (e) Explica i valora	(a) Adquisició de coneixements (b) Satisfacció (c) Dificultats (d) Treball en equip (e) Rol de la facilitadora	TS.O(n)

Taula 4. Relació entre les fases dels tallers (Taula 2), els camps d'anàlisi i avaluació (Taula 3) i la nomenclatura de les preguntes de recerca i objectius (Taula 1) dels quatre articles inclosos en la tesi.

6.1. Resultats de l'anàlisi de premsa

Pel què fa a la cobertura mediàtica del grafè en els diaris analitzats (AC.PR1), s'observa primerament que els anys 2004, 2005, 2006 i 2008 no hi hagué cap peça periodística publicada en cap dels tres diaris. En els anys 2007 i 2009, només *The New York Times* publicà una notícia, i l'any 2011, cada mitjà en publicà una. Els anys 2010, 2012, 2015 i 2016 coincideixen en nombres de peces dedicades al material: *El País* publicà tres notícies, *The Guardian* dues i *The New York Times* una. Els tres pics de publicació més important es donen en els anys 2013, 2014 i 2017, L'any 2013, *El País* li dedicà al grafè cinc peces periodístiques i *The Guardian* vuit, mentre que *The New York Times* només una, com en els anys anteriors. L'any 2014, *El País* publicà sis notícies sobre el grafè, *The Guardian* quatre, i *The New York Times* dues, i el 2017 la tendència varià molt respecte a la resta d'anys, ja que *El País* i *The Guardian* només publicaren dues i una notícia, respectivament, mentre que *The New York Times* en publicà nou.

Aquests nombres desvetllen que l'any 2013 fou el de major publicació sobre el grafè, amb catorze notícies dedicades entre els tres diaris, seguides de les dotze dels anys 2014 i 2017. En aquests anys, i a partir de 2010, la tendència a publicar sobre el grafè comença a augmentar, però no ho fa de forma uniforme, sinó que hi segueix havent anys amb menor presència del grafè en els diaris. Generalment, *El País* i *The Guardian* segueixen una progressió similar, mentre que *The New York Times* publica una notícia cada any, o dues el 2014, i l'any 2017 fa un salt publicant-ne nou.

Quant a l'autoria de les peces periodístiques (AC.PR2.a), la majoria d'elles neixen del personal dels propis diaris, en tots els casos: el 77% de les peces d'*El País*, el 68% de les peces de *The Guardian* i el 100% de les de *The New York Times*. La resta es distribueixen de forma equilibrada entre les fonts externes, les d'altres agències de notícies i les dels lectors.

El tractament o format (AC.PR2.b) que se'ls hi dóna a aquestes peces és majoritàriament el d'article general i, en segon lloc, d'article de fons. *El País* conté setze articles generals, cinc articles de fons, tres articles d'opinió i dues entrevistes. *The Guardian* publica nou articles generals, vuit articles de fons, quatre articles d'opinió i

un classificat com a “altres”. I, finalment, *The New York Times* aporta disset articles generals i dos articles d’opinió. La llargada habitual de les peces periodístiques publicades a *The New York Times* és d’entre 200 i 400 paraules, amb algunes peces més llargues. En *El País* i *The Guardian*, hi ha varietat en la llargada de les notícies. *El País* sol publicar amb una extensió d’entre 200 i 800 paraules, i *The Guardian* amb una extensió d’entre 400 i 1000.

En els tres diaris, la proporció de text dedicada a cada un dels subtemes definits és similar (AC.PR3.a). Entre el 40% i el 46% del text es dedica a la recerca i el finançament, entre el 28% i el 31% es destina al desenvolupament d’aplicacions, entre el 19% i el 26% va dedicat a les característiques i propietats del grafè, i menys d’un 8% es destina al descobriment i al premi Nobel.

D’altra banda, en el focus geogràfic de les notícies (AC.PR3.b) hi ha diferències per cada diari. *El País* dedica el mateix interès a l’àmbit nacional i a l’internacional, amb onze notícies per cada un, mentre que *The Guardian* té nou articles amb enfocament nacional, vuit amb enfocament internacional i cinc regional, i *The New York Times* pren la posició contrària, amb dotze articles de focus internacional i set nacional.

Malgrat que cada país es cita a si mateix més que a la resta de països, hi ha bastanta coincidència i coherència en la llista de països i continents més citats en els tres diaris (AC.PR3.c). En el conjunt de totes les notícies dels tres diaris, els països/continents citats són, per ordre, els següents: Regne Unit (37 vegades), Estats Units (30), Espanya (19), Europa (18), Xina (10), Corea del Sud (8), Suècia (8), Alemanya (7), Àsia (6), França (6), Amèrica (5), Japó (5), Holanda (5), Rússia (5), Suïssa (3), Bèlgica (2), Itàlia (2), Orient llunyà (1), Finlàndia (1), Llatinoamèrica (1), Mèxic (1), Singapur (1) i Taiwan (1).

Les propietats i característiques del grafè més citades en les peces analitzades (AC.PR3.d) són la resistència, en trenta-set articles, i la conductivitat elèctrica, en trenta-cinc. A aquestes les segueix el gruix del material amb trenta articles, i la configuració en matriu plana hexagonal amb vint-i-vuit articles. La llista segueix amb la transparència, la flexibilitat, la lleugeresa, la conductivitat tèrmica i les característiques de l’escala quàntica, en aquest ordre. En total, trenta-vuit propietats són mencionades.

Els sectors d'aplicació (AC.PR3.e) als quals es fa més referència en els tres diaris són el desenvolupament de components electrònics i l'aplicació en dispositius. Dos sectors directament relacionats, però entre els quals es fa una distinció pel fet que es tracten de manera diferent en les peces periodístiques. Setanta-quatre i setanta-tres notícies mencionen, respectivament, aquests dos sectors. La resta de sectors detectats apareixen en moltes menys notícies però són també rellevants: el transport (en trenta peces), el medi ambient (en vint-i-set), productes quotidians (en vint-i-sis), medicina en (vint-i-cinc), aplicacions químiques i biològiques (en vint), i la llista segueix amb altres sectors que apareixen en menys de vuit notícies.

Pel què fa al to del discurs (AC.PR4.a), el 66% del total de les notícies té un to positiu. En concret, dinou notícies d'*El País* i setze de *The New York Times* són positives. Per contra, *The Guardian* conté nou notícies amb to positiu, vuit amb un to equilibrat i cinc amb to crític. Cap notícia té un to predominantment negatiu.

Entre els aspectes negatius (AC.PR4.b) mencionats a les notícies, onze peces destaquen l'escalabilitat de la producció, i nou peces els factors econòmics. Set articles mencionen el factor temps i sis la qualitat del grafè. Els altres aspectes negatius mencionats són, per ordre: la producció, la comercialització, la toxicitat, les propietats i la regulació.

Seixanta-cinc dels seixanta-set articles analitzats utilitzen recursos literaris (AC.PR4.c). Els recursos més emprats són, en aquest ordre, les cites textuais, les comparatives, les hipèrboles, l'ús de llenguatge especulatiu i les metàfores. A aquests recursos els segueixen molts d'altres, sent *El País* el diari que més recursos empra, seguit de *The Guardian* i, en tercer lloc, *The New York Times*. La majoria d'aquests recursos s'empren en les peces periodístiques analitzades per definir la configuració del grafè, així com les seves propietats. Per exemple, es compara el grafè amb l'acer, el diamant o el kevlar per parlar de la seva resistència; amb el coure, el silici o els fotos per parlar de la seva conductivitat elèctrica; amb el cabell humà o una làmina de paper per mencionar el seu gruix. Se l'assimila a la tela de galliner o a una bresca per definir la seva estructura cristal·lina i la seva configuració plana hexagonal; a la goma per la seva capacitat de flexió, o a una ploma per la lleugeresa, entre altres comparacions.

6.2. Resultats dels tallers amb experts

Es defineixen dotze categories de distribució per a les anotacions recollides en les fases (a) Ideació, (a'') Anàlisi DAFO i (c) Reptes i estratègies. Alhora, aquestes s'agrupen en quatre àrees temàtiques (TE.O1):

- Exploració del material: (1) Recerca i acadèmia; (2) Propietats específiques; (3) Sostenibilitat i matèria prima.
- Desenvolupament industrial: (4) Industrialització i producció; (5) Creació de materials compostos; (6) Suport econòmic; (7) Cooperació entre institucions; (8) Regulació.
- Mercat i societat: (9) Mercat, aplicacions i cadena de valor; (10) Acceptació social, experiència d'usuari i mitjans de comunicació.
- Consideracions globals: (11) Innovació, canvi de paradigma i escenaris futurs; (12) Temes pertanyents a múltiples categories.

En la fase (a) Ideació, que només s'aplica al primer *Graphene Day*, la majoria d'anotacions fetes pels participants s'inclouen en la categoria (9), referent a la introducció d'aplicacions en el mercat. En segon lloc, es tenen en compte les propietats específiques del material (2), tot i que en una mesura molt inferior. Alguns grups mencionen, també, temes relacionats amb la sostenibilitat (3), la creació de materials compostos (5) i escenaris futurs (11).

Pel que fa a la fase (a'') Anàlisi DAFO, el primer fet destacable és que en cada quadrant dels mapes (Debilitats, Amenaces, Fortaleses i Oportunitats) hi predominen categories diferents. Primerament, a l'àrea de Debilitats, no hi ha cap categoria que destaquí més que les altres. No obstant, la industrialització (4) i regulació (8) hi tenen bastanta presència. Molts grups comenten també les implicacions econòmiques (6) i socials (10), així com la creació de materials compostos (5) i la sortida en aplicacions al mercat (9).

Pel què fa a les Amenaces, els aspectes relacionats amb la societat (10) i amb la cadena de valor (9) són, generalment, els més comentats. També es fan aportacions en altres categories, com ara la sostenibilitat (3), la regulació (8), la producció (4) i les propietats del grafè (2), seguides de consideracions econòmiques (6) i el canvi de paradigma que representa el material (11).

Per contra, al quadrant de les Fortaleses, les propietats del grafè (2) són la categoria amb més representació. La creació de materials compostos (5) és també molt comentada, sobretot pels grups de treball de (GD3) Transport i (GD4) Alimentació i embalatge. Aquests grups de treball també citen temes relacionats amb la cooperació institucional (7) i aspectes econòmics (6).

I en el darrer quadrant, referent a les Oportunitats, és on s'hi agrupa un major nombre d'anotacions. La categoria més tractada és la relacionada amb el mercat (9), ja que la generació de productes es considera la major oportunitat de prosperitat per al grafè. Amb valors inferiors però també rellevants, es comenten les propietats (2), la industrialització (4) i el suport econòmic (6).

En la fase (b) Propostes es desenvolupen 192 "núvols de propostes", és a dir, agrupacions de propostes, relacionades entre elles i/o complementàries, de productes per al mercat; nascudes a partir d'una oportunitat (TE.O2). En la valoració d'aquests "núvols" o agrupacions de propostes (TE.O3), es detecta que en la sessió (GD1) Construcció i hàbitat, els participants focalitzen majoritàriament en les propietats del grafè, més que no pas en els sectors d'aplicació, ja que generen propostes molt conceptuals i/o aplicables a múltiples sectors, és a dir, poc concretes.

D'altra banda, les propostes no són ni molt realistes ni molt especulatives, sinó un terme mig entre aquests dos extrems. En canvi, en la sessió (GD2) Energia, les propostes conceptualitzades tenen molt a veure amb les propietats i alhora amb els sectors. No obstant, en aquesta sessió hi ha inexistència de propostes especulatives. Totes elles són realistes, algunes a curt termini, i la majoria a mitjà o llarg termini.

A la sessió (GD3) Transport, s'obté molt més equilibri entre les quatre categories d'anàlisi que en les sessions anteriors. Hi ha des de propostes molt realistes fins a

propostes molt especulatives, i totes elles tenen molt en compte les propietats del grafè i els sectors del mercat. La sessió (GD4) Alimentació i embalatge té una distribució molt similar a l'anterior. La única diferència apreciable és que les propostes no són tan especulatives sinó més realistes. Així mateix, la sessió (GD5) Salut té una distribució igual a la de la sessió (GD3), amb la diferència en la quantitat de propostes desenvolupades, que és molt menor degut a que només hi ha un grup de treball.

Finalment, per a la fase (c) Reptes i estratègies (TE.O4), es realitza la mateixa distribució de les anotacions en categories que en les fases (a) i (a''). En aquesta fase, la industrialització (4) és el repte més comentat, així com una de les estratègies més mencionades. La resta de reptes destacats s'inclouen en les categories de generació d'aplicacions (9), acceptació social (10) i aprofitament de les propietats del material (2).

Quant a estratègies, a part de la industrialització, també es destaca la col·laboració entre institucions (7) i les aplicacions per al mercat (9). La investigació (1), el suport econòmic (6), la regulació (8) i la innovació (11) són aspectes considerats, en menor mesura, en ambdues bandes (reptes i estratègies). Aquesta distribució mostra una correlació amb els resultats obtinguts a la fase (a'') Anàlisi DAFO: els reptes reflecteixen les Debilitats i Amenaces, mentre que les estratègies manifesten les Fortaleses i Oportunitats.

Per la quantitat de propostes generades en les sessions i per la coherència entre mapes, es considera que les metodologies de disseny participatives poden facilitar el diàleg entre científics i empresaris, així com propiciar la transferència de coneixement científic i tecnològic entre ambdós (TE.O5).

6.3. Resultats dels tallers amb no experts

D'acord amb la seva aplicació i ús, les propostes desenvolupades pels participants es distribueixen en set àmbits, que són: (1) Transport, (2) Medi ambient, (3) Benestar, (4) Salut, (5) Esports, (6) Llocs de treball i (7) Equipament científic. Quatre propostes es relacionen amb els àmbits (1) i (2), cinc propostes fan referència als àmbits (3), (4) i (5), i tres propostes s'inclouen en els àmbits (6) i (7).

De les dotze propostes conceptualitzades, se n'obté una distribució notablement equilibrada entre aquelles que són més realistes i aquelles més especulatives. Per altra banda, totes les propostes es basen, en major o menor mesura, tant en les propietats del grafè com en la funcionalitat i usabilitat. No obstant, hi ha una inclinació més mostrada cap a la funcionalitat.

Les enquestes realitzades tres mesos després de les sessions desvetllen que la majoria dels participants (70%) no havien sentit mai a parlar del grafè abans de la sessió, mentre que alguns (30%) havien llegit sobre el grafè en els diaris o havien tingut una conversa amb algú sobre el material. Cap d'ells havia assistit en cap esdeveniment on les metodologies de disseny s'apliquessin a la comunicació científica.

En el primer bloc de l'enquesta, anomenat "Què has après sobre el grafè?", s'obtenen els següents resultats (TN.O1; TN.O2):

- El 85% dels participants recorda que el grafè es troba a la nanoescala, mentre que el 15% restant es confon amb la microescala, la picoescala o la femtoescala.
- El 50% recorda que el grafè és un material bidimensional, mentre que el 30% afirma que és una nanoestructura (la qual cosa també és correcta, ja que els materials bidimensionals són nanoestructures planes), i el 20% restant respon incorrectament que el grafè és una nanopartícula.
- Tots els participants responen correctament que el grafè està format per àtoms de carboni i que es descobrí gràcies a la cinta adhesiva.
- El 95% recorda que el grafit és una de les dues formes macroscòpiques en què el carboni es pot trobar a la natura, i el 75% encerta que l'altra forma macroscòpica és el diamant.
- Pel què fa a les propietats, els següents percentatges de participants encerten les propietats correctes: el 95% la resistència, la lleugeresa i la flexibilitat; el 90% la conductivitat elèctrica i la hidrofòbia; el 75% la duresa; el 70% la conductivitat tèrmica, l'efecte fotoelèctric i la transparència; i el 65% la impermeabilitat a gasos i la biocompatibilitat. En contraposició, els següents percentatges de

participants seleccionen com a propietats del grafè les següents propietats errònies: el 40% l'aïllament tèrmic, el 20% l'aïllament elèctric, i el 15% la rigidesa i l'efecte fotoluminiscent. Cap dels participants selecciona l'efecte fotocromic ni l'opacitat, que també són propietats errònies.

- Quant a les aplicacions del grafè, únicament tres persones (15%) no recorden cap exemple d'aplicació mencionat en el taller. Les altres disset persones (85%) responen correctament donant entre un i cinc exemples d'aplicacions.
- El 65% dels participants encerta que actualment hi ha productes amb grafè al mercat, mentre que l'altre 35% respon incorrectament que no n'hi ha.
- Tots vint participants recorden que el grafè és estable a temperatura ambient, que prové del grafit, i que el grafit és un material molt abundant a l'escorça terrestre.

El segon bloc de l'enquesta, centrat en l'avaluació de les metodologies de disseny participatives, obté les següents respostes i resultats (TN.O3; TN.O4):

- Es pregunta als participants quin creuen que era l'objectiu principal del taller realitzat. La majoria de les respostes reflecteixen tres conceptes: el primer, que es tractava d'una introducció al món del grafè; el segon, que era una activitat adreçada a no experts de procedències molt variades; i el tercer, que en l'activitat s'esdevenien moltes dinàmiques amb metodologies innovadores.
- El 70% dels participants puntuen amb un cinc sobre cinc l'assoliment d'aquest objectiu; el 25% ho puntuen amb un quatre i el 5% restant amb un tres.
- El 85% puntua amb un cinc sobre cinc l'estructura de la sessió.
- El 80% puntua amb un cinc sobre cinc l'equilibri entre teoria i pràctica.
- El 75% opina que la sessió era molt fàcil de seguir.
- El 95% creu que ha adquirit nou coneixement després del taller.

- El 90% creu que el fet d'aprendre a través de les mans l'ajuda, en la sessió, a interioritzar conceptes nous.
- El 85% creu que les metodologies emprades potencien l'atenció.
- El 90% opina haver tingut molta llibertat en el transcurs de l'activitat.
- Les metodologies que, segons els participants, ajuden més a interioritzar els continguts teòrics de la sessió són el *mind mapping* (45%), el *cognitive mapping* (35%) i el *creative toolkit* (20%).
- El collage (45%) i el *creative toolkit* (35%) són les metodologies que més treuen als participants de la seva zona de confort, seguides del *mind mapping* (10%), el *cognitive mapping* (5%) i el *stakeholders map* (5%).
- El *creative toolkit* és, amb diferència, la metodologia amb què els participants han gaudit més (65%), seguida del *mind mapping* (30%) i el collage (5%).

En el tercer bloc de l'enquesta, el qual inclou una valoració general del taller, els participants responen el següent (TN.O5):

- El 85% dels participants puntuen amb un cinc sobre cinc la seva satisfacció amb el conjunt de la sessió, i el 15% ho valora amb un quatre. Els participants valoren amb les mateixes puntuacions l'assoliment de les seves expectatives.
- El 70% puntua amb un cinc sobre cinc les metodologies.
- El 60% puntua amb un cinc sobre cinc el temps dedicat a cada part del taller.
- El 80% puntua amb un cinc sobre cinc la sala de treball.
- El 75% puntua amb un cinc sobre cinc el seu grup de treball.
- El 90% puntua amb un cinc sobre cinc la tasca de la facilitadora.

- El 100% dels participants coincideix amb què treballar amb metodologies de disseny participatives és una bona iniciativa per assolir transferència de coneixement científic.
- El 100% dels participants recomanaria assistir a aquesta activitat.

6.4. Resultats dels tallers amb estudiants de secundària

En la categoria d'anàlisi (a) Adquisició de coneixements (TS.O1), es recullen comentaris molt positius dels professors, els quals inclouen el fet que la sessió no els hi serveix només com a aprenentatge del grafè, sinó també com a aprenentatge de noves metodologies per emprar a l'aula. També comenten el fet que les metodologies emprades treballin diferents tipus d'intel·ligència, i valoren positivament la transferència de coneixement, la selecció dels coneixements transmesos i la planificació de la sessió.

Pel què fa a la valoració per part dels alumnes, el 43% li donen una puntuació de quatre sobre quatre, el 39% una valoració de tres, el 14% de dos, i el 4% d'un. Els aspectes més positius segons els alumnes són l'aprenentatge rebut sobre el grafè i els nanomaterials i l'adaptació dels continguts al seu nivell. Per contra, el que destaquen com a negatiu és que, passat un temps, no recorden la majoria de coses que se'ls van ensenyar.

En la segona categoria, (b) Satisfacció (TS.O2), els professors fan palesa la seva satisfacció pel què fa a l'autonomia i motivació dels estudiants. També apunten que el format és estimulants i que s'aconsegueix que els estudiants adaptin la seva energia i dedicació a cada dinàmica treballada. Mencionen el contrast entre aquesta predisposició dels estudiants a treballar i l'actitud passiva que adopten en el cas del format de classe tradicional. Alhora opinen que les escoles no estan actualment preparades per aquest tipus d'activitats, i que s'hi haurien de llençar cada cop més, per tal que els alumnes estiguin actius i alhora no pensin que el fet d'introduir jocs a l'aula sigui un motiu per relaxar-se, sinó per implicar-se.

El 58% dels estudiants li donen la màxima puntuació a la categoria de satisfacció. Els aspectes més ben valorats són la satisfacció amb la seva pròpia actitud, amb el fet que la facilitadora estigués satisfeta dels resultats, i amb el format del taller. Com a punts negatius, alguns estudiants destaquen que l'activitat sigui massa llarga i que no totes les activitats agraden igual.

La categoria (c) Dificultats (TS.O3), dedicada als reptes a superar durant la sessió, revela, d'una banda, que la participació, comprensió i concentració són potenciats, segons els professors. D'altra banda, es detecta una dificultat en les dinàmiques pel fet que els grups són massa grans. Els tres professors coincideixen en afirmar que grups de treball d'entre sis i vuit estudiants haurien funcionat millor. També comenten que unes dinàmiques tan actives fan que hi hagi certa relaxació a l'ambient, i això comporta distraccions.

Per part dels estudiants, el 65% no troba dificultats en el taller, mentre que, en contraposició, el 7% hi troba moltes dificultats. El fet que no hi ha discriminació de gènere en la sessió és l'aspecte valorat més positivament, mentre que el més negatiu és la dificultat per entendre el què es demanava en cada moment.

Pel què fa al (d) Treball en equip (TS.O4), els professors creuen en el taller com una activitat molt inclusiva, on els estudiants amb dificultats d'aprenentatge s'hi senten integrats com qualsevol altre alumne. També afirmen que l'equilibri entre cooperació i competitivitat en les sessions és molt apropiat, ja que crea situacions de socialització i alhora promou que els estudiants vulguin treure el millor de si mateixos. Valoren positivament la gamificació com a eina atractiva i democratitzadora.

Hi ha una gran diversitat d'opinió en aquesta categoria per part dels estudiants. El 46% la valora molt bé, el 24% bé, el 17% regular i el 13% malament. Els aspectes més positius són la bona relació amb els companys, la competició "sana" en algunes activitats, i el fet d'enfrontar-se als problemes o reptes en grup. En contrast, els més negatius són la no participació d'alguns membres dels grups i la falta d'ajuda entre companys.

L'última categoria, (e) Rol de la facilitadora (TS.O5), fou valorada positivament per part dels professors pel què fa al to emprat, a la capacitat de transmetre empatia i motivació, al llenguatge tècnic i alhora adaptat a l'edat dels alumnes, i a la resolució de dubtes i de conflictes.

El 62% dels estudiants donen la major puntuació a aquesta categoria, i el 5% la més inferior. Entre els aspectes més ben valorats, destaca la claredat de les instruccions, l'ajuda oferta, la motivació i la resolució de dubtes.

7. DISCUSSIÓ

En aquest capítol es relacionen els resultats obtinguts en la recerca amb els antecedents aplegats en el marc teòric. El capítol s'estructura en base a les preguntes de recerca, i es planteja com una valoració qualitativa del conjunt d'aportacions que han suposat els casos d'estudi.

Més que una discussió punt per punt de cada resultat, en les següents pàgines es vol oferir una reflexió general i conjunta sobre tot el què s'ha tractat en aquesta tesi, ja que la discussió detallada de l'anàlisi de premsa i dels tres casos d'estudi es pot consultar en els articles que configuren el compendi de publicacions, que es troben adjunts en els annexos.

7.1. Visió sobre el grafè en les peces periodístiques

Quina visió es transmet sobre el grafè en les peces periodístiques publicades sobre el material en tres diaris de referència internacional durant els primers anys posteriors al seu descobriment?

De la recopilació dels atributs principals de les peces periodístiques publicades sobre el grafè a *El País*, *The Guardian* i *The New York Times* entre els anys 2004 i 2017, se n'extreuen diverses conclusions; les quals s'enumeren i s'expliquen en el següent capítol. No obstant, a banda de les conclusions, hi ha tot un marc a discutir sobre la visió general que es transmet al públic sobre el grafè. Atès que la comunitat científica es val dels mitjans de comunicació per informar la societat (Dudo & Besley, 2016), la responsabilitat que recau en ells és molt rellevant. L'anàlisi de les notícies ha demostrat una coherència raonable pel què fa al contingut transmès (en relació amb el què transmeten els científics i el què es transmet entre els diferents diaris). Tanmateix, el to discursiu que s'empra en la majoria de les peces analitzades és positiu, donant poca importància als aspectes negatius o incerts del material.

Bé és sabut que, mitjançant el procés d'*agenda setting*, els mitjans de comunicació marquen els temes sobre els quals hauria de parlar la societat, així com els termes i

llenguatge que s'haurien d'utilitzar per debatre'ls (Boumans et al., 2018; McCombs, 2004). Si els diaris segueixen emprant expressions com “*the wonder material*” (“el material meravella”) per descriure el grafè, la comunicació científica sobre el material no és del tot real ni, per tant, efectiva. Els periodistes no estan sent del tot honestos i hi ha certa desviació de la informació per causa de la necessitat de captar l'atenció i atreure als lectors. Com a mediadors de coneixement, és responsabilitat dels redactors de les notícies emprar un llenguatge el més adequat possible a la necessitat i dret d'informació per part de la societat.

Cal recordar que una de les tasques principals dels mitjans és actuar com a “guardians de la ciència” o “agents de coneixement” (Eveland & Cooper, 2013; Lomas, 2007; Meyer, 2010; Shoemaker & Vos, 2009) i que l'adaptació del llenguatge és necessària en la mediació del coneixement (Cortiñas Rovira, 2008; Kueffer & Larson, 2014; Luzón, 2013). En les notícies analitzades, es detecta l'ús d'un gran nombre de recursos literaris, com ara comparacions i metàfores, per facilitar la comprensió de les propietats i configuració del grafè. Per determinar si aquests recursos realment afavoreixen la comprensió o bé, per contra, distreuen als lectors, caldria realitzar una recerca més acurada i comparativa amb altres avenços de la ciència.

Dels tres diaris analitzats, *The Guardian* és el que ofereix una perspectiva més interessant pel què fa a les fonts i al tractament de la informació, ja que és el que incorpora més fonts externes, així com una major extensió en els articles. Aquesta podria ser una bona estratègia per millorar la transferència de coneixement, ja que els continguts d'una font científica són generalment més fiables, i els termes solen ser més adequats. De fet, *The Guardian* és el diari amb un to més equilibrat, en comparació amb el positivisme accentuat dels altres dos. Per altra banda, una major extensió en els articles també pot aportar un discurs més complet i entrar més en detall.

Tot el comentat fins ara en aquest apartat conté un aspecte implícit: la qualitat de la informació transmesa sobre el grafè. La qualitat de la comunicació científica hauria de ser la primera preocupació per a totes les parts implicades (Bucchi, 2013), però aconseguir qualitat en aquest àmbit és una tasca complexa (Medin & Bang, 2014), no només perquè cal fer una recerca en profunditat sobre el tema a transmetre, sinó també perquè cal traduir el llenguatge sense afectar en el contingut. Els mediadors solen

magnificar la ciència com quelcom màgic, heroic i allunyat de la societat (Bucchi, 2013). En aquest estudi s'ha observat que aquesta tendència és habitual en la majoria de peces analitzades.

Una estratègia que podria fer variar la concepció de la ciència com a “intocable” cap a una concepció més humana podria ser augmentar la cobertura periodística dels temes científics, que, en comparació amb la altres temes, és actualment molt baixa (Baker et al., 2012). No obstant, segons la paradoxa “coneixement-ignorància”, la sobresaturació d'informació provoca una desinformació generalitzada (Ungar, 2000), amb la qual cosa, més informació no té per què significar un millor entorn d'informació, o un entorn més efectiu. Per aquesta raó, cal considerar que potser la transmissió de coneixement per part dels mitjans no és l'única amb la qual s'haurien d'informar els ciutadans per poder prendre decisions sobre la ciència. En tot cas, això no només dependrà de l'oferta formativa o comunicativa que es proposi per altres vies, sinó també, i en gran part, de la tria de fonts d'informació i formació per part de cada individu.

7.2. El disseny com a eina de comunicació científica

Són les metodologies de disseny participatives una bona eina per comunicar i transmetre coneixements científics sobre el grafè?

Entenent que la comunicació científica es basa en la interacció i transmissió d'informació entre investigadors, desenvolupadors, responsables polítics, ciutadans i mediadors (Davies & Horst, 2016; van der Sanden & Flipse, 2015; Wehrmann & van der Sanden, 2017), qualsevol procés que faciliti la connexió entre aquestes parts implicades, propiciarà un millor diàleg i, per tant, una major efectivitat de la comunicació científica. En els dos casos d'estudi amb adults desenvolupats en aquesta tesi (els tallers amb experts i els tallers amb no experts), les metodologies de disseny participatives han demostrat generar diàleg i connexions entre persones que prèviament no havien tingut cap mena de contacte. Algunes d'aquestes connexions encara duren a dia d'avui, sobretot en el cas d'estudi amb experts, on es crearen vincles entre investigadors i desenvolupadors de producte.

Una forma d'avaluar si les metodologies de disseny participatives són una bona eina per comunicar i transmetre coneixement científic és comprovar si en els tallers s'han complert els sis objectius de la comunicació científica (Besley, Dudo, & Yuan, 2018). Aquests es valoren a continuació:

- 1. Demostrar l'expertesa de la comunitat científica.** En els tallers amb experts, la pròpia comunitat científica estava immersa en l'experiència, fet que va propiciar que es poguessin resoldre dubtes i comentar resultats d'experiments i avenços amb els quals cada participant estava treballant. En els altres dos casos d'estudi, la figura de la facilitadora era la que havia de demostrar aquesta expertesa. En tots els tallers, es donaren referències del coneixement que s'impartia, així com exemples reals d'avenços que evidenciaven alguns aspectes, com ara l'aplicabilitat del grafè en productes comercials. Tot això, a fi de transmetre la credibilitat necessària per obtenir una bona qualitat (W. L. Allen, 2018; Druckman, 2001; Meyer, 2010).
- 2. Escoltar el que pensen els altres sobre temes científics.** Les metodologies de disseny participatives es basen en la col·laboració entre els membres d'un grup de treball per aconseguir un objectiu concret. En la majoria d'elles, el diàleg és essencial per l'assoliment de l'objectiu, mentre que en altres, ho és la construcció, en silenci, d'un mapa comú; amb la qual cosa, enlloc d'escoltar als altres, se'ls llegeix. En ambdós casos, la figura de "l'altre" hi és, i els participants mai treballen sols en la seva cerca de comprensió del coneixement científic. Així ha estat en els tres casos d'estudis, on, tant el diàleg com la creació de mapes han estat recursos que han facilitat i promogut la connexió entre participants que habitualment habitaven entorns d'informació i llenguatges diferents (Zhao et al., 2011).
- 3. Demostrar que la comunitat científica es preocupa pel benestar de la societat.** El fet d'enfocar els tallers de manera que d'ells n'esdevinguessin propostes de productes per al mercat, féu que els ciutadans (tant experts, com no experts, o adolescents) visualitzessin que la ciència té una sortida cap a ells, és a dir, una aplicació real enfocada cap a la societat. En això és també rellevant el poder de decisió que es donà, en els tallers, als participants (Oliver et al., 2014).

- 4. Demostrar l'obertura i transparència de la comunitat científica.** Només el fet d'organitzar tallers participatius amb diversos integrants de la societat amb l'objectiu central de transmetre ciència, ja és una demostració de la intenció dels investigadors per obrir-se i comunicar allò que estan desenvolupant. A més, les metodologies de disseny participatives promouen la vinculació del públic amb la ciència, o *Public Engagement with Science* (Besley & Nisbet, 2013; Davies, 2013; Kreimer et al., 2011; Stilgoe et al., 2014), i fan ús de recursos visuals, literaris, culturals i multi-sensorials, entre d'altres, per aconseguir aquest objectiu (Boeynaems et al., 2017; Kueffer & Larson, 2014; Medin & Bang, 2014; Riesch, 2014; Rodríguez Estrada & Davis, 2015).

- 5. Demostrar que els científics comparteixen valors com a comunitat.** El treball en equip, la inclusió, l'obertura al debat, la transparència, la cooperació i l'anhel per treure la ciència del laboratori són alguns dels valors implícits en la forma de treballar dels tres tallers realitzats. Malgrat no s'enunciïn com a tals davant dels participants, es poden palpar en qualsevol de les fases de cada taller, i es relacionen amb la concepció de la ciència com una activitat social no exempta o distanciada de la influència d'altres àmbits d'activitat, tal com consideren la majoria dels investigadors d'àmbits socials (Salmon et al., 2017).

- 6. Enunciar i emmarcar les implicacions en la recerca per tal que els membres de la societat puguin reflexionar sobre un tema, de tal forma que aquest tingui ressonància amb els seus valors.** La presa de decisions és un procés intern on hi intervenen les creences, personalitat i motivacions de cada individu (Medvecky & Leach, 2017). Tanmateix, el què pot oferir la comunicació científica és, precisament, "enunciar i emmarcar les implicacions de la recerca". En això es fa especial èmfasi en els tallers, ja que en l'anàlisi de premsa es detectà, precisament, que les implicacions negatives relacionades amb la ciència del grafè no es comunicaven obertament. La predisposició al debat i la introducció dels conceptes de toxicitat, viabilitat de producció, temps, cost, etc., foren presents en tots els tallers; cercant que els participants generessin una opinió pròpia, i no imposada, sobre el material.

Per l'avaluació dels tres casos d'estudi segons els sis objectius de la comunicació científica, es pot afirmar que les metodologies de disseny participatives poden ser una bona eina per a la comunicació científica, sempre que se'n faci una bona selecció i s'apliquin correctament. També es pot afirmar que aquestes metodologies contribueixen a un allunyament de la idea de dèficit d'informació per part de la societat, o "model de dèficit" (Ahteensuu, 2012; Besley & Nisbet, 2013), ja que consideren a qualsevol persona capaç d'aprendre i aplicar la ciència per mitjà de la col·laboració i la creativitat.

Tal com es comenta en el marc teòric, hi ha certes barreres en el fet que hagin de ser els mateixos investigadors els qui s'encarreguin de comunicar i transferir el coneixement científic que generen (Dunwoody et al., 2009; Shugart & Racaniello, 2015; The Royal Society, 2006). Per aquest motiu, la visió dels dissenyadors com a facilitadors de sessions de co-creació (Fortier & Chung, 2013; Raijmakers et al., 2012) sembla una bona opció per deslliurar als científics d'aquesta tasca i, alhora, millorar la transferència de coneixement científic cap a la indústria, la societat, i l'àmbit educatiu.

7.3. Pensar amb les mans per interioritzar coneixement

El fet d'aplicar coneixement recentment adquirit en una activitat creativa cooperativa ajuda a interioritzar aquest nou coneixement?

Aquesta tesi persegueix la idea que la divulgació de la ciència no s'hauria de veure com una simplificació de continguts, sinó com un canvi en el llenguatge i en el context, per tal que conceptes complexos puguin ser compresos amb facilitat (Luzón, 2013). En aquest canvi de llenguatge, s'ha introduït la idea de "pensar amb les mans" com a recurs o forma d'aprenentatge; un recurs que ha quedat evidenciat en els tallers per la utilització de mapes de conceptes creats de manera cooperativa (Aguilar-Tamayo, 2006; Novak, 2012; Novak & Gowin, 1988; Romero et al., 2017). L'opció d'utilitzar mapes es va escollir pel fet que aquests faciliten el treball en equip, així com la visualització de temes complexos, a més d'aportar nombrosos beneficis pel què fa a la comprensió i a la inclusió del pensament en l'estructura cognitiva de qui els utilitza (Novak et al., 2005).

Tal com afirmen alguns autors, els mapes conceptuals faciliten que els continguts siguin menys vulnerables a ser oblidats (Novak, 2010; Romance & Vitale, 2013). En l'avaluació dels tallers amb no experts, l'enquesta feta als participants desvetlla que la majoria d'ells recordaven gran part del coneixement que s'impartí, tres mesos després de la realització dels tallers. D'altra banda, l'enquesta feta als professors sobre els tallers amb estudiants de secundària deixa entreveure alguns altres dels beneficis que aporten els mapes conceptuals, com ara la facilitat de síntesi d'idees, la pròpia expressió, la cooperació, la reflexió, l'organització d'idees, l'autonomia, la iniciativa i la motivació (Gallego-Arrufat et al., 2013; Molina-Azcárate, 2013; Ojeda Cabrera et al., 2007; Vidal-Ledo et al., 2007).

Per contra, es detectà un inconvenient en l'ús dels mapes conceptuals, sobretot en els tallers amb estudiants: el fet de no haver aplicat mai aquest tipus de recurs de treball féu que fos difícil entendre el funcionament de l'activitat, sobretot al principi. En els altres dos casos d'estudi també s'observà aquest fet, però els participants no ho expressaren tant, segurament pel fet de ser adults. A mesura que la dinàmica avançava, els participants treballaven, poc a poc, més còmodament amb la forma de treball. Queda en evidència, doncs, que un recurs poc o gens emprat és un recurs desconegut i, per tant, resulta confús utilitzar-lo. No obstant, com més s'utilitza, més s'integra i se'n gaudeix el seu ús (Mendonça, 2013; Soto-Carrión et al., 2014).

En els mapes conceptuals es treballa també la visualització. Allò que s'inclou en un mapa es capta després per la vista, i és justament l'ús del moviment (escriptura i dibuix) combinat amb l'ús de la vista (visualització de paraules, dibuixos, recursos gràfics i connexions) el què ha demostrat servir com a eina d'aprenentatge en els tres casos d'estudi. Segons Allen (2018), la traducció de coneixement científic en forma de recurs visual és una forma de mediació, ja que s'esdevé un canvi de llenguatge en el procés, el qual en facilita l'aprenentatge. Això és degut a que els recursos gràfics i visuals solen ser clars, fàcils de percebre, ràpids de processar, i gairebé sempre generen respostes emocionals (Bucchi & Saracino, 2016; Herring et al., 2017; H. Kennedy & Hill, 2018). En relació amb la percepció i les emocions, la satisfacció fou un dels aspectes que tant els no experts com els estudiants valoraren positivament a través de les enquestes. En els resultats s'observa una elevada satisfacció per part d'ambdós públics, la qual no és d'estranyar, donat que, en altres contextos, s'ha demostrat que les activitats que integren

ciència i art/disseny solen incrementar l'interès i la satisfacció per part del públic (Drumm et al., 2015; Ede, 2002; Halpern, 2012).

La gamificació i les activitats lúdiques solen tenir el mateix impacte, gràcies a la potenciació de la intel·ligència creativa, els estats emocionals positius, la receptivitat a l'aprenentatge, l'autodeterminació i el gaudi personal (Deterding et al., 2011; Fredrickson & Branigan, 2005; Ryan & Deci, 2000; Tumbaco et al., 2018). En cap dels tres casos d'estudi es va considerar afegir un grup de control basat en metodologies més tradicionals de transmissió de coneixement. Per aquest motiu, no és possible comparar aquests aspectes en relació amb altres mètodes d'aprenentatge. Tanmateix, com bé s'ha assenyalat, en l'avaluació de la satisfacció es pot entreveure que el gaudi propiciat per les activitats creatives fou valorat molt positivament.

La decisió de no incloure un grup de control es prengué per diverses raons. D'una banda, perquè l'experiència personal de l'autora ja servia com a "control". Tal com afirmen Wehrmann i Henze-Rietveld (2016), a través de la pràctica, l'experiència, el coneixement i la intuïció, els mediadors poc a poc van aprenent en base a l'anar fent, descobrint "el què funciona i el què no". D'altra banda, no s'inclogué el grup de control perquè la captació de participants es féu a través de plataformes i institucions a les quals els hi interessava promoure una activitat dinàmica i diferent, que resultés innovadora i atractiva. Per tant, resultà impossible generar una experiència d'aprenentatge tradicional amb un públic del mateix tipus i captat a través de les mateixes vies que en les experiències d'aprenentatges basades en metodologies de disseny participatives (els tres casos d'estudi).

Malgrat no tenir un grup de control, però, s'ha pogut avaluar l'ús de les metodologies de disseny en tallers participatius per a la transferència de coneixement. Experts, no experts i participants han aplicat, en cada cas, el coneixement recentment adquirit en una activitat creativa cooperativa. Aquest fet els ha ajudat a interioritzar el nou coneixement, tal com es plasma en la valoració de la transferència de coneixement de les enquestes. La decisió d'ensenyar per mitjà de l'aplicació directa del coneixement es relaciona amb la capacitat del disseny de resoldre problemes o reptes (OECD, 2017), així com amb la intenció de millorar les habilitats resolutives dels participants i la reflexivitat (L. Anderson, 2008; Killen, 2006). És cert que aquest enfocament ha desconcertat, en certs

moments, als participants, degut a la incertesa que suposava haver d'anar creant el camí cap a una resposta a un problema plantejat (Valdez & Bungihan, 2019). Tanmateix, com que la reflexivitat es fonamenta en el pensament lligat a l'acció (Salmon et al., 2017), tan bon punt els participants creaven a través de les mans les seves solucions, aquesta incertesa desapareixia per donar lloc a la gratificació.

El vincle d'ensenyament-aprenentatge necessari en qualsevol procés de transferència de coneixement (Choo et al., 2007; Sharon Lynch et al., 2005) es plasma en la relació entre facilitadora (transmissora) i participants (receptors). En les sessions de treball s'aconseguí:

- Desenvolupar en els participants les capacitats de pensar i processar nous coneixements (Choo et al., 2007; Valdez & Bungihan, 2019).
- Potenciar l'esperit crític, l'anàlisi lògica, la resolució de problemes reals, les habilitats comunicatives, la capacitat de raonar i la capacitat d'argumentar (Pimvichai et al., 2019; Sampson et al., 2009).
- Generar una experiència d'aprenentatge combinada (aula tradicional i aula invertida), basada en la pràctica però també en la recepció presencial d'informació (Díaz-Barriga & Hernández-Rojas, 2002; Eldy et al., 2019). D'aquesta manera, es conceberen les sessions com espais de debat, interacció i resolució de dubtes (Mason et al., 2013).
- Satisfer les tres motivacions de les estratègies d'aprenentatge actiu: la participació en el procés científic, l'apropiació activa del coneixement i el desenvolupament d'una actitud crítica i reflexiva (Karber & Wustmann, 2015).
- Concebre els tallers com a activitats de transferència de coneixement enfocades cap al desenvolupament d'aplicacions per al benefici de la societat (Valdez & Bungihan, 2019). Tot i que, per manca de temps i recursos, aquestes aplicacions no es duguessin a la realitat, els participants ja pogueren palpar la intenció que tenia la sessió d'aportar un retorn cap a les persones.

- Que els participants poguessin explorar el seu potencial al seu propi ritme, per mitjà de metodologies que permetien afrontar diverses situacions i ajudaven a propiciar la gestió i resolució de conflictes (Pimvichai et al., 2019).
- Que es respongués a les diferents necessitats d'aprenentatge dels participants (Einsiedel, 2008; Mamlok-Naaman et al., 2012; Minstrell & Stimpson, 2013), per mitjà del canvi de dinàmica constant, del treball en equip on el lideratge s'anava variant segons les capacitats de cadascú, i del treball a través de les mans, la visualització i el recurs del joc.
- Que els participants es sentissin satisfets amb l'activitat, amb els coneixements que hi havien après, i amb les metodologies emprades, les quals facilitaren la cognició i l'aprenentatge. Tal com queda demostrat en els tres casos d'estudi, un enfocament d'aprenentatge actiu facilita la comprensió de temes complexos, l'expressió del pensament, l'autonomia dels participants i la satisfacció general amb l'activitat (Baepler et al., 2014; Capone et al., 2017; Misseyanni et al., 2018; Uzunboylu & Karagözlü, 2017).
- Que es facilités l'aprenentatge no intencionat d'habilitats com ara l'observació, la presa de decisions, la capacitat de síntesi, la intuïció, la capacitat "d'aprendre a aprendre", la iniciativa i l'afectivitat (DeWitt & Storksdieck, 2008; Kandamby, 2018; Nesbit & Mayer, 2010; Romero et al., 2017).
- Que es dugués a terme un procés de coproducció de coneixement (Jasanoff, 2004; Pohl et al., 2010; Salmon et al., 2017), on els participants de cada taller produïren mapes de conceptes i prototips de productes de forma conjunta, aportant el seu coneixement, la seva expertesa i la seva experiència personal.

Per tots aquests motius, i pel fet que els participants apregueren a través de l'experiència i de l'aplicació del coneixement, es considera que en els tres casos d'estudi es donà un aprenentatge significatiu (Andueza-Correa, 2016; Dadach, 2013; Fry et al., 2009; Waldrop, 2015; J. Wilson, 2011).

7.4. Connexió entre ciència, indústria, societat i educació

Són les metodologies de disseny participatives una activitat beneficiosa per generar connexions entre la comunitat científica (en aquest cas, del grafè) i la indústria, la societat i els entorns educatius?

Per tal de saber si les metodologies de disseny participatives són una activitat beneficiosa en la relació entre la ciència i qualsevol altre àmbit, cal adreçar la pregunta de si aquestes metodologies segueixen els valors ètics de les tres disciplines subjacents de la comunicació científica: la ciència, la comunicació i la mediació/periodisme (Priest, 2010).

Primerament, pel què fa a les normes ètiques de la ciència (Merton, 1942), es pot assegurar que les metodologies de disseny participatives han demostrat propiciar el Comunalisme en els tres casos d'estudi, ja que aquests han estat una posada en comú de coneixements i tots els participants han contribuït a generar un ambient cooperatiu. En segon lloc, l'Universalisme s'ha propiciat en el fet d'aportar valoracions a favor i en contra, positives i negatives, del grafè. És clar, però, que l'actitud, la personalitat i les creences de les persones (tant dels participants com de la facilitadora) afecten en la manera com es transmeten i com es reben els continguts. Així doncs, segurament en els tres tallers hi ha hagut certa desviació o manipulació inconscient en aquest sentit, sobretot perseguint l'objectiu de fer la ciència atractiva pels participants (Dahlstrom & Ho, 2012). Per contra, el Desinteressament i l'Escepticisme Organitzat han estat dos valors essencials en els tallers. La figura de la facilitadora ha estat la d'acompanyament i, en cap cas, ha perseguit el benefici personal o la imposició del pensament. Ha estat, precisament, la persona que s'ha encarregat de fer pensar, reflexionar, examinar, jutjar i treure les seves pròpies conclusions dels continguts als participants. L'escepticisme saludable ha estat clau en els tres casos d'estudi (Ennis, 1962).

En referència a les normes ètiques de la comunicació (National Communication Association, 1999), en els tallers s'ha complert amb la Veracitat de la informació (de la qual se n'ha donat referències) i amb l'Equitat, ja que els tallers han demostrat ser inclusius, sobretot el dels estudiants de secundària. La Responsabilitat en la transmissió

de coneixements s'ha tingut en compte en l'explicació del grafè i en la resolució de dubtes, així com la Integritat Personal de la facilitadora. Finalment, el Respecte ha estat un valor fonamental en totes les dinàmiques de treball en equip.

En tercer lloc, segons les normes ètiques del periodisme o de la mediació (Society of Professional Journalists, 2014), la Veracitat i Precisió de la informació són essencials, i així ho han estat en els tallers, com també s'ha comentat en el paràgraf anterior. En referència al Principi de Limitació de Danys, no es va fer un estudi previ als tallers dels danys potencials que la informació transmesa hagués pogut ocasionar. Es va considerar que el contingut transmès era molt bàsic i no afectava directament cap problemàtica moral important. Finalment, el Principi d'Independència, que es basa en la servitud per part dels mediadors, es complí gràcies a la figura de la facilitadora, com a acompanyant i guia en les diferents fases dels tallers.

Així doncs, la majoria de normes ètiques de les tres disciplines de les quals en depèn la comunicació científica es compleixen en els tres casos d'estudi. Addicionalment, per la capacitat que té el disseny de penetrar en altres àmbits (European Commission, 2007), així com pel fet que el disseny és un mitjà per resoldre problemes de forma sistemàtica (Wehrmann & van der Sanden, 2017), les metodologies de disseny participatives poden propiciar, fàcilment, la relació entre ciència i indústria, ciència i societat, i ciència i educació. Així ho ha demostrat el fet que en totes les sessions del tres casos d'estudi s'obtinguessin uns mapes de treball plens d'idees i una transferència de coneixement favorable entre facilitadora i participants. En l'anàlisi dels tallers, hi ha hagut una evolució del primer cas d'estudi a l'últim. En el primer s'analitzen sobretot les propostes de productes; en el segon es barreja l'anàlisi de propostes amb un qüestionari i, en el tercer, únicament s'avalua l'efectivitat de la comunicació i de les metodologies mitjançant el qüestionari. Aquest canvi en l'avaluació s'ha realitzat perquè, al llarg de la tesi, s'ha considerat més important l'aprenentatge que els resultats, pròpiament dits, dels mapes dels tallers. Aquests mapes s'haurien d'analitzar en cas que es volguessin extreure noves oportunitats de recerca, desenvolupament i innovació de cara al futur.

Seguint amb la idea de la cooperació, les relacions entre ciència i indústria són, com s'ha esmentat en el marc teòric, un vehicle pel coneixement i el creixement econòmic (Mueller, 2007; Schmickl & Kieser, 2008). D'altra banda, les relacions entre ciència i

societat promouen la creació d'una societat més especialitzada (Haywood & Besley, 2014), i el mateix passa en la relació entre ciència i entorns educatius. L'experiència, els contextos socials, la proximitat a una temàtica i la potenciació de la motivació intrínseca (van der Linden et al., 2015), en qualsevol d'aquestes tres relacions, beneficien la comunicació científica i, consegüentment, la transferència de coneixement. Els tres casos d'estudi s'han fonamentat en aquests aspectes, ja que han estat sessions presencials (experiència) on els participants han treballat en equip (context social) i en contacte directe amb el grafè (proximitat) a través de metodologies centrades en la creativitat, l'expressió, el raonament i el desenvolupament humà (motivació intrínseca).

Finalment, el fet de comptar amb una facilitadora en cada sessió ha fet que es potenciés la innovació i que es facilités l'enfrontament a incerteses o conflictes (Wehrmann & van der Sanden, 2017). En el procés iteratiu que representen tant la innovació com la col·laboració (Schwartz et al., 2005), s'ha pogut entendre els interessos dels participants, dialogar, enfocar les estratègies de treball i modificar-les quan ha estat necessari, potenciar habilitats cognitives, afectives i socials, reforçar el pensament crític i generar solucions; tot això comptant amb el suport de la figura de la facilitadora com a “experta adaptativa” (Ahteensuu, 2012; Ennis, 1962; Hatano & Inagaki, 1986; Wehrmann & van der Sanden, 2017). Aquests aspectes han contribuït a millorar tant la confiança transmesa com la credibilitat; dos factors que defineixen l'efectivitat que té qualsevol procés de comunicació científica, sobretot de cara a la interacció entre la comunitat científica i altres àmbits com la indústria, la societat i els entorns educatius (Frewer et al., 2003; Wynne, 1992, 2006).

7.5. Beneficis de les metodologies de disseny participatives

Les metodologies de disseny participatives poden oferir altres beneficis (socials, culturals, econòmics, etc.) més enllà del pedagògic/educatiu en la seva aplicació en tallers per comunicar avenços científics?

Les metodologies de disseny participatives prenen sempre una perspectiva centrada en la societat, així com el treball en equip com a motor de funcionament (Curedale, 2016; Dorst, 2011; Sanders, 2002; Sanders & Stappers, 2008). Només en aquest fet ja

s'evidencia l'interès social en la seva aplicació. A més a més, permeten facilitar les tres categories de la mediació: la gestió del coneixement, l'enllaç entre investigadors i responsables de decisió, i la capacitat personal (Ward et al., 2009).

El públic que sol participar en esdeveniments de divulgació de la ciència és un públic amb cert nivell cultural, que aprecia l'art i la ciència, i pren comportaments proactius en relació amb aquestes disciplines (Drumm et al., 2015; Ede, 2002; Kato-Nitta et al., 2018). Ara bé, en els tallers realitzats amb no experts, es va preguntar als participants si recomanarien l'activitat als seus amics i familiars. Gairebé tots respongueren que sí, fet que permetria obtenir més participants en futurs tallers. Degut a que la recomanació per part de persones properes és, actualment, la guia de la majoria de les decisions humanes (Ajzen, 1991), segurament aquesta esfera cultural de la qual en surten els participants dels esdeveniments de vinculació ciutadana amb la ciència, cada cop seria més gran si s'apostés per estendre l'ús de metodologies participatives en el sector. Així doncs, l'increment cultural de la societat és un dels beneficis que poden aportar les metodologies de disseny participatives.

Altres beneficis estan relacionats amb les recomanacions sobre l'ús de les metodologies de disseny participatives (Doorley et al., 2018). Una recomanació és "focalitzar en l'empatia i els valors humans" i, una altra, "enfocar-se en l'acció". El benefici que s'extreu d'aquestes dues recomanacions és que els resultats tangibles d'una sessió creativa poden arribar a esdevenir accions, productes, serveis o polítiques reals, i tenir una aplicació a la societat (benefici econòmic, polític, i/o comercial). De la combinació de dues altres recomanacions en surt també un benefici: "comunicar amb claredat i coherència", i "treballar des de la col·laboració i la diversitat" aporta el benefici de poder generar noves relacions interpersonals, de desenvolupar habilitats comunicatives i socials, i d'acceptar i tolerar les diferències (culturals, cognitives, intel·lectuals, emocionals, etc.) de les persones amb les què es treballa (beneficis socials). Aquestes característiques no s'han analitzat en els tallers, ja que per avaluar el primer benefici hauria estat necessari fer un seguiment de major durada; temps del qual no es disposava. Per avaluar el segon benefici, hagués estat necessària la col·laboració d'un psicòleg o psicòloga, ja que el pensament, les creences i la conducta de cada persona influeix en tots els seus actes, desenvolupament d'habilitats i aprenentatge.

La millor manera d'avaluar si un procés de comunicació científica és efectiu o no, és a través de l'avaluació de la implementació de canvis a partir de la integració de nous coneixements (Besley, Dudo, & Yuan, 2018; Fishbein & Cappella, 2006; Harre, 2011; Lee & Garvin, 2003). Així doncs, un altre benefici cap a la societat que poden aportar les metodologies de disseny participatives és que els participants de les sessions adoptin el coneixement après en conductes i hàbits, en l'adquisició de productes, en actituds o en altres aspectes del seu dia a dia. Els factors demogràfics i socioeconòmics també afecten en aquest sentit (Castelfranchi et al., 2013; Falk, 2009). Com que no s'ha pogut realitzar un seguiment de la implementació de canvis per part dels participants dels casos d'estudi, es proposa realitzar una recerca posterior a aquesta tesi per poder-ho avaluar.

8. CONCLUSIONS

En aquest capítol s'enumeren les principals conclusions extretes de la realització d'aquesta tesi. Per cada una d'elles s'elabora una explicació, que es fonamenta tant en el què es mostra en els capítols anteriors de la present tesi, com en el què s'inclou en els articles adjunts als annexos. S'elaboren un total de catorze conclusions, set de les quals fan referència a l'anàlisi de contingut (Article I) i set es refereixen a l'aplicació de metodologies de disseny participatives en tallers per a la comunicació i transferència de coneixement de temes científics (Articles II, III i IV):

1. La cobertura periodística sobre el grafè en la versió en línia d'*El País* i *The Guardian* presenta pics de publicació similars, relacionats amb esdeveniments socials, culturals, polítics i econòmics entorn al material.

Ambdós diaris segueixen tendències similars en el nombre de notícies publicades per any. No es tracta d'una progressió lineal, ni molt menys exponencial, com és el cas del nombre de d'articles científics que s'han publicat sobre el grafè en el mateix període de temps (Ahn et al., 2015; Buxton, 2013; Wang et al., 2012), sinó que els anys de major publicació es relacionen amb certs esdeveniments.

El primer fet a comentar és que entre els anys 2004 i 2009 no hi ha cap notícia en cap dels dos diaris sobre el grafè, probablement degut al desconeixement, en aquells anys, de la importància que tindria el material en el futur. El primer pic de publicació s'esdevé l'any 2010, quan Andre Geim i Konstantin Novoselov obtenen el premi Nobel de física pel descobriment del grafè (Novoselov et al., 2004). En comparativa amb altres anys, aquest primer pic recull, en realitat, molt poques notícies. No obstant, es considera pic ja que es passa de no publicar res sobre el grafè a que cada diari li dediqui l'atenció. L'any 2011 només hi ha una notícia sobre el material en cada diari, sent la primera davallada de publicacions, i l'any 2012 s'igualava al 2010. El segon pic, i alhora el més elevat, succeeix entorn del llançament de la *Graphene Flagship* (Hirsch, 2015) a Europa, l'any 2013. En el cas de *The Guardian*, el major pic es troba directament en aquest any, mentre que en el cas d'*El País* el volum de notícies d'aquest increment de publicació es reparteix

entre els anys 2013 i 2014, sent el 2014 l'any de major publicació amb una notícia de diferència. En els següents anys, i fins al 2017, les peces periodístiques sobre el grafè disminueixen en quantitat en els dos diaris.

Els dos fets històrics mencionats com a punts de canvi en la publicació de peces periodístiques sobre el grafè (l'obtenció del premi Nobel i la creació de la *Graphene Flagship*) tenen repercussions socials, culturals, polítiques i econòmiques; i ambdues es van esdevenir a Europa, seu dels dos diaris. En endavant, caldria seguir observant l'evolució de la publicació de notícies en aquests diaris, per veure si a llarg termini sí que s'observa una evolució creixent o decreixent de volum de notícies, o bé si es manté la tendència de pics de publicació en funció dels esdeveniments històrics relacionats amb el grafè.

- 2. La cobertura periodística que fa *The New York Times* sobre el grafè és baixa i estable entre els anys 2007 i 2016, i presenta un pic de publicació l'any 2017 relacionat amb el canvi de polítiques internes del diari. El 100% de les notícies que publica són pròpies.**

The New York Times no reflecteix els dos fets històrics que marquen l'increment de publicació sobre el grafè en *El País* i *The Guardian*. Per contra, manté una cobertura bastant estable del grafè entre els anys 2007 i 2016. Aquesta estabilitat gira entorn a una notícia per any, sent, dels tres diaris analitzats, el que té menys notícies en total (19 peces periodístiques enfront a les 22 de *The Guardian* i les 26 d'*El País*). Igual que els altres dos diaris, no té cap article publicat entre els anys 2004 i 2006, però contràriament a ells, sí que publica una notícia l'any 2007 i una altra l'any 2009. L'únic pic de publicacions es dona l'any 2017, on passa d'una a nou notícies. Aquest pic desmesurat es correspon amb l'any en què hi ha un canvi de president en els Estats Units, país al qual pertany el diari en qüestió. No obstant, cap de les noves polítiques de govern implica un canvi en la comunicació de coneixement científic en els diaris. Per altra banda, l'any 2014, *The New York Times* transfereix les seves notícies científiques a *The Science Times*, una nova secció del diari amb pàgina web pròpia. Probablement, en el transcurs de transferir la informació científica al nou web i la creació de noves polítiques internes en la gestió de la secció científica del diari, hi ha un canvi pel què fa a la freqüència de

publicació de certs temes, com ara el grafè. A fi de saber més sobre aquest canvi, caldria seguir investigant la tendència de publicació en els propers anys.

Com a altre fet rellevant pel què fa a la cobertura periodística d'aquest diari, en comparació amb *El País* i *The Guardian*, cal comentar que totes les seves peces són d'elaboració pròpia; dels periodistes del diari. Els altres dos diaris publiquen, també majoritàriament, notícies escrites pels seus periodistes, però alhora adopten altres fonts externes, com ara laboratoris, centres tecnològics o empreses, altres serveis o agències de notícies, i articles escrits pels lectors. El total de peces periodístiques procedents de fonts externes a *El País* representa el 23% de les notícies que publica sobre el grafè, i a *The Guardian* les fonts externes representen el 32%.

- 3. Les peces periodístiques sobre el grafè solen prendre el format d'article general, excepte a *The Guardian*, on el nombre d'articles generals és gairebé igual al d'articles de fons i les peces periodístiques són generalment més llargues; fet que desvetlla l'interès del país, Regne Unit, en la matèria.**

El diari amb més fonts externes, *The Guardian*, és també el diari amb més articles de fons. Alhora, és el diari pertanyent al país on el grafè s'aïlla per primer cop i, per tant, el país que més està explotant aquest descobriment amb la creació d'infraestructures dedicades al material en tot el seu territori; en especial, a Manchester (The University of Manchester, 2015). De les 22 peces sobre el grafè publicades a *The Guardian*, 9 són articles generals i 8 articles de fons. La resta, es classifiquen com a opinió (4) o altres (1). *El País* també conté articles d'opinió, concretament 3. No obstant, la distribució entre articles generals i de fons és molt diferent, amb 16 del primer tipus i 5 del segon. L'altra diferència entre aquests dos diaris és que *El País* també publica dues entrevistes, format que no empra ni *The Guardian* ni *The New York Times*. Aquest últim, *The New York Times*, publica 2 articles d'opinió, mentre que els 17 restants són articles generals, assimilant-se als números d'*El País*, si no fos pels articles de fons i les entrevistes.

Degut a que l'extensió dels articles de fons és major que la dels articles generals, *The Guardian* conté les peces periodístiques més llargues, amb una extensió, sobretot, d'entre 400 i 1000 paraules. A aquest el segueix *El País*, amb extensions

d'entre 200 i 800 paraules i, finalment, *The New York Times* és el diari amb unes notícies més curtes. La majoria de les peces periodístiques en aquest diari són d'entre 200 i 400 paraules. En nombre de peces sobre el grafè, com s'ha vist anteriorment, *El País* és qui queda al capdavant, amb 26 ítems. No obstant, *The Guardian* demostra el seu interès per comunicar el grafè tant en nombre d'articles de fons com en nombre de paraules per article dedicades al material.

- 4. El principal focus temàtic de les peces periodístiques sobre el grafè en els tres diaris és la recerca i el finançament (40%-46% del cos de text), seguit del desenvolupament d'aplicacions (28%-31%) i, en tercer lloc, la caracterització del material (19%-26%).**

Degut, probablement, als encara pocs anys d'existència del grafè, la recerca i el finançament són el més rellevant en la comunicació del material als mitjans. En els diaris es comenta la importància de la recerca en el sector i, alhora, la necessitat de finançament per fer-la possible. Moltes de les notícies analitzades mencionen el fenomen de la *Graphene Flagship* i el finançament d'empreses i governs europeus. El desenvolupament d'aplicacions, segon tema més tractat en els textos analitzats, es tracta majoritàriament de manera especulativa, i també es mencionen algunes aplicacions ja existents. Cal destacar, però, que el terme "aplicació" es fa servir tant per prototips com per productes acabats, de manera que no hi ha exactitud ni claredat, en certs casos, de si s'està parlant de realitat o de potencialitat. Finalment, la caracterització del material ocupa la tercera posició en quantitat de text dedicada. En totes les notícies hi ha, com a mínim, una frase dedicada a definir i/o caracteritzar el grafè. En les notícies on s'hi dedica més part del text, l'ús de metàfores i comparatives hi és molt comú per exaltar-ne les propietats.

- 5. En les peces periodístiques analitzades, s'entreveu l'establiment d'Europa i, en particular, el Regne Unit, com a centre neuràlgic del grafè.**

Un establiment que es plasma en el fet que *The Guardian* accentua l'enfocament nacional en les peces periodístiques sobre el grafè, i fins i tot el regional, mentre que *The New York Times* es centra en l'interès internacional. *El País* focalitza per igual en ambdós àmbits, i també publica algunes peces neutrals. D'altra banda, els

països i continents més citats pels diaris són, en aquest ordre: Regne Unit, Estats Units, Europa, França i Xina a *The Guardian*; Estats Units, Regne Unit, Corea del Sud, Holanda i Amèrica a *The New York Times*; i Espanya, Regne Unit, Europa, Estats Units i Xina a *El País*. Com és d'esperar, els tres diaris citen, en primer lloc, els seus respectius països. No obstant, també s'observa que el Regne Unit i els Estats Units estan entre els cinc països i continents més citats dels altres dos diaris, establint-se com els països més citats en total, en aquest ordre (Regne Unit amb 37 mencions i Estats Units amb 30). En el total, Espanya es situa en tercera posició amb 19 cites, seguida d'Europa amb 18, Xina amb 10, Corea del Sud i Suècia amb 8, i la llista segueix amb fins a setze països i continents més.

Els tres països als quals pertanyen els diaris són pioners en la producció i la recerca en grafè (Nixon, 2015; Phantoms Foundation, 2019), però malgrat Xina i Índia també ho són, Xina es menciona únicament 10 vegades i l'Índia zero. Àsia sí que es cita com a conjunt, però menys vegades que països com Corea del Sud, Suècia i Alemanya. En total, es mencionen molts més països europeus que d'altres continents, fet que segurament es deu a que dos dels tres diaris analitzats formen part del territori europeu i un d'ells pertany al país del descobriment del grafè.

6. Hi ha coincidència entre les propietats i els sectors més mencionats a les peces periodístiques sobre el grafè d'*El País*, *The Guardian* i *The New York Times*. A més, hi ha relació entre propietats més citades i sectors més citats.

Les propietats més citades en el conjunt de peces periodístiques dels tres diaris són la resistència del material, la conductivitat elèctrica, el gruix, la seva configuració plana hexagonal, la transparència i la flexibilitat. D'altra banda, els sectors més citats són l'electrònica i el desenvolupament de dispositius, seguits del transport, el medi ambient, l'aplicació en productes quotidians, la medicina i les aplicacions químiques i biològiques. Les propietats destacades tenen a veure amb l'estructura del grafè, la seva composició, i el seu rendiment o actuació, mentre que els sectors, tot i que són molt variats, estan relacionats pel fet que tots ells integren aplicacions on l'electrònica hi té un pes important. No resulta estrany, llavors, que precisament el sector que encapçala la llista sigui l'electrònica. Això desvetlla el clar interès de

la indústria en el desenvolupament d'aplicacions en aquest camp, per després beneficiar la resta de sectors mencionats.

El gruix del grafè i la seva configuració plana, així com la seva transparència i flexibilitat són propietats molt ben valorades en la indústria electrònica i, particularment, en el desenvolupament de dispositius. No cal dir que la conductivitat elèctrica és l'aspecte clau en aquest sentit. A més a més, la lleugeresa del grafè fa que sigui un material molt desitjat en el sector de l'automoció, així com per productes quotidians (com, per exemple, roba esportiva, construcció, embalatge, electrodomèstics, domòtica, etc.). Altres propietats que es mencionen en les peces analitzades, com ara la biocompatibilitat, la resistència química, la impermeabilitat o les propietats bactericides són d'alta importància en el sector de la medicina i en altres aplicacions bioquímiques, com ara sensors. Per la seva abundància a l'escorça terrestre, la hidrofòbia, la capacitat de filtratge i l'efecte fotoelèctric, entre d'altres, el grafè és molt rellevant en el sector mediambiental.

Amb tots aquests exemples de relació, i molts altres que se'n podrien fer, es visualitza una clara relació entre les propietats mencionades en els diaris i els sectors del mercat. En les notícies es donen molts exemples d'aplicació que relacionen propietats i sectors, des del desenvolupament d'òrgans artificials fins a sensors de pol·lució, potabilització d'aigua, làsers, trens d'alta velocitat, recobriments anticorrosius, panells solars, aplicacions militars, etc.

7. La major part de les peces periodístiques sobre el grafè analitzades tenen un to marcadament positiu, i es fa ús de recursos literaris per accentuar els beneficis i avantatges del grafè.

La major part de les peces periodístiques sobre el grafè publicades a *El País* i *The New York Times* tenen un to marcadament positiu, i a *The Guardian* hi ha aproximadament el mateix nombre de peces amb to equilibrat i amb to positiu. En els tres diaris, i com a característica intrínseca del llenguatge periodístic, s'empra un gran nombre de recursos literaris per accentuar els beneficis i avantatges del grafè. En primer lloc, les cites textuais s'utilitzen per fer més creïble el contingut que es presenta, ja que normalment es citen científics experts en l'àmbit del grafè

i/o de la nanociència i nanotecnologia. En segon lloc, la comparativa és el recurs més utilitzat, i aquesta normalment s'uneix a hipèrboles per exaltar el rendiment del grafè envers al d'altres materials com l'acer, el diamant o el coure.

Els pocs aspectes negatius comentats en les peces periodístiques analitzades inclouen, sobretot, temes d'escalabilitat i qualitat de la producció i comercialització, suport econòmic, temps, toxicitat i regulació. Cada diari focalitza més en alguns temes negatius que en altres. *El País* comunica l'escalabilitat, el temps i la qualitat com els temes més preocupants, fet que segurament es deu a que Espanya és líder en producció de grafè i aquests són els temes que estan més a l'ordre del dia. *The Guardian* es centra en l'economia i, en segon lloc, en la comercialització (també relacionada amb el factor econòmic) i l'escalabilitat; possiblement per la situació econòmica que comporta el Brexit i la consegüent incertesa econòmica que comporta en tots els àmbits, inclòs el finançament de projectes científics. *The New York Times* comenta, sobretot, els aspectes negatius relacionats amb la producció i escalabilitat del grafè, temes importants a Estats Units, ja que és líder en generació de patents relacionades amb el grafè (Intellectual Property Office, 2015).

8. Les metodologies de disseny participatives serveixen com a eina per fusionar el coneixement científic sobre el grafè amb el coneixement de les empreses dedicades al desenvolupament de productes per a diferents sectors del mercat.

Les metodologies de disseny participatives han demostrat ser capaces de trencar la barrera existent entre el llenguatge complex dels científics i el llenguatge pragmàtic i comercial de les empreses, tot creant un llenguatge comú, fàcil i dinàmic. Les sessions anomenades “*Graphene Days*” han ajudat a establir connexions entre diferents grups d'interès del grafè i han reduït la distància entre el món acadèmic i la indústria en aquest sector, dins l'estat espanyol. Es desconeix actualment si els resultats de les sessions han esdevingut productes reals en alguna de les empreses participants, però es pot assegurar que en les sessions es crearen sinèrgies entre centres tecnològics i empreses que a dia d'avui continuen.

L'assistència en els tallers de destacats productors de grafè i conegudes empreses de desenvolupament de producte en l'estat espanyol ha ofert una qualitat de les converses molt elevada. A més, s'ha aconseguit un treball en equip real, així com la generació de propostes innovadores per a l'aplicació del grafè. Les sessions també han proporcionat eines i directrius als participants per a la logística i documentació del taller, a fi que els propis participants poguessin aplicar les mateixes dinàmiques en els seus respectius llocs de treball, en el futur. En definitiva, a través dels “*Graphene Days*” s'ha aconseguit crear una activitat on el diàleg entre científics i empresaris sigui fàcil i fluid. D'altra banda, gràcies a que s'han realitzat cinc sessions, s'ha pogut modificar la metodologia en cada iteració fins arribar a un format considerat com a òptim pel què fa a l'equilibri entre realitat i especulació, així com perquè les propostes desenvolupades es basin alhora en propietats i en sectors. Per tal d'aconseguir aquest equilibri, les metodologies emprades han facilitat poder treballar amb escenaris futurs, fet que normalment no fan ni científics ni empresaris.

Per tot el comentat, es pot afirmar que el primer cas d'estudi exemplifica com les metodologies de disseny participatives aplicades en tallers temàtics per sectors poden aconseguir transferència de coneixement entre ciència i indústria, tot generant un nou llenguatge comú i potenciant la participació i l'interès dels assistents.

9. Les metodologies de disseny participatives són un bon recurs per comunicar i transferir coneixement científic a la societat.

El segon cas d'estudi demostra que les metodologies de disseny participatives permeten generar accions directes entre coneixement científic i societat; accions que, gràcies a la disminució d'intermediaris, poden transferir el coneixement amb la mínima pèrdua o transformació d'informació. En l'enquesta posterior a la sessió es mostra la satisfacció dels participants amb l'activitat, que la consideren molt innovadora i alhora apropiada per a la transmissió de nous avenços científics. L'enquesta també mostra la retenció dels coneixements adquirits en el taller, tres mesos després de realitzar-lo. La capacitat que té el disseny per impulsar la imaginació i la creativitat és una eina adequada en la realització de tallers de

comunicació científica, ja que incrementa l'interès dels participants, fa que aquests estiguin atents en tot moment, els motiva i els ajuda a comprendre conceptes complexos (Doorley et al., 2018; Dorst, 2011; Hadim & Esche, 2002).

El treball en equip i la presència de facilitadors/es en els tallers ha estat essencial per a un bon aprofitament de les sessions. El fet d'aplicar les metodologies de disseny participatives en tallers per al públic més ampli de la societat fa que qualsevol persona es pugui convertir en co-dissenyador/a de l'experiència i dels seus resultats (Sanders, 2000). En activitats d'aquest tipus, els participants descobreixen el coneixement a través de l'experiència, i el fet de "pensar amb les mans" ajuda a interioritzar els continguts, tal com s'ha evidenciat en el cas d'estudi amb no experts. Així mateix, s'ha reduït el sensacionalisme i altres interessos per part de la facilitadora, ja que qualsevol informació s'ha debatut obertament i s'han ofert diferents punts de vista sobre les temàtiques tractades.

10. Les metodologies de disseny participatives són un bon recurs per portar els darrers descobriments i avenços científics a les aules de secundària.

Degut als formats atractius que acostumen a prendre els materials dissenyats per un taller de creativitat, les metodologies de disseny participatives aplicades en tallers poden ser una bona manera de dur la ciència a les aules. El cas d'estudi "Gràfè a l'Aula" així ho ha demostrat, i ha estat valorat molt positivament tant per alumnes com per professors. El fet de plantejar un conjunt d'eines creatives enlloc d'una sessió dóna als professors de ciència i tecnologia la possibilitat de replicar la sessió o taller tantes vegades com vulguin. Així mateix, els serveix de referència per transmetre qualsevol altre avenç científic als seus alumnes.

En el cas d'estudi, les metodologies de disseny participatives han demostrat facilitar l'aprenentatge de temàtiques complexes, i el fet que la dinàmica canviï en intervals de temps curts, i estigui basada en el treball en equip i el joc ha captat l'atenció dels alumnes i n'ha facilitat la motivació. Un taller d'aquest tipus permet mantenir el rigor científic mentre alhora es dóna llibertat als estudiants per treballar al seu ritme i proposar o debatre tot el què es vulgui.

L'adaptació de continguts al nivell dels estudiants ha estat molt important, així com que la dinàmica generada es centrés en els estudiants i no en el/la professor/a, facilitador/a o dinamitzador/a de l'activitat. Hi ha una sèrie d'aspectes col·laterals que s'han treballat en l'aplicació de metodologies de disseny participatives amb estudiants, com ara l'autonomia i autoregulació, el lideratge dins el grup de treball, l'ajuda als companys, l'equitat, el pensament crític, la resolució de conflictes, l'ús de les pròpies habilitats o l'autoconfiança. L'empatia transmesa pel facilitador/a, així com la claredat en les explicacions i la proximitat als alumnes són factors determinants per l'èxit o el fracàs de l'activitat. La mida dels grups també ho és, i la dedicació temporal a cada dinàmica.

11. L'aplicació de metodologies de disseny participatives funciona de manera més favorable si els grups de treball són petits i/o si hi ha més d'un/a facilitador/a.

Els tres casos d'estudi han demostrat que els grups més petits o amb més facilitadors/es han estat els més productius. En el cas dels tallers amb experts, l'última sessió, que compta amb més facilitadors/es, és la que té millors resultats i també una major satisfacció per part dels participants. En el cas dels tallers amb no experts, tots els grups es dissenyen amb pocs participants, i tots han funcionat molt bé. Finalment, l'enquesta del taller amb estudiants de secundària revela que tant professors com alumnes haguessin preferit grups de treball més petits per millorar la participació de tots els integrants. Per tota l'experiència recopilada en els tallers, es podria dir que un grup d'entre quatre i sis persones és el més indicat per a sessions amb nens/adolescents o amb no experts, i un grup d'entre sis i vuit persones és la millor opció pels tallers amb experts.

12. Els tallers participatius basats en metodologies de disseny són inclusius.

Les metodologies de disseny participatives són, en si mateixes inclusives. En primer lloc, pel llenguatge comú que es crea en cada sessió. En segon lloc, perquè treballen múltiples intel·ligències i empren la creativitat com a via per resoldre qualsevol conflicte. En tercer lloc, perquè els materials que s'empren en les sessions són perceptibles per diferents sentits, amb la qual cosa promouen la inclusió de diferents tipus de cognició. A més a més, el fet que es canviï de

dinàmica sovint fa que, si un participant no es sent a gust amb una metodologia, es pugui sentir més a gust amb la següent. D'altra banda, el cas d'estudi centrat en l'aplicació de les metodologies a les aules de secundària ha dut a la participació d'una alumna amb necessitats educatives específiques en un dels tallers. Gràcies a aquest fet s'ha pogut observar que l'alumna ha participat en totes les dinàmiques igual que qualsevol altre company o companya.

Un altre motiu pel qual aquestes metodologies es consideren inclusives és perquè promouen el treball en equip en totes les dinàmiques. També es redueix la possibilitat que una persona domini la conversa, ja que la majoria de comentaris es fan en forma d'anotacions, que bé poden ser textuals o bé dibuixos. Així, qualsevol persona pot tenir veu, fins i tot les més tímides. Finalment, la inclusió també es justifica en el fet que es tracta de metodologies democratitzadores, on no es crea cap jerarquia. Es pot generar competitivitat si es tracta de treball amb varis grups dins d'un mateix espai, però el què sí que hi és sempre present és la cooperativitat.

13. Els aspectes més rellevants en l'aplicació de les metodologies de disseny participatives en tallers per a la transferència i comunicació de coneixement científic són (a) la selecció dels participants, (b) la selecció de les metodologies, (c) la distribució del temps, (d) la perícia del facilitador/a i (e) l'objectivitat en la informació transmesa.

Per tot el què s'ha comentat en la justificació de les conclusions anteriors i en base a l'experiència en l'organització i coordinació dels tallers en els tres casos d'estudi, s'afegeix aquesta conclusió, que és aplicable a qualsevol àmbit (experts, no experts, estudiants i altres). Aquesta conclusió fa referència a l'ús o aplicació de les metodologies de disseny participatives en l'àmbit de la comunicació científica de qualsevol avenç, més enllà del grafè.

En primer lloc, una bona selecció dels participants (a) implica trobar un equilibri, tant pel què fa al nombre de participants, com a les seves capacitats. Si el grup de treball és massa gran, no tothom participa tota l'estona de les activitats, com s'evidencia en els tallers amb estudiants. D'altra banda, si en un grup hi ha experts de diferents àmbits, cal tenir en compte les seves capacitats per atendre a l'àmbit

sobre el qual es vol treballar, tal com es fa en el taller amb expert i els diferents àmbits tractats. En segon lloc, la selecció de les metodologies (b) és essencial per a un bon funcionament de la sessió. Tal com es detalla en el marc metodològic d'aquesta tesi, cada metodologia respon a certes fases del procés creatiu, i és important que cadascuna s'adigui als objectius de cada fase i de cada sessió en el seu conjunt. En tercer lloc, una bona distribució del temps (c) ajuda a mantenir l'atenció i motivació dels participants. Una activitat massa curta fa que aquests perdin l'interès i es sentin pressionats per finalitzar una tasca amb poc temps, mentre que una activitat massa llarga fa que s'avorreixin i/o es distreguin.

En quart lloc, l'expertesa o perícia del facilitador o la facilitadora (d) és clau en el desenvolupament de qualsevol sessió creativa. Així es demostra en el fet que la sessió amb experts que millor funciona és la que inclou un major nombre de facilitadors/es. Les enquestes dels tallers amb estudiants també revelen que la satisfacció general de la sessió està equilibrada amb una bona valoració de la tasca de la facilitadora. Per últim, i en cinquè lloc, l'objectivitat en la informació transmesa (e) es destaca com a important pel fet que totes les sessions dels casos d'estudi estan dissenyades per aportar coneixement científic de manera que el sensacionalisme o altres recursos discursius com els emprats en premsa no transformin el contingut. Tant els participants dels tallers amb no experts com els professors dels alumnes dels tallers amb estudiants mostren la seva satisfacció amb el fet que la informació transmesa fos objectiva i fiable, amb un llenguatge ben adaptat als participants.

En l'apartat de suggeriments professionals, pertanyent al següent capítol de la tesi, s'ofereixen algunes recomanacions per a l'aplicació de metodologies de disseny participatives en tallers de comunicació científica, tot fent èmfasi en aquests cinc aspectes.

14. L'ús de metodologies de disseny participatives per a la comunicació d'avenços científics com el grafè pot oferir beneficis socials, culturals i econòmics.

Tal com s'ha comentat en la discussió, el fet de realitzar tallers de vinculació de la societat amb la ciència a través de metodologies de disseny participatives pot

aportar un increment cultural de la societat. D'una banda, perquè es tracta de sessions participatives on es pot treballar amb diferents interlocutors, segons els objectius que es persegueixin. D'altra banda, perquè les metodologies de disseny impliquen creativitat, que és el motor de la innovació. A més a més, en l'aplicació d'aquestes metodologies sempre es dona un procés de creació, del qual en resulten propostes de productes, serveis, accions, polítiques, etc. Aquestes propostes permeten convertir-se en resultats tangibles i, per tant, poden aportar beneficis econòmics, polítics, i de desenvolupament en molts sentits.

Com a beneficis socials, la tolerància, el diàleg, l'aprenentatge, el treball en equip, la resolució de conflictes i la pròpia expressió, entre d'altres, són alguns dels aspectes més destacables en les sessions. També destaca com a benefici social i cultural el fet d'incrementar l'interès i l'apreciació pel grafè per part dels participants en els tallers amb no experts i amb estudiants. Tal com s'ha vist en el marc teòric, l'apreciació per la ciència fa créixer l'interès per temes científics i, per tant, el coneixement científic, que a la vegada genera actituds envers la ciència (Malka et al., 2009; Sturgis & Allum, 2004; Takahashi & Tandoc, 2016).

Per poder valorar millor aquesta conclusió caldria augmentar la recerca en la implementació de canvis en la vida diària de cadascun dels participants, ja que un darrer benefici social, cultural i econòmic de l'aplicació de metodologies de disseny participatives en tallers de comunicació científica és l'adopció dels coneixements apresos en les sessions en conductes, hàbits i actituds. Per tots els beneficis comentats en aquesta conclusió, es considera oportú mencionar que aquestes metodologies es poden aplicar en molts altres àmbits, i es recomana altament el seu ús, sempre i quan es tinguin en compte els suggeriments professionals oferts en el següent capítol.

9. REFLEXIÓ FINAL

La ciència forma part de la cultura. N'és un aspecte clau, com en pot ser l'art, la música o la comunicació. Tant és així, que la meua tesi es centra en potenciar aquesta cultura, en la mesura que pugui. El què aquestes pàgines presenten en tots els seus capítols no és més que un intent d'aproximar aquesta part tan important de la cultura que és la ciència a tots els membres de la societat, des d'experts fins a adolescents.

Aquesta tesi demostra que les metodologies de disseny participatives són una opció vàlida i adequada per a la creació de vincles entre CIÈNCIA i INDÚSTRIA, entre CIÈNCIA i SOCIETAT, i entre CIÈNCIA i EDUCACIÓ. No obstant, l'ús de metodologies de disseny participatives en tallers per a la comunicació de la ciència no és una tècnica que n'hagi de substituir cap altra, sinó que simplement es vol sumar a la resta d'eines, plataformes, tècniques i formats que ja comuniquen ciència actualment i des de fa molts anys, per aportar-hi un granet de sorra i intentar millorar la qualitat de la informació que es rep.

Amb els tres casos d'estudi s'ha volgut potenciar l'esperit crític de la societat, així com obrir la ciència al diàleg. I, amb els mètodes que s'hi engloben, es pretén obrir la via a que altres avenços científics també siguin comunicats de manera dinàmica i basada en les metodologies que ofereix la disciplina del disseny, ja que són una iniciativa positiva per a una recerca, comunicació i transferència de coneixements eficient.

Des d'aquesta perspectiva, es vol vetllar perquè la comunicació científica sigui un camp interconnectat d'investigadors i professionals adaptatius, que articulin l'espai dinàmic intermedi entre ciència, tecnologia i societat. Així mateix, i pel context en el qual s'ha desenvolupat la present tesi, es vol fer èmfasi en què les universitats, com a punt de connexió i intercanvi, poden contribuir positivament al camp de la comunicació científica. Poden aportar tota mena de recursos per a la transferència de coneixement a través de metodologies de disseny participatives, mitjançant la col·laboració amb altres institucions i la generació de xarxes que connectin actors, contextos i continguts.

9.1. Limitacions de la recerca i futures vies d'investigació

Degut a que l'elaboració de la tesi doctoral és un procés limitat en el temps, la recerca que es presenta en aquesta memòria és, consegüentment, limitada. En aquest apartat es mencionen les principals restriccions que ha tingut la investigació realitzada, que alhora marquen el camí per a futures vies d'investigació.

En l'anàlisi de notícies, s'ha realitzat una compilació de totes les notícies publicades en tres diaris de caire internacional durant els tretze primers anys de l'existència del grafè. Per limitacions de temps i perquè els tallers es plantejaren en base als resultats d'aquests anys, aquesta recerca no s'ha augmentat fins l'any 2019. D'altra banda, resultaria una investigació més rica i àmplia si s'haguessin seleccionat més diaris dels mateixos països i/o altres diaris de caire internacional nascuts en altres països. Un primer pas podria ser analitzar tres diaris d'Espanya, Regne Unit i Estats Units, enlloc d'un, i un segon pas seria afegir Xina a l'estudi, també com a país clau en la producció i el desenvolupament del grafè. Corea del Sud i l'Índia serien països també susceptibles de ser afegits en l'anàlisi. D'altra banda, es podria realitzar un estudi comparatiu entre el què es transmet en aquests països líders i el què es diu en països no líders en el camp del grafè.

Pel què fa als tallers amb experts, degut a que la captació de participants i la cerca de localitzacions pels tallers es va fer a través de MATERPLAT (*Plataforma Tecnológica Española de Materiales Avanzados y Nanomateriales*), els tallers es van realitzar únicament en el territori espanyol. Hauria estat interessant dur a terme els tallers, també, al Regne Unit i Estats Units, per així poder relacionar el què es diu en la premsa de cada país amb els debats que sorgeixen, respectivament. Això també hagués permès trobar diferències culturals en els tallers de cada país.

Els tallers amb no experts i els tallers amb estudiants de secundària es realitzaren de forma local a Barcelona i Lleida, respectivament, per motius de proximitat al lloc de realització de la tesi (Elisava i la Universitat Pompeu Fabra), i per la predisposició de les institucions on es van realitzar els tallers d'oferir els seus espais. Si s'hagués disposat de més *partners* o s'hagués conegut més institucions on els tallers haguessin

estat ben rebuts, la mostra d'aquesta recerca es podria haver augmentat. La limitació temporal també va afectar en aquest sentit.

Per sort, en l'aplicació de les metodologies de disseny, no cal una gran mostra per poder valorar-ne la utilitat, l'èxit o els resultats. Tal com diu el sociòleg Robert Merton, "la dinàmica creada per un grup petit de gent degudament seleccionada, quan és guiada per un bon moderador, pot aportar informació en profunditat sobre temes, patrons i tendències" (Hanington & Martin, 2012, 92). No obstant, com més iteracions s'haguessin pogut fer de cada cas d'estudi, segurament més conclusions se n'haguessin pogut extreure.

El grafè s'ha utilitzat en aquesta tesi com a base de la investigació pel fet de ser un material descobert fa molt pocs anys i per la gran repercussió que està tenint a nivell econòmic, polític, mediàtic i científic en un període de temps molt curt en termes de ciència de materials. No obstant, les metodologies de disseny participatives es podrien aplicar a qualsevol altre avenç científic per a la seva comunicació i transmissió de coneixements, per exemple, en medicina, biotecnologia, bioquímica, o altres avenços de nanociència i nanotecnologia.

9.2. Suggeriments professionals

En base a les conclusions extretes a partir de la investigació realitzada en el marc d'aquesta tesi, es considera oportú exposar alguns suggeriments professionals per a l'aplicació de metodologies de disseny participatives en l'àmbit de la comunicació científica. Es llisten a continuació:

- En l'aplicació de les metodologies de disseny participatives s'ha de conèixer molt bé el perfil dels participants. Generalment, els grups petits (d'entre quatre i sis persones) solen funcionar molt bé (sobretot en casos amb no experts i/o estudiants), i no es recomana fer grups més grans de vuit persones (entre sis i vuit és la mida ideal per treballar amb experts). Els participants d'una sessió poden tenir diferents experteses, provenir de diferents àmbits de coneixement, ser d'edats diferents, cultures diferents o nivells socioeconòmics diferents, entre

d'altres. Cal tenir tots aquests aspectes en compte, a fi de respectar i considerar a tots els participants per igual. El disseny dels materials de la sessió ha d'estar adaptat al públic específic que hi assisteix i, en qualsevol cas, es recomana que els materials tinguin múltiples formats i afavoreixin múltiples percepcions i cognicions. El canal pel qual es captin els participants ha de ser adequat al públic que es vulgui atreure en cada cas.

- Cal tenir cura en la selecció de metodologies, ja que aquestes generalment es caracteritzen per treure als participants de la seva zona de confort. Aquest és un aspecte que afavoreix el pensament lateral (de Bono, 1994); no obstant, no s'hauria d'arribar mai al punt que els participants es sentin perduts o incòmodes. D'altra banda, la sessió hauria de comptar sempre amb les cinc fases del procés creatiu: empatitzar, definir, idear, prototipar i avaluar. Aquestes fases es poden anomenar de manera diferent i/o modificar per a casos específics. Sigui com sigui, les metodologies emprades en cadascuna d'aquestes fases han de ser adequades i complementàries entre elles, per tal de garantir un fil conductor dins la sessió.
- Cada fase de cada sessió basada en metodologies de disseny participatives ha de tenir un temps limitat adjudicat. El disseny de la sessió ja ha d'incloure aquest temps, i cal respectar-lo per al bon funcionament de les dinàmiques i per mantenir l'atenció i l'interès dels participants en tot moment. Generalment, una sessió pot durar entre dues hores i quatre hores (temps modificable en cada cas concret). Dins d'aquestes hores, s'ha d'incloure temps per a cada dinàmica i temps de descans perquè els participants puguin menjar, beure, dialogar o atendre a altres necessitats. Una sessió sense descansos pot generar cansament, tensió, distracció o avorriment.
- Els facilitadors i facilitadores encarregats de realitzar una sessió de creativitat per a la transmissió de coneixements han de formar-se correctament sobre el tema o temes a transmetre. Qualsevol facilitador/a ha de dominar el tema que transmet als participants de la seva sessió. A més a més, ha de ser capaç d'aportar diferents visions o punts de vista, a fi de no influir en l'objectivitat del missatge, però alhora donant-ne a conèixer totes les vessants.

- És altament important que el facilitador/a transmeti motivació als participants. Cal generar emocions dins la sessió i potenciar que aquests s'ho passin bé, no s'avorreixin i gaudeixin de les dinàmiques. Aquest fet pot marcar el canvi entre l'èxit o el fracàs de la sessió.
- El llenguatge emprat pel facilitador/a en la sessió ha de ser científic però adaptat, sense ús del sensacionalisme i alhora clar i senzill. Les metàfores i comparacions són una bona eina per ajudar als participants a relacionar noves informacions amb conceptes que ja coneixen, sempre sense abusar-ne. Les anècdotes són també un recurs vàlid per captar l'atenció, per exemple, explicar l'anècdota del descobriment del grafè, aconseguit gràcies a la cinta adhesiva.
- En els tallers que impliquin gent no experta i/o estudiants, és molt important que es doni a conèixer la informació a transmetre des de diferents perspectives, i els fets socials, culturals, econòmics i polítics que hi ha al voltant de la temàtica tractada. Així mateix, cal transmetre els aspectes positius i negatius, les opinions de diferents persones al respecte i el missatge que es transmet als mitjans envers el què es transmet entre científics.
- La informació científica no ha de ser tractada, en cap cas, com una veritat universal i inqüestionable, sinó com un procés constant de canvis i nous avenços. Una introducció al mètode científic, basat en provar o desmentir teories anteriors i fonamentat en l'experiència i la repetició, seria una bona manera de transmetre la incertesa habitual dels processos científics. A més a més, és molt recomanable facilitar referències bibliogràfiques durant la sessió, tant per justificar que la informació prové de fonts fiables com per potenciar l'interès en els participants i que aquests es segueixin formant després de la sessió.
- En els articles II, III i IV que conformen el contingut d'aquesta tesi es presenta la metodologia concreta de cada cas d'estudi. Es recomana consultar aquests articles com a guia per al disseny i realització de qualsevol taller amb ús de metodologies de disseny participatives.

9.3. Conflicte d'interessos i finançament

L'autora d'aquesta tesi doctoral, alhora primera autora de les publicacions compreses en aquesta memòria, declara que no hi ha cap conflicte d'interessos relacionat amb la investigació presentada.

Aquesta tesi doctoral ha rebut finançament per part d'Elisava Escola Universitària en concepte de pagament de la matrícula, dedicació al desenvolupament de projectes a Elisava i Materfad, impartició de classes en l'àrea de materials d'Elisava, inscripció i desplaçament a congressos, i revisió lingüística dels articles redactats en anglès.

10. BIBLIOGRAFIA

- Abecasis, R. C., Longnecker, N., Schmidt, L., & Clifton, J. (2013). Marine conservation in remote small island settings: Factors influencing marine protected area establishment in the Azores. *Marine Policy*, 40(1), 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2012.12.032>
- Abecasis, R. C., Schmidt, L., Longnecker, N., & Clifton, J. (2013). Implications of community and stakeholder perceptions of the marine environment and its conservation for MPA management in a small Azorean island. *Ocean and Coastal Management*, 84, 208–219. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2013.08.009>
- Ackermann, F., Eden, C., & Cropper, S. (1992). Getting started with cognitive mapping. Dins *The Young OR Conference* (pp. 65–82). University of Warwick.
- Adesope, O. O., & Nesbit, J. C. (2010). A systematic review of research on collaborative learning with concept maps. Dins P. Lupion-Torres (Ed.), *Handbook of Research on Collaborative Learning Using Concept Mapping* (pp. 238–255). USA: IGI Global. <https://doi.org/10.4018/978-1-59904-992-2.ch012>
- Aghigh, A., Alizadeh, V., Wong, H. Y., Islam, M. S., Amin, N., & Zaman, M. (2015). Recent advances in utilization of graphene for filtration and desalination of water: A review. *Desalination*, 365, 389–397. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2015.03.024>
- Aguilar-Tamayo, M. (2006). El mapa conceptual: Una herramienta para aprender y enseñar. *Plasticidad y Restauración Neurológica*, 5(1), 7–9.
- Ahn, S., Sung, J. S., Kim, H. J., & Sung, Y. K. (2015). Emerging analysis on the preparation and application of graphene by bibliometry. *Journal of Material Sciences & Engineering*, 4(5), 1–6. <https://doi.org/10.4172/2169-0022.1000192>
- Ahteensuu, M. (2012). Assumptions of the deficit model type of thinking: Ignorance, attitudes, and science communication in the debate on genetic engineering in agriculture. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, 25(3), 295–313. <https://doi.org/10.1007/s10806-011-9311-9>
- Ainley, M., & Ainley, J. (2011). Student engagement with science in early adolescence: The contribution of enjoyment to students' continuing interest in learning about science. *Contemporary Educational Psychology*, 36(1), 4–12. <https://doi.org/10.1016/j.cedpsych.2010.08.001>
- Ajzen, I. (1991). The theory of planned behavior. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 50(2), 179–211. [https://doi.org/10.1016/0749-5978\(91\)90020-T](https://doi.org/10.1016/0749-5978(91)90020-T)
- Aljaraidh, Y. (2019). Students' perception of flipped classroom: A case study for private universities in Jordan. *Journal of Technology and Science Education*, 9(3), 368–377. <https://doi.org/10.3926/jotse.648>
- Allen, M. J., Tung, V. C., & Kaner, R. B. (2010). Honeycomb carbon: A review of graphene. *Chemical Reviews*, 110(1), 132–145. <https://doi.org/10.1021/cr900070d>
- Allen, W. L. (2018). Visual brokerage: Communicating data and research through visualisation. *Public Understanding of Science*, 27(8), 906–922. <https://doi.org/10.1177/0963662518756853>
- Altheide, D. L. (1996). *Qualitative Media Analysis*. (D. L. Altheide, Ed.). Thousand Oaks, CA: SAGE Publications. <https://doi.org/10.4135/9781412985536.n7>
- Altheide, D. L. (2000). Tracking discourse and qualitative document analysis. *Poetics*, 27, 287–299. <https://doi.org/10.4135/9781412985536>

- American Chemical Society. (2012). *ACS Guidelines and Recommendations for the Teaching of High School Chemistry*. Washington, D.C. Consultat des de <https://www.acs.org/content/dam/acsorg/education/policies/recommendations-for-the-teaching-of-high-school-chemistry.pdf>
- Anderson, A. A., Brossard, D., & Scheufele, D. A. (2010). The changing information environment for nanotechnology: Online audiences and content. *Journal of Nanoparticle Research*, 12(4), 1083–1094. <https://doi.org/10.1007/s11051-010-9860-2>
- Anderson, A. A., Brossard, D., Scheufele, D. A., Xenos, M. A., & Ladwig, P. (2014). The “nasty effect:” Online incivility and risk perceptions of emerging technologies. *Journal of Computer-Mediated Communication*, 19(3), 373–387. <https://doi.org/10.1111/jcc4.12009>
- Anderson, L. (2008). Reflexivity. Dins R. Thorpe & R. Holt (Eds.), *The SAGE Dictionary of Qualitative Management Research* (pp. 184–186). London: SAGE Publications Ltd. <https://doi.org/10.4135/9780857020109.n86>
- Andueza-Correa, A. (2016). Writing as a tool for meaningful learning: A quasi-experiment in science class. *Revista Complutense de Educación*, 27(2), 653–668. https://doi.org/10.5209/rev_RCED.2016.v27.n2.46918
- Arnold-Garza, S. (2014). The flipped classroom teaching model and its use for information literacy instruction. *Journal of Communications in Information Literacy*, 8(1), 7–22. <https://doi.org/10.15760/comminfolit.2014.8.1.161>
- Attride-Stirling, J. (2001). Thematic networks: An analytic tool for qualitative research. *Qualitative Research*, 1(3), 385–405.
- Baepler, P., Walker, J. D., & Driessen, M. (2014). It’s not about seat time: Blending, flipping, and efficiency in active learning classrooms. *Computers and Education*, 78, 227–236. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2014.06.006>
- Baker, M. J., Williams, L. F., Lybbert, A. H., & Johnson, J. B. (2012). How ecological science is portrayed in mass media. *Ecosphere*, 3(1), 9. <https://doi.org/10.1890/es11-00238.1>
- Bandola-Gill, J., & Lyall, C. (2017). Knowledge brokers and policy advice in policy formulation. Dins M. Howlett & I. Mukherjee (Eds.), *Handbook of Policy Formulation* (pp. 249–264). Cheltenham: Edward Elgar Publishing.
- Bandura, A. (1978). Self-efficacy: Toward a unifying theory of behavioral change. *Advances in Behaviour Research and Therapy*, 1(4), 139–161. [https://doi.org/10.1016/0146-6402\(78\)90002-4](https://doi.org/10.1016/0146-6402(78)90002-4)
- Baram-Tsabari, A., & Lewenstein, B. V. (2017). Science communication training: what are we trying to teach? *International Journal of Science Education, Part B: Communication and Public Engagement*, 7(3), 285–300. <https://doi.org/10.1080/21548455.2017.1303756>
- Baram-Tsabari, A., & Osborne, J. (2015). Bridging science education and science communication research. *Journal of Research in Science Teaching*, 52(2), 135–144. <https://doi.org/10.1002/tea.21202>
- Barnum, C. (2010). *Usability Testing Essentials: Ready, Set... Test!* San Francisco: Morgan Kaufmann.
- Baron, N. (2015). In the cross hairs of controversy. *Nature*, 528, 332.
- Barrow, J. D. (2008). *Cosmic Imagery: Key Images in the History of Science*. London: The Bodley Head.
- Batley, G. E., Kirby, J. K., & McLaughlin, M. J. (2011). Fate and risks of nanomaterials in aquatic and terrestrial environments. *Accounts of Chemical Research*, 46(3), 854–862.

- Bauer, M. (2008). Survey research and the public understanding of science. Dins M. Bucchi & B. Trench (Eds.), *Handbook of Public Communication on Science and Technology* (pp. 111–130). Abingdon: Routledge.
- Bauer, M. W., & Jensen, P. (2011). The mobilization of scientists for public engagement. *Public Understanding of Science*, 20(1), 3–11. <https://doi.org/10.1177/0963662510394457>
- BBC Research. (2016). *Graphene: Technologies, Applications, and Markets*. Consultat des de <https://www.bccresearch.com/market-research/advanced-materials/graphene-technologies-applications-markets-report.html>
- Beaujon, A. (2012). Pew: Half of Americans get news digitally, topping newspapers, radio. Consultat des de <https://www.poynter.org/reporting-editing/2012/pew-tv-viewing-habit-grays-as-digital-news-consumption-tops-print-radio/>
- Bechmann, A. (2012). Towards cross-platform value creation. *Information, Communication & Society*, 15(6), 888–908. <https://doi.org/10.1080/1369118X.2012.680483>
- Bell, P., Lewenstein, B., Shouse, A. W., & Feder, M. A. (2009). *Learning Science in Informal Environments: People, Places and Pursuits*. Washington, D.C.: The National Academies Press.
- Berger, A. A. (2000). *Media and Communication Research Methods: An Introduction to Qualitative and Quantitative Approaches*. Thousand Oaks, CA, USA: SAGE Publications, Incorporated.
- Berns, G. S., Laibson, D., & Loewenstein, G. (2007). Intertemporal choice: Toward an integrative framework. *Trends in Cognitive Sciences*, 11(11), 482–488. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2007.08.011>
- Besley, J. C., Dudo, A. D., Yuan, S., & Abi Ghannam, N. (2016). Qualitative interviews with science communication trainers about communication objectives and goals. *Science Communication*, 38(3), 356–381. <https://doi.org/10.1177/1075547016645640>
- Besley, J. C., Dudo, A., & Yuan, S. (2018). Scientists' views about communication objectives. *Public Understanding of Science*, 27(6), 708–730. <https://doi.org/10.1177/0963662517728478>
- Besley, J. C., Dudo, A., Yuan, S., & Lawrence, F. (2018). Understanding scientists' willingness to engage. *Science Communication*, 40(5), 559–590. <https://doi.org/10.1177/1075547018786561>
- Besley, J. C., & Nisbet, M. (2013). How scientists view the public, the media and the political process. *Public Understanding of Science*, 22(6), 644–659. <https://doi.org/10.1177/0963662511418743>
- Besley, J. C., Oh, S. H., & Nisbet, M. (2013). Predicting scientists' participation in public life. *Public Understanding of Science*, 22(8), 971–987. <https://doi.org/10.1177/0963662512459315>
- Bianco, A., Cheng, H. M., Enoki, T., Gogotsi, Y., Hurt, R. H., Koratkar, N., ... Zhang, J. (2013). All in the graphene family - A recommended nomenclature for two-dimensional carbon materials. *Carbon*, 65, 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2013.08.038>
- Biermann, E., & Misiūnas, T. (2016). Dictamen del comité económico y social europeo sobre el tema: “Nanotecnología para una industria química competitiva” (dictamen de iniciativa). *Diario Oficial de La Unión Europea*, 27–32.
- Bloom, B. S. (1984). The 2 sigma problem: The search for methods of group instruction as effective as one-to-one tutoring. *Educational Researcher*, 13(6), 4–16.
- Boeynaems, A., Burgers, C., Konijn, E. A., & Steen, G. J. (2017). The impact of conventional and novel metaphors in news on issue viewpoint. *International Journal of Communication*, 11, 2861–2879.
- Bolderdijk, J. W., Steg, L., Geller, E. S., Lehman, P. K., & Postmes, T. (2013). Comparing the effectiveness of monetary versus moral motives in environmental campaigning. *Nature Climate Change*, 3(4), 413–416. <https://doi.org/10.1038/nclimate1767>

- Bonvillian, W. B. & Singer, S. R. (2013). The online challenge to higher education. *Issues in Science and Technology*, 29(4), 23–30. Consultat des de <http://issues.org/29-4/the-online-challenge-to-higher-education/>
- Borchelt, R. E., & Nielsen, K. H. (2008). Public relations in science: Managing the trust portfolio. Dins M. Bucchi & B. Trench (Eds.), *Handbook of Public Communication on Science and Technology* (2nd ed., pp. 147–158). Abingdon: Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203483794>
- Boumans, J., Trilling, D., Vliegthart, R., & Boomgaarden, H. (2018). The agency makes the (online) news world go round: The impact of news agency content on print and online news. *International Journal of Communication*, 12, 1768–1789.
- Braha, J. (2017, October 1). Science communication at scientific societies. *Seminars in Cell and Developmental Biology*. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.semcdb.2017.05.010>
- Brodie, E., Cowling, E., Nissen, N., Paine, A. E., Jochum, V., & Warburton, D. (2009). *Understanding Participation: A Literature Review. Pathways through Participation*. Consultat des de <http://www.sp.gov.tr/upload/Sayfa/47/files/Pathways-literature-review-final-version.pdf>
- Brossard, D. (2013). New media landscapes and the science information consumer. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(Suppl 3), 14096–14101. <https://doi.org/10.1073/pnas.1212744110>
- Brossard, Dominique, & Lewenstein, B. V. (2009). A critical appraisal of models of public understanding of science: Using practice to inform theory. Dins L. Kahlor & P. A. Stout (Eds.), *Communicating Science: New Agendas in Communication* (pp. 11–39). New York: Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203867631>
- Brown, T. (2009). *Change by Design: How Design Thinking Transforms Organizations and Inspires Innovation*. New York: Harper Business.
- Bruine de Bruin, W., & Bostrom, A. (2013). Assessing what to address in science communication. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 110(Suppl 3), 14062–14068. <https://doi.org/10.1073/pnas.1212729110>
- Brunette, C. (1982). A role-oriented approach to problem-solving. Dins S. A. Olsen (Ed.), *Group planning and problem solving methods in engineering management*. New York: John Wiley and Sons, Inc.
- Bucchi, M. (2004). *Science in Society: An Introduction to Social Studies of Science*. New York: Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203299739>
- Bucchi, M. (2008). Of deficits, deviations and dialogues: theories of public communication of science. Dins M. Bucchi & B. Trench (Eds.), *Handbook of public communication of science and technology* (pp. 57–76). London: Routledge. Consultat des de https://moodle.ufsc.br/pluginfile.php/1485212/mod_resource/content/1/Handbook-of-Public-Communication-of-Science-and-Technology.pdf
- Bucchi, M. (2013). Style in science communication. *Public Understanding of Science*, 22(8), 904–915. <https://doi.org/10.1177/0963662513498202>
- Bucchi, M., & Saracino, B. (2016). “Visual science literacy”: Images and public understanding of science in the digital age. *Science Communication*, 38(6), 812–819. <https://doi.org/10.1177/1075547016677833>
- Burns, T. W., O’Connor, D. J., & Stocklmayer, S. M. (2003). Science communication: A contemporary definition. *Public Understanding of Science*, 12(2), 183–202. <https://doi.org/10.1177/09636625030122004>

- Buxton, B. (2013). *Graphene: Technology Insight Report. Patent iNSIGHT Pro*. Consultat des de [http://www.patentinsightpro.com/techreports/1113/Tech Insight Report - Graphene.pdf](http://www.patentinsightpro.com/techreports/1113/Tech%20Insight%20Report%20-%20Graphene.pdf)
- Cacciatore, M. A., Scheufele, D. A., & Iyengar, S. (2016). The end of framing as we know it ... and the future of media effects. *Mass Communication and Society*, 19(1), 7–23. <https://doi.org/10.1080/15205436.2015.1068811>
- Capone, R., Del Sorbo, M. R., & Fiore, O. (2017). A flipped experience in physics education using CLIL methodology. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 13(10), 6579–6582. <https://doi.org/10.12973/ejmste/77044>
- Carroll, M., Goldman, S., Britos, L., & Koh, J. (2010). Destination, imagination and the fires within: Design thinking in a middle school classroom. *The Journal of Academic Development and Education*, 29(1), 37–53.
- Castelfranchi, Y., Vilela, E. M., Lima, L. B. de, Moreira, I. de C., & Massarani, L. (2013). Brazilian opinions about science and technology: The “paradox” of the relation between information and attitudes. *História, Ciências, Saúde-Manguinhos*, 20(Suppl 1), 1163–1183. <https://doi.org/10.1590/S0104-59702013000400005>
- Chaiken, S., & Trope, Y. (1999). *Dual-process Theories in Social Psychology*. New York: Guilford Press.
- Choi, W., & Lee, J.-W. (2012). *Graphene: Synthesis and Applications*. Boca Raton, FL, USA. Consultat des de <http://link.springer.com/10.1007/s10337-013-2407-9>
- Choo, A. S., Linderman, K. W., & Schroeder, R. G. (2007). Method and context perspectives on learning and knowledge creation in quality management. *Journal of Operations Management*, 25(4), 918–931. <https://doi.org/10.1016/j.jom.2006.08.002>
- Chua, J. S. M., & Lateef, F. A. (2014). The flipped classroom: Viewpoints in Asian universities. *Education in Medicine Journal*, 6(4), 20–26. <https://doi.org/10.5959/eimj.v6i4.316>
- Chung, C., Kim, Y. K., Shin, D., Ryoo, S. R., Hong, B. H., & Min, D. H. (2013). Biomedical applications of graphene and graphene oxide. *Accounts of Chemical Research*, 46(10), 2211–2224. <https://doi.org/10.1021/ar300159f>
- Cialdini, R. B. (2003). Crafting normative messages to protect the environment. *Current Directions in Psychological Science*, 12(4), 105–109. <https://doi.org/10.1111/1467-8721.01242>
- Clark, G., Russell, J., Enyeart, P., Gracia, B., Wessel, A., Jarmoskaite, I., ... Roux, S. (2016). Science educational outreach programs that benefit students and scientists. *PLoS Biology*, 14(2), 1–8. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1002368>
- Collins, H. (2014). *Are We All Scientific Experts Now?* Cambridge: Polity Press.
- Collins, H., & Evans, R. (2007). *Rethinking Expertise*. Chicago: The University of Chicago Press.
- ComScore. (2018). MMX Multi-Platform. ComScore. Consultat des de <https://www.comscore.com/Products/Audience-Analytics/Media-Metrix-Multi-Platform>
- Cook, J., & Lewandowsky, S. (2016). Rational irrationality: Modeling climate change belief polarization using bayesian networks. *Topics in Cognitive Science*, 8(1), 160–179. <https://doi.org/10.1111/tops.12186>
- Cormick, C., Nielssen, O., Ashworth, P., Salle, J. La, & Saab, C. (2015). What do science communicators talk about when they talk about science communications? Engaging with the engagers. *Science Communication*, 37(2), 274–282. <https://doi.org/10.1177/1075547014560829>
- Corradi, G., Gherardi, S., & Verzelloni, L. (2010). Through the practice lens: Where is the bandwagon of practice-based studies heading? *Management Learning*, 41(3), 265–283. <https://doi.org/10.1177/1350507609356938>

- Correia, A., & Serena-Domingo, P. A. (2010). 2010-2020 : ¿La década del despegue de la nanotecnología española? *Física y Sociedad*, 36–39.
- Cortiñas Rovira, S. (2007). La globalización del periodismo científico bajo patrones anglosajones: Un estudio de caso en la periferia. *Estudios Sobre El Mensaje Periodístico*, 13, 369–384.
- Cortiñas Rovira, S. (2008). Las metáforas del ADN: una revisión de los procesos divulgativos. *Journal of Science Communication*, 7(1), 1–9.
- Cortiñas Rovira, S. (2009a). Diez preguntas para leer críticamente la prensa. Dins D. Cassany (Ed.), *Para ser letrados: Voces y miradas sobre la lectura* (pp. 100–108). Barcelona: Paidós.
- Cortiñas Rovira, S. (2009b). *Història de la Divulgació Científica*. Barcelona: Institut d'Estudis Catalans.
- Coulter, J. (2013). Interdisciplinarity: Creativity in collaborative research approaches to enhance knowledge transfer. *Innovation through Knowledge Transfer 2012*, 18, 169–178.
https://doi.org/10.1007/978-3-642-34219-6_19
- Cruickshank, L., & Evans, M. (2012). Designing creative frameworks: Design thinking as an engine for new facilitation approaches. *International Journal of Arts and Technology*, 5(1), 73–84.
- Curedale, R. A. (2016). *Design Thinking Process & Methods Guide* (3rd ed.). Topanga CA: Design Community College Inc.
- Czikszentmihalyi, M. (1990). *Flow: The Psychology of Optimal Experience*. New York: Harper & Row.
- Dadach, Z. E. (2013). Quantifying the effects of an active learning strategy on the motivation of students. *International Journal of Engineering Education*, 29(4), 904–913.
- Dahlstrom, M. F. (2014). Using narratives and storytelling to communicate science with nonexpert audiences. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(Suppl 4), 13614–13620.
<https://doi.org/10.1073/pnas.1320645111>
- Dahlstrom, M. F., & Ho, S. S. (2012). Ethical considerations of using narrative to communicate science. *Science Communication*, 34(5), 592–617. <https://doi.org/10.1177/1075547012454597>
- Daizadeh, I. (2008). “Patent journalism”: An emergence of a new form of science communication. *World Patent Information*, 30(3), 244–247. <https://doi.org/10.1016/j.wpi.2007.10.005>
- Davies, S. R. (2013). Constituting public engagement: Meanings and genealogies of PEST in two U.K. studies. *Science Communication*, 35(6), 687–707. <https://doi.org/10.1177/1075547013478203>
- Davies, S. R., & Horst, M. (2016). *Science Communication: Culture, Identity and Citizenship*. UK: Palgrave Macmillan. <https://doi.org/10.1057/978-1-137-50366-4>
- Davis, E. A., Petish, D., & Smithey, J. (2006). Challenges new science teachers face. *Review of Educational Research*, 76(4), 607–651. <https://doi.org/10.3102/00346543076004607>
- de Benito, B., Darder, A., & Salinas, J. (2012). Los itinerarios de aprendizaje mediante mapas conceptuales como recurso para la presentación del conocimiento. *EduTec. Revista Electrónica de Tecnología Educativa*, 39, 1–14. <https://doi.org/10.21556/edutec.2012.39.372>
- de Bono, E. (1985). *Six Thinking Hats*. Little, Brown and Company.
- de Bono, E. (1994). *Creative Thinking. The Power of Lateral Thinking for the Creation of New Ideas*. Paidós.
- Deci, E. L., Koestner, R., & Ryan, R. M. (1999). A meta-analytic review of experiments examining the effects of extrinsic rewards on intrinsic motivation. *Psychological Bulletin*, 125(6), 627–668.
<https://doi.org/10.1037/0033-2909.125.6.627>

- Dedehayir, O., & Steinert, M. (2016). The hype cycle model: A review and future directions. *Technological Forecasting and Social Change*, 108(April), 28–41. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2016.04.005>
- Design United. (2013). *Advanced Design Methods for Successful Innovation*. Ministry of Economic Affairs.
- Deterding, S., Dixon, D., Khaled, R., & Nacke, L. (2011). From game design elements to gamefulness: Defining “gamification.” Dins *Proceedings of the 15th International Academic MindTrek Conference on Envisioning Future Media Environments* (p. 9). Tampere, Finland. <https://doi.org/10.1145/2181037.2181040>
- Deuze, M. (2003). The Web and its journalisms: Considering the consequences of different types of newsmidia online. *New Media Soc*, 5(2), 203–230. <https://doi.org/10.1177/1461444803005002004>
- Devonshire, I. M., & Hathway, G. J. (2014). Overcoming the barriers to greater public engagement. *PLoS Biology*, 12(1), 12–15. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1001761>
- Dewalt, K. M., & Dewalt, B. R. (2002). *Participant Observation: A Guide for Fieldworkers*. Walnut Creek, CA: AltaMira Press.
- DeWitt, J., & Storksdieck, M. (2008). A short review of school field trips: Key findings from the past and implications for the future. *Visitor Studies*, 11(2), 181–197. <https://doi.org/10.1080/10645570802355562>
- Dhand, V., Rhee, K. Y., Ju Kim, H., & Ho Jung, D. (2013). A comprehensive review of graphene nanocomposites: Research status and trends. *Journal of Nanomaterials*, 2013, 1–14. <https://doi.org/10.1155/2013/763953>
- Díaz-Barriga, F., & Hernández-Rojas, G. (2002). *Estrategias Docentes para un Aprendizaje Significativo: Una Interpretación Constructivista*. Mexico D.F.: McGraw-Hill.
- Díaz-Noci, J. (2016). *Qualitative Research Methods of the Social Sciences Applied to Communication: A Guide*. Barcelona.
- Dietz, T. (2013). Bringing values and deliberation to science communication. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 110(Suppl 3), 14081–14087. <https://doi.org/10.1073/pnas.1212740110>
- Dietz, T., & Pfund, A. (1988). An impact identification method for development program evaluation. *Review of Policy Research*, 8(1), 137–145. <https://doi.org/10.1111/j.1541-1338.1988.tb00923.x>
- Dignan, A. (2011). *Game Frame: Using Games as a Strategy for Success*. New York: Free Press.
- Doorley, S., Holcomb, S., Klebahn, P., Segovia, K., & Utley, J. (2018). *Bootcamp Bootleg*. Consultat des de <http://longevity3.stanford.edu/designchallenge2015/files/2013/09/Bootleg.pdf>
- Dorst, K. (2011). The core of “design thinking” and its application. *Design Studies*, 32(6), 521–532. <https://doi.org/10.1016/j.destud.2011.07.006>
- Druckman, J. N. (2001). On the limits of framing effects: Who can frame? *Journal of Politics*, 63(4), 1041–1066.
- Drumm, I. A., Belantara, A., Dorney, S., Waters, T. P., & Peris, E. (2015). The Aeolus project: Science outreach through art. *Public Understanding of Science*, 24(3), 375–385. <https://doi.org/10.1177/0963662513501741>
- Dudo, A. (2012). Toward a model of scientists’ public communication activity: The case of biomedical researchers. *Science Communication*, 35(4), 476–501. <https://doi.org/10.1177/1075547012460845>

- Dudo, A., & Besley, J. C. (2016). Scientists' prioritization of communication objectives for public engagement. *PLoS ONE*, *11*(2), 1–18. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0148867>
- Dudo, A., Dunwoody, S., & Scheufele, D. A. (2009). The emergence of nano news: Tracking thematic trends and changes in media coverage of nanotechnology. *Dins Association for Education in Journalism & Mass Communication*.
- Dudo, A., Dunwoody, S., & Scheufele, D. A. (2011). The emergence of nano news: Tracking thematic trends and changes in U.S. newspaper coverage of nanotechnology. *Journalism and Mass Communication Quarterly*, *88*(1), 55–75.
- Dunwoody, S., Brossard, D., & Dudo, A. (2009). Socialization or rewards? Predicting U.S. scientist-media interactions. *Journalism and Mass Communication Quarterly*, *86*(2), 299–314. <https://doi.org/10.1177/107769900908600203>
- Eagleman, D. M. (2013). Why public dissemination of science matters: A manifesto. *Journal of Neuroscience*, *33*(30), 12147–12149. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.2556-13.2013>
- Ede, S. (2002). Science and the contemporary visual arts. *Public Understanding of Science*, *11*(1), 65–78. <https://doi.org/10.1088/0963-6625/11/1/304>
- Edmondson, K. M. (2005). Assessing science understanding through concept maps. Dins J. Mintzes, J. Wandersee, & J. Novak (Eds.), *Assessing Science Understanding: A Human Constructivist View* (pp. 15–40). USA: Elsevier Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-012498365-6/50004-4>
- Einsiedel, E. F. (2008). Public participation and dialogue. Dins M. Bucchi & B. Trench (Eds.), *Handbook of Public Communication of Science and Technology* (pp. 173–184). Abingdon: Routledge.
- Eldy, E. F., Chang, J. H., Butai, S. N., Basri, N. F., Awang, H., Din, W. A., & Arshad, S. E. (2019). Inverted classroom improves pre-university students understanding on basic topic of physics: The preliminary study. *Journal of Technology and Science Education*, *9*(3), 420–427. <https://doi.org/10.3926/jotse.599>
- Eletskii, A. V., Iskandarova, I. M., Knizhnik, A. A., & Krasikov, D. N. (2011). Graphene: Fabrication methods and thermophysical properties. *Physics-Uspekhi*, *54*(3), 227–258. <https://doi.org/10.3367/UFNe.0181.201103a.0233>
- Ennis, R. H. (1962). A concept of critical thinking. *Harvard Educational Review*, *32*(1), 81–111.
- Entradas, M., & Bauer, M. M. (2017). Mobilisation for public engagement: Benchmarking the practices of research institutes. *Public Understanding of Science*, *26*(7), 771–788. <https://doi.org/10.1177/0963662516633834>
- European Commission. (2007). *Improving Knowledge Transfer Between Research Institutions and Industry Across Europe*. Luxembourg, Belgium: European Communities.
- European Commission. (2012). *Communicating EU Research and Innovation: A Guide for Project Participants*. Consultat des de <http://ec.europa.eu/research/participants/portal/ShowDoc/Extensions+Repository/>
- Evans, J. S. B. T. (2008). Dual-processing accounts of reasoning, judgment, and social cognition. *Annual Review of Psychology*, *59*(1), 255–278. <https://doi.org/10.1146/annurev.psych.59.103006.093629>
- Eveland, W. P., & Cooper, K. E. (2013). An integrated model of communication influence on beliefs. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *110*(Suppl 3), 14088–14095. <https://doi.org/10.1073/pnas.1212742110>
- Falk, J. H. (2009). *Identity and the Museum Visitor Experience*. Abingdon: Routledge.
- Falk, J. H., & Dierking, L. D. (2012). *Museum Experience Revisited*. Walnut Creek, CA: Left Coast Press.

- Falk, J. H., & Needham, M. D. (2013). Factors contributing to adult knowledge of science and technology. *Journal of Research in Science Teaching*, 50(4), 431–452. <https://doi.org/10.1002/tea.21080>
- Feinstein, N. W. (2015). Education, communication, and science in the public sphere. *Journal of Research in Science Teaching*, 52(2), 145–163. <https://doi.org/10.1002/tea.21192>
- Felder, R., & Silverman, L. (1988). Learning and teaching styles in engineering education. *Engineering Education*, 78(7), 674–681.
- Ferrari, A. C., Bonaccorso, F., Falko, V., Novoselov, K. S., Roche, S., Bøggild, P., ... Kinaret, J. (2015). Science and technology roadmap for graphene, related two-dimensional crystals, and hybrid systems. *Nanoscale*, 7(11), 4598–4810. <https://doi.org/10.1039/C4NR01600A>
- Festinger, L. (1954). A theory of social comparison processes. *Human Relations*, 7(2), 117–140. <https://doi.org/10.1177/001872675400700202>
- Fischhoff, B. (2011). Applying the science of communication to the communication of science. *Climatic Change*, 108(4), 701–705. <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0183-9>
- Fischhoff, B., & Scheufele, D. A. (2013). The science of science communication. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(Suppl 3), 14031–14032. <https://doi.org/10.1073/pnas.1312080110>
- Fischhoff, B., & Scheufele, D. A. (2014). The science of science communication II. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(Suppl 4), 13583–13584. <https://doi.org/10.1073/pnas.1414635111>
- Fishbein, M., & Cappella, J. N. (2006). The role of theory in developing effective health communications. *Journal of Communication*, 56(Suppl), 1–17. <https://doi.org/10.1111/j.1460-2466.2006.00280.x>
- Fiske, S. T., & Dupree, C. (2014). Gaining trust as well as respect in communicating to motivated audiences about science topics. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(Suppl 4), 13593–13597. <https://doi.org/10.1073/pnas.1317505111>
- Fogden, S. (2016). *Graphene Connect: Bridging the Academia - Industry Divide*. Graphene Flagship. Consultat des de <https://graphene-flagship.eu/bridging-the-academia---industry-divide>
- Fortier, S., & Chung, W. (2013). Designing for experience: A practical investigation. *The International Journal of Design in Society*, 6(2), 81–93.
- Frankel, F., & DePace, A. H. (2012). *Visual Strategies: A Practical Guide to Graphics for Scientists and Engineers*. New Haven, CT: Yale University Press.
- Fredrickson, B. L., & Branigan, C. (2005). Positive emotions broaden the scope of attention and thought-action repertoires. *Cognition & Emotion*, 19(3), 313–332. <https://doi.org/10.1080/02699930441000238>
- Frewer, L. J., Scholderer, J., & Bredahl, L. (2003). Communicating about the risks and benefits of genetically modified foods: The mediating role of trust. *Risk Analysis*, 23(6), 1117–1133. <https://doi.org/10.1111/j.0272-4332.2003.00385.x>
- Fry, H., Ketteridge, S., & Marshall, S. (2009). *A Handbook for Teaching and Learning in Higher Education: Enhancing Academic Practice* (3rd ed.). New York: Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203416877>
- Gabriel, S., Pia, D. M., Mabel, G. R. M., Adrian, S., & Mariana, N. (2014). Discourse analysis of the written press reports regarding rheumatoid arthritis, psoriasis, and psoriatic arthritis. *Rheumatology International*, 34(9), 1287–1289. <https://doi.org/10.1007/s00296-014-2969-3>

- Gallego-Arrufat, J., Crisol-Moya, E., & Gámiz-Sánchez, V. (2013). El mapa conceptual como estrategia de aprendizaje y de evaluación en la universidad. *Enseñanza & Teaching: Revista Interuniversitaria de Didáctica*, 31(2), 145–165. Consultat des de <http://revistas.usal.es/index.php/0212-5374/article/view/11631/12053>
- Garvin, T., & Eyles, J. (2001). Public health responses for skin cancer prevention: The policy framing of sun safety in Australia, Canada and England. *Social Science and Medicine*, 53(9), 1175–1189. [https://doi.org/10.1016/S0277-9536\(00\)00418-4](https://doi.org/10.1016/S0277-9536(00)00418-4)
- Gaskell, G., Allansdottir, A., Allum, N., Castro, P., Esmer, Y., Fischler, C., ... Wager, W. (2011). The 2010 Eurobarometer on the life sciences. *Nature Biotechnology*, 29(2), 113–114. <https://doi.org/10.1038/nbt.1771>
- Gasparyan, A. Y., Gerasimov, A. N., Voronov, A. A., & Kitas, G. D. (2015). Rewarding peer reviewers: Maintaining the integrity of science communication. *Journal of Korean Medical Science*, 30(4), 360–364. <https://doi.org/10.3346/jkms.2015.30.4.360>
- Gasparyan, A. Y., Yessirkepov, M., Diyanova, S. N., & Kitas, G. D. (2015). Publishing ethics and predatory practices: A dilemma for all stakeholders of science communication. *Journal of Korean Medical Science*, 30(8), 1010–1016. <https://doi.org/10.3346/jkms.2015.30.8.1010>
- Gastelú, A. (2011). *La Inteligencia Creativa*. Honolulu: Atlantic International University.
- Gauchat, G. (2011). The cultural authority of science: Public trust and acceptance of organized science. *Public Understanding of Science*, 20(6), 751–770. <https://doi.org/10.1177/0963662510365246>
- Geim, A. K. (2009). Graphene: Status and prospects. *Science*, 324, 1530–1535. <https://doi.org/10.1126/science.1158877>
- Georgakilas, V., Perman, J. A., Tucek, J., & Zboril, R. (2015). Broad family of carbon nanoallotropes: Classification, chemistry, and applications of fullerenes, carbon dots, nanotubes, graphene, nanodiamonds, and combined superstructures. *Chemical Reviews*, 115, 4744–4822. <https://doi.org/10.1021/cr500304f>
- Geraci, C., Heidel, D., Sayes, C., Hodson, L., Schulte, P., Eastlake, A., & Brenner, S. (2015). Perspectives on the design of safer nanomaterials and manufacturing processes. *Journal of Nanoparticle Research*, 17(366), 1–13. <https://doi.org/10.1007/s11051-015-3152-9>
- Ghavanini, F. (2015). *Graphene Commercialization Conference Report – IMAGINENANO 2015*. Bilbao.
- Gibbons, M., Limoges, C., Nowotny, H., Schwartzman, S., Scott, P., & Trow, M. (1994). *The New Production of Knowledge: The Dynamics of Science and Research in Contemporary Societies* (1st ed.). London: SAGE Publications Ltd.
- Global Industry Classification Standard. (2016). GICS Structure. Consultat des de <https://www.msici.com/documents/10199/4547797/GICS+Structure+effective+Sep+1%2C+2016.xls/d8600f87-cc12-4070-912f-08590232441d>
- Gómez-Ferri, J., Cózar Escalante, J. M. de, & Llopis-Goig, R. (2014). La comunicación pública de ámbitos científicos y tecnológicos emergentes: Problemas y retos en el caso de la nanotecnología. *ARBOR Ciencia, Pensamiento y Cultura*, 190–766(a123), 1–15. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.3989/arbtor.2014.766n2015>
- Gómez-Rodríguez, T., Patricia-Molano, O., & Rodríguez-Calderón, S. (2015). *La Actividad Cúdica como Estrategia Pedagógica para Fortalecer el Aprendizaje de los Niños de la Institución Educativa Niño Jesús de Praga*. Ibagué.
- Gondwe, M., & Longnecker, N. (2014). Scientific and cultural knowledge in intercultural science education: Student perceptions of common ground. *Research in Science Education*, 45(1), 117–147. <https://doi.org/10.1007/s11165-014-9416-z>

- Gondwe, M., & Longnecker, N. (2015). Objects as stimuli for exploring young people's views about cultural and scientific knowledge. *Science Technology and Human Values*, 40(5), 766–792. <https://doi.org/10.1177/0162243915577452>
- Goodman, E., Kuniavsky, M., & Moed, A. (2012). *Observing the User Experience* (2nd ed.). San Francisco: Morgan Kaufmann. <https://doi.org/10.1016/C2010-0-64844-9>
- Grand, A., Davies, G., Holliman, R., & Adams, A. (2015). Mapping public engagement with research in a UK university. *PLoS ONE*, 10(4), 1–19. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0121874>
- Graphene Flagship. (2015). *Graphene Flagship Annual Report 2015*. Consultat des de [https://graphene-flagship.eu/SiteCollectionDocuments/Admin/Annual report/Graphene Annual report 2015.pdf](https://graphene-flagship.eu/SiteCollectionDocuments/Admin/Annual%20report/Graphene%20Annual%20report%202015.pdf)
- Gregory, J., & Miller, S. (1998). *Science in Public: Communication, Culture and Credibility*. New York: Plenum.
- Grootens-Wiegers, P., De Vries, M. C., Vossen, T. E., & Van den Broek, J. M. (2015). Readability and visuals in medical research information forms for children and adolescents. *Science Communication*, 37(1), 89–117. <https://doi.org/10.1177/1075547014558942>
- Gross, M. (2015). The joy of science communication. *Current Biology*, 25(1), R27–R30. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2014.12.014>
- Guenther, L., & Joubert, M. (2017). Science communication as a field of research: Identifying trends, challenges and gaps by analysing research papers. *Journal of Science Communication*, 16(2).
- Guersenzvaig, A. (2010). Design as a tool for participatory transformation. *Quaderns d'Acció Social i Ciutadania (QASC)*, 52–55. Consultat des de http://treballiaferssocials.gencat.cat/web/.content/01departament/08publicacions/coleccions/quadern_s_accio_social_iciutadania/num_8/q8sencer.pdf
- Guersenzvaig, A. (2018). *Decoding Design Does*. (A. Guersenzvaig & J. Peña, Eds.). Barcelona: Elisava.
- Günther, E., & Domahidi, E. (2017). What communication scholars write about: An analysis of 80 years of research in high-impact journals. *International Journal of Communication*, 11, 3051–3071. <https://doi.org/1932-8036/20170005>
- Hadim, H. A., & Esche, S. K. (2002). Enhancing the engineering curriculum through project-based learning. Dins *Frontiers in Education Conference* (pp. 1–6). Boston. <https://doi.org/10.1109/FIE.2002.1158200>
- Halpern, M. K. (2012). Across the great divide: Boundaries and boundary objects in art and science. *Public Understanding of Science*, 21(8), 922–937. <https://doi.org/10.1177/0963662510394040>
- Hanington, B. (2007). Generative research in design education. Dins *Proceedings of the International Association of Societies of Design Research (IASDR)* (pp. 1–15). Hong Kong.
- Hanington, B., & Martin, B. (2012). *Universal Methods of Design*. Beverly, MA: Rockport Publishers.
- Harre, N. (2011). *Psychology for a Better World: Strategies to Inspire Sustainability*. Auckland, New Zealand: University of Auckland.
- Hart, G. (1996). The five W's: An old tool for the new task of audience analysis. *Technical Communication*, 43(2), 139–145.
- Hart, P. S., & Nisbet, E. C. (2012). Boomerang effects in science communication: How motivated reasoning and identity cues amplify opinion polarization about climate mitigation policies. *Communication Research*, 39(6), 701–723. <https://doi.org/10.1177/0093650211416646>
- Hatano, G., & Inagaki, K. (1986). Two courses of expertise. Dins H. Stevenson., H. Azuma & K. Hakuta (Eds.), *Children Development and Education in Japan* (pp. 262–272). New York: Freeman.

- Haywood, B. K., & Besley, J. C. (2014). Education, outreach, and inclusive engagement: Towards integrated indicators of successful program outcomes in participatory science. *Public Understanding of Science*, 23(1), 92–106. <https://doi.org/10.1177/0963662513494560>
- Herring, J., VanDyke, M. S., Cummins, R. G., & Melton, F. (2017). Communicating local climate risks online through an interactive data visualization. *Environmental Communication*, 11(1), 90–105.
- Heyerle, D. (1996). *Visual Tools for Constructing Knowledge*. Alexandria, VA: ASCD.
- Hirsch, A. (2015). The Graphene Flagship: A giant European research project. *Angewandte Chemie International Edition*, 54(32), 9132–9133. <https://doi.org/10.1002/anie.201504842>
- Hoffman, L. H. (2006). Is internet content different after all? A content analysis of mobilizing information in online and print newspapers. *Journalism and Mass Communication Quarterly*, 83(1), 58–76.
- Horrigan, J. B. (2006). *The Internet as a Resource for News and Information about Science. The Internet and Science News and Information* (Vol. 42). Washington, D.C. Consultat des de <http://www.pewinternet.org/Reports/>
- Horst, H. A. (2013). The infrastructures of mobile media: Towards a future research agenda. *Mobile Media & Communication*, 1(1), 147–152.
- Hu, S., Li, Z., Zhang, J., & Zhu, J. (2018). Engaging scientists in science communication: The effect of social proof and meaning. *Journal of Cleaner Production*, 170, 1044–1051. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.09.210>
- Huber, L., & Veldman, G. J. (2015). *Manual Thinking* (1st ed.). Barcelona, Spain: Ediciones Urano S.A.
- Hugerat, M. (2016). How teaching science using project-based learning strategies affects the classroom learning environment. *Learning Environments Research*, 19(3), 383–395. <https://doi.org/10.1007/s10984-016-9212-y>
- Humanes, M. L., & Roses, S. (2018). Journalistic role performance in the Spanish national press. *International Journal of Communication*, 12, 1032–1053.
- Hyerle, D. (1996). *Visual Tools for Constructing Knowledge*. Alexandria, VA: ASCD.
- Illingworth, S., Redfern, J., Millington, S., & Gray, S. (2015). What's in a name? Exploring the nomenclature of science communication in the UK. *F1000Research*, 4(409), 1–22. <https://doi.org/10.12688/f1000research.6858.2>
- Inmark, E. (2010). *Concept and Methodology of Interactive Workshops*. Costa Rica.
- Intellectual Property Office. (2015). *Graphene: The worldwide patent landscape in 2015*. Newport, UK.
- Irwin, A. (2014). From deficit to democracy (re-visited). *Public Understanding of Science*, 23(1), 71–76. <https://doi.org/10.1177/0963662513510646>
- James, D. K., & Tour, J. M. (2013). Graphene: Powder, flakes, ribbons, and sheets. *Accounts of Chemical Research*, 46(10), 2307–2318. <https://doi.org/10.1021/ar300127r>
- Jasanoff, S. (2004). Ordering knowledge, ordering society. Dins S. Jasanoff (Ed.), *States of Knowledge: The Co-Production of Science and the Social Order* (pp. 13–45). London: Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203413845>
- Jensen, E., & Buckley, N. (2014). Why people attend science festivals: Interests, motivations and self-reported benefits of public engagement with research. *Public Understanding of Science*, 23(5), 557–573. <https://doi.org/10.1177/0963662512458624>

- Jensen, E., & Holliman, R. (2016). Norms and values in UK science engagement practice. *International Journal of Science Education, Part B: Communication and Public Engagement*, 6(1), 68–88. <https://doi.org/10.1080/21548455.2014.995743>
- Johnson-Laird, P. (1983). *Mental Models: Towards a Cognitive Science of Language, Inference, and Consciousness*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Johnson, D., Deterding, S., Kuhn, K. A., Staneva, A., Stoyanov, S., & Hides, L. (2016). Gamification for health and wellbeing: A systematic review of the literature. *Internet Interventions*, 6, 89–106. <https://doi.org/10.1016/j.invent.2016.10.002>
- Johnson, L. S. (2005). From knowledge transfer to knowledge translation: Applying research to practice. *Occupational Therapy Now*, 7(4), 11–14. <https://doi.org/10.1111/1468-0009.t01-1-00052>
- Jucan, M. S., & Jucan, C. N. (2014). The power of science communication. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 149, 461–466. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.08.288>
- Justo-Hanani, R., & Dayan, T. (2015). European risk governance of nanotechnology: Explaining the emerging regulatory policy. *Research Policy*, 44(8), 1527–1536. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2015.05.001>
- Kahan, D. M., Peters, E., Wittlin, M., Slovic, P., Ouellette, L. L., Braman, D., & Mandel, G. (2012). The polarizing impact of science literacy and numeracy on perceived climate change risks. *Nature Climate Change*, 2(10), 732–735. <https://doi.org/10.1038/nclimate1547>
- Kahlor, L., & Rosenthal, S. (2009). If we seek, do we learn? Predicting knowledge of global warming. *Science Communication*, 30(3), 380–414. <https://doi.org/10.1177/1075547008328798>
- Kahneman, D. (2011). *Thinking, Fast and Slow*. New York: Farrar, Strauss and Giroux.
- Kandamby, T. (2018). Enhancement of learning through field study. *Journal of Technology and Science Education*, 8(4), 408–419. <https://doi.org/10.3926/jotse.403>
- Karber, A., & Wustmann, C. (2015). Forschendes lehren und lernen: Perspektiven der akteurinnen und akteure in den blick nehmen und erforschen. Dins R. et al. Egger (Ed.), *Forschungsgeleitete Lehre in einem Massenstudium* (pp. 37–54). Springer Fachmedien Wiesbaden. https://doi.org/10.1007/978-3-658-03231-9_2
- Kariippanon, K. E., Cliff, D. P., Lancaster, S. L., Okely, A. D., & Parrish, A. M. (2018). Perceived interplay between flexible learning spaces and teaching, learning and student wellbeing. *Learning Environments Research*, 21(3), 301–320. <https://doi.org/10.1007/s10984-017-9254-9>
- Kato-Nitta, N., Maeda, T., Iwahashi, K., & Tachikawa, M. (2018). Understanding the public, the visitors, and the participants in science communication activities. *Public Understanding of Science*, 27(7), 857–875. <https://doi.org/10.1177/0963662517723258>
- Kawamoto, S., Nakayama, M., & Saijo, M. (2011). A survey of scientific literacy to provide a foundation for designing science communication in Japan. *Public Understanding of Science*, 22(6), 674–690. <https://doi.org/10.1177/0963662511418893>
- Kearns, F. R. (2012). From science communication to relationship-building: Contemplative practice and community engagement in the environmental sciences. *Journal of Environmental Studies and Sciences*, 2, 275–277. <https://doi.org/10.1007/s13412-012-0083-y>
- Kelly, G. (1955). *A Theory of Personality: The Psychology of Ppersonal Constructs*. New York: Norton.
- Kennedy, H., & Hill, R. L. (2018). The feeling of numbers: Emotions in everyday engagements with data and their visualisation. *Sociology*, 52(4), 830–848. <https://doi.org/10.1177/0038038516674675>
- Killen, R. (2006). *Effective Teaching Strategies: Lessons from Research and Practice*. Victoria, Australia: Cengage Learning Australia.

- Kinchin, I. M. (2014). Concept mapping as a learning tool in higher education: A Critical analysis of recent reviews. *The Journal of Continuing Higher Education*, 62(1), 39–49. <https://doi.org/10.1080/07377363.2014.872011>
- Kittur, A., Chi, E. H., & Suh, B. (2008). Crowdsourcing for usability: Using micro-task markets for rapid, remote, and low-cost user measurements. *Proceedings of the Twenty-Sixth Annual SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 453–456. <https://doi.org/10.1145/1357054.1357127>
- Klahr, D. (2013). What do we mean? On the importance of not abandoning scientific rigor when talking about science education. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 110 Suppl(2003), 14075–14080. <https://doi.org/10.1073/pnas.1212738110>
- Kohring, M. (2016). Misunderstanding trust in science: A critique of the traditional discourse on science communication. *Journal of Science Communication*, 15(5), 1–4.
- Kolb, D. A. (1984). *Experiential learning: Experience as the source of learning and development*. New Jersey: Prentice Hall.
- Koskinen, I., & Krogh, P. G. (2015). Design accountability: When design research entangles theory and practice. *International Journal of Design*, 9(1), 121–127. <https://doi.org/10.1002/pola.26327/abstract>
- Kreimer, P., Levin, L., & Jensen, P. (2011). Popularization by Argentine researchers: The activities and motivations of CONICET scientists. *Public Understanding of Science*, 20(1), 37–47. <https://doi.org/10.1177/0963662510383924>
- Krippendorff, K. (2004a). *Content Analysis; An Introduction to its Methodology*. Thousand Oaks, CA: SAGE Publications.
- Krippendorff, K. (2004b). Reliability in content analysis. *Human Communication Research*, 30(3), 411–433. <https://doi.org/10.1111/j.1468-2958.2004.tb00738.x>
- Krogh, P. G., Markussen, T., & Bang, A. L. (2015). Ways of drifting: Five methods of experimentation in research through design. *Smart Innovation, Systems and Technologies*, 34, 39–50. https://doi.org/10.1007/978-81-322-2232-3_4
- Krueger, R. A., & Casey, M. A. (2008). *Focus Groups: A Practical Guide for Applied Research* (4th ed.). Thousand Oaks, CA: SAGE Publications.
- Kueffer, C., & Larson, B. M. H. (2014). Responsible use of language in scientific writing and science communication. *BioScience*, 64(8), 719–724. <https://doi.org/10.1093/biosci/biu084>
- Kuehne, L. M., Twardochleb, L. A., Fritschie, K. J., Mims, M. C., Lawrence, D. J., Gibson, P. P., ... Olden, J. D. (2014). Practical science communication strategies for graduate students. *Conservation Biology*, 28(5), 1225–1235. <https://doi.org/10.1111/cobi.12305>
- Kuhn, S., & Winograd, T. (1996). Participatory design. Dins T. Winograd (Ed.), *Bringing Design to Software*. New York: Addison-Wesley.
- Landsberger, H. A. (1958). *Hawthorne Revisited*. Ithaca, NY: Cornell University.
- Larson, H. J., Cooper, L. Z., Eskola, J., Katz, S. L., & Ratzan, S. (2011). Addressing the vaccine confidence gap. *The Lancet*, 378(9790), 526–535. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(11\)60678-8](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(11)60678-8)
- Latour, B. (2010). *Cogitamus: Six Letters on Scientific Humanities*. Paris: La Decouverte.
- Leblanc, T. (2016). Research-driven design: The case of repurposing glass. *The International Journal of Design in Society*, 10(3), 31–40.

- LeDoux, J. E. (1989). Cognitive-emotional interactions in the brain. *Cognition and Emotion*, 3(4), 267–289. <https://doi.org/10.1080/02699938908412709>
- Lee, R. G., & Garvin, T. (2003). Moving from information transfer to information exchange in health and health care. *Social Science and Medicine*, 56(3), 449–464. [https://doi.org/10.1016/S0277-9536\(02\)00045-X](https://doi.org/10.1016/S0277-9536(02)00045-X)
- Lenschow, R. J. (1998). From teaching to learning: A paradigm shift in engineering education and lifelong learning. *European Journal of Engineering Education*, 23(2), 155–161.
- Lerner, J. S., & Keltner, D. (2000). Beyond valence: Toward a model of emotion-specific influences on judgement and choice. *Cognition and Emotion*, 14(4), 473–493. <https://doi.org/10.1080/026999300402763>
- Lesen, A. E., Rogan, A., & Blum, M. J. (2016). Science communication through art: Objectives, challenges, and outcomes. *Trends in Ecology and Evolution*. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2016.06.004>
- Lewandowsky, S., Ecker, U. K. H., Seifert, C. M., Schwarz, N., & Cook, J. (2012). Misinformation and its correction: Continued influence and successful debiasing. *Psychological Science in the Public Interest, Supplement*, 13(3), 106–131. <https://doi.org/10.1177/1529100612451018>
- Lewenstein, B. V. (2015). Identifying what matters: Science education, science communication, and democracy. *Journal of Research in Science Teaching*, 52(2), 253–262. <https://doi.org/10.1002/tea.21201>
- Lewenstein, B. V., Gorss, J., & Radin, J. (2005). The salience of small: Nanotechnology coverage in the American press, 1986-2004. *ICA -The Annual Meeting of The International Communication Association*, 1–39.
- Lewin, K. (1946). Action research and minority problems. *Journal of Social Issues*, 2(4), 34–46. <https://doi.org/10.1111/j.1540-4560.1946.tb02295.x>
- Lipovetski, G., & Serroy, J. (2010). *La Cultura-Mundo: Respuesta a una Sociedad Desorientada*. Barcelona, Spain: Anagrama.
- Lippmann, W. (1997). *Public Opinion*. New York: Free Press Paperbacks.
- Liu, C. C., & Falk, J. H. (2014). Serious fun: Viewing hobbyist activities through a learning lens. *International Journal of Science Education, Part B: Communication and Public Engagement*, 4(4), 343–355. <https://doi.org/10.1080/21548455.2013.824130>
- Lloyd, S. (2017). *Graphene connect: New Materials and Devices*. Graphene Flagship.
- Loewenstein, G. F., Hsee, C. K., Weber, E. U., & Welch, N. (2001). Risk as feelings. *Psychological Bulletin*, 127(2), 267–286. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.127.2.267>
- Lomas, J. (2007). The in-between world of knowledge brokering. *British Medical Journal*, 334(7585), 129–132. <https://doi.org/10.1136/bmj.39038.593380.ae>
- Lombard, M., Snyder-Duch, J., & Bracken, C. C. (2002). Content analysis in mass communication: Assessment and reporting of intercoder reliability. *Human Communication Research*, 28(4), 587–604. <https://doi.org/10.1093/hcr/28.4.587>
- Longnecker, N. (2016). An integrated model of science communication: More than providing evidence. *Journal of Science Communication*, 15(5), 1–13.
- Longnecker, N., & Gondwe, M. (2014). Graduate degree programmes in science communication: Educating and training science communicators to work with communities. Dins L. T. W. Hin & R. Subramaniam (Eds.), *Communicating Science to the Public: Opportunities and Challenges for the Asia-Pacific Region* (pp. 141–160). https://doi.org/10.1007/978-94-017-9097-0_9

- Ludwig, D. (2014). Extended cognition in science communication. *Public Understanding of Science*, 23(8), 982–995. <https://doi.org/10.1177/0963662513476798>
- Lumpkin, A. (2007). Caring teachers: The key to student learning. *Kappa Delta Pi Record*, 43(4), 158–160.
- Luzón, M. J. (2013). Public communication of science in blogs: Recontextualizing scientific discourse for a diversified audience. *Written Communication*, 30, 428–457.
- Lv, R., & Terrones, M. (2012). Towards new graphene materials: Doped graphene sheets and nanoribbons. *Materials Letters*, 78, 209–218. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2012.04.033>
- Lynch, Sharon, Kuipers, J., Pyke, C., & Szesze, M. (2005). Examining the effects of a highly rated science curriculum unit on diverse students: Results from a planning grant. *Journal of Research in Science Teaching*, 42(8), 912–946. <https://doi.org/10.1002/tea.20080>
- Lynch, Stacy, & Peer, L. (2002). *Analyzing Newspaper Content. A How-to Guide*. Consultat des de <https://www.orau.gov/cdcynergy/erc/content/activeinformation/resources/NewspaperContentAnalysis.pdf>
- Macdonald, S. (2007). Expanding museum studies: An introduction. Dins *A Companion to Museum Studies* (pp. 1–12). Oxford: Wiley-Blackwell. <https://doi.org/10.1002/9780470996836.ch1>
- Malka, A., Krosnick, J. A., & Langer, G. (2009). The association of knowledge with concern about global warming: Trusted information sources shape public thinking. *Risk Analysis*, 29(5), 633–647. <https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.2009.01220.x>
- Mamluk-Naaman, R., Hofstein, A., & Taitelbaum, D. (2012). Enhancing the pedagogical content knowledge of teachers by using an evidence-based inquiry approach in the chemistry laboratory. *Mevlana International Journal of Education*, 2(3), 62–68.
- Manganello, J., & Blake, N. (2010). A study of quantitative content analysis of health messages in U.S. media from 1985 to 2005. *Health Communication*, 25(5), 387–396. <https://doi.org/10.1080/10410236.2010.483333>
- Markussen, T., Krogh, P. G., & Bang, A. L. (2015). On what grounds? An intra-disciplinary account of evaluation in research through design. *Interplay*, (November), 15.
- Martín-Ortega, E. (2010). Aprender a aprender. Una competencia básica entre las básicas. *Fundación Promete. Comunidad Del Talento*, 1–7. Consultat des de http://eoepsabi.educa.aragon.es/descargas/H_Recursos/h_1_Psicol_Educacion/h_1.3.Aprender_a_aprender/1.13.Aprender_a_aprender.pdf
- Marx, S. M., Weber, E. U., Orlove, B. S., Leiserowitz, A., Krantz, D. H., Roncoli, C., & Phillips, J. (2007). Communication and mental processes: Experiential and analytic processing of uncertain climate information. *Global Environmental Change*, 17(1), 47–58. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.10.004>
- Mason, G. S., Shuman, T. R., & Cook, K. E. (2013). Comparing the effectiveness of an inverted classroom to a traditional classroom in an upper-division engineering course. *IEEE Transactions on Education*, 56(4), 430–435. <https://doi.org/10.1109/TE.2013.2249066>
- Maynard, A. D. (2011). Don't define nanomaterials. *Nature*, 475, 31. <https://doi.org/10.1038/475031a>
- Maynard, A. D., Aitken, R. J., Butz, T., Colvin, V., Donaldson, K., Oberdörster, G., ... Warheit, D. B. (2006). Safe handling of nanotechnology. *Nature*, 444(7117), 267–269. <https://doi.org/10.1038/444267a>

- McCallie, E., Bell, L., Lohwater, T., Falk, J. H., Lehr, J. L., Lewenstein, B. V., ... Wiehe, B. (2009). *Many Experts, Many Audiences: Public Engagement with Science and Information Science Education*. Washington, D.C.: Centre for Advancement of Informal Science Education. Consultat des de http://digitalcommons.calpoly.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1011&context=eth_fac
- McCombs, M. (2004). *Setting the Agenda: The Mass Media and Public Opinion*. Cambridge, UK: Polity Press.
- McDaniel, E. A., Dell Felder, B., Gordon, L., Hrutka, M. E., & Quinn, S. (2000). New faculty roles in learning outcomes education: The experiences of four models and institutions. *Innovative Higher Education*, 25(2), 143–157. <https://doi.org/10.1023/A:1007529007265>
- McMillan, S. J. (2000). The microscope and the moving target: The challenge of applying content analysis to the world wide web. *Journalism and Mass Communication Quarterly*, 77(1), 80–98. <https://doi.org/10.1177/107769900007700107>
- Medin, D. L., & Bang, M. (2014). The cultural side of science communication. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(Suppl 4), 13621–13626. <https://doi.org/10.1073/pnas.1317510111>
- Medvecky, F., & Leach, J. (2017). The ethics of science communication. *Journal of Science Communication*, 16(4), 1–5.
- Mendonça, C. (2013). El uso de mapas conceptuales progresivos como estrategia de enseñanza y aprendizaje en la formación de profesores en Biología. *Journal for Educators, Teachers and Trainers*, 4(1), 107–121.
- Meraz, S. (2011). The fight for “how to think”: Traditional media, social networks, and issue interpretation. *Journalism*, 12(1), 107–127. <https://doi.org/10.1177/1464884910385193>
- Mertens, R. (2018). *The Graphene Handbook*. lulu.com. Consultat des de <https://www.graphene-info.com/handbook>
- Merton, R. K. (1942). The normative structure of science. Dins R. K. Merton (Ed.), *The Sociology of Science: Theoretical and Empirical Investigations* (pp. 267–278). Chicago: University of Chicago Press.
- Meyer, M. (2010). The rise of the knowledge broker. *Science Communication*, 32(1), 118–127. <https://doi.org/10.1177/1075547009359797>
- Miller, J. D. (2010). Adult science learning in the internet era. *Curator: The Museum Journal*, 53(2), 191–208. <https://doi.org/10.1111/j.2151-6952.2010.00019.x>
- Mills, J. E., & Treagust, D. F. (2014). Engineering education: Is problem-based or project-based learning the answer? *Australasian Journal of Engineering Education*. Consultat des de https://www.researchgate.net/profile/Nathan_Scott2/publication/238670687_AUSTRALASIAN_JOURNAL_OF_ENGINEERING_EDUCATION_Co-Editors/links/0deec53a08c7553c37000000.pdf
- Minstrell, J., & Stimpson, V. (2013). A classroom environment for learning: Guiding students’ reconstruction of understanding and reasoning. Dins L. Schauble & R. Glaser (Eds.), *Innovations in Learning: New Environments for Education* (pp. 187–214). New York: Routledge.
- Misseyanni, A., Lytras, M. D., Papadopoulou, P., & Marouli, C. (2018). *Active Learning Strategies in Higher Education: Teaching for Leadership, Innovation, and Creativity*. Bingley, UK: Emerald Publishing Limited. <https://doi.org/10.1108/9781787144873>
- Mobjörk, M. (2010). Consulting versus participatory transdisciplinarity: A refined classification of transdisciplinary research. *Futures*, 42(8), 866–873. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2010.03.003>

- Molina-Azcárate, L. (2013). Los mapas conceptuales como herramientas de diagnóstico y tratamiento de errores conceptuales. *Journal for Educators, Teachers and Trainers*, 4(1), 122–131.
- Morose, G. (2010). The 5 principles of “Design for Safer Nanotechnology.” *Journal of Cleaner Production*, 18(3), 285–289. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2009.10.001>
- Muangsrinoon, S., & Boonbrahm, P. (2019). Game elements from literature review of gamification in healthcare context. *Journal of Technology and Science Education*, 9(1), 20–31. <https://doi.org/10.3926/jotse.556>
- Mueller, P. (2007). Exploring the knowledge filter: How entrepreneurship and university-industry relationships drive economic growth. *Research Policy*, 35(10), 1499–1508.
- National Communication Association. (1999). NCA Credo for Ethical Communication. Consultat des de https://www.natcom.org/sites/default/files/pages/1999_Public_Statements_NCA_Credo_for_Ethical_Communication_November.pdf
- National Science Board. (2012). Science and technology: Public attitudes and understanding. Dins *Science and Engineering Indicators 2012*. Arlington, VA: National Science Foundation.
- National Science Board. (2014). Science and technology: Public attitudes and public understanding. Dins *Science and Engineering Indicators 2014*. Consultat des de <http://www.nsf.gov/statistics/seind14/>
- Nelkin, D. (1995). *Selling Science: How the Press Covers Science and Technology*. New York: W. H. Freeman.
- Nesbit, S., & Mayer, A. (2010). Shifting attitudes: The influence of field trip experiences on student beliefs. *Transformative Dialogues: Teaching and Learning Journal*, 4(2), 1–22.
- Neuendorf, K. (2002). *The Content Analysis Guidebook*. Thousand Oaks, CA: SAGE Publications.
- Nisbet, M. C., Brossard, D., & Kroepsch, A. (2003). Framing science: The stem cell controversy in an age of press/politics. *Harvard International Journal of Press/Politics*, 8(2), 36–70.
- 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. <https://doi.org/10.3732/ajb.0900041>
- Nixon, A. (2015). Who is making graphene, and where: Examining a secretive market. Consultat des de <http://investorintel.com/technology-metals-intel/who-is-making-graphene-and-where-examining-a-secretive-market/>
- Noble, H., & Smith, J. (2015). Issues of validity and reliability in qualitative research. *Evidence-Based Nursing*, 18(2), 34–35. <https://doi.org/10.1136/eb-2015-102054>
- Noordewier, M. K., & Breugelmans, S. M. (2013). On the valence of surprise. *Cognition and Emotion*, 27(7), 1326–1334. <https://doi.org/10.1080/02699931.2013.777660>
- Novak, J. D. (2010). Learning, creating, and using knowledge: Concept maps as facilitative tools in schools and corporations. *Journal of E-Learning and Knowledge Society*, 6(3), 21–30. <https://doi.org/10.4324/9780203862001>
- Novak, J. D. (2012). Empowering learners and educators. *Journal for Educators, Teachers and Trainers*, 4(1), 14–24.
- Novak, J. D., & Cañas, A. J. (2008). *The Theory Underlying Concept Maps and How to Construct and Use Them. Technical Report IHMC CmapTools 2006-01 Rev 01-2008*. Florida. Consultat des de <http://cmap.ihmc.us/Publications/%0AResearchPapers/TheoryUnderlyingConceptMaps.pdf>
- Novak, J. D., & Gowin, B. (1988). *Aprendiendo a Aprender*. Barcelona: Martínez Roca.

- Novak, J. D., Mintzes, J. I., & Wandersee, J. H. (2005). Learning, teaching, and assessment: A human constructivist perspective. Dins J. I. Mintzes, J. H. Wandersee, & J. D. Novak (Eds.), *Assessing Science Understanding. A Human Constructivist View* (pp. 1–13). San Diego: Elsevier Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-012498365-6/50003-2>
- Novoselov, K. S., Fal'ko, V. I., Colombo, L., Gellert, P. R., Schwab, M. G., & Kim, K. (2012). A roadmap for graphene. *Nature*, *490*, 192–200. <https://doi.org/10.1038/nature11458>
- Novoselov, K. S., Geim, A. K., Morozov, S. V., Jiang, D., Zhang, Y., Dubonos, S. V., ... Firsov, A. A. (2004). Electric field effect in atomically thin carbon films. *Science*, *306*(5696), 666–669. <https://doi.org/10.1126/science.1102896>
- Nyström, A. M., & Fadeel, B. (2012). Safety assessment of nanomaterials: Implications for nanomedicine. *Journal of Controlled Release*, *161*, 403–408. <https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2012.01.027>
- O'Flaherty, J., & Phillips, C. (2015). The use of flipped classrooms in higher education: A scoping review. *The Journal of Internet and Higher Education*, *25*, 85–95. <https://doi.org/10.1016/j.iheduc.2015.02.002>
- O'Neill, S., & Nicholson-Cole, S. (2009). "Fear won't do it." Promoting positive engagement with climate change through visual and iconic representations. *Science Communication*, *30*(3), 355–379. <https://doi.org/10.1177/1075547008329201>
- OECD. (2014). PISA 2012 results: Creative problem solving: Students' skills in tackling real-life problems. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/9789264208070-en>
- OECD. (2017). PISA 2015 results: Collaborative problem solving. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/9789264285521-en>
- Office of Science and Technology and Wellcome Trust. (2000). *Science and the Public: A Review of Science Communication and Public Attitudes to Science in Britain*. Consultat des de http://www.wellcome.ac.uk/stellent/groups/corporatesite/@msh_peda/documents/web_document/wtd003419.pdf
- Ojeda Cabrera, A., Díaz Cuéllar, F., González Landrián, L., Pinedo Melis, P., & Hernández Gener, M. (2007). Los mapas conceptuales: Una poderosa herramienta para el aprendizaje significativo. *Revista Cubana de Información En Ciencias de La Salud*, *15*(5), 7.
- Oliver, K., Innvar, S., Lorenc, T., Woodman, J., & Thomas, J. (2014). A systematic review of barriers to and facilitators of the use of evidence by policymakers. *BMC Health Services Research*, *14*(2), 1–12. <https://doi.org/10.1186/1472-6963-14-2>
- Olson, R. (2013). Science communication: Narratively speaking. *Science*, *342*, 1168–1170.
- Osborn, A. (1993). *Applied Imagination: Principles and Procedures of Creative Problem-Solving* (3rd ed.). Buffalo, N.Y.: Creative Education Foundation.
- Ouden, E. den. (2013). Creating meaningful innovations: The value framework. Dins *Advanced Design Methods for Successful Innovation* (pp. 167–176). Ministry of Economic Affairs.
- Packer, J., & Ballantyne, R. (2004). Is educational leisure a contradiction in terms? Exploring the synergy of education and entertainment. *Annals of Leisure Research*, *7*(1), 54–71. <https://doi.org/10.1080/11745398.2004.10600939>
- Packer, J., & Ballantyne, R. (2013). Encouraging reflective visitor experiences in ecotourism. Dins J. Packer & R. Ballantyne (Eds.), *International Handbook on Ecotourism* (pp. 169–177). Cheltenham: Edward Elgar Publishing. <https://doi.org/10.4337/9780857939975.00020>

- Pauwels, L. (2006). *Visual Cultures of Science: Rethinking Representational Practices in Knowledge Building and Science Communication*. Lebanon: University Press of New England.
- Pedhazur, E., & Pedhazur-Schmelkin, L. (1991). *Measurement, Design, and Analysis: An Integral Approach*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Pegrum, M., Bartle, E., & Longnecker, N. (2015). Can creative podcasting promote deep learning? The use of podcasting for learning content in an undergraduate science unit. *British Journal of Educational Technology*, 46(1), 142–152. <https://doi.org/10.1111/bjet.12133>
- Peplow, M. (2013). Graphene: The quest for supercarbon. *Nature*, 503, 327–329. <https://doi.org/10.1038/503327a>
- Peters, H. P. (2013). Gap between science and media revisited: Scientists as public communicators. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(Suppl 3), 14102–14109. <https://doi.org/10.1073/pnas.1212745110>
- Peters, H. P., Brossard, D., de Cheveigne, S., Dunwoody, S., Kallfass, M., Miller, S., & Tsuchida, S. (2008). Interactions with the Mass Media. *Science*, 321, 204–205. <https://doi.org/10.1126/science.1157780>
- Petersen, A., Anderson, A., Allan, S., & Wilkinson, C. (2009). Opening the black box: Scientists' views on the role of the news media in the nanotechnology debate. *Public Understanding of Science*, 18(5), 512–530. <https://doi.org/10.1177/0963662507084202>
- Petty, R. E., McMichael, S., & Brannon, L. (1992). The elaboration likelihood model of persuasion: Applications in recreation and tourism. Dins M. Manfredi (Ed.), *Influencing Human Behaviour: Theory and Applications in Recreation, Tourism and Natural Resources Management* (pp. 77–101). Champaign, IL: Sagamore Publishing.
- Phantoms Foundation. (2016). Catalogue of nanoscience & nanotechnology companies in Spain. Madrid, Spain. Consultat des de https://issuu.com/phantoms_foundation/docs/catalogue_of_nanoscience_nanotech?embed_cta=read_more&embed_context=embed&embed_domain=nanospain.org&embed_id=3670244%2525252F35423238
- Phantoms Foundation. (2019). *Graphene Companies Catalogue & Research Centers* (4th ed.). (A. Correia, Ed.). Madrid, Spain. Consultat des de https://issuu.com/phantoms_foundation/docs/graphenecatalogue2019
- Pimvichai, J., Yuenyong, C., & Buaraphan, K. (2019). Development of grade 10 students' scientific argumentation through the science-technology-society learning unit on work and energy. *Journal of Technology and Science Education*, 9(3), 428–441. <https://doi.org/10.3926/jotse.527>
- Pohl, C., Rist, S., Zimmermann, A., Fry, P., Gurung, G. S., Schneider, F., ... Urs, W. (2010). Researchers' roles in knowledge co-production: Experience from sustainability research in Kenya, Switzerland, Bolivia and Nepal. *Science and Public Policy*, 37(4), 267–281. <https://doi.org/10.3152/030234210X496628>
- Pombo, O. (2000). Comunicação e construção do conhecimento. Dins O. Valente (Ed.), *Itinerários. Investigar em Educação* (pp. 755–760). Lisboa: CIE.
- Pont Sorribes, C., Cortiñas Rovira, S., & Di Bonito, I. (2013). Retos y oportunidades para los periodistas científicos en la adopción de las nuevas tecnologías: El caso de España, *12*(03), 1–17.
- Pratt, D. (2002). Analyzing perspectives: Identifying commitments and belief structures. Dins *Five Perspectives on Teaching in Adult and Higher Education* (pp. 217–255). Malabar, FL: Krieger Publishing Company.

- Priest, S. H. (2010). Coming of age in the academy? The status of our emerging field. *Journal of Science Communication*, 9(3), 1–5. <https://doi.org/10.22323/2.09030306>
- Priest, S. H. (2011). *Nanotechnology and the Public: Risk Perception and Risk Communication*. London: CRC Press. Consultat des de <https://www.crcpress.com/Nanotechnology-and-the-Public-Risk-Perception-and-Risk-Communication/Priest/p/book/9781439826836>
- Raijmakers, B., Thompson, M., & Van de Garde-Perik, E. (2012). *New Goals for Design, New Roles for Designers?* Helsinki: Cumulus.
- Rainie, L., & Funk, C. (2015). *Public and Scientists' Views on Science and Society*. Consultat des de https://www.researchgate.net/publication/279513537_Public_and_Scientists'_Views_on_Science_and_Society
- Razzouk, R., & Shute, V. (2012). What is design thinking and why is it important? *Review of Educational Research*, 82(3), 330–348. <https://doi.org/10.3102/0034654312457429>
- Renn, O. (2011). The social amplification/attenuation of risk framework: Application to climate change. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 2(2), 154–169. <https://doi.org/10.1002/wcc.99>
- Rice, R. E., & Giles, H. (2016). The contexts and dynamics of science communication and language. *Journal of Language and Social Psychology*, 36(1), 127–139. <https://doi.org/10.1177/0261927X16663257>
- Riesch, H. (2014). Why did the proton cross the road? Humour and science communication. *Public Understanding of Science*, 24(7), 768–775. <https://doi.org/10.1177/0963662514546299>
- Riffe, D., Lacy, S., & Fico, F. (1998). *Analyzing Media Messages: Using Quantitative Content Analysis in Research*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Robertson, D. W. (1946). A note on the classical origin of circumstances in the medieval confessional. *Studies in Philology*, 43(1), 6–14.
- Robson, C. (2002). *Real World Research: A Resource for Social Scientists and Practitioner-Researchers* (2nd ed.). Oxford: Blackwell Publishers.
- Rodríguez Estrada, F. C., & Davis, L. S. (2015). Improving visual communication of science through the incorporation of graphic design theories and practices into science communication. *Science Communication*, 37(1), 140–148. <https://doi.org/10.1177/1075547014562914>
- Rodríguez Gómez, D., & Valldeoriola Roquet, J. (2014). *Metodologia de la Investigació*. Universitat Oberta de Catalunya.
- Rogers, E. M. (2003). *Diffusion of Innovations* (5th ed.). New York: Free Press.
- Romance, N. R., & Vitale, M. R. (2013). A research-based instructional model for integrating meaningful learning in elementary science and reading comprehension: Implications for policy and practice. Dins N. Stein & S. Raudenbush (Eds.), *Developmental Cognitive Science Goes to School* (pp. 127–142). New York: Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203837535>
- Romero, C., Cazorla, M., & Buzón, O. (2017). Meaningful learning using concept maps as a learning strategy. *Journal of Technology and Science Education*, 7(3), 313–332. <https://doi.org/10.3926/jotse.276>
- Rosentiel, T. (2009). *Newspapers Face a Challenging Calculus: Online Growth, but Print Losses are Bigger*. Pew Research Center for the People and the Press. Consultat des de <https://www.pewresearch.org/2009/02/26/newspapers-face-a-challenging-calculus/>
- Rowe, A. J. (2004). *Creative Intelligence: Discovering the Innovative Potential in Ourselves and Others*. *Inteligencia Creativa*. Pearson: Prentice Hall.

- Rowe, G., & Frewer, L. J. (2005). A typology of public engagement mechanisms. *Science Technology Human Values*, 30, 251–290.
- Russell, C. (2010). Covering controversial science: Improving reporting on science and public policy. Dins D. Kennedy & G. Overholser (Eds.), *Science and the Media* (pp. 13–43). Cambridge: American Academy of Arts and Sciences.
- Ryan, R. M., & Deci, E. L. (2000). Self-determination theory and the facilitation of intrinsic motivation, social development, and well-being. *American Psychologist*, 55(1), 68–78.
<https://doi.org/10.1037/0003-066X.55.1.68>
- Salmon, R. A., Priestley, R. K., & Goven, J. (2017). The reflexive scientist: An approach to transforming public engagement. *Journal of Environmental Studies and Sciences*, 7(1), 53–68.
<https://doi.org/10.1007/s13412-015-0274-4>
- Sampson, V., Grooms, J., & Walker, J. (2009). Argument-driven inquiry to promote learning and interdisciplinary work in science classrooms. *The Science Teacher*, 76(8), 42–47.
- Sanders, E. (2000). Generative tools for codesigning. Dins S. A. Scrivener, L. J. Ball, & A. Woodcock (Eds.), *Collaborative Design* (pp. 3–12). London: Springer-Verlag London Limited.
https://doi.org/10.1007/978-1-4471-0779-8_1
- Sanders, E. (2002). From user-centered to participatory design approaches. Dins J. Frascara (Ed.), *Design and Social Sciences*. Taylor & Francis Books Limited.
- Sanders, E., & Stappers, P. J. (2008). Co-creation and the new landscapes of design. *CoDesign*, 4(1), 5–18. <https://doi.org/10.1080/15710880701875068>
- Sanders, E., & William, C. (2001). Harnessing people’s creativity: Ideation and expression through visual communication. Dins J. Langford & D. McDonagh (Eds.), *Focus Groups: Supporting effective product development* (p. 12). London: Taylor & Francis.
- Sapp, S. G., Korsching, P. F., Arnot, C., & Wilson, J. J. H. (2013). Science communication and the rationality of public opinion formation. *Science Communication*, 35(6), 734–757.
<https://doi.org/10.1177/1075547013480491>
- Scharrer, L., Rupiaper, Y., Stadler, M., & Bromme, R. (2017). When science becomes too easy: Science popularization inclines laypeople to underrate their dependence on experts. *Public Understanding of Science*, 26(8), 1003–1018. <https://doi.org/10.1177/0963662516680311>
- Scheer, A., Noweski, C., & Meinel, C. (2012). Transforming constructivist learning into action: Design thinking in education. *Design and Technology Education: An International Journal*, 17(3), 8–19.
<https://doi.org/10.1007/BF02019079>
- Scheufele, D. A. (2013). Communicating science in social settings. *Proceedings of the National Academy of Science USA*, 110(Suppl 3), 14040–14047.
- Scheufele, D. A. (2014). Science communication as political communication. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(Suppl 4), 13585–13592. <https://doi.org/10.1073/pnas.1317516111>
- Schmickl, C., & Kieser, A. (2008). How much do specialists have to learn from each other when they jointly develop radical product innovations? *Research Policy*, 37(3), 473–491.
- Schwartz, D. L., Bransford, J. D., & Sears, D. (2005). Efficiency and innovation in transfer. Dins J. P. Mestre (Ed.), *Transfer of Learning from a Modern Multidisciplinary Perspective* (pp. 1–51). USA: Information Age Publishing. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2133.2005.06492.x>
- Scott, E. (2012). Science fresh from the box. *Nature*, 492, 184–185. <https://doi.org/10.1038/492184a>

- Seabra, A. B., Paula, A. J., De Lima, R., Alves, O. L., & Durán, N. (2014). Nanotoxicity of graphene and graphene oxide. *Chemical Research in Toxicology*, 27(2), 159–168. <https://doi.org/10.1021/tx400385x>
- Seguí-Simarro, J. M., Poza-Luján, J. L., & Mulet-Salort, J. M. (2015). *Estrategias de Divulgación Científica*. Valencia: Universitat Politècnica de València.
- Selin, C., Rawlings, K. C., de Ridder-Vignone, K., Sadowski, J., Altamirano Allende, C., Gano, G., ... Guston, D. H. (2017). Experiments in engagement: Designing public engagement with science and technology for capacity building. *Public Understanding of Science*, 26(6), 634–649. <https://doi.org/10.1177/0963662515620970>
- Shapira, P., Gök, A., & Yazdi, F. S. (2015). Graphene research and enterprise: Mapping innovation and business growth in a strategic emerging technology in a strategic emerging technology. Nesta.
- Shapira, P., Youtie, J., & Arora, S. (2012). Early patterns of commercial activity in graphene. *Journal of Nanoparticle Research*, 14(811), 1–15. <https://doi.org/10.1007/s11051-012-0811-y>
- Shoemaker, P. J., & Vos, T. P. (2009). *Gatekeeping Theory*. New York: Routledge.
- Shugart, E. C., & Racaniello, V. R. (2015). Scientists: Engage the public! *MBio*, 6(6), 1–2. <https://doi.org/10.1128/mBio.01989-15>
- Simis, M. J., Madden, H., Cacciatore, M. A., & Yeo, S. K. (2016). The lure of rationality: Why does the deficit model persist in science communication? *Public Understanding of Science*, 25(4), 400–414. <https://doi.org/10.1177/0963662516629749>
- Sinatra, G. M., Kienhues, D., & Hofer, B. K. (2014). Addressing challenges to public understanding of science: Epistemic cognition, motivated reasoning, and conceptual change. *Educational Psychologist*, 49(2), 123–138. <https://doi.org/10.1080/00461520.2014.916216>
- Slooman, S. A. (1996). The empirical case for two systems of reasoning. *Psychological Bulletin*, 119(1), 3–22. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.119.1.3>
- Slovic, P., & Peters, E. (2006). Risk perception and affect. *Current Directions in Psychological Science*, 15(6), 322–325. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8721.2006.00461.x>
- Society of Professional Journalists. (2014). SPJ Code of Ethics. Consultat des de <https://www.spj.org/pdf/spj-code-of-ethics.pdf>
- Sommer, R., & Sommer, B. (2002). *A Practical Guide to Behavioral Research: Tools and Techniques*. New York: Oxford University Press.
- Soto-Carrión, C., Chata-Mamani, H., & Jiménez-Mendoza, W. (2014). La utilización de mapas conceptuales y mentales en el aprendizaje significativo. *Revista de Investigaciones de La UNAD*, 13(2), 63–77. <https://doi.org/10.22490/25391887.1146>
- Spicer, S. (2017). The nuts and bolts of evaluating science communication activities. *Seminars in Cell and Developmental Biology*, 70, 17–25. <https://doi.org/10.1016/j.semcdb.2017.08.026>
- Spiegelhalter, D. (2017). Trust in numbers. *Journal of the Royal Statistical Society. Series A: Statistics in Society*, 180(4), 948–965. <https://doi.org/10.1111/rssa.12302>
- Spinuzzi, C. (2005). The methodology of participatory design. *Technical Communication*, 52(2), 163–174.
- Stappers, P. J., & Sanders, E. (2003). Generative tools for context mapping: Tuning the tools. Dins *Design and Emotion* (pp. 77–81). London: Taylor & Francis.
- Stern, P. C., Dietz, T., Abel, T., Guagnano, G. A., & Kalof, L. (1999). A value-belief-norm theory of support for social movements: The case of environmentalism. *Human Ecology Review*, 6(2), 81–97.

- Stilgoe, J., Lock, S. J., & Wilsdon, J. (2014). Why should we promote public engagement with science? *Public Understanding of Science*, 23(1), 4–15. <https://doi.org/10.1177/0963662513518154>
- Sturgis, P., & Allum, N. (2004). Science in society: Re-evaluating the deficit model of public attitudes. *Public Understanding of Science*, 13(1), 55–74. <https://doi.org/10.1177/0963662504042690>
- Suldovsky, B. (2016). In science communication, why does the idea of a public deficit always return? Exploring key influences. *Public Understanding of Science*, 25(4), 447–426. <https://doi.org/10.1177/0963662516629745>
- Suleski, J., & Ibaraki, M. (2010). Scientists are talking, but mostly to each other: A quantitative analysis of research represented in the mass media. *Public Understanding of Science*, 19(1), 115–125.
- Sundquist, J. L. (1978). Research brokerage: The weak link. Dins L. E. Lynn (Ed.), *Knowledge and Policy: The Uncertain Connection. Study Project on Social Research and Development* (pp. 126–144). Washington, D.C.: National Academy of Sciences.
- Takahashi, B., & Tandoc, E. C. (2016). Media sources, credibility, and perceptions of science: Learning about how people learn about science. *Public Understanding of Science*, 25(6), 674–690. <https://doi.org/10.1177/0963662515574986>
- Talbert, R. (2012). Inverted classroom. *Journal of Education Reform*, 9(1), 1–19.
- The Royal Society. (2006). *Survey of Factors Affecting Science Communication by Scientists and Engineers*. London. Consultat des de https://royalsociety.org/~media/royal_society_content/policy/publications/2006/111111395.pdf
- The Royal Swedish Academy of Sciences. (2010). Scientific background on the Nobel Prize in physics 2010. *The Royal Swedish Academy of Sciences*, 1–10. <https://doi.org/10.1038/news.2010.620>
- The University of Manchester. (2015). National Graphene Institute (NGI). Consultat des de <https://www.graphene.manchester.ac.uk/about/ngi/>
- Torío, H. (2019). Teaching as coaching: Experiences with a video-baed flipped classroom combined with project-based approach in technology and physics higher education. *Journal of Technology and Science Education*, 9(3), 404. <https://doi.org/10.3926/jotse.554>
- Toulmin, S. E. (2003). *The Uses of Argument: Updated Ed.* <https://doi.org/10.1017/CBO9780511840005>
- Trope, Y., & Liberman, N. (2010). Construal-level theory of psychological distance. *Psychological Review*, 117(2), 440–463. <https://doi.org/10.1037/a0018963>
- Tsfati, Y., Cohen, J., & Gunther, A. C. (2010). The influence of presumed media influence on news about science and scientists. *Science Communication*, 33(2), 143–166. <https://doi.org/10.1177/1075547010380385>
- Tumbaco, A. M., Cabanilla, G. E., Pavón, C. A., & Acosta, T. G. (2018). Leisure activities for the development of creative intelligence in mathematical problem solving. *Journal of Technology and Science Education*, 8(2), 126–131. <https://doi.org/10.3926/jotse.412>
- Turney, J. (1998). To know science is to love it? Observations from public understanding of science research. *Public Understanding of Science Practice*. Consultat des de https://www.academia.edu/35803556/To_know_science_is_to_love_it_Observations_from_public_understanding_of_science_research?auto=download
- Ungar, S. (2000). Knowledge, ignorance and the popular culture: Climate change versus the ozone hole. *Public Understanding of Science*, 9(3), 297–312. <https://doi.org/10.1088/0963-6625/9/3/306>
- Uzunboylu, H., & Karagözlü, D. (2017). The emerging trend of the flipped classroom: A content analysis of published articles between 2010 and 2015. *Revista de Educación a Distancia (RED)*, 54(4), 1–13. <https://doi.org/10.6018/red/54/4>

- Valdez, J., & Bungihan, M. (2019). Problem-based learning approach enhances the problem solving skills in Chemistry of high school students. *Journal of Technology and Science Education*, 9(3), 282–294. <https://doi.org/10.3926/jotse.631>
- van der Linden, S. (2015). The social-psychological determinants of climate change risk perceptions: Towards a comprehensive model. *Journal of Environmental Psychology*, 41, 112–124. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2014.11.012>
- van der Linden, S., Maibach, E., & Leiserowitz, A. (2015). Improving public engagement with climate change: Five “best practice” insights from psychological science. *Perspectives on Psychological Science*, 10(6), 758–763. <https://doi.org/10.1177/1745691615598516>
- van der Sanden, M. C. A., & Flipse, S. M. (2015). A cybernetic dream: How a crisis in social sciences leads us to a communication for innovation-laboratory. *Journal of Science Communication*, 14(1), 1–9. <https://doi.org/10.22323/2.14010401>
- van Dijk, E. M. (2011). Portraying real science in science communication. *Science Education*, 95(6), 1086–1100. <https://doi.org/10.1002/sce.20458>
- Van Noorden, R. (2014). Scientists and the social network. *Nature*, 512(14), 126–129. <https://doi.org/10.1038/512126a>
- van Vugt, M., Griskevicius, V., & Schultz, P. W. (2014). Naturally green: Harnessing stone age psychological biases to foster environmental behavior. *Social Issues and Policy Review*, 8(1), 1–32. <https://doi.org/10.1111/sipr.12000>
- van Woensel, L., & Archer, G. (2015). Ten technologies which could change our lives: Potential impacts and policy implications. *European Parliamentary Research Service*, PE 527.417, 1–20. <https://doi.org/10.2861/610145>
- Vassala, P. (2006). The field study as an educational technique in open and distance learning. *Turkish Online Journal of Distance Education*, 7(4), 10–17.
- Vázquez, E., & López, E. (2016). Experiencia didáctica con mapas conceptuales interactivos con estudiantes universitarios sobre las áreas de intervención socio-laboral del educador social. *Aula de Encuentro*, 18(1), 5–23.
- Veltri, G. (2012). Viva la nano-revolucion! A semantic analysis of the Spanish national press. *Science Communication*, 35(2), 143–167. <https://doi.org/10.1177/1075547012440353>
- Venville, G., Rennie, L., Hanbury, C., & Longnecker, N. (2013). Scientists reflect on why they chose to study science. *Research in Science Education*, 43(6), 2207–2233. <https://doi.org/10.1007/s11165-013-9352-3>
- Vidal-Ledo, M., Vialart-Vidal, N., & Ríos-Vialart, P. (2007). Mapas conceptuales: Una estrategia para el aprendizaje. *Revista Cubana de Educacion Medica Superior*, 21(3), 1–5.
- von Winterfeldt, D. (2013). Bridging the gap between science and decision making. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(Suppl 3), 14055–14061. <https://doi.org/10.1073/pnas.1213532110>
- Wade, S., & Schramm, W. (1969). The mass media as sources of public affairs, science, and health knowledge. *Public Opinion Quarterly*, 33(2), 197–209. <https://doi.org/10.1086/267691>
- Waldrop, M. M. (2015). Why we are teaching science wrong, and how to make it right. *Nature*, 523(7560), 272–274. <https://doi.org/10.1038/523272a>
- Walker, K., & Moscardo, G. (2014). Encouraging sustainability beyond the tourist experience: Ecotourism, interpretation and values. *Journal of Sustainable Tourism*, 22(8), 1175–1196. <https://doi.org/10.1080/09669582.2014.918134>

- Wang, M., Yan, C., & Ma, L. (2012). Graphene nanocomposites. Dins N. Hu (Ed.), *Composites and Their Properties* (pp. 17–36). Rijeka, Croatia: InTech. <https://doi.org/10.5772/50840>
- Ward, V., House, A., & Hamer, S. (2009). Knowledge brokering: The missing link in the evidence to action chain? *Evidence and Policy: A Journal of Research, Debate and Practice*, 5(3), 267–279. <https://doi.org/10.1332/174426409X463811>
- Wassei, J. K., & Kaner, R. B. (2013). Oh, the places you'll go with graphene. *Accounts of Chemical Research*, 46(10), 2244–2253. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2015.11.016>
- Weaver, D. A., Lively, E., & Bimber, B. (2009). Searching for a frame: News media tell the story of technological progress, risk, and regulation. *Science Communication*, 31(2), 139–166.
- Wehrmann, C., & Henze–Rietveld, I. (2016). A pedagogy to educate novices to professionalize: On the crossroad of science and technology education and communication. Dins M. C. A. Van Der Sanden & M. J. De Vries (Eds.), *Science and Technology Education and Communication* (pp. 107–128). https://doi.org/10.1007/978-94-6300-738-2_7
- Wehrmann, C., & van der Sanden, M. C. A. (2017). Universities as living labs for science communication. *Journal of Science Communication*. Scuola Internazionale Superiore di Studi Avanzati.
- Wei, D., & Kivioja, J. (2013). Graphene for energy solutions and its industrialization. *Nanoscale*, 5, 10108–10126. <https://doi.org/10.1039/c3nr03312k>
- Wei, R. (2013). Mobile media: Coming of age with a big splash. *Mobile Media & Communication*, 1(1), 50–56. <https://doi.org/10.1177/2050157912459494>
- Weingart, P. (2012). The lure of the mass media and its repercussions on science. Dins S. Rödder, M. Franzen, & P. Weingart (Eds.), *The Sciences' Media Connection - Public Communication and Its Repercussions* (pp. 17–32). The Netherlands: Springer Science & Business Media. https://doi.org/10.1007/978-94-007-2085-5_2
- Werbach, K., & Hunter, D. (2012). *Game Thinking Can Revolutionize Your Business*. Wharton Digital Press. Philadelphia.
- Wiener, G. J., Schmeling, S. M., & Hopf, M. (2017). Why not start with quarks? Teachers investigate a learning unit on the subatomic structure of matter with 12-year-olds. *European Journal of Science and Mathematics Education*, 5(2), 134–157. Consultat des de <http://libproxy.library.wmich.edu/login?url=https://search.proquest.com/docview/1913346413?accountid=15099>
- Wilson, J. (2011). Importance of field study programmes. *Journal of Sierra Collage Natural History Museum*, 4(1).
- Wilson, Z. S., McGuire, S. Y., Limbach, P. A., Doyle, M. P., Marzilli, L. G., & Warner, I. M. (2014). Diversifying Science, Technology, Engineering, and Mathematics (STEM): An inquiry into successful approaches in Chemistry. *Journal of Chemical Education*, 91, 1860–1866. <https://doi.org/10.1021/ed400702v>
- Wimmer, R. D., & Dominick, J. R. (2001). *Introducción a la Investigación en Medios Masivos de Comunicación*. Mexico D.F.: Ediciones Paraninfo.
- Wolf, C., & Schnauber, A. (2015). News consumption in the mobile era: The role of mobile devices and traditional journalism's content within the user's information repertoire. *Digital Journalism*, 3(5), 759–776. <https://doi.org/10.1080/21670811.2014.942497>
- Wong-Parodi, G., & Strauss, B. H. (2014). Team science for science communication. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 111(Suppl 4), 13658–13663. <https://doi.org/10.1073/pnas.1320021111>

- Woolf, B. P. (2009). Communication knowledge. Dins *Building Intelligent Interactive Tutors* (pp. 136–182). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-373594-2.00005-8>
- Wrench, J. S., Thomas-Maddox, C., Richmond, V. P., & McCroskey, J. C. (2008). *Quantitative research methods for communication: A hands-on approach*. Oxford: Oxford University Press, Inc.
- Wynne, B. (1992). Misunderstood misunderstanding: Social identities and public uptake of science. *Public Understanding of Science*, 1(3), 281–304. <https://doi.org/10.1088/0963-6625/1/3/004>
- Wynne, B. (1993). Public uptake of science: A case for institutional reflexivity. *Public Understanding of Science*, 2(4), 321–337. <https://doi.org/10.1088/0963-6625/2/4/003>
- Wynne, B. (2006). Public engagement as a means of restoring public trust in science: Hitting the notes, but missing the music? *Community Genetics*, 9(3), 211–220. <https://doi.org/10.1159/000092659>
- Yearley, S. (2004). *Making Sense of Science: Understanding the Social Study of Science*. London: SAGE Publications.
- Young, I. (2008). *Mental Models: Aligning Design Strategy with Human Behavior*. Brooklyn, NY: Rosenfeld Media.
- Zeisel, J. (2006). *Inquiry by Design: Environment/ Behavior/ Neuroscience in Architecture, Interiors, Landscape, and Planning*. New York: Norton.
- Zhao, X., Leiserowitz, A. A., Maibach, E. W., & Roser-Renouf, C. (2011). Attention to science/ environment news positively predicts and attention to political news negatively predicts global warming risk perceptions and policy support. *Journal of Communication*, 61(4), 713–731. <https://doi.org/10.1111/j.1460-2466.2011.01563.x>
- Zurutuza, A., & Marinelli, C. (2014). Challenges and opportunities in graphene commercialization. *Nature Nanotechnology*, 9, 730–734. <https://doi.org/10.1038/nnano.2014.225>

11. ANNEXOS

Seguidament, s'adjunten com a annexos els quatre articles que configuren el compendi de publicacions de la tesi:

Guasch, B., Cortiñas, S., González, M., Justel-Vázquez, S., & Peña, J. (2019). [The Representation of Graphene in the Online Press of the United States, the United Kingdom, and Spain.](#) *International Journal of Communication*, 13, 966–990. Disponible a <https://ijoc.org/index.php/ijoc/article/view/9843/2580>

Guasch, B., Cortiñas, S., González, M., & Peña, J. (2019). [Design Methodologies for Bridging Science, Technology, and Industry: A Graphene-Centered Case Study.](#) *The International Journal of Design Management and Professional Practice*, 13(1). <https://doi.org/10.18848/2325-162X/CGP/v13i01/1-20>

Guasch, B., González, M., & Cortiñas, S. (2019). [Enhancing Scientific Knowledge Transfer through Design Methodologies: A Graphene-Centered Case Study.](#) *The International Journal of Design in Society*, 13(2). <https://doi.org/10.18848/2325-1328/CGP/v13i02/63-85>

Guasch, B., González, M., & Cortiñas, S. (Acceptat per a la seva publicació). Educational Toolkit Based on Design Methodologies to Promote Scientific Knowledge Transfer in Secondary Schools: A Graphene-Centered Case Study. *Journal of Technology and Science Education*.

A banda dels articles, també s'annexen: (a) els elements gràfics desenvolupats per cada cas d'estudi, (b) imatges del kit Manual Thinking (Huber & Veldman, 2015), i (c) les enquestes d'avaluació dels tallers amb no experts i els tallers amb estudiants de secundària.

11.1. Article I

Guasch, B., Cortiñas, S., González, M., Justel-Vázquez, S., & Peña, J. (2019). [The Representation of Graphene in the Online Press of the United States, the United Kingdom, and Spain](https://ijoc.org/index.php/ijoc/article/view/9843/2580). *International Journal of Communication*, 13, 966–990. Disponible a <https://ijoc.org/index.php/ijoc/article/view/9843/2580>

Publicació *International Journal of Communication*

Editor *USC Annenberg School for Communication & Journalism*

País Estats Units

ISSN 19328036

Índexs de qualitat:

- CARHUS Plus+ 2014: A
- ERIH PLUS: revista inclosa des del 22/03/2015
- FECYT / Web of Science JCR (2017): 1.128 – Q3
- MIAR ICDS: 10.6
- Scopus SJR (2018): 0.871 – Q1

The Representation of Graphene in the Online Press of the United States, the United Kingdom, and Spain

BLANCA GUASCH

Elisava–Universitat Pompeu Fabra, Spain

SERGI CORTIÑAS

Universitat Pompeu Fabra, Spain

MARTA GONZÁLEZ

Elisava–Universitat Pompeu Fabra, Spain

SANTIAGO JUSTEL-VÁZQUEZ

Universitat Internacional de Catalunya, Spain

JAVIER PEÑA

Elisava–Universitat Pompeu Fabra, Spain

Graphene is the first two-dimensional material discovered by humans. It was isolated for the first time in 2004 and is being established as a revolutionary material for the 21st century. This study presents an analysis of the quantitative and qualitative contents from all news about graphene published online in *The New York Times* (United States), *The Guardian* (United Kingdom), and *El País* (Spain) from October 2004 to October 2017. We evaluate the media's coverage of a new, revolutionary material such as graphene in terms of the volume of news items per year and the authorship and treatment, thematic focus, and content of the articles—from both a quantitative and a qualitative perspective. This analysis offers insights into the knowledge transfer about graphene and can serve as a model to the materials science communication field.

Keywords: graphene, science and the media, science communication, popularization of science and technology, representations of science and technology, communication of graphene, online press analysis

Blanca Guasch: bguaschba@elisava.net

Sergi Cortiñas: sergi.cortinas@upf.edu

Marta González: mgonzalez@elisava.net

Santiago Justel-Vázquez: sjustel@uic.es

Javier Peña: jpenya@elisava.net

Date submitted: 2018-06-10

Copyright © 2019 (Blanca Guasch, Sergi Cortiñas, Marta González, Santiago Justel-Vázquez, and Javier Peña). Licensed under the Creative Commons Attribution Non-commercial No Derivatives (by-nc-nd). Available at <http://ijoc.org>.

The first isolation of graphene in 2004 and its implications changed the paradigm established by the laws of physics and opened the door to new, previously unheard of industrial applications (Ferrari et al., 2015). Numerous advances in research and industry have followed this discovery, and the mass media industry has been responsible for communicating these advances to broader audiences.

Despite the hundreds of mass media content studies in recent decades (Eveland & Cooper, 2013), none have examined news articles about graphene, probably because the material is still in the early stages of development. Our content analysis of online media shows how scientific information about graphene is presented to the public and, thus, which aspects are most covered over time by representative media organizations in three countries that are pioneers in the graphene field (ComScore, 2018; Nixon, 2015).

The study consists of a quantitative and qualitative content analysis of all articles about graphene published by leading digital media organizations in three important Western countries for manufacturing and research on graphene. They are *The New York Times* (the United States), *The Guardian* (the United Kingdom), and *El País* (Spain).¹ The study includes news items published between October 2004 and October 2017, a total of 13 years.

Context

Graphene and the Media

Graphene is the most important two-dimensional material discovered to date.² It was first isolated in 2004 at the University of Manchester, and according to the European Parliament, it is one of 10 technologies that could change our lives (Van Woensel & Archer, 2015). It is not surprising, then, that the material has captured the interest of the scientific community, industry, and governments on a global scale. This interest can be quantified in several ways, such as companies' dedication to graphene research, the development of new applications for the market, and the interest in publishing and communicating the advances of the material. Furthermore, it appears that graphene will replace certain existing technologies and materials, including silicon in applications such as photovoltaic plates and microchips (Novoselov et al., 2012).

Indeed, graphene and other synthetic carbon allotropes are currently at the forefront of materials science and nanotechnology. Expectations about the many practical applications of these materials are seen not only among the scientific community but also the public, leading companies, and politicians around the world (Hirsch, 2015). As with many issues that are not readily visible to the public, the media are used as

¹ The articles in *El País* were translated into English by experts before performing the content analysis.

² Graphene is a single layer of carbon atoms that are bonded together. Notable among its unique properties are its resistance, transparency, flexibility, impermeability, and hardness. It is also the thinnest material in the world, at 0.34 nanometers. It is currently the best known conductor of electricity and heat, and it is also an isotropic conductor. Chemically, it is an inert material that can absorb different atoms and molecules. It is impermeable to gases and can be functionalized by various chemical groups (Mertens, 2015).

a vehicle to inform society about graphene production networks and the potential they represent for industry (Dudo & Besley, 2016).

Due to the complexity of the subject of graphene and the difficulties associated with communicating this complexity, the media must continuously adapt highly technical knowledge into clear and accessible language for the public (Kueffer & Larson, 2014). Once people are out of formal schooling, mass media content is the primary source for scientific information (National Science Board, 2012). Therefore, the media act as "scientific gatekeepers" between research findings published in the scientific community and nonscientists (Eveland & Cooper, 2013; Shoemaker & Vos, 2009). The media thus are empowered to decide what pieces of information are most relevant to be published and disseminated.

Gatekeeping is, in fact, one of the media's main roles. People trust journalists to inform them about relevant advances, which means that journalists need to review a great amount of information to select the events and developments that are remarkable enough to be part of the manageable amount of information that they disseminate to the public (Shoemaker & Vos, 2009). Moreover, the coverage of a scientific topic varies depending on the medium, the news source, and over time (Eveland & Cooper, 2013).

Media coverage of any given topic occurs through a process called agenda setting—by continuously giving citizens cues about the importance of an issue, over time the media's agenda conditions the public agenda to a large extent (McCombs, 2004). In other words, the issues that the media emphasize are the ones that society comes to perceive as most relevant. Researchers such as Meraz (2011) argue that this process continues to operate in the digital age, which is crucial, considering that audiences increasingly turn to online sources. About seven in 10 Internet users go online to search for information about scientific issues, recent findings, definitions of scientific terms, and answers to questions about scientific concepts (Horrihan, 2006).

The process carried out by media organizations to convey information about scientific advances is called science communication. This process has been defined by several authors (Bell, Lewenstein, Shouse, & Feder, 2009; Burns, O'Connor, & Stocklmeyer, 2003; Fischhoff & Scheufele, 2013; Jucan & Jucan, 2014). Any science communication process involves knowledge transfer—the flow of information about scientific advances between researchers and society (Johnson, 2005). Researchers generate this knowledge, and disseminators reformulate the scientific discourse to make it more accessible to wider audiences (Cortiñas Rovira, 2008; Johnson, 2005). News agencies select which topics to disseminate (Boumans, Trilling, Vliegthart, & Boomgaarden, 2018).

As a society, we rely on the scientific information that journalists publish as the basis for forming opinions and making decisions. The online ecosystem has dramatically altered the way individuals find information about science and follow scientific findings and developments (Brossard, 2013). The Internet has become the primary source (59%) for people seeking information about science and technology topics (Günther & Domahidi, 2017)—a trend that has increased steadily since 2001 (National Science Board, 2014). There is an evident inclination toward online sources for science-related—and thus nanotechnology- and

graphene-related—information as well as an interest in learning about scientific subjects in greater depth (Anderson, Brossard, & Scheufele, 2010).

This change from print to online media has entailed many structural changes in journalism organizations. To manage the transition successfully, organizations have transferred much of their content to digital platforms (Bechmann, 2012). Content from traditional journalism organizations dominates the online information repertoire thanks to the public's familiarity and strong links with these organizations (Wolf & Schnauber, 2015).

Stakeholders and Language

Graphene is increasingly arousing the interest of governments and companies operating in multiple market sectors. Many governments and large corporations have announced graphene research and development projects (Ghavanini, 2015; Intellectual Property Office, 2015). For instance, the European Commission has allocated €1 billion for graphene research in Europe. Along with the Human Brain Project, it is the most important research initiative ever undertaken in Europe (Hirsch, 2015). The main goal of the project is to bring together academic and industrial researchers to take graphene from laboratories into society (Graphene Flagship, 2015).

Since the institutions interested in graphene—governments, companies, and the scientific community—come from various disciplines, the communication of science should be regarded not as a simplification of contents but as a recontextualization of the scientific discourse to a different domain in order to achieve a particular purpose (Luzón, 2013). Generally, cultural orientations (Medin & Bang, 2014) and resources such as metaphors (Boeynaems, Burgers, Konijn, & Steen, 2017; Kueffer & Larson, 2014) help transform this discourse into something understandable to readers in other fields of study and improve the quality of science communication (Medin & Bang, 2014). Indeed, achieving quality in knowledge transmission is one of the greatest challenges involved in communicating science topics to the public. Bucchi (2013) asserts that science should move from its “heroic phase”—distanced from society—to a phase in which quality is the priority for all parties involved.

Objective

Our main purpose is to analyze how *The New York Times*, *The Guardian*, and *El País* transferred knowledge and advances of graphene from the scientific community to lay audiences over the 13 years since the first isolation of the material. The study includes the evolution over time in news coverage of graphene in terms of (a) volume of news items published, (b) authorship and treatment, (c) thematic focus and content, and (d) qualitative aspects. We assigned a research question to each of these areas of inquiry.

Our first question aims at quantifying the total number of news stories published in each media source and forming a yearly distribution over time. This distribution will permit us to discover whether there is a relationship between the number of articles published each year and the milestones around the graphene phenomenon—for example, discovery, Nobel Prize, and Graphene Flagship launch.

RQ1: What is the frequency of publication of news about graphene in each analyzed medium? Are the peaks in publication related to any social, political, governmental, or economic issue?

We also investigate the origin or source of the items analyzed as well as the treatment that is given to each story.

RQ2: Are graphene news stories mainly published by journalists or by other sources? What treatment is typically given to these stories?

A third goal is to detect the main thematic focus of the news items involving graphene. To do so, we study the main subtopics that are discussed and the geographic focus of the stories. We also analyze which market sectors are referred to most as well as which specific properties of the material seem to be most interesting from a journalistic perspective.

RQ3: What are the main topics, countries, continents, properties, and sectors covered in the graphene-focused articles?

Various studies have shown that most media coverage of nanotechnology has an optimistic slant toward the advantages of new materials, paying little attention to aspects such as toxicity and sustainability (Lewenstein, Gorss, & Radin, 2005; Petersen, Anderson, Allan, & Wilkinson, 2009). To explore this tendency in news stories about graphene, we conduct a qualitative assessment of the tone of the discourse and the literary devices used.

RQ4: Is the news coverage of graphene overly positive, or are the negative implications of the material also reported? What kind of language is used?

Methods

Scope

This study focuses on three important Western nations for graphene manufacturing and research: the United States, the United Kingdom, and Spain.³ A prominent digital daily newspaper was selected from each of these three countries to carry out the analysis. In the United States, we chose *The New York Times* (NYT); in the UK, *The Guardian* (TG); and in Spain, *El País* (EP). These newspapers were selected because of their long-standing journalistic tradition and prestige, their clearly global scope, and because the audience for the online version is among the largest in each country (ComScore, 2018). For

³ The world leaders in graphene production are the United States (24%), China (17%), India (11%), the United Kingdom (11%), Spain (10%), and Turkey (6%). These countries are followed by Canada, Italy, Japan, Netherlands, Germany, Malaysia, Norway, Poland, South Korea, Sri Lanka, and Sweden, with less than 5% each (Nixon, 2015). In terms of the percentage of resources dedicated to graphene research and development, the United Kingdom (21%), Spain (20%), China (18%), and the United States (16%) lead the research effort worldwide (Phantoms Foundation, 2015).

NYT, we also included its section *The Science Times*, because in recent years most articles about scientific topics are published there. For EP, translation experts translated all the articles from Spanish to English so that all the news items for our analysis were in the same language.

We opted to conduct both quantitative and qualitative content analyses for our methodology—a systematic and replicable analysis of a body of communicated material through classification, tabulation, and evaluation (Altheide, 1996; Krippendorff, 2004; Neuendorf, 2002). The period analyzed begins in October 2004—coinciding with the month in which the article about the first isolation of graphene was published (Novoselov et al., 2004)—and ends in October 2017.

We set out to analyze all the news stories, reports, and articles about graphene that were published by the three newspapers. The sampling process was designed to capture articles in the online versions of the three newspapers whose main topic was graphene. To select a representative sample of the coverage of the topic, we included news items that devoted 50% or more of the text to a discussion of graphene. Articles that mentioned graphene at some point but where graphene was not the focus—discussed in less than 50% of the text—were excluded from the sample (Pedhazur & Pedhazur-Schmelkin, 1991). This sampling process eliminated false positives—that is, news stories that contained tangential graphene-related content (Dudo, Dunwoody, & Scheufele, 2011). The unit of analysis was the individual news story.

In total, 82 news items included the word *graphene* in NYT, 197 in TG, and 114 in EP. We set aside the nonstory pieces such as listings, videos, and quizzes and stories in which graphene was not the central theme. After the selection process, 19 news items were selected from NYT, 22 from TG, and 26 from EP—67 pieces of information in total.

Analysis Form Description and Procedure

To carry out the content analysis, we developed an analysis form with the following fields: (a) amount of coverage, (b) authorship and treatment, (c) thematic focus and content, and (d) qualitative aspects (see Table 1). These fields directly correspond to the research questions in our study: (a) to RQ1, (b) to RQ2, (c) to RQ3, and (d) to RQ4. The categories examined within these four fields were created based on the story analysis form by Lynch and Peer (2002) and the descriptive and thematic analysis of journalistic coverage of nanotechnology by Dudo et al. (2011). The rationale for choosing these two models is that Lynch and Peer (2002) offer an exhaustive and systematic analysis—which we found appropriate for our study—and Dudo et al. (2011) offer a different perspective based on four research questions that are similar to ours.

Table 1. Analysis Form Designed for the Representation of Graphene in The New York Times, The Guardian, and El País.

Field	RQ	Category	Variables
(a) Amount of coverage	1	Newspaper	<i>New York Times; The Guardian; El País</i>
		Year	2004; 2005; 2006; 2007; 2008; 2009; 2010; 2011; 2012; 2013; 2014; 2015; 2016; 2017
(b) Authorship and treatment	2	Origin/source	Staff (stories coming from the newspaper); wire/news service (stories from other news services); external (from a company, laboratory, university, or technological center); reader (editorial content or letters)
		Treatment	General news; feature; commentary/criticism; interview; other
(c) Thematic focus and content	3	Subtopics (%)	Discovery; research/funding; material's features; applications
		Geographic focus	International; domestic; state/regional; none
		Countries and continents mentioned	All countries and continents
		Properties mentioned	All properties considered
		Sectors mentioned	All sectors considered
(d) Qualitative aspects	4	Tone of the discourse	Positive (focus on the advantages of graphene); balanced (both positive and negative views discussed); negative (focus on the disadvantages); critical (subjective judgements given); none
		Negative aspects	All the negative aspects considered
		Literary devices	All literary devices considered

The (a) field contains the newspaper in which the news item was published and the year of publication. Each newspaper was given a code: NYT for *The New York Times*, TG for *The Guardian*, and EP for *El País*. The variables for the year category include all years from 2004 to 2017. The (b) field consists of the origin/source and the treatment categories. Origin/source refers to the occupation of the writer of the story, and treatment refers to the type and approach of the piece of information.

The (c) field contains the subtopics that were mentioned the most. These were evaluated in percentages according to the amount of text devoted to each subtopic. The variables for this category were generated after a first reading of the articles, which enabled us to detect the top four subtopics. We also assessed the geographic focus as well as the countries and continents and properties and market sectors

mentioned. For the properties and sectors analysis, we did not determine a list of variables. Instead, we collected all the properties and sectors mentioned and worked with them afterward. Because there was a vast quantity of market sectors, we grouped them into general sectors to obtain a broader view of the global interests of industry. If one article mentioned three specific sectors within one general sector, we recorded three references.

Finally, the (d) field comprises three categories. First, the tone of the discourse evaluates whether the news stories emphasized the positive or negative aspects of graphene. Then, the negative aspects category captures the negative information discussed in the news items. Finally, the detection of the literary devices explores the various forms of expression used in the articles to describe graphene and its properties.

An assessment of intercoder reliability was conducted (Hoffman, 2006; Krippendorff, 2004; Lombard, Snyder-Duch, & Bracken, 2002). Two coders examined the articles separately with the same analysis form (see Table 1). After all the items were evaluated, the results were compared. If the information written in a category matched, that information was deemed correct. If the information was similar, the two coders discussed which result or categorization was most accurate and reached a consensus. If the information was different or if the coders could not reach a consensus, a third analyst helped decide which information should be deemed the most valid.

Results

(a) Amount of Coverage

To answer the first research question, about the number of articles appearing in the three newspapers over time, 2013, 2014, and 2017 are the years with the most news stories—14, 12, and 12, respectively (see Figure 1a). The first three years (2007, 2008, and 2009) saw only two articles about graphene—one in 2007 and the other in 2009—both in NYT. In 2010, coverage begins to increase, but not at a steady pace or in a balanced proportion among the three newspapers.

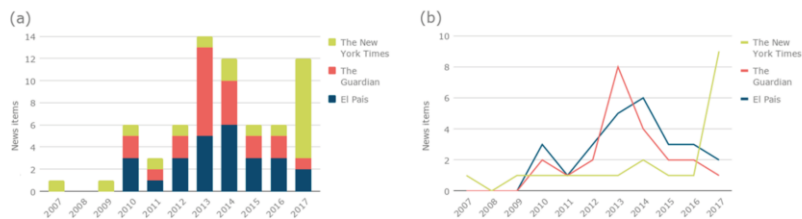


Figure 1. Distribution of the number of news articles per year (a) in a stacked bar graph and (b) for each newspaper separately.

EP and TG follow similar trends, with an initial peak in 2010 and higher peaks in 2013 and 2014 (see Figure 1b). In TG, the second peak in 2013–2014 is more sudden, while it is more gradual with EP.

The number of articles in NYT was quite constant—and much lower than in the other two newspapers. The exception is during the last year (2017), when the number of articles increased exponentially in NYT—from one or two articles per year to nine. The relationship between publication peaks and other social, economic, and political issues is discussed later in the article.

(b) Authorship and Treatment

Most of the articles about graphene in the three newspapers were written by the newspapers’ own staff: 77% of EP’s, 68% of TG’s, and 100% of NYT’s news stories were their own. The other stories were distributed evenly among external sources, other news services, and readers. The treatment of the topic tended to be generic. EP published 16 general news articles, five in-depth articles, three opinion articles, and two interviews. TG published nine general articles, eight in-depth articles, four opinion articles, and one classified as other. NYT had only two opinion articles; the rest (19) were general news stories.

(c) Thematic Focus and Content

There was a correlation among the subtopics of the stories by the three newspapers (see Figure 2a). Between 40% and 46% of the text in the stories was devoted to research and funding. The second most mentioned subtopic was the development of applications and the potential of graphene—between 28% and 31%. The third-ranked subtopic (between 19% and 26%) was on the material itself—its features, properties, and production methods. The final area of focus was the discovery of the material and the Nobel Prize—less than 8%. The main subtopic, research and funding, received the most coverage in all years except 2009 and 2010 (see Figure 2b). In 2009, the material’s production and features predominated, and in 2010, the discovery was the most discussed theme. The other subtopics remained fairly constant over the years, except for 2010, when the discovery and the Nobel Prize subtopics received the most attention.

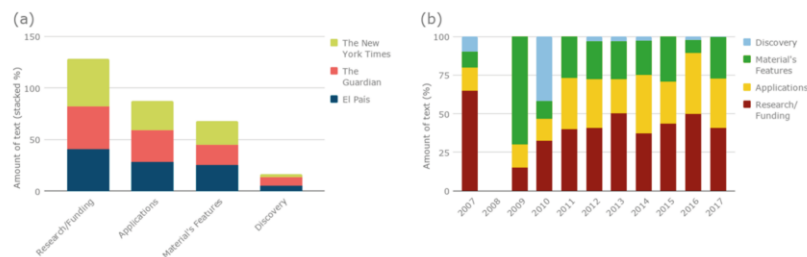


Figure 2. Distribution of the articles based on the four subtopics (a) in a stacked bar graph and (b) in percentages by year.

The geographic focus of the analyzed stories was mostly international followed by domestic—with respect to each country (see Figure 3a). EP coverage was evenly split in its international and domestic focus, with 11 articles each. By comparison, TG had nine articles with a domestic focus, eight with an international

focus, and five stories with a regional focus. In contrast to these two distributions, NYT had a stronger international focus (with 12 articles) than domestic (seven stories). Overall, the international focus was more pronounced in the first years; in 2010 and from 2012, the domestic focus became more significant (see Figure 3b).

Of the countries and continents mentioned in the articles, the United Kingdom and the United States appear most, with 37 and 30 items, respectively (see Figure 3c). Spain (19) and Europe (18) stand out next, followed by China (10) and other European, Asian, and American countries. The country each newspaper refers to the most is the paper's home country. Thus, EP mentions Spain most, followed by Europe, the United Kingdom, and the United States. TG mostly mentions the United Kingdom, followed by the United States and Europe. NYT mentions the United States most, followed by the United Kingdom. Other countries and continents are referred to much less, though it is interesting to note that European countries are mentioned much more than Asian countries, which, in turn, are referred to much more than other countries in the Americas. No country in Africa or Oceania is mentioned.

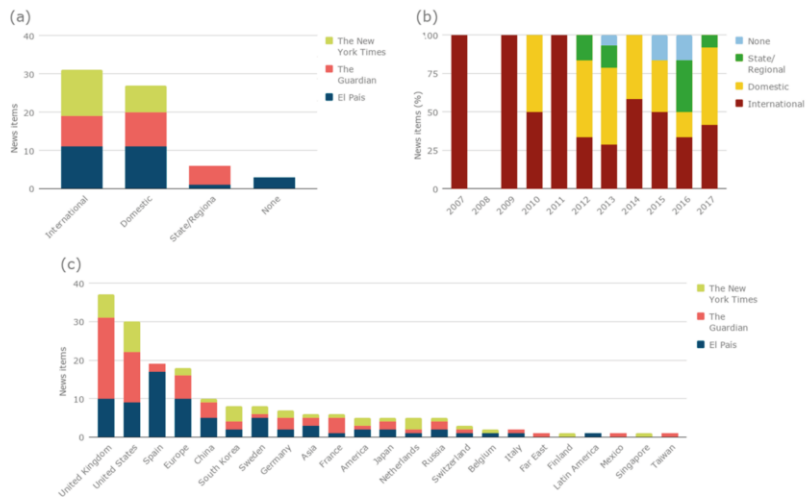


Figure 3. Distribution of the articles based on their geographic focus (a) in a stacked bar graph, (b) in percentages by year, and (c) countries mentioned.

The properties of graphene that are mentioned the most are resistance, in 37 articles, followed by electrical conductivity, in 35 (see Figure 4). The thickness of the material and its flat configuration and hexagonal matrix were the two features mentioned next, found in 30 and 28 articles, respectively. The material's transparency (19), flexibility (17), and lightness (13) were also relevant, followed by thermal

conductivity (12) and quantum-scale characteristics (10). Other properties, such as resistance to chemical agents, electronic properties, light absorption, and physical properties, are named in some stories. These are followed by hardness and impermeability. Many other properties are also named, but only between one and four times in all articles. To a large extent, the three newspapers coincide in this distribution equally, with only slight variation.

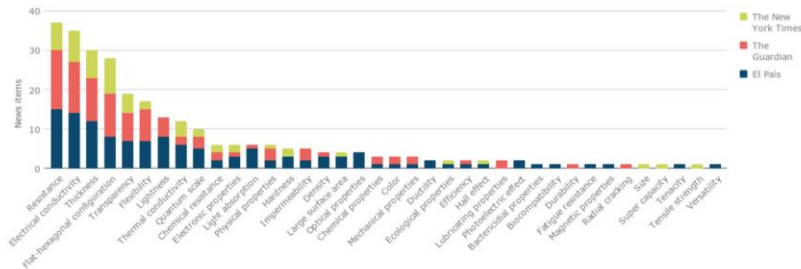


Figure 4. Properties and characteristics of graphene mentioned in the articles.

The most mentioned graphene application sectors are electronics and devices, mentioned 74 and 73 times, respectively, in the three newspapers (see Figure 5). Electronics and devices are separate categories because there were many references to each, and most articles made this distinction. Other noteworthy fields mentioned, albeit less often, include transport (30), the environment (27), everyday applications (26), and medicine (25), followed by biological, chemical, and sensory applications (20). To a lesser extent, applications are also mentioned for material science, manufacturing, and condoms. Separating the results by newspaper, EP mentions devices most, followed by electronics and applications in sensors and biochemistry. Electronics predominates in TG stories, followed by devices and transportation. Finally, NYT focuses equally on electronics and devices, with all other fields discussed much less often.

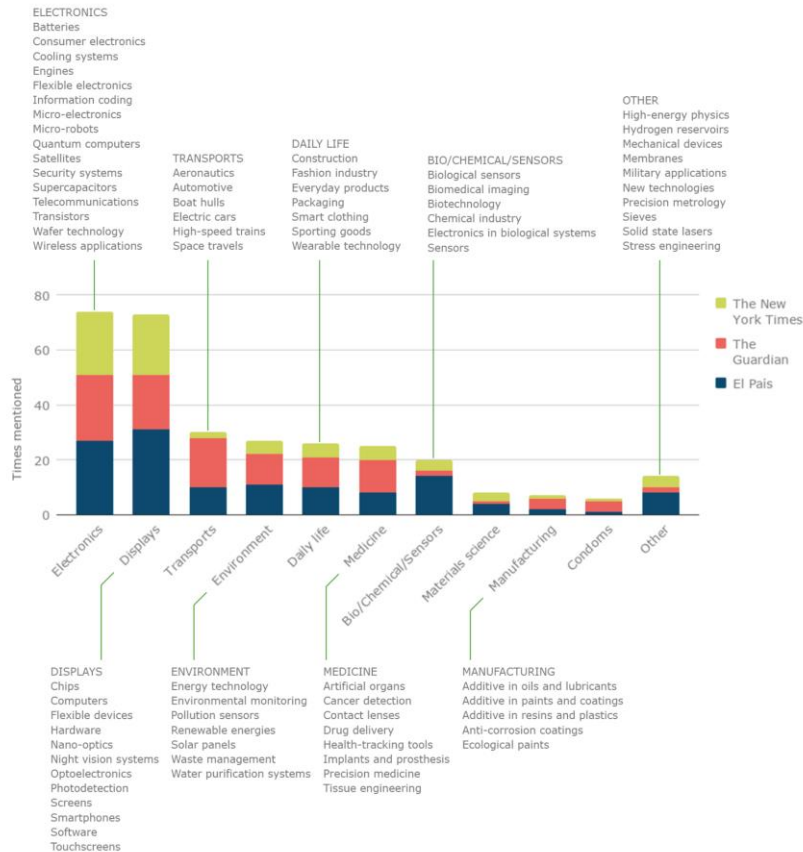


Figure 5. Market sectors cited in the news items, including the specific and general sectors mentioned for the application of graphene.

A clear relationship exists between graphene’s properties and the sectors of greatest interest. Resistance and electrical conductivity are favorable properties for the development of electronic components and devices. This relationship is discussed later in the article.

(d) Qualitative Aspects

In our qualitative assessment of the news, we found that 66% of the articles conveyed a positive tone (see Figure 6a). EP and NYT display a marked trend in this sense, with 19 and 16 positive stories, respectively. In contrast, TG has about the same number of articles with a positive tone (nine) as a balanced one (eight), and five stories with a critical tone. A negative tone is not predominant in any of the articles. We detected an evolution in the tone over time (see Figure 6b). A positive approach dominated early coverage; in 2011, most articles had a balanced tone; and as of 2013, the first publications with a critical or neutral tone appeared.

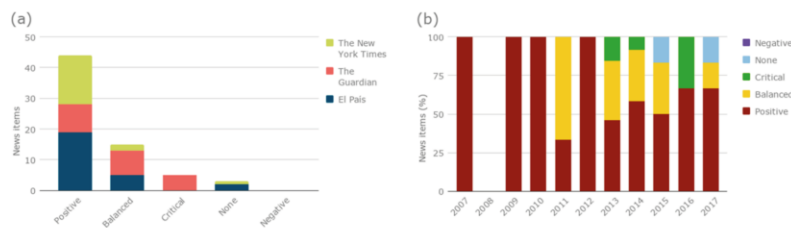


Figure 6. Distribution of the articles based on the general tone of the discourse (a) in a stacked bar graph and (b) in percentages by year.

In balanced and critical news, the disadvantages of graphene are discussed mainly in terms of scalability of production (11 articles) and economic factors (nine stories; see Figure 7). Time and the material's quality are also critical factors, with seven and six articles, respectively, followed by production and marketing, with five stories each. Finally, possible toxicity and environmental repercussions, certain properties of the material, and the lack of regulation were also mentioned.

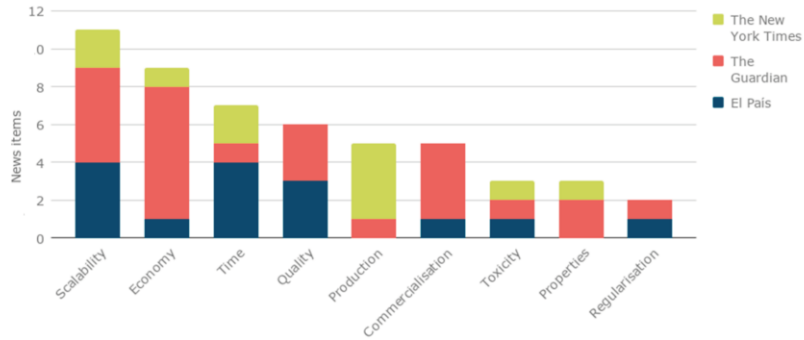


Figure 7. Quantification of the negative aspects of graphene mentioned in the articles.

Looking at the language the newspapers used to explain graphene, all but three of the 67 articles employed literary devices to achieve a stylistic effect in the text. The most commonly used devices are quotes and comparisons, followed by hyperbole, speculative language, and metaphors (see Figure 8). The use of such literary devices is balanced in the three newspapers, though EP uses these devices the most and NYT the least.

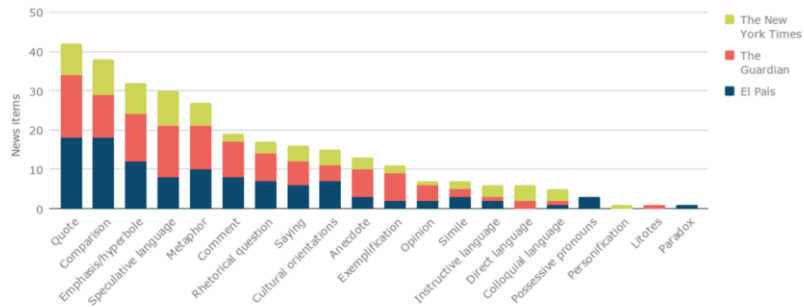


Figure 8. Quantification of the literary devices used in the articles.

Most literary devices and expressions were used to describe graphene's configuration and properties. Table 2 displays the most common adjectives, expressions, phrases, and sentences used to define the material, its properties, and its performance.

Table 2. Adjectives and Expressions Used to Define Graphene, Its Properties, and Its Performance in the News Items Analyzed.

	Adjectives	Expressions, Phrases, and Sentences
Definition	Amazing	The wonder material
	Superb	The super material
	Fascinating	Extremely promising
	Unstoppable	Sent from heaven
	Magic	The apple of the eyes of physicists worldwide
	Divine	The material that could not possibly exist
	Prodigious	The new technological manna
	Fashionable	At the limits of imagination
	Ideal	The latest craze in materials science
		Potentially the most important discovery of the century
	Everything about graphene begs to be inscribed in a legend	
Properties and performance	Extraordinary	[The large number of properties found in graphene are]
	Exceptional	extremely rare to find in one material
	Unique	Marvelous behavior
	Unmatched	Outstanding performance
	Unusual	The promise of graphene
	Surprising	The graphene fever
	Intriguing	Industrial game-changer
		Could have an application in almost anything
	One of the most useful materials for future use	
	Under a lot of pressure to perform [due to expectations and excitement about the material]	

The most common phrase used to describe graphene in the three newspapers was “the wonder material.” Some articles dubbed the phenomenon of exaltation and excitement surrounding the material “the graphene fever.” Others observed that, due to all these expectations, graphene was “under a lot of pressure to perform.”

Comparisons and metaphors were especially used in descriptions of graphene’s properties. Table 3 presents the comparisons and metaphors found in the news items regarding specific properties of the material.

Table 3. Comparisons and Metaphors Used to Define Graphene’s Main Properties.

Property	Compared to	Metaphors
----------	-------------	-----------

Resistance	Steel Diamond Other conductors Kevlar	100 to 300 times stronger/tougher/more resistant than steel 20 times stronger than diamond Stronger than other conductors Twice as bullet-proof as Kevlar The strongest material ever measured So tough that a cat could swing in a graphene hammock that would weigh less than one of its whiskers If scaled up to the thickness of plastic refrigerator wrap, a sheet of graphene stretched over a coffee cup could support the weight of a truck bearing down on a pencil point
Electrical conductivity	Copper Silicon Photons	Like copper Much better than copper 20 times better than copper A million times better than copper 100 to 200 times faster than silicon, consuming much less energy and producing less heat Electrons resemble in their behavior relativistic particles without mass, such as photons The speed of electrons is 300 times less than that of light, one million meters per second A kind of sea of electrons on the surface
Thickness	Human hair A sheet of paper	The thinnest material on earth/in the universe A million times slimmer than a human hair One ounce of the material would cover 28 football fields Three million of these sheets stacked on top of one other would stand just one millimeter high

Crystalline, hexagonal configuration	Chicken wire Honeycomb	Atomic-scale lattice A molecular chicken wire lattice in which each carbon atom joins three adjacent atoms forming a pattern A two-dimensional honeycomb structure/formation
Color and transparency	Coal Other conductors	Black as coal [in its powder form when gathered inside a container] More transparent to visible light than any other known conductor Resembles nothing so much as breath on a windowpane
Flexibility	Rubber Other conductors Silicon	More flexible/stretchable/bendable than rubber More stretchable than other conductors One of the most pliable materials Graphene can stretch by 20 percent while still remaining able to conduct electricity, while silicon can only stretch by 1 percent before it cracks
Lightness	Feather Steel	The lightest material in the world Light as a feather Six times lighter than steel

In addition to the properties listed in Table 3, the articles also concurred that graphene exceeded all other materials in thermal conductivity and exceeded metal and diamonds in hardness. To define its impermeability, it was written that graphene's high density meant that gases such as helium or hydrogen could not pass through it and that it could be submerged without oxidizing.

Discussion

Analysis of the Results

The fact that no articles about graphene were published during the first years (2004–2006; Figure 1) is likely due to the initial lack of knowledge about the material's importance outside the scientific community. In 2010, Andre Geim and Konstantin Novoselov were awarded the Nobel Prize in Physics for their scientific discovery (Novoselov et al., 2004). This coincided with the first peak of articles appearing in EP and TG (Figure 1) as well as being the year with the highest percentage of news stories mentioning the material's discovery (Figure 2). The award led to large investments in the United Kingdom and Europe and sparked the launch of the Graphene Flagship three years later (Hirsch, 2015). The second news peak in EP's and TG's coverage of graphene coincided with this launch in 2013, so it is not surprising that 2013 saw a high percentage of articles about research and funding. In the following years, much coverage was devoted to the development of applications (Figure 2), which is directly related to the scientific advances that have been developed in research centers funded by the Graphene Flagship (Ferrari et al., 2015; Graphene Flagship, 2015).

In the NYT, these two milestones are not reflected in the number of articles published. The only notable peak in NYT coverage occurred in 2017. This imbalance is surely not due to external events but rather to internal affairs at the newspaper. In 2014, *The New York Times* transferred scientific news to *The Science Times*, and it is possible that the newspaper's internal operations changed. To analyze this radical change in the volume of stories more concretely, it will be necessary to continue studying the publication tendencies in subsequent years.

Regarding the authorship of the news items, most of the articles published about graphene were written by each newspaper's staff. However, we do find a difference between NYT and the other two papers; NYT only published staff content, while EP and TG included news written by external sources, other news services, and readers. In EP, 23% of news items were external, and in TG, 32% were external. The treatment of the news items reveals that the newspaper with the most external sources is also the one with more in-depth articles (TG). In addition, TG is published in the country where graphene was first isolated (Novoselov et al., 2004).

Figure 2 reveals that EP and TG have a similar distribution in the subtopics treated, with research/funding the most discussed, followed by applications. In contrast, NYT mentions applications more than the other subtopics, followed by the material's features. Apart from the year of the discovery (2010), 2009 is the only year that exhibits a different distribution in the quantity of text dedicated to each subtopic. In 2009, graphene's features are highlighted much more than research/funding and applications. We can attribute this to the fact that, in 2009, only NYT published one news article (Figure 1), and it focused on the presentation of the material in society. Only one news item had been published in that same newspaper two years earlier, and Geim and Novoselov had not yet been awarded the Nobel Prize. Therefore, little was known about graphene at that time.

On the other hand, the geographic focus of the articles (Figure 3) reveals that Europe—and the United Kingdom in particular—is arguably establishing itself as the global center for graphene. This is signified by the fact that, among all the articles analyzed, the United Kingdom is the country mentioned the most. In addition, most TG news items have a domestic approach. NYT focuses mainly on international news, and EP has equal numbers of articles with an international and a national approach. The three countries—the United States, the United Kingdom, and Spain—are pioneers in the production of and research on graphene worldwide (Nixon, 2015; Phantoms Foundation, 2015), but China and India are also pioneers, and they are not mentioned as often as the first three countries. China is the country/continent highlighted fifth most—after the United Kingdom, the United States, Spain, and Europe—and India is not named at all. Asia is cited in some of the news items, but less than countries such as South Korea, Sweden, and Germany. Many more European countries are mentioned than those on other continents, most likely because two of the analyzed media organizations have a European origin.

The number of articles that cite each of graphene's properties is about the same in the three newspapers, with only small variations (Figure 4). The properties referred to most are resistance and electrical conductivity, followed by thickness and flat-hexagonal configuration. These four properties are also discussed by scientists in the road maps they draw about graphene (Ferrari et al., 2015; Mertens,

2015; Novoselov et al., 2012). In fact, all four properties are interconnected because they are related to graphene's structure and composition and the benefits that these characteristics provide.

The fact that the most mentioned market sectors are electronics and devices (Figure 5) indicates industry's clear interest in the development of these types of applications. These results coincide with the sectors that Novoselov himself considers the most interesting for the material (Novoselov et al., 2012).

Graphene's most mentioned properties and sectors are not far apart. Graphene's thickness and flat configuration as well as its transparency and flexibility are valued for the development of electronic devices that are adaptable to multiple formats, with little weight and volume (Novoselov et al., 2012). In addition, graphene's light weight makes it noteworthy and attractive for transportation and daily-life applications. The environment and medicine sectors seek a nontoxic, environmentally friendly material with remarkable physical and chemical properties (Novoselov et al., 2012), and graphene's properties of quantum scale, chemical resistance, and chemical properties are often cited in the news items. We can therefore establish a relationship between the market sectors and material properties that are most often discussed in the newspapers analyzed.

Our qualitative assessment reveals that graphene's discovery has generated expectations and promises for the future, which are evident in the distribution of the articles based on the tone of the discourse (Figure 6). The expressions used to emphasize the material's advantages are constant throughout the news coverage. However, there is an increasing tendency toward balanced and critical views of the material. In 2010, coinciding with the Nobel Prize award, all the articles about graphene were positive. As of 2013, coinciding with the launch of the Graphene Flagship (Hirsch, 2015), a more realistic view of the material and its potential began to appear.

In discussing the negative aspects of graphene, each newspaper focused on the aspects most affecting its own country (Figure 7). TG focuses mainly on economic factors, possibly related to the impact of Brexit and the resulting uncertainty in funding research projects. On the other hand, EP mainly highlights scalability, the need for time to introduce the material in commercial applications, and the difficulty in obtaining quality graphene. This situation may be related to the fact that Spain is a leading producer of graphene (Nixon, 2015; Phantoms Foundation, 2015). Finally, NYT notes the difficulty of production and the slow adoption of the material by industry as the primary negative aspects, both of which are points of interest to the United States as a leader in graphene-related patents (Intellectual Property Office, 2015).

Literary devices such as quotes from scientists specialized in the field of graphene were used in many articles to bring consistency to the writing (Figure 8). Comparisons and metaphors (Boeynaems et al., 2017; Kueffer & Larson, 2014) were used to define the material's properties, noting similarities between graphene and other materials such as steel, diamond, or silicon. Hyperbole and speculative language helped emphasize the material's potential. In discussions of the research, production, and development of graphene applications, there was a tendency in the news stories toward speculation about the future, always with a great deal of optimism. This also means that graphene is under pressure to meet future expectations. As a result, articles highlight competitiveness on a global scale, with much emphasis placed on Europe as the

epicenter of graphene's scientific and technological development (Hirsch, 2015; Van Woensel & Archer, 2015).

General Remarks

Since scientists use the media as a vehicle to inform society (Dudo & Besley, 2016), the responsibility that falls on the media is substantial. This analysis has shown reasonable coherence between what scientists say and what the media say. However, the evaluation of the tone of the discourse uncovered that most of the news items principally transmitted the positive features of graphene, paying little attention to the negative aspects. Through the process of agenda setting, the media suggest not only the topics society should talk about but also the terms people should use to discuss them (Boumans et al., 2018; McCombs, 2004). If the media continue using words and expressions such as "divine" or "sent from heaven" to describe graphene and mostly conveying only the positive aspects of the material, the communication of science is not fully effective. Journalists are not being completely honest, and the information is biased. As communicators, we should not let these terms be the ones that the public uses.

We must not forget that gatekeeping is one of media's main roles (Eveland & Cooper, 2013; Shoemaker & Vos, 2009) and that the adaptation of language is an important task of journalists and other communicators (Cortiñas Rovira, 2008; Kueffer & Larson, 2014; Luzón, 2013). A large number of comparisons and metaphors were collected from the news items analyzed, and most of them easily conveyed properties of graphene by drawing comparisons with concepts and images already familiar to general audiences—such as a honeycomb lattice or chicken wire. However, further research is needed to determine whether these metaphors and comparisons maximize understanding or distract readers from the main topic.

Of the three newspapers analyzed, TG offers an interesting perspective regarding the sources and treatment of its news items. It is the one with the most news items from external sources and more in-depth articles. We believe this is a good strategy to achieve better knowledge transfer (Johnson, 2005), because content from a scientific source is more reliable and the terms are more appropriate. In addition, in-depth articles are usually longer than general articles, so a topic can be discussed more extensively.

These remarks all point to the same direction: to evaluate and assess quality in the communication of information about graphene. NYT, TG, and EP are three important news corporations at a global scale (ComScore, 2018) that are used to communicate science topics. However, achieving quality in the communication of complex scientific advances such as graphene is not a straightforward task (Medin & Bang, 2014), not only because in-depth research and language translation needs to be done but also because journalists tend to magnify science, presenting it as something magic, heroic, and distanced from society (Bucchi, 2013). We have observed in this study that this tendency is common in most of the news items analyzed, and we agree with Bucchi (2013) that quality in science communication should be the first concern for all parties involved.

Conclusions

This article presents a quantitative and qualitative content analysis of news stories about graphene published in *El País*, *The Guardian*, and *The New York Times* from October 2004 to October 2017.

In answering RQ1, we found that the three newspapers published approximately the same number of articles about graphene—EP published 26, TG 22, and NYT 19. The distribution of these articles followed different trends over the years. First, the Nobel Prize being awarded to the scientists who discovered graphene led to stories about the material appearing in the newspapers in a meaningful way in 2010. Second, the launch in 2013 of the Graphene Flagship coincided with an increase in the number of articles to 14, up from six in 2012.

Examining the authorship of the news articles to answer RQ2, we found that TG uses a greater variety of sources and provides more in-depth treatment of the topic. The paper is also based in the United Kingdom, where graphene was first isolated (Novoselov et al., 2004).

RQ3 asked about the thematic focus and content of the stories about graphene. The most prevalent subtopic in all the articles was research, followed by the development of applications. The three newspapers shared this common focus on the material's future and potential. The view of Europe as a knowledge superpower and the epicenter of graphene's development was also shared. The material was described in all articles as a great scientific and technological advance, with unique and exceptional properties never found to date in any other material. Graphene's resistance and electrical conductivity were the most cited properties, mentioned in 37 and 35 articles, respectively; electronics and devices were the sectors with the greatest interest, mentioned 74 and 73 times, respectively.

The qualitative analysis to answer RQ4 noted the wide use of literary devices to transform scientific language into a language understood by nonspecialized audiences. Additionally, none of the three newspapers gave a balanced view of graphene; they all focus on the material's advantages rather than its disadvantages. The only negative aspects highlighted were mainly related to the industrialization of the material.

This content analysis of online media helps reveal how information about graphene is transmitted to the public and which resources journalists use to transform scientific language to a more understandable language. The importance of this recontextualization is such that it is crucial to be careful with metaphors and expressions, since the media act as information gatekeepers by setting the public agenda and disseminating the terms people should use when discussing a topic. Therefore, quality is essential in science communication to achieve good knowledge transfer. Overall, we can affirm that the news items analyzed are coherent with the information that scientists publish about graphene. However, the tone in most of the news items is so positive that expressions such as "sent from heaven" are used to describe graphene's properties. We highly recommend journalists and other communicators carefully choose appropriate language in future news articles about graphene.

As more discoveries and advances take place in the field of graphene, more articles will be written about the material. For this reason, we believe that articles published in the three newspapers examined here should continue being analyzed to confirm whether the material meets the expectations of scientists, the press, and society as a whole.

References

- Altheide, D. (1996). *Qualitative media analysis*. Newbury Park, CA: SAGE Publications.
- Anderson, A. A., Brossard, D., & Scheufele, D. A. (2010). The changing information environment for nanotechnology: Online audiences and content. *Journal of Nanoparticle Research*, 12(4), 1083–1094. doi:10.1007/s11051-010-9860-2
- Bechmann, A. (2012). Towards cross-platform value creation. *Information, Communication & Society*, 15(6), 888–908. doi:10.1080/1369118X.2012.680483
- Bell, P., Lewenstein, B., Shouse, A. W., & Feder, M. A. (2009). *Learning science in informal environments: People, places and pursuits*. Washington, DC: National Academies Press.
- Boeynaems, A., Burgers, C., Konijn, E. A., & Steen, G. J. (2017). The impact of conventional and novel metaphors in news on issue viewpoint. *International Journal of Communication*, 11, 2861–2879.
- Boumans, J., Trilling, D., Vliegthart, R., & Boomgaarden, H. (2018). The agency makes the (online) news world go round: The impact of news agency content on print and online news. *International Journal of Communication*, 12, 1768–1789.
- Brossard, D. (2013). New media landscapes and the science information consumer. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(Suppl. 3), 14096–14101. doi:10.1073/pnas.1212744110
- Bucchi, M. (2013). Style in science communication. *Public Understanding of Science*, 22(8), 904–915. doi:10.1177/0963662513498202
- Burns, T. W., O'Connor, J., & Stocklmeyer, S. M. (2003). Science communication: A contemporary definition. *Public Understanding of Science*, 12, 183–202.
- ComScore. (2018). *MMX multi-platform*. Retrieved from <https://www.comscore.com/Products/Audience-Analytics/Media-Matrix-Multi-Platform>
- Cortiñas Rovira, S. (2008). Las metáforas del ADN: Una revisión de los procesos divulgativos [The metaphors of DNA: A review of informative processes]. *Journal of Science Communication*, 7(1), 1–9.

- 988 Guasch, Cortiñas, González, Justel-Vázquez, Peña International Journal of Communication 13(2019)
- Dudo, A., & Besley, J. C. (2016). Scientists' prioritization of communication objectives for public engagement. *PLoS ONE*, *11*(2), 1–18. doi:10.1371/journal.pone.0148867
- Dudo, A., Dunwoody, S., & Scheufele, D. A. (2011). The emergence of nano news: Tracking thematic trends and changes in U.S. newspaper coverage of nanotechnology. *Journalism and Mass Communication Quarterly*, *88*(1), 55–75.
- Eveland, W. P., & Cooper, K. E. (2013). An integrated model of communication influence on beliefs. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *110*(Suppl. 3), 14088–14095. doi:10.1073/pnas.1212742110
- Ferrari, A. C., Bonaccorso, F., Falko, V., Novoselov, K. S., Roche, S., Bøggild, P., . . . Kinaret, J. (2015). Science and technology roadmap for graphene, related two-dimensional crystals, and hybrid systems. *Nanoscale*, *7*(11), 4598–4810. doi:10.1039/C4NR01600A
- Fischhoff, B., & Scheufele, D. A. (2013, August 20). The science of science communication. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *110*(Suppl. 3), 14031–14032. doi:10.1073/pnas.1312080110
- Ghavanini, F. (2015, March). *Graphene commercialization conference report—IMAGINENANO 2015*. Bilbao, Spain. Retrieved from https://siografen.se/app/uploads/2015/04/ImgainNano_konference150310.pdf
- Graphene Flagship. (2015). *Graphene Flagship annual report 2015*. Retrieved from https://graphene-flagship.eu/SiteCollectionDocuments/Admin/Annual%20report/Graphene_Annual_report_2015.pdf
- Günther, E., & Domahidi, E. (2017). What communication scholars write about: An analysis of 80 years of research in high-impact journals. *International Journal of Communication*, *11*, 3051–3071. doi:1932–8036/20170005
- Hirsch, A. (2015). The Graphene Flagship—A giant European research project. *Angewandte Chemie International Edition*, *54*(32), 9132–9133. doi:10.1002/anie.201504842
- Hoffman, L. H. (2006). Is Internet content different after all? A content analysis of mobilizing information in online and print newspapers. *Journalism and Mass Communication Quarterly*, *83*(1), 58–76.
- Horrigan, J. B. (2006, November 20). *The Internet as a resource for news and information about science*. Washington, DC: Pew Research Center. Retrieved from <http://www.pewinternet.org/2006/11/20/the-internet-as-a-resource-for-news-and-information-about-science/>
- Intellectual Property Office. (2015). *Graphene: The worldwide patent landscape in 2015*. Newport, UK: Author.

- Johnson, L. S. (2005). From knowledge transfer to knowledge translation: Applying research to practice. *Occupational Therapy Now*, 7(4), 11–14. doi:10.1111/1468-0009.t01-1-00052
- Jucan, M. S., & Jucan, C. N. (2014). The power of science communication. *Procedia—Social and Behavioral Sciences*, 149, 461–466. doi:10.1016/j.sbspro.2014.08.288
- Krippendorff, K. (2004). Reliability in content analysis. *Human Communication Research*, 30(3), 411–433. doi:10.1111/j.1468-2958.2004.tb00738.x
- Kueffer, C., & Larson, B. M. H. (2014). Responsible use of language in scientific writing and science communication. *BioScience*, 64(8), 719–724. doi:10.1093/biosci/biu084
- Lewenstein, B. V., Gorss, J., & Radin, J. (2005, May). *The salience of small: Nanotechnology coverage in the American press, 1986–2004*. Paper presented at the annual meeting of the International Communication Association, New York, NY.
- Lombard, M., Snyder-Duch, J., & Bracken, C. C. (2002). Content analysis in mass communication: Assessment and reporting of intercoder reliability. *Human Communication Research*, 28(4), 587–604. doi:10.1093/hcr/28.4.587
- Luzón, M. J. (2013). Public communication of science in blogs: Recontextualizing scientific discourse for a diversified audience. *Written Communication*, 30, 428–457.
- Lynch, S., & Peer, L. (2002). *Analyzing newspaper content: A how-to guide*. Retrieved from <https://www.orau.gov/cdcynergy/erc/content/activeinformation/resources/NewspaperContentAnalysis.pdf>
- McCombs, M. (2004). *Setting the agenda: The mass media and public opinion*. Cambridge, UK: Polity Press.
- Medin, D. L., & Bang, M. (2014). The cultural side of science communication. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(Suppl. 4), 13621–13626. doi:10.1073/pnas.1317510111
- Meraz, S. (2011). The fight for “how to think”: Traditional media, social networks, and issue interpretation. *Journalism*, 12(1), 107–127. doi:10.1177/1464884910385193
- Mertens, R. (2018). *The graphene handbook*. Publisher: Lulu.com.
- National Science Board. (2012). Science and technology: Public attitudes and understanding. In *Science and engineering indicators 2012* (pp. 7-1–7-51). Arlington, VA: National Science Foundation.

990 Guasch, Cortiñas, González, Justel-Vázquez, Peña International Journal of Communication 13(2019)

National Science Board. (2014). Science and technology: Public attitudes and public understanding. In *Science and engineering indicators 2014* (pp. 7-1-7-53). Arlington, VA: National Science Foundation. Retrieved from <http://www.nsf.gov/statistics/seind14/content/chapter-7/chapter-7.pdf>

Neuendorf, K. (2002). *The content analysis guidebook*. Thousand Oaks, CA: SAGE Publications.

Nixon, A. (2015, September 11). Who is making graphene, and where: Examining a secretive market. *Investor Intel*. Retrieved from <http://investorintel.com/technology-metals-intel/who-is-making-graphene-and-where-examining-a-secretive-market/>

Novoselov, K. S., Fal'ko, V. I., Colombo, L., Gellert, P. R., Schwab, M. G., & Kim, K. (2012). A roadmap for graphene. *Nature*, *490*, 192-200. doi:10.1038/nature11458

Novoselov, K. S., Geim, A. K., Morozov, S. V., Jiang, D., Zhang, Y., Dubonos, S. V., . . . Firsov, A. A. (2004). Electric field effect in atomically thin carbon films. *Science*, *306*(5696), 666-669. doi:10.1126/science.1102896

Pedhazur, E., & Pedhazur-Schmelkin, L. (1991). *Measurement, design, and analysis: An integral approach*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Petersen, A., Anderson, A., Allan, S., & Wilkinson, C. (2009). Opening the black box: Scientists' views on the role of the news media in the nanotechnology debate. *Public Understanding of Science*, *18*(5), 512-530. doi:10.1177/0963662507084202

Phantoms Foundation. (2015). *Graphene companies catalogue 2015*. Madrid, Spain: Author.

Shoemaker, P. J., & Vos, T. P. (2009). *Gatekeeping theory*. New York, NY: Routledge.

Van Woensel, L., & Archer, G. (2015, January). Ten technologies which could change our lives: Potential impacts and policy implications. *European Parliamentary Research Service* (PE 527.417). Brussels, Belgium: Scientific Foresight Unit, European Parliamentary Research Service. doi:10.2861/610145

Wolf, C., & Schnauber, A. (2015). News consumption in the mobile era: The role of mobile devices and traditional journalism's content within the user's information repertoire. *Digital Journalism*, *3*(5), 759-776. doi:10.1080/21670811.2014.942497

11.2. Article II

Guasch, B., Cortiñas, S., González, M., & Peña, J. (2019). [Design Methodologies for Bridging Science, Technology, and Industry: A Graphene-Centered Case Study](#). *The International Journal of Design Management and Professional Practice*, 13(1). <https://doi.org/10.18848/2325-162X/CGP/v13i01/1-20>

Publicació *The International Journal of Design Management and Professional Practice*

Editor *Common Ground Research Networks*

País Estats Units

ISSN 23251638, 2325162X

Índex de qualitat:

- Scopus SJR (2018): 0.102 – Q3



VOLUME 13 ISSUE 1

The International Journal of

Design Management and Professional Practice

Design Methodologies for Bridging
Science, Technology, and Industry
A Graphene-Centered Case Study

BLANCA GUASCH, SERGI CORTIÑAS, MARTA GONZÁLEZ, AND JAVIER PEÑA



DESIGNPRINCIPLESANDPRACTICES.COM

**THE INTERNATIONAL JOURNAL OF DESIGN
MANAGEMENT AND PROFESSIONAL PRACTICE**

<http://designprinciplesandpractices.com>
ISSN: 2325-162X (Print)
ISSN: 2325-1638 (Online)
<https://doi.org/10.18848/2325-162X/CGP> (Journal)

First published by Common Ground Research Networks in 2019
University of Illinois Research Park
2001 South First Street, Suite 202
Champaign, IL 61820 USA
Ph: +1-217-328-0405
<http://cgnetworks.org>

*The International Journal of Design Management
and Professional Practice* is a peer-reviewed, scholarly journal.

COPYRIGHT

© 2019 (individual papers), the author(s)
© 2019 (selection and editorial matter),
Common Ground Research Networks

All rights reserved. Apart from fair dealing for the purposes of study,
research, criticism, or review, as permitted under the applicable
copyright legislation, no part of this work may be reproduced by any
process without written permission from the publisher. For permissions
and other inquiries, please contact support@cgnetworks.org



Common Ground Research Networks, a member of Crossref

EDITORS

Lorenzo Imbesi, Sapienza University of Rome, Italy
Loredana Di Lucchio, University of Rome, Italy

HEAD OF JOURNAL PRODUCTION

McCall Macomber, Common Ground Research Networks, USA

EDITORIAL ASSISTANT

Helen Repp, Common Ground Research Networks, USA

ADVISORY BOARD

The Design Principles and Practices Research Network recognizes
the contribution of many in the evolution of the Research Network.
The principal role of the Advisory Board has been, and is, to drive
the overall intellectual direction of the Research Network.
A full list of members can be found at
<https://designprinciplesandpractices.com/about/advisory-board>.

PEER REVIEW

Articles published in *The International Journal of Design Management
and Professional Practice* are peer reviewed using a two-way
anonymous peer review model. Reviewers are active participants of the
Design Principles and Practices Research Network or a thematically
related Research Network. The publisher, editors, reviewers, and
authors all agree upon the following standards of expected ethical
behavior, which are based on the Committee on Publication Ethics
(COPE) Codes of Conduct and Best Practice Guidelines. More
information can be found at:
<https://designprinciplesandpractices.com/journals/model>.

ARTICLE SUBMISSION

*The International Journal of Design Management and Professional
Practice* publishes quarterly (March, June, September, December).
To find out more about the submission process, please visit
<https://designprinciplesandpractices.com/journals/call-for-papers>.

ABSTRACTING AND INDEXING

For a full list of databases in which this journal is indexed, please visit
<https://designprinciplesandpractices.com/journals/collection>.

RESEARCH NETWORK MEMBERSHIP

Authors in *The International Journal of Design Management and
Professional Practice* are members of the Design Principles and
Practices Journal Collection or a thematically related Research
Network. Members receive access to journal content.
To find out more, visit
<https://designprinciplesandpractices.com/about/become-a-member>.

SUBSCRIPTIONS

*The International Journal of Design Management and Professional
Practice* is available in electronic and print formats. Subscribe to gain
access to content from the current year and the entire backlist.
Contact us at support@cgnetworks.org.

ORDERING

Single articles and issues are available from the journal bookstore at
<https://cgscholar.com/bookstore>.

HYBRID OPEN ACCESS

*The International Journal of Design Management and Professional
Practice* is Hybrid Open Access, meaning authors can choose to make
their articles open access. This allows their work to reach an even
wider audience, broadening the dissemination of their research. To find
out more, please visit
<https://designprinciplesandpractices.com/journals/hybrid-open-access>.

DISCLAIMER

The authors, editors, and publisher will not accept any legal
responsibility for any errors or omissions that may have been made in
this publication. The publisher makes no warranty, express or implied,
with respect to the material contained herein.

Design Methodologies for Bridging Science, Technology, and Industry: A Graphene-Centered Case Study

Blanca Guasch,¹ Elisava—Universitat Pompeu Fabra, Spain
Sergi Cortiñas, Universitat Pompeu Fabra, Spain
Marta González, Elisava—Universitat Pompeu Fabra, Spain
Javier Peña, Elisava—Universitat Pompeu Fabra, Spain

Abstract: Graphene, its first isolation and its nanoscale properties, has changed the paradigm established by the laws of physics and opened the door to new, previously unheard of industrial applications. Graphene has also been a turning point in nanoscience and nanotechnology, which has led to the creation of many technology centers dedicated to this field. Currently these materials are being studied in scientific communities, but most companies and individuals still do not know about their existence and/or potential. Our main objective is to fuse this scientific and technological knowledge with the main market and industry sectors (construction, food, energy, transport, and health) through design methodologies. For this purpose, we have carried out a case study using design thinking strategies to achieve understanding and innovation. This case study consisted of five “Graphene Days,” each of which was related to a different sector. These days consisted of a series of lectures in the morning, followed by a creative workshop to innovate with graphene in the afternoon. They made it possible for scientists to connect with businesspeople and transfer knowledge and exchanges between both worlds. From a design point of view, these sessions generated sectoral maps that reflect new opportunities for graphene in the market, and foreshadow the future of this nanotechnology. The method is applicable to other fields of science and technology and this paper reflects evidence of the importance of design methodologies for science, technology, and industry communication.

Keywords: Design Thinking Methodologies, Knowledge Management, Participatory Design, Graphene, Science Communication

Introduction

In today’s global and industrially competitive world, generating new knowledge and transferring it properly from science to industry is crucial, since it allows new products and services to be generated and commercialized. However, the process of transforming scientific advances into commercial products is complex. It involves a broad range of stakeholders and generally a long time span. In addition, there are even more barriers between science, technology, and industry when the scientific advance is related to a complex topic such as graphene (European Commission 2007).

Graphene is a two-dimensional material, formed by a single layer of carbon atoms that are bonded together in a hexagonal lattice (Mertens 2015). It was first isolated in 2004 by Andre Geim and Konstantin Novoselov (Novoselov et al. 2004), and it is the thinnest material in the world. Its relevance is evidenced by its unique properties—resistance, transparency, flexibility, impermeability to substances and gases, hardness, electric and thermal conductivity, chemical stability, etc.—and its potential in all kinds of applications—electronics, flexible devices, transports, batteries, medical equipment, water purification systems, renewable energy systems, architecture, smart textiles, etc. (Novoselov et al. 2012; Ferrari et al. 2015).

Notwithstanding the potential of the material, the graphene market will only be developed if all this knowledge is properly transferred from the scientific community to the industry. Therefore, in order to bridge the gap between all actors implicated in the knowledge transfer

¹ Corresponding Author: Blanca Guasch, La Rambla 30-32, Elisava Research, Elisava Barcelona School of Design and Engineering—Universitat Pompeu Fabra, Barcelona, Catalonia, 08002, Spain. email: bguaschba@elisava.net

process (Johnson 2005), researchers and industry need to work closely together. Plenty of activities can be done to achieve this goal, such as conferences, debates, round tables, workshops, meetings, exhibitions, etc. The more the exchange between scientific and industrial institutions, the more likely ideas with social and economic benefits will be created. Consequently, the purpose of this article was to create a framework that facilitated the knowledge transfer process among graphene stakeholders. A working methodology was also designed to detect market opportunities within which new ideas could be developed in the future.

The reason for choosing graphene as the core topic of this investigation was its relevance in a world that is every day more focused on technology and efficiency; also because graphene was the first two-dimensional material to be isolated, and it revolutionized the materials science. Furthermore, the European Commission has built its biggest investment project around it (Hirsch 2015) and, given that it was discovered in 2004, it is still at its infancy, which makes it very suitable to perform conceptualization methodologies to visualize future scenarios.

In order to meet our goal, five workshops called Graphene Days were carried out based on design methodologies, aimed at generating new connections among researchers from academia, technology centers, designers, students, and companies from different sectors. A second goal of this article is, then, to present the results of these workshops and verify if the design methodologies are efficient in facilitating the knowledge and technology transfer.

All the participants involved in the workshops had one thing in common: their interest in graphene. The reason why design methodologies were used is that they commonly involve participatory events that enable people from different disciplines to work together for a common goal (Coulter 2013). Design Research, Design Thinking, Research through Design, and many other fields of participatory methodologies in the design field were explored, tested, and modified to be adapted to our goal.

Each Graphene Day focused on a particular market sector as a central theme: 1) Construction and Habitat, 2) Energy, 3) Transport, 4) Food and Packaging, and 5) Health. Challenges integrating graphene in new applications within these sectors were discussed in depth by a diverse range of speakers. This gave all participants a variety of views on the subject from different fields of expertise.

We believe researchers need to understand the market needs and the competitive landscape in order to innovate, while businesspeople need to know how graphene can be implemented in their products. After all, innovation is about bringing together laboratory research and commercialized output (Design United 2013; Lloyd 2017). This article will show how Graphene Days can therefore be a good opportunity for a successful knowledge and technology transfer in the field of graphene.

Context

The communication of scientific topics such as graphene among different levels of society is not only an integral part of economic development, but also an essential facet of culture (Bucchi 2013). This knowledge transfer process is widely known as Science Communication and has been defined and discussed by several authors (Bell et al. 2009; Burns, O'Connor, and Stockmeyer 2003; Fischhoff and Scheufele 2012; Office of Science and Technology and Welcome Trust 2000).

Because of the definition and characteristics thereof, Science Communication should not be understood as a "technical fix" for imposing social consensus (European Commission 2012), but rather a more humane process not so bound to the limits of technocracy and functionality (Latour 2010). Besides, quality and usefulness in Science Communication does not necessarily impose uniformity and, thus, multiple formats of dissemination and public participation can enable a satisfactory transfer of knowledge (Luzón 2013; Wiener, Schmeling, and Hopf 2017). In this regard, design is certainly relevant given that co-design activities are commonly carried out with users and companies to achieve R&D purposes (Koskinen and Krogh 2015).

Interaction among Scientists, Industry, and the Public

Using a collaborative approach in research is sometimes a difficult, yet interesting decision. It can successfully enhance knowledge transfer and generate new opportunities (Coulter 2013), but companies are not very used to adopting participative methodologies for their habitual procedures. However, some authors concur that relations between research institutions and industry are vehicles for knowledge flow and, thus, economic growth (Mueller 2007; Schmickl and Kieser 2008). Therefore, the combination of participants with different backgrounds working together can lead to highly interesting, previously unexpected results. These authors also highlight that the participation of universities is crucial to achieving industrial innovation.

Every participant involved in public participation events has three areas of expertise: scientific, community, and political (Dietz and Pfund 1988). A process that involves multiple kinds of expertise can help build trust and an understanding of science (Dietz 2013). It can help clarify the existing conflicts surrounding a topic such as graphene, and take into account all the stakeholders involved and the interactions among them. In addition, a collaborative approach provides the possibility of handling more than one problem at a time.

With all these benefits, cooperation among scientists, companies, and the public offers a higher probability of success when developing new projects. Teamwork by people with varying expertise provides multi-directional interaction and serves as an opportunity to approach a topic or a problem from different perspectives. Graphene Connect (Fogden 2016; Lloyd 2017), carried out by the Graphene Flagship (Hirsch 2015) is an example of one activity of this type.

Participatory Methodologies

The key aspect in using cooperative methods is the level of innovation that can be achieved. But how can working together in participatory events achieve more innovation? The answer to this question may probably be associated to the types of knowledge that accompany these activities. Despite the variety of methods within the field of participation, most of them share one common goal, which is to acquire access to the participants' tacit and practical knowledge (Spinuzzi 2005). Tacit knowledge refers to the things people know without being able to express or enunciate, while practical knowledge includes how things are currently done based on experienced and memorized situations of use. The combination of both in a collaborative experience provides a holistic view of a situation rather than a view simply based on explicit structured definitions.

So, as Inmark (2010) states, a workshop is both a time-consuming and a time-saving activity. On the one hand, it requires considerable organizational effort and meetings to arrange all the sessions, prepare the spaces and the material, and make sure all aspects are clear with everyone involved. On the other hand, it is a very powerful activity as it can lead to radical innovations in a very small period of time. It can change the participant's behavior, their collaboration with each other, and the ability to work with people from different fields of knowledge.

Two facts are important when designing the methodology. Firstly, structured methods and visual techniques help participants work with ideas (Inmark 2010). Secondly, one or more facilitators are unquestionably helpful. The facilitator is the person who organizes workshops and other activities for various stakeholders (Raijmakers, Thompson, and Van de Garde-Perik 2012) or the one who directs, guides, and produces the structures and spaces needed to encourage people to freely express their creativity at all levels (Sanders and Stappers 2008).

Indeed, complex issues can be investigated through design methods. In fact, companies nowadays need to be user-centered and listen to their consumers, who are proactive and willing to give feedback and express their needs. Accordingly, people are no longer users or consumers, but co-creators of their own experience (Guersenzvaig 2010) and should be treated as so. For this

reason, participatory methodologies benefit companies, research institutions and society (European Commission 2007).

Design Thinking is a human-centered participatory methodology that involves an amount of design-based methods that can be applied to different problems by interdisciplinary groups or by individuals (Curedale 2016). Related design concepts and movements have also been described by different authors, evolving to what is known today as Design Research (Design United 2013).

The usage of Design Thinking methodologies is directly related to a social-centric perspective. Through these methodologies, the designer becomes a facilitator and the participants become co-designers (Sanders and Stappers 2008). Hanington and Martin (2012, 6) suggest that design methodologies for research “provide an opportunity to structure conversations that help us better understand and empathize with people and, as a result, build more meaningful products”.

Objective

The main objective of this article is to create a working methodology based on participatory events from the field of design to help scientists and businesspeople work together, develop new products and form long-lasting coalitions. A case study was done for this purpose. It focused on integrating the scientific and technological knowledge associated to graphene with the expertise of the companies that develop their products and services in five different market sectors. Therefore, five interactive workshops called Graphene Days were carried out. The specific goal of each workshop or dynamic session was to generate sectoral maps that reflected new opportunities for graphene in the market, and foreshadowed the future of this nanotechnology.

Secondary goals of these sessions were to achieve networking, clustering, and teambuilding among participants and to create a common and understandable language between scientific institutions and companies. Further goals were to identify the market needs and find innovative solutions through interaction and creativity techniques. The final goal was to provide participants with some guidelines and tools for workshop logistics and reporting.

Thus, information sharing and knowledge generation were the essential aspects of the workshops. And in a world where networks are gaining such importance as is the case today, these kinds of events can be powerful engines for economic and social innovation. For this reason, the Graphene Days case study represents a crucial starting point for industrial innovation and technology adoption. Therefore, a final goal of this article is to present the main results achieved in the case study, as well as to assess whether or not design methodologies can facilitate efficiently the knowledge and technology transfer of a scientific topic.

Methodology

Five Graphene Days—numbered below from (1) to (5)—were carried out between April 2016 and October 2017. Each one of them focused on a different market sector: (1) Construction and Habitat, (2) Energy, (3) Transport, (4) Food and Packaging, and (5) Health. The reason for choosing these specific sectors was that all five refer to several of the eleven sectors defined by the Global Industry Classification Standard (GICS) (Global Industry Classification Standard 2016): (1) involved Industrials, Consumer Discretionary and Real Estate; (2) Energy and Utilities; (3) Industrials and Consumer Discretionary; (4) Consumer Staples; and (5) Health Care. The other four GICS sectors not mentioned were transversal to all five sessions: Materials, Financials, Information Technology, and Telecommunication Services. In addition, the titles of the sessions were company-oriented to engage industry interest.

Each Graphene Day was held at a different institution, each in a different Spanish city: (1) ELISAVA Barcelona School of Design and Engineering (Barcelona), (2) CIC EnergiGUNE (Vitoria-Gasteiz), (3) ETSII-UPM (Madrid), (4) ITENE (Valencia) and (5) Fira Gran Via (L'Hospitalet de Llobregat, Barcelona).

Spain is known to be one of the leading Western countries in the production and manufacturing of graphene (Phantoms Foundation 2016b). All the leading Spanish companies within the graphene field (Phantoms Foundation 2016a) as well as the leading companies in product development within every market sector—(1), (2), (3), (4) and (5), respectively—were present among the participants and speakers over the five Graphene Days. The attendance for each Graphene Day included (1) 42, (2) 32, (3) 42, (4) 30 and (5) 22 different institutions—laboratories, universities, companies, and research centers. The Advanced Materials and Nanomaterials Spanish Technological Platform (MATERPLAT) sent invitation letters to each event to attract audiences. Institutions and companies from all over Spain received these invitations and the events were also communicated through social media networks and the websites of the different institutions hosting the event.

The Graphene Days proceedings were designed in such a way that interaction and dialogue among stakeholders were stimulated throughout the entire session. It was conceived as a frontal and interactive workshop (Inmark 2010). First, frontal lectures were offered in the morning to introduce graphene (the properties, means of application, production, technology needed, potential, etc.) and the market sector—the characteristics and the possibilities for including the material. These were followed by a dynamic session in the afternoon to generate possible proposals and support networking between scientists, academics and businesspeople.

Since space is one of the most important issues when organizing interactive events (Inmark 2010), two kinds of spaces were used. The first one was a conference room, with all the seats facing the same direction. It was used for the frontal lectures. The second one was a more flexible space, which allowed the participants to move freely about the room. It was used for the dynamic session.

The time devoted to each part of every Graphene Day was as follows: in the morning, twenty minutes for each frontal lecture, for a total of two to three hours dedicated to lectures, including a coffee break. In the afternoon, thirty minutes for the presentation of the dynamic session, the facilitator and the group members, followed by thirty minutes dedicated to each of the three phases of the dynamic session—a total of two hours for the workshop. There was a quick twenty-minute conclusion after the morning and afternoon sessions to share the results established by the different teams.

Dynamic Sessions

While the morning frontal lectures always reflected the same format, the methodology used in the afternoon workshops changed from one Graphene Day to the other. The first two sessions were the most contrasting ones since (1) was based on a more artistic or conceptual dimension and (2) was purely scientific. On the other hand, (3) and (4) were the result of uniting the aspects that worked best in the first two and, finally, (5) was conducted as a conclusion to the previous ones with a smaller group of participants and a larger number of facilitators.

These workshops were designed to be small and intimate. Therefore, the room size and the furniture ensured movement and comfort to create knowledge laboratories where thinking was combined with doing. Because of this, Manual Thinking² (Huber and Veldman 2015) was the main tool used in the dynamic sessions, except for (2), during which current office material was used to contrast with the other Graphene Days. These resources were used to develop concepts in teams as well as to record all developments.

² Manual Thinking (Huber and Veldman 2015) is a tool that facilitates teamwork and offers an efficient and friendly format with which to face the different phases of creativity, exploration, prioritization, and organization in a dynamic and structured way. It consists of large format folding maps and removable labels in various shapes, colors, and sizes. The labels invite participants to note down and draw their ideas and opinions in a synthesized manner.

Inasmuch as Graphene Days are in the first stages of the design process, they used Design Thinking techniques to find a solution to a still unresolved situation. The design methodologies that mainly forged the Graphene Days dynamic sessions are defined in Table 1 (Hanington and Martin 2012; Design United 2013). They were carefully chosen from a wide range of methods due to their ability to analyze (a, a', a''), generate ideas and concepts (b), and consider conflicts and strategies in future scenarios (c). From a structural point of view, the Value Framework (Ouden 2013) was used as a way to manage problems at a user, organizational, ecosystem and societal level. It combines different points of view to visualize opportunities for value creation and is comprised of three steps: diagnosing value gaps, identifying stakeholders, and enriching value proposition.

Table 1: The Base Methodology for the Graphene Days

Phases	Methodology
Map design	Value Framework
	Brainstorm Graphic Organizers
General dynamics and phase (a') Ideas Building	Focus Groups
	Mind Mapping
	Participant Observation
	Participatory Action Research
	Participatory Design
	Research through Design
Phases (a) Ideation and (a'') SWOT	Collage
	Role-playing
Phase (b) Proposals	Generative Research
	Concept Mapping
Phase (c) Challenges and Strategies	Cognitive Mapping
	Evaluative Research
	Mental Model Diagrams
	Stakeholder Maps
Conclusion	Thematic Networks

Source: Guasch et al.

A combination of different characteristics from each design methodology was used as a guide when creating the Graphene Days methodology. The first session (1) was comprised of (a) Ideation, (a') Ideas Building, and (b) Proposals. Sessions (2), (3), (4), and (5) also had three phases, but they included (a'') Strengths, Weaknesses, Opportunities, and Threats (SWOT) Analysis, (b) Proposals, and (c) Challenges and Strategies (Figure 1).

Besides the phases, the format of the resulting maps also varied from one Graphene Day to another. Table 2 shows the schematics of the maps developed during each Graphene Day. The second column of the table shows the Graphene Days where each phase was used. The third and fourth columns separate the map morphology depending on whether or not they used Manual Thinking. In addition, the rows separate the initial phases of analysis and conceptualization from the generation of proposals and consideration of future scenarios.

Table 2: Schematic Representations of the Maps Developed During the Five Dynamic Sessions

Phases	Graphene Days	Morphology of the maps	
		(1), (3), (4) or (5)	(2)
(a) Ideation	(1)		
(a') Ideas Building	(1)		
(a'') SWOT Analysis	(2)(3) (4)(5)		
(b) Proposals	(1)(2) (3) (4)(5)		
(c) Challenges and Strategies	(2)(3) (4)(5)		

Source: Guasch et al.

In phase (a), groups were given a map with an image pasted in the center. This image was not related at all to the sector or to graphene in order to offer a broad perspective. This phase was only used in session (1) and the images of the six maps were a water drop, a fashion photograph, a landscape, bread, a marking pen, and raspberry yogurt. The participants first had to break down the image into the concepts it evoked. After a while, the word graphene was placed on the empty side of the map and, then, the participants were invited to generate ideas from the concepts evoked by the image and the material.

Phase (a') followed (a). Each participant had to choose the idea from the first map that they considered most interesting and draw it on a sheet of six large labels. After one minute, the sheet was passed to the person on the right and so on. Upon receiving a new sheet, each participant had to improve, vary or refine the proposals that were already drawn on that sheet by drawing a new one. This phase was carried out in silence.

Phase (a'') was used for Graphene Days (2), (3), (4), and (5). Participants were given a map with the SWOT Analysis chart drawn. They had to write the Strengths, Weaknesses, Opportunities, and Threats that occurred to them on labels—or directly on paper in the case of session (2)—and place them properly in each quadrant. For sessions (3), (4), and (5), a color distinction was made between labels based on the dynamic “Six Thinking Hats” (de Bono 1985). Lateral Thinking (de Bono 1994) helps resolve a problem from different points of view by taking indirect routes; hence its use in the analysis phase.

As for the proposal generation maps (b), the dynamics were very open. The participants first selected the most relevant opportunities for the application of graphene in the sector from the previous conceptualization and analysis phases. Next, any proposed idea was outlined and placed on the map around the related opportunity. When enough proposals had already emerged, participants would vote. Each participant had two green stickers to vote for and two red ones to vote against. They used them to assess what proposals they wanted to choose for definitive development. The voting was individual and was done in silence. Finally, the group chose the winning proposal based on the votes.

Finally, phase (c) consisted of first writing down the final proposal on a new map. After that, the participants detected the challenges of implementing the proposal and what strategies should be followed to overcome them.

The presence of facilitators was essential to guiding the dynamic sessions and each of the phases described above (Sanders and Stappers 2008; Cruickshank and Evans 2012). It was the guiding basis for the afternoon workshops. The team of facilitators was comprised of PhD researchers from the fields of design and communication with vast experience in the use and adaptation of Design Thinking methodologies. This was one fact that made it possible to increase participation, foster consensus, capture ideas, and maximize productivity. There was a basic rule that the facilitator always stated at the beginning of a workshop: participants were not allowed to say “no” to an idea even though it was not viable or realistic. Instead, they had to build on other people’s ideas and let all their thoughts influence the session. Thus, the workshop was based on a cooperative argumentative dialogue and an open-minded way of thinking.

Small working groups were needed for the workshop performance. They had from six to twelve people, which boosted active listening, participation, and visualization. Because of the different methodologies applied, six groups were formed during the first Graphene Day; four in the second, third and fourth; and one in the fifth. The distribution of participants and facilitators is shown in Table 3.

The proportion of researchers or academics and business people or product developers in each group was balanced in order to achieve the greatest variety of profiles in each team. Each group had a different central theme, which was defined depending on the specific sector. They were founded on the properties of the material or different areas of the sector (Table 3).

Table 3: Graphene Days Case Study Details

		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
General Information	Topic	Construction and Habitat	Energy	Transport	Food and Packaging	Health
	Approach	Conceptual	Scientific	Conceptual + Scientific	Conceptual + Scientific	Final Method
	Location	ELISAVA (Barcelona)	CIC EnergiGUNE (Vitoria-Gasteiz)	ETSII-UPM (Madrid)	ITENE (Valencia)	Fira Gran Via (L'Hospitalet de Llobregat)
	Institutions involved	42	32	42	30	22
Dynamic Session	Participants distribution	6 groups of 6-8 participants and 1 facilitator	4 groups of 8-12 participants and 1 facilitator	5 groups of 8-12 participants and 1 facilitator	4 groups of 8-12 participants and 1 facilitator	1 groups of 8 participants and 4 facilitators
	Groups' central themes	<ul style="list-style-type: none"> · Fire retardant · Flexible and ultra-thin electronics · Heat dissipation · Reinforcement and lightness · Textiles · Waterproof coatings and corrosion 	<ul style="list-style-type: none"> · Energy distribution · Energy generation · Energy storage I · Energy storage II 	<ul style="list-style-type: none"> · Aeronautics I · Aeronautics II · Automotive · Naval · Rail 	<ul style="list-style-type: none"> · Barrier properties · Intelligent material · Mechanical properties · Thermal properties 	<ul style="list-style-type: none"> · Sensors, prosthesis and tissue engineering
	Phases	(a) Ideation (a') Ideas Building (b) Proposals	(a'') SWOT Analysis (b) Proposals (c) Challenges and Strategies	(a'') SWOT Analysis (b) Proposals (c) Challenges and Strategies	(a'') SWOT Analysis (b) Proposals (c) Challenges and Strategies	(a'') SWOT Analysis (b) Proposals (c) Challenges and Strategies
	Teamwork resources	Manual Thinking	Current office material	Manual Thinking	Manual Thinking	Manual Thinking

Source: Guasch et al.

Analysis Methods for the Resulting Maps

To analyze the results of all the maps obtained, a Thematic Network (Hanington and Martin 2012) was first created in order to visualize the hierarchy of the topics discussed. Additionally, all the information from the maps was transferred to a spreadsheet for a qualitative and quantitative analysis by phases. All the notes were taken into account for the qualitative part. A concept classification was first created for the quantitative part. The process of creating categories and distributing the notes on the maps in them were overlapped since categories arose from the note groupings.

All of the phases defined except (a') resulted in a map. Phases (a), (a''), and (c) were more based on the characteristics of the material and the market, but (b) could include all kinds of ideas that did not have any particular connection. As the proposal generation phase, it allowed for much more freedom than the other two. For this reason, the categorization process was only applied to phases (a), (a''), and (c). In contrast, phase (b) was based on the categorization shown in Table 4. The categories were developed based on the wide range of applications proposed by the participants and they were evaluated with a score from 0 to 3.

Table 4: Criteria for Analyzing the Results Obtained in Phase (b)

	0	1	2	3
<i>Realistic</i>	More than 50 years for industrial adaptation	10-50 years for industrial adaptation	5-10 years for industrial adaptation	1-5 years for industrial adaptation
<i>Speculative</i>	Design applicable to today's infrastructure (1-5 years)	Design applicable to short-term infrastructures (5-10 years)	Design applicable to future scenarios (10-50 years)	Design of a whole new system or future scenario (+50 years)
<i>Properties</i>	Relative to conceptual characteristics or properties from other materials	Not very based on the material's properties	Quite a bit based on the material's properties	Completely based on the material's properties
<i>Sectors</i>	Relative to other sectors	Not very based on the sector or related to multiple sectors	Also applicable to other sectors	Completely based on the sector

Source: Guasch et al.

On the one hand, we considered the industrial adaptation to develop the proposed applications. This category was called Realistic and was evaluated in terms of time. On the other hand, we assessed whether the application could be adapted to current infrastructures. This distribution was called Speculative, and it was also measured in time ranges. The Properties and Sectors categories distinguished whether the application was purely based on the properties of the material and the sector, respectively, or rather focused on properties of other materials or other sectors.

Every category was compatible with each other. An application could be both realistic in its industrial adaptation and speculative in how it generated a new system requiring new infrastructures. It could also focus a lot on the properties and the sector. A spider graphic was drawn for each of the proposals in order to evaluate the four categories correctly and, finally, all the graphics were superimposed to detect trends.

The last phase, (c), was also distributed among the categories created for (a), (a''), and (c). This distribution was done separately by groups and together. Thus, the challenges encountered in all the sessions were established in addition to the strategies proposed to overcome them.

Results

The five Graphene Days generated fifty-four maps in all. The topics discussed at each workshop were grouped and visually related, thus generating the Thematic Network (Figure 1).

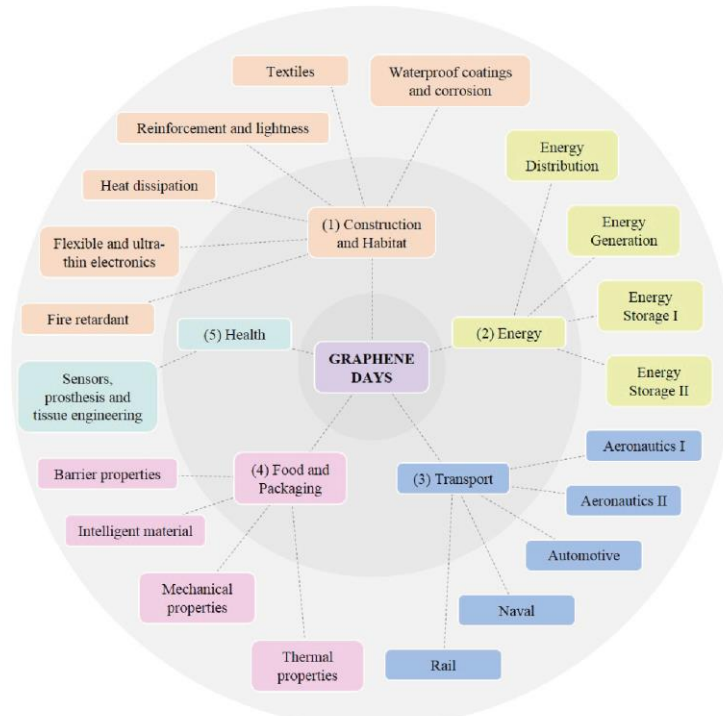


Figure 1: Thematic Network from the Graphene Days Case Study
Source: Guasch et al.

All the notes compiled from the maps were then categorized. Figure 2 shows the categories created for maps (a), (a''), and (c). As can be seen, these categories were grouped into areas based on their focus.

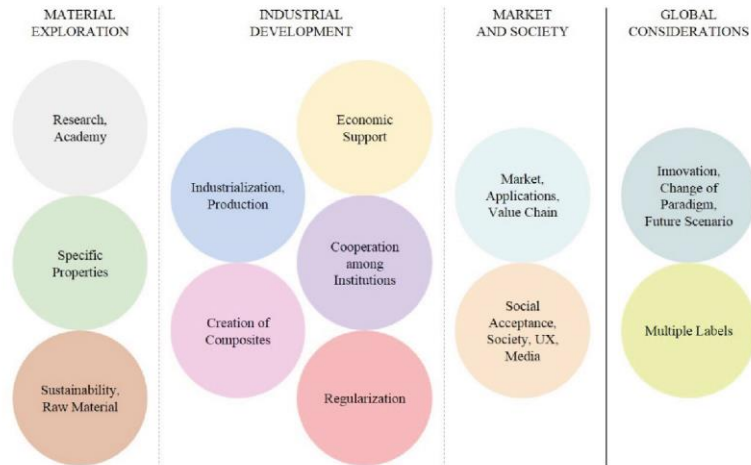


Figure 2: Categories Created from the Grouping of Concepts in (a), (a'') and (c) Maps
 Source: Guasch et al.

The Material Exploration area includes the categories related to the initial phases of any application development. Next, the Industrial Development area includes categories related to practical production and industrialization issues and categories that involve cooperation between different institutions. Thirdly, the Market and Society area involves the applications and the value chain and all the possible societal aspects. In parallel, the Global Considerations area covers innovation and concepts concerning several of the previous categories.

Analysis of (a) Ideation

Figure 3 shows the distribution of the notes made in phase (a). The horizontal axis shows the visual referents that were used, while the vertical one shows the number of notes that were made with respect to each topic. The evaluation is based on the categories shown in Figure 2.

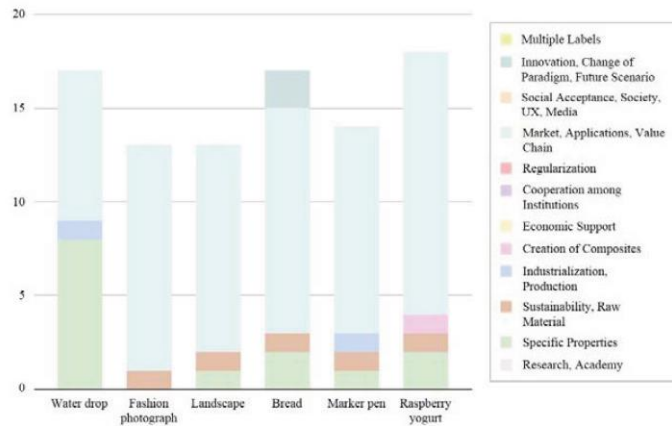


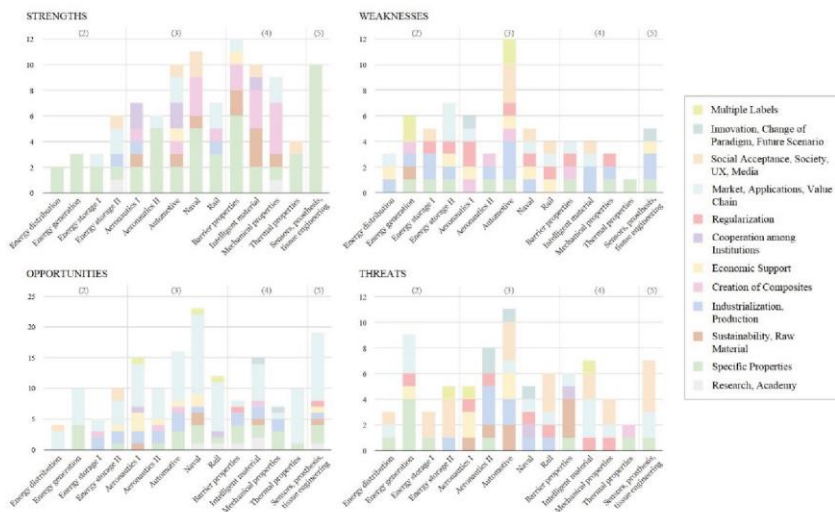
Figure 3: Quantitative Analysis of Phase (a)
 Source: Guasch et al.

As can be seen, the majority of the entries referred to the Market, Applications and Value Chain category. The ones that were specific to the Construction and Habitat sector included smart walls and floors with diverse functionalities, structures with resistance and temperature change, water-repellent pavements and intelligent buildings and facades, among other proposals. Other notes had to do with objects of daily use, such as appliances, toys and furniture as well as with clothes, with proposals such as multipurpose fabrics, flying sports shoes and fabrics for astronauts or surgeons. The development of screens, smart glasses, mirrors with microelectronics and flexible devices was mentioned in addition to light aviation, scenography, a portable antenna, sensor cables for controlling the flow of fish in the sea, art and membranes.

Secondly, the specific properties of the material were considered, although to a much lesser extent –except in one of the groups. They included lightness, flexibility, transparency, electric and thermal conductivity, self-cleaning, self-healing, filtration and impermeability, among others. Sustainability was also mentioned, especially the recyclability of graphene, wastewater treatment and filtration of water to feed arid areas. Some groups discussed the implications for production and the creation of composites and one group talked about topics relating to future scenarios.

Analysis of (a”) SWOT Analysis

Phase (a”) was distributed in the same way as the previous one (Figure 4). The horizontal axis shows all the work groups and a vertical line divides each Graphene Day. As in Figure 3, the vertical axis represents the number of entries made by the participants.



Source: Guasch et al.

The figure reveals that fewer notes were collected in session (2) than in the rest of the sessions. On the contrary, more comments were made in session (3). The specific properties of the material were the most represented category in the Strengths quadrant. The creation of composites was also one of the most valued issues, especially in the groups dedicated to

Transport and Food and Packaging. Cooperation between institutions was also assessed in these two as well as economic aspects relating to production.

With respect to the specific properties, some groups only mentioned “properties” in general. Others specified more, mentioning lightness, resistance, flexibility, transparency, biocompatibility, pH control, hydrophobia, antistatic and insulating properties, and conductivity, among others. Furthermore, bi-dimensionality and the possibility of customizing graphene to each application’s requirements were also raised. As to the creation of composites, the main advantages found were synergies with other functional materials, improved unification, higher performance with low percentages of graphene additives, and weight reduction. Other aspects such as a well-established local community, the support of institutions, economical efforts, and the fast evolution in research were highlighted too.

In contrast to this, there is no category in the area of Weaknesses that stands out more than the others do. However, industrialization and regularization were quite heavily discussed. Many of the groups mentioned economic support, social acceptance, and the creation of composites, and some brought up the creation of applications for the market.

Concerning industrialization, the participants mentioned that production scalability was the most critical challenge. They added that there is no existing expertise in the nano-field and that new technologies and infrastructures are necessary. As far as regularization aspects, they noticed a lack of standardization, legislation, certification, and quality assurance (QA). Economic concerns included the production costs, the sale price, the value for money, and the economic feasibility. With reference to social outcomes, the groups indicated a lack of a clear definition of graphene, unawareness of toxicity, generalized uncertainty, and high expectations generated by the media. In relation to the creation of composites, they alluded to the difficulty of mixing graphene with other materials, doping resins and controlling dispersion. Furthermore, and in regard of the market, they pointed out the competition with well-established technologies. Notes related to various categories included newness, time, and security.

The third quadrant, regarding Opportunities, is the one that received the most comments. The market category was the most-often mentioned. At lower values, they mentioned properties, industrialization, and economic support. Given that all the opportunities stated in this quadrant inspired the proposals developed in phase (b) and that the most remarkable ones were used for the titles of the proposal clouds, they are outlined below in the analysis of said phase.

Finally, the fourth quadrant on the map, Threats, reflects evenly distributed comments. Even so, aspects related to society and the market stand out in many of the groups. The groups also mentioned sustainability, regularization, production, and property concerns, followed by economic considerations and change of paradigm issues.

Observations based on society included distrust, uncertainty, high expectations, and the possibility of not achieving technological forecasts. Within the market category, groups detected competition with the silicon market and other nanomaterials, difficulty of implementation, and the fact that a better material may appear. In the sustainability and raw material category, participants cited the availability of resources and the unknown environmental impact and carbon footprint. With respect to industrialization, they discussed production scalability and the lack of a process that can guarantee optimal properties. The loss of properties of the material was another threat: oxidation, durability, deterioration by heat, and the difficulty predicting behavior and toxicity. In relation to economic support, the groups found that investment, production costs, and the lack of public financing could be risky. As concerns the change of paradigm the material represents, they highlighted the great gap between scientific advances, design, and production. Lastly, there were comments relating to a number of health and safety categories.

Analysis of (b) Proposals

Phase (b) generated proposal “clouds” in all the sessions. The participants placed their proposals around the opportunities detected to generate areas for proposals in relation to them. After that,

some participants decided to vote for individual proposals and others for proposal clouds. The group made a final decision on the proposal to choose.

In all, 192 proposal clouds were obtained. Each of them included a title or the core opportunity and more specific sub-proposals for application around it. Each cloud was analyzed as a whole because the sub-proposals of each cloud were related to the title or core opportunity. Thus, the graphs shown in Figure 5 are based on superimposing the spider graphs for each cloud for each Graphene Day.

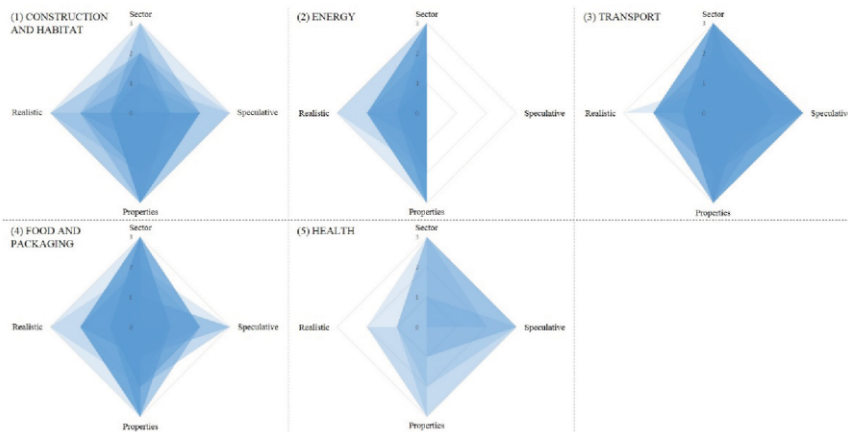


Figure 5: Quantitative Analysis of Phase (b)
Source: Guasch et al.

As displayed in the figure, the proposals obtained in session (1) focused mainly on the properties of the material. Participants did not take much risk with speculative proposals, nor with proposals that were too realistic. In addition, there was a lot of dispersion in the sectors processed as many of the proposals referred to or could be applied to other sectors.

The group with the topic “fire retardant” proposed intelligent screens for aquarium glass with interactive information. The “flexible and ultra-thin electronics” group’s final proposal was a CO₂ filter for urban furniture to clean the air in urban areas. The group that focused on “heat dissipation” selected intelligent, flexible, and adaptable packaging featuring temperature control. The “reinforcement and lightness” group came up with a reinforcement for tunnels made with lighter materials and train tracks that converted friction into energy. The “textiles” group suggested anti-pollen and anti-pollution masks to avoid allergies and toxicities. Lastly, the group dedicated to “waterproof coatings and corrosion” proposed intelligent buildings with information on the weather forecast, temperature stability, and the use of renewable energies.

The proposal that emerged from the “energy distribution group” was based on adding graphene in cables for faster and more efficient energy distribution. The “energy generation” group suggested creating a TCO (Transparent Conductive Oxides) certification. It would take into account the adhesion to the substrate, the conductivity and stability of doped materials as well as the transparency and the transmittance. Moreover, one of the two groups dedicated to “energy storage” proposed using graphene as an active material for supercapacitors. The other “energy storage” group came up with the use of the material to decrease the internal resistance of batteries.

Thirdly, session (3) resulted in a graph with a large area. The proposals that emerged from this workshop focused much more on the properties and the sector. They were also very realistic in the medium and long term, and highly speculative.

Out of the two “aeronautics” groups, one of them selected the use of clean energies as their final proposal with light batteries, graphene cables, solar energy panels in aircrafts, less noise pollution, a lesser need for engine bleeding, and less fuel consumption by public transport. The other “aeronautics” group chose the use of the fuselage as a signal transmitter with a sandwich separation between the chassis (external) and the wiring (internal). Additionally, the “automotive” group proposed creating families or grades of graphene for each application with the possibility of adapting the properties and the costs. The group focused on “naval” applications decided upon the creation of a transparent boat for no visual contamination, which would have sensors around it and ballistic protection. The remaining group, “rail”, proposed alternative mobility concepts such as a door-to-door means of transport through a railway capsule that would reach each house, a solar train, a hospital train to reach conflict zones and an intercontinental terrestrial and submarine train.

The graph from session (4) is very similar to the one from session (3). The only difference was that the proposals were not as speculative but rather a little more focused on current infrastructures instead.

The group dedicated to “barrier properties” proposed utilizing additives in today’s packaging, while the “intelligent material” group presented the idea of Internet of Everything (IoE): the result of a future scenario in which Internet of Things (IoT) and Internet of People (IoP) would live together. The “mechanical properties” group imagined a food container with compartments that would be sealed with breakage in specific areas and no need for glue. The last group, “thermal properties,” proposed a packaging design that allowed temperature exchange.

Finally, the area drawn by session (5) is almost identical to that of session (3). The color is clearer than the other graphics because there was only one working group in this session, while the others had four to six groups and, therefore, they generated a greater number of proposals. Properties, sector, and speculation are three factors present in the proposals as well as realism in the medium and long term. The only group in this session, which was dedicated to “sensors, prosthesis, and tissue engineering,” proposed a diagnostic device for prevention.

Although many other issues were discussed, the proposals outlined in this section are the most outstanding ones from the sessions. The participants were the creators of these potential applications, the designers of future scenarios and the generators of knowledge and interactions.

Analysis of (c) Challenges and Strategies

Figure 6 is the result of the quantitative analysis of phase (c). It first shows the graph for the challenges detected by each group along with their strategies and, then, there is a graph with all the challenges and strategies together.

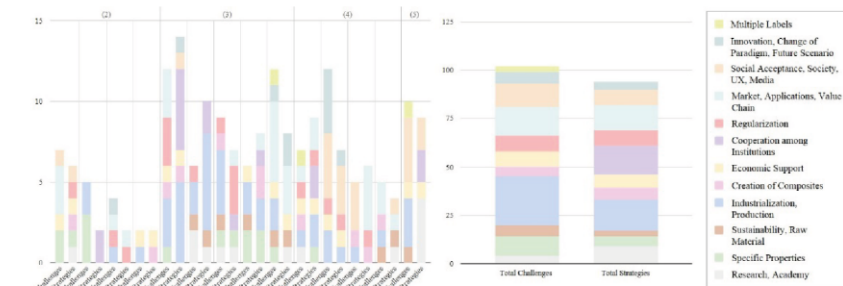


Figure 6: Quantitative Analysis of Phase (c)
Source: Guasch et al.

With this view of the results, one can see that not as many notes were made in session (2) as in the rest. Looking at the categories, we see that industrialization is the most observed challenge, as well as one of the most mentioned strategies. In terms of challenges, the graph also highlights the generation of applications for the market, followed by social aspects and the enhancement of the material properties. Besides industrialization, collaboration among institutions and the development of applications are remarkably valued as strategies. Research, economic support, regularization, and innovation are all aspects that were considered in both categories. In other words, they are both challenges that have to be overcome and strategies for getting graphene on the market.

There is a clear relationship between the qualitative results extracted from phase (a'') and the comments mentioned as challenges and strategies. Most of the challenges reflect the threats and weaknesses of the material and most of the strategies emerge from the strengths and opportunities.

Discussion

Both parts of the Graphene Days—frontal lectures and dynamic sessions—helped stimulate an understanding of graphene and foster creativity. They facilitated access to knowledge and enhanced cooperation. In fact, many participants affirmed that the morning conferences led to more proposals in the dynamic sessions. Many of them did not know the properties of the material nor their potential before the presentations. Others were not familiar with their methods of application or the latest advances that were being made in the sector.

With regard to the dynamic sessions, the resulting maps showed uniform, understandable, and colorful language and were all in formats that worked like folding boards, which are easy to save in files and share. The use of Manual Thinking in four of the five sessions promoted an active, participative, and democratic attitude among the users as well as efficiency and balance in the meetings. Instead of speaking, all inputs were written on labels. Instead of discussing the topics, all the attendees' ideas were displayed and equally valued. Finally, all the groups' efforts focused on creating a common document instead of messy processes and unconnected notes.

The maps that did not use Manual Thinking resources did not have the capacity to generate these types of dynamics, mainly because the participants had a more passive attitude. The

resulting maps reflected fewer written ideas than the ones from the other sessions because talking was prioritized over writing. Thus, the value of the maps as a session recording tool was much lower than in the other sessions.

With reference to the initial phases of analysis, the reason for suppressing (a) was that it required the participants to consider the visual referent, the sector in question, the specific theme of their group, and the specificities of graphene all at the same time. With all these considerations in mind, they did not establish a clear goal, which meant basic aspects such as the properties of graphene and the search for opportunities within the specific sector were blurred. In addition, this dynamic was not very comfortable for most of the participants given their different scientific and technological backgrounds. On the other hand, the main reason for suppressing the (a') phase was that the construction of ideas was already included in the generation of proposals.

The fact that the SWOT Analysis (a'') replaced the conceptual phases (a) and (a') made the participants feel more comfortable since almost everyone was familiar with this method. Even so, the "Six Thinking Hats" dynamic contributed a different point of view and, consequently, higher quality in the resulting maps. This dynamic took the attendees out of their comfort zone in a better way than the previous phases (a) and (a') as participants had to visualize the application of graphene from six very different perspectives.

In session (b), the fact that different dynamics were present in the sessions is perfectly reflected in the analysis graphs (Figure 5). Session (1) obtained results that were mainly based on the properties, but not on the sector. Session (2) got results that were realistic and based both on the properties and on the sector, but none of these results were speculative at all. In contrast, sessions (3), (4), and (5) achieved interesting results as they were mainly speculative, but at the same time based on a quite realistic industrial adaptation. We actually believe that too realistic proposals may not be as interesting as the not so realistic ones because they might be too obvious. Realistic medium and long-term proposals provide a broader perspective and can allow a glimpse into the next steps in industry.

Nevertheless, session (4) did not have as many speculative proposals as sessions (3) and (5) did. Of course, the topic also influenced this fact. Although the methodology was the same, the Transport and Health sectors are much more likely to generate speculative proposals than the Food and Packaging one. In the latter, participants were certainly worried about laws concerning graphene in contact with food. This led to less speculation.

Finally, adding phase (c) in the workshops promoted the consideration of the challenges associated to the realization of a proposal and the conceptualization of strategies to overcome them. This phase made each group's selected proposal look much more like a possible future reality. On the other hand, not considering the project feasibility—as in session (1)—made it seem an unreal application or, perhaps, real but in a distant future.

Facilitation was crucial to all the phases and sessions. In fact, adding more facilitators in session (5) was a decisive improvement. The interest of the resulting maps was significant and although there was only one working group, many proposals were obtained.

In conclusion, the resulting methodology achieved in session (5) was demonstrated to be the most efficient to facilitate knowledge and technology transfer among graphene stakeholders. It stimulated interaction and boosted creativity, and the participants felt comfortable working with design methodologies and tools. The applications proposed within the session were innovative and quite realistic, and coalitions were formed among research institutions and companies.

Because of the synergies and dialogues generated in all the Graphene Days sessions, we believe design methodologies can serve to conceptualize applications in other fields of scientific knowledge. In fact, graphene is a complex topic that most assistants of the sessions found difficult to understand—mainly because of its small size and its unique properties. Nevertheless, the methodology helped them not only understand the topic, but also work with it and with future scenarios. At the end of the sessions they talked about the material as if they had always known it. Therefore, the Graphene Days case study exemplifies how thematic sessions based on design

methodologies can achieve knowledge transfer and enhance participation of all the stakeholders involved in a scientific topic.

Conclusions

Graphene Days were used as a case study to design a method by which participants from different disciplines could work together on a scientific issue and, thus, develop future projects. The sessions helped make connections among graphene stakeholders and, thus, bridged the gap between academia and industry.

The outstanding attendance by graphene producers and well-known product developers offered a wide range of opportunities for good partnerships and enhanced the potential for graphene technology. All groups held conversations that covered several aspects related to the material from production to its usage in commercialized products.

Furthermore, Manual Thinking has proven to be a tool that can simplify methodical teamwork and offer participants the opportunity to work side by side with easily understandable language. It is not only useful as a working tool, but also as a session recording tool.

Networking and teambuilding were achieved in the case study and innovative solutions for the application of graphene were generated. The sessions also provided participants guidelines and tools for workshop logistics and reporting.

Because of the importance of science communication and because knowledge transfer is not only needed in the graphene field but in many other fields, we believe this method can be applied in other areas of expertise. We believe participatory design methods are a positive initiative for efficient scientific research and communication.

REFERENCES

- Bell, Philip, Bruce Lewenstein, Andrew W. Shouse, and Michael A. Feder. 2009. *Learning Science in Informal Environments: People, Places and Pursuits*. Washington, DC: The National Academies Press.
- Bono, Edward de. 1985. *Six Thinking Hats*. Boston, MA: Little, Brown and Company.
- . 1994. *Creative Thinking. The Power of Lateral Thinking for the Creation of New Ideas*. Mexico: Paidós.
- Bucchi, Massimiano. 2013. "Style in Science Communication." *Public Understanding of Science* 22 (8): 904–15. <https://doi.org/10.1177/0963662513498202>.
- Burns, Terry W., John O'Connor, and Sue M. Stocklmeyer. 2003. "Science Communication: A Contemporary Definition." *Public Understanding of Science* 12 (2): 183–202.
- Coulter, Janet. 2013. "Interdisciplinarity: Creativity in Collaborative Research Approaches to Enhance Knowledge Transfer." In *Innovation through Knowledge Transfer 2012 Series: Smart Innovation, Systems and Technologies*, vol. 18, 169–78. Berlin: Springer-Verlag. https://doi.org/10.1007/978-3-642-34219-6_19.
- Cruickshank, Leon, and Martyn Evans. 2012. "Designing Creative Frameworks: Design Thinking as an Engine for New Facilitation Approaches." *International Journal of Arts and Technology* 5 (1): 73–84.
- Curedale, Robert A. 2016. *Design Thinking Process and Methods Guide*, 3rd ed. Topanga CA: Design Community College Inc.
- Design United. 2013. *Advanced Design Methods for Successful Innovation*. The Hague, Netherlands: Ministry of Economic Affairs.
- Dietz, Thomas. 2013. "Bringing Values and Deliberation to Science Communication." In *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 110

- (Suppl 3): 14081–87. <https://doi.org/10.1073/pnas.1212740110>.
- Dietz, Thomas, and Alicia Pfund. 1988. "An Impact Identification Method for Development Program Evaluation." *Review of Policy Research* 8 (1): 137–45. <https://doi.org/10.1111/j.1541-1338.1988.tb00923.x>.
- European Commission. 2007. *Improving Knowledge Transfer between Research Institutions and Industry across Europe*. Luxembourg: Publication Office of the European Union.
- . 2012. "Communicating EU Research and Innovation: A Guide for Project Participants." <http://ec.europa.eu/research/participants/portal/ShowDoc/Extensions+Repository/>.
- Ferrari, Andrea C., Francesco Bonaccorso, Vladimir Falko, Konstantin S. Novoselov, Stephan Roche, Peter Bøggild, Stefano Borini, et al. 2015. "Science and Technology Roadmap for Graphene, Related Two-Dimensional Crystals, and Hybrid Systems." *Nanoscale* 7 (11): 4598–4810. <https://doi.org/10.1039/C4NR01600A>.
- Fischhoff, Baruch, and Dietram A. Scheufele. 2013. "The Science of Science Communication." *Proceedings of The National Academy of Sciences* 110 (Supplement 3): 13583–84. <https://doi.org/10.1073/pnas.1312080110>.
- Fogden, Siân. 2016. "Graphene Connect : Bridging the Academia - Industry Divide." *Graphene Flagship*. <https://graphene-flagship.eu/bridging-the-academia-%E2%80%93industry-divide>.
- Global Industry Classification Standard. 2016. "GICS Structure." <https://www.msci.com/documents/10199/4547797/GICS+Structure+effective+Sep+1%2C+2016.xls/d8600f87-cc12-4070-912f-08590232441d>.
- Guersenzvaig, Ariel. 2010. "El Disseny com a Eina de Transformació Participativa" [Design as a Tool for Participatory Transformation]. *Quaderns d'Acció Social i Ciutadania (QASC)* 52–55. http://treballiaferssocials.gencat.cat/web/.content/01departament/08publicacions/coleccions/quaderns_accio_social_iciutadania/num_8/q8sencer.pdf.
- Hanington, Bruce, and Bella Martin. 2012. *Universal Methods of Design*. Beverly, MA: Rockport Publishers.
- Hirsch, Andreas. 2015. "The Graphene Flagship - A Giant European Research Project." *Angewandte Chemie International Edition* 54 (32): 9132–33. <https://doi.org/10.1002/anie.201504842>.
- Huber, Luki, and Gerrit Jan Veldman. 2015. *Manual Thinking*, 1st ed. Barcelona, Spain: Ediciones Urano S.A.
- Inmark, E. M. F. 2010. "Concept and Methodology of Interactive Workshops." *Costa Rica: PRO-IDEAL PLUS*. <https://cordis.europa.eu/docs/projects/cnect/4/246644/080/deliverables/001-D32Conceptandmethodologyofinteractiveworkshops.pdf>.
- Johnson, Leslie S. 2005. "From Knowledge Transfer to Knowledge Translation: Applying Research to Practice." *Occupational Therapy Now* 7 (4): 11–14. <https://doi.org/10.1111/1468-0009.t01-1-00052>.
- Koskinen, Ilpo, and Peter G. Krogh. 2015. "Design Accountability: When Design Research Entangles Theory and Practice." *International Journal of Design* 9 (1): 121–27. <https://doi.org/10.1002/pola.26327/abstract>.
- Latour, Bruno. 2010. *Cogitamus. Six Letters on Scientific Humanities*. Paris: La Decouverte.
- Lloyd, Sophia. 2017. "Graphene Connect : New Materials and Devices." *Graphene Flagship*. <https://graphene-flagship.eu/graphene-connect-new-materials-and-devices-2>.
- Luzón, María José. 2013. "Public Communication of Science in Blogs: Recontextualizing Scientific Discourse for a Diversified Audience." *Written Communication* 30 (4): 428–57.
- Mertens, Ron. 2015. *The Graphene Handbook*. lulu.com. <https://www.graphene-info.com/handbook>.
- Mueller, Pamela. 2007. "Exploring the Knowledge Filter: How Entrepreneurship and University-Industry Relationships Drive Economic Growth." *Research Policy* 35 (10): 1499–1508.
- Novoselov, K. S., V. I. Fal'ko, L. Colombo, P. R. Gellert, M. G. Schwab, and K. Kim. 2012. "A

- Roadmap for Graphene." *Nature* 490: 192–200. <https://doi.org/10.1038/nature11458>.
- Novoselov, K. S., A. K. Geim, S. V. Morozov, D. Jiang, Y. Zhang, S. V. Dubonos, I. V. Grigorieva, and A. A. Firsov. 2004. "Electric Field Effect in Atomically Thin Carbon Films." *Science* 306 (5696): 666–69. <https://doi.org/10.1126/science.1102896>.
- Office of Science and Technology and Wellcome Trust. 2000. "Science and the Public: A Review of Science Communication and Public Attitudes to Science in Britain." https://wellcome.ac.uk/sites/default/files/wtd003419_0.pdf.
- Ouden, Elke den. 2013. "Creating Meaningful Innovations: The Value Framework." In *Advanced Design Methods for Successful Innovation*, 167–76. The Hague, Netherlands: Ministry of Economic Affairs.
- Phantoms Foundation. 2016a. "Catalogue of Nanoscience & Nanotechnology Companies in Spain." Madrid, Spain. https://issuu.com/phantoms_foundation/docs/catalogue_of_nanoscience_nanotech?embed_cta=read_more&embed_context=embed&embed_domain=nanospain.org&embed_id=3670244%2525252F35423238.
- . 2016b. "Graphene Companies Catalogue & Research Centers." Barcelona, Spain. https://issuu.com/phantoms_foundation/docs/graphene_companies_catalogue_total.
- Raijmakers, Bas, Mike Thompson, and Evelien Van de Garde-Perik. 2012. *New Goals for Design, New Roles for Designers?* Helsinki: Cumulus.
- Sanders, Elisabeth B.-N., and Pieter J. Stappers. 2008. "Co-Creation and the New Landscapes of Design." *CoDesign* 4 (1): 5–18. <https://doi.org/10.1080/15710880701875068>.
- Schmickl, Christina, and Alfred Kieser. 2008. "How Much Do Specialists Have to Learn from Each Other When They Jointly Develop Radical Product Innovations?" *Research Policy* 37 (3): 473–91.
- Spinuzzi, Clay. 2005. "The Methodology of Participatory Design." *Technical Communication* 52 (2): 163–74.
- Wiener, Gerfried J., Sascha M. Schmeling, and Martin Hopf. 2017. "Why Not Start with Quarks? Teachers Investigate a Learning Unit on the Subatomic Structure of Matter with 12-Year-Olds." *European Journal of Science and Mathematics Education* 5 (2): 134–57.

ABOUT THE AUTHORS

Blanca Guasch: Researcher and Lecturer, Elisava Research, Elisava—Universitat Pompeu Fabra, Barcelona, Catalonia, Spain

Dr. Sergi Cortiñas: Lecturer and Coordinator of the Science Communication Observatory (OCC) and the Scientific Communication Research Group (GRECC), Department of Communication, Universitat Pompeu Fabra, Barcelona, Catalonia, Spain

Dr. Marta González: Head of the Materials and Sustainability Area, Elisava Research, Elisava—Universitat Pompeu Fabra, Barcelona, Catalonia, Spain

Dr. Javier Peña: Director, Elisava—Universitat Pompeu Fabra, Barcelona, Catalonia, Spain

The International Journal of Design Management and Professional Practice is one of six thematically focused journals in the family of journals that support the Design Principles and Practices Research Network—its journals, book imprint, conference, and online community. It is a section of Design Principles and Practices: An International Journal.

The International Journal of Design Management and Professional Practice explores the organization of design, design work, and design as a professional practice. As well as papers of a traditional scholarly type, this journal invites presentations of practice—including case studies documenting professional practice, accompanied by exegeses analyzing organizational purposes, processes, and effects.

The International Journal of Design Management and Professional Practice is a peer-reviewed scholarly journal.

ISSN 2325-162X

11.3. Article III

Guasch, B., González, M., & Cortiñas, S. (2019). [Enhancing Scientific Knowledge Transfer through Design Methodologies: A Graphene-Centered Case Study](https://doi.org/10.18848/2325-1328/CGP/v13i02/63-85). *The International Journal of Design in Society*, 13(2). <https://doi.org/10.18848/2325-1328/CGP/v13i02/63-85>

Publicació *The International Journal of Design in Society*

Editor *Common Ground Research Networks*

País Estats Units

ISSN 23251360, 23251328

Índex de qualitat:

- Scopus SJR (2018): 0.101 – Q3



VOLUME 13 ISSUE 2

The International Journal of

Design in Society

Enhancing Scientific Knowledge
Transfer through Design Methodologies
A Graphene-centered Case Study

BLANCA GUASCH, MARTA GONZÁLEZ, AND SERGI CORTIÑAS

 COMMON
GROUND

DESIGNPRINCIPLESANDPRACTICES.COM

**THE INTERNATIONAL JOURNAL
OF DESIGN IN SOCIETY**

<http://designprinciplesandpractices.com>
ISSN: 2325-1328 (Print)
ISSN: 2325-1360 (Online)
<https://doi.org/10.18848/2325-1328/CGP> (Journal)

First published by Common Ground Research Networks in 2019
University of Illinois Research Park
2001 South First Street, Suite 202
Champaign, IL 61820 USA
Ph: +1-217-328-0405
<http://cgnetworks.org>

The International Journal of Design in Society
is a peer-reviewed, scholarly journal

COPYRIGHT

© 2019 (individual papers), the author(s)
© 2019 (selection and editorial matter),
Common Ground Research Networks

All rights reserved. Apart from fair dealing for the purposes of study,
research, criticism, or review, as permitted under the applicable
copyright legislation, no part of this work may be reproduced by any
process without written permission from the publisher. For permissions
and other inquiries, please contact support@cgnetworks.org.



Common Ground Research Networks, a member of Crossref

EDITORS

Lorenzo Imbesi, Sapienza University of Rome, Italy
Loredana Di Lucchio, University of Rome, Italy

HEAD OF JOURNAL PRODUCTION

McCall Macomber, Common Ground Research Networks, USA

EDITORIAL ASSISTANT

Helen Repp, Common Ground Research Networks, USA

ADVISORY BOARD

The Design Principles and Practices Research Network recognizes
the contribution of many in the evolution of the Research Network.
The principal role of the Advisory Board has been, and is, to drive
the overall intellectual direction of the Research Network.
A full list of members can be found at
<https://designprinciplesandpractices.com/about/advisory-board>.

PEER REVIEW

Articles published in *The International Journal of Design in Society*
are peer reviewed using a two-way anonymous peer review model.
Reviewers are active participants of the Design Principles and Practices
Research Network or a thematically related Research Network. The
publisher, editors, reviewers, and authors all agree upon the following
standards of expected ethical behavior, which are based on the
Committee on Publication Ethics (COPE) Core Practices. More
information can be found at:
<https://designprinciplesandpractices.com/journals/model>.

ARTICLE SUBMISSION

The International Journal of Design in Society
publishes quarterly (March, June, September, December).
To find out more about the submission process, please visit
<https://designprinciplesandpractices.com/journals/call-for-papers>.

ABSTRACTING AND INDEXING

For a full list of databases in which this journal is indexed, please visit
<https://designprinciplesandpractices.com/journals/collection>.

RESEARCH NETWORK MEMBERSHIP

Authors in *The International Journal of Design in Society*
are members of the Design Principles and Practices Journal Collection
or a thematically related Research Network. Members receive access to
journal content. To find out more, visit
<https://designprinciplesandpractices.com/about/become-a-member>.

SUBSCRIPTIONS

The International Journal of Design in Society is available in electronic
and print formats. Subscribe to gain access to content from the current
year and the entire backlist.
Contact us at support@cgnetworks.org.

ORDERING

Single articles and issues are available from the journal bookstore at
<https://cgscholar.com/bookstore>.

HYBRID OPEN ACCESS

The International Journal of Design in Society
is Hybrid Open Access, meaning authors can choose to make their
articles open access. This allows their work to reach an even wider
audience, broadening the dissemination of their research.
To find out more, please visit
<https://designprinciplesandpractices.com/journals/hybrid-open-access>.

DISCLAIMER

The authors, editors, and publisher will not accept any legal
responsibility for any errors or omissions that may have been made in
this publication. The publisher makes no warranty, express or implied,
with respect to the material contained herein.

Enhancing Scientific Knowledge Transfer through Design Methodologies: A Graphene-centered Case Study

Blanca Guasch,¹ Elisava–Universitat Pompeu Fabra, Spain
Marta González, Elisava–Universitat Pompeu Fabra, Spain
Sergi Cortiñas, Universitat Pompeu Fabra, Spain

Abstract: The communication of science is an essential facet of society. However, connections between scientists and the general public are difficult to generate. Furthermore, traditional communication formats do not offer the possibility of assessing real understanding of complex concepts by society. This research presents a case study aimed at evaluating the communication of scientific knowledge through design methodologies. For this purpose, we designed and carried out a participatory workshop for non-scientists involving graphene—a highly attractive scientific topic presently. The discipline of design provided the necessary methods and tools to generate a dynamic experience that fostered the communication of graphene, its properties, and its applications. The results revealed that design methodologies were a suitable tool for achieving a successful transfer of scientific knowledge. Participants were satisfied with the experience and the methodologies enhanced interest, motivation, participation, and understanding. This case study aims to be an example of how design methodologies can transmit science effectively. We encourage other designers to apply the methods presented in this paper in other scientific fields.

Keywords: Design Thinking, Science Communication, Graphene, Knowledge Transfer through Design, Participatory Methodologies

Introduction and Objective

Science and technology evolve daily at an incredibly fast pace. They are becoming progressively complex, making it impossible for the general public to be up-to-date (Rice and Giles 2016). Many knowledge transfer activities can be done to bridge this gap, and Science Communication is a discipline dedicated to this purpose. However, who is in charge of transmitting scientific knowledge and advances? Scientists and journalists are normally the ones responsible for communicating what is being done in the scientific community, but the efforts that good communication require are rather poorly supported as resources are limited in this field (Clark et al. 2016).

The discipline of Design provides a great number of tools and methodologies that can help to improve Science Communication. With this in mind, what if designers became facilitators and carried out Science Communication activities? What if Design Thinking (Leblanc 2016) was a suitable technique for transferring scientific knowledge to society? Over time, public engagement with science has become increasingly interactive and has aimed at creating a more scientifically literate society by characterizing science as a discipline that can satisfy economic, political, social, and cultural needs (Haywood and Besley 2014).

The benefits of a good scientific knowledge transfer are immense (Clark et al. 2016). However, without proper formats and channels, information can be misunderstood by the public (Jensen and Buckley 2014). In order to find new opportunities in the science communication field, we designed and developed a workshop based on existing methodologies and tools from the field of design to evaluate if these presented a good opportunity for achieving a successful knowledge transfer for a particular scientific topic. Because of our interest in reaching society in general, we decided to perform the activity in groups of people that belonged to different fields

¹ Corresponding Author: Blanca Guasch, La Rambla 30-32, Elisava Research, Elisava Barcelona School of Design and Engineering, Universitat Pompeu Fabra, Barcelona, Catalonia, 08002, Spain. email: bguaschba@elisava.net

of expertise—people who will probably invest in, use, and/or benefit from the scientific discovery in a few years.

Finding an interesting, current, and engaging scientific topic was crucial to attract participants to the workshop. Consequently, we researched today's top ten technologies (Van Woensel and Archer 2015), as well as the biggest investments in science in recent years, and we found that the European Commission had made its greatest investment in one of them: graphene (Graphene Flagship 2015; Hirsch 2015; Ferrari et al. 2015). Graphene is a two-dimensional material discovered in 2004, which has a fascinating set of properties and vast potential in many fields of application (Mertens 2018). It is transparent, flexible, and so small that it is invisible to the human eye, but at the same time it is stronger than steel, harder than diamond, and more electrically conductive than gold. It has been called a “wonder material” (Geim 2009; Mertens 2018) that is also complex and difficult to understand by non-scientists. Additionally, graphene is also controversial as it is so new that regulations concerning it are still in their infancy, as are studies on its toxicity (Ferrari et al. 2015; Morose 2010; Novoselov et al. 2012).

Considering what has been discussed in this section, the main objective of this study was to create a working methodology based on participatory events from the field of design to help non-experts understand what graphene is. Our second and more general objective was to provide a change of focus in the transfer of scientific knowledge to society. This goal addressed the need to bridge the existing gap between science and society (Seguí-Simarro, Poza-Luján, and Mulet-Salort 2015), as will be explained in the following section.

Context

The communication of scientific advances among different levels of society is an intrinsic component of social, economic, and cultural development (Bucchi 2013). Many authors have discussed the concept of Science Communication (Bell et al. 2009; Burns, O'Connor, and Stocklmeyer 2003; Jucan and Jucan 2014). All of them agree that the main goal of any science communication process is to achieve a favorable transfer of knowledge—both among peers and to society or other fields of expertise. Therefore, many formats of dissemination and public participation can be used, as long as they achieve a successful knowledge transfer (Luzón 2013; Wiener, Schmeling, and Hopf 2017).

Regarding dissemination and public participation, design is a field that has a lot to offer. Nowadays, many companies are used to carrying out co-design activities to achieve R&D purposes (Koskinen and Krogh 2015), but individuals are not so used to participating in these kinds of activities outside of their working environment. Furthermore, scientists still address the communication of their advances quite narrowly, considering it a means to educate society instead of a means to achieve public engagement and a successful knowledge transfer of complex issues (Dudo and Besley 2016).

This situation illustrates a gap between the scientific community and the public, which has been evidenced throughout recent years (Seguí-Simarro, Poza-Luján, and Mulet-Salort 2015). However, making scientific knowledge understandable and accessible for non-expert audiences is an indispensable task (Scharrer et al. 2017). Evidence of this can be found in the fact that the public's knowledge on a scientific advance can influence decision-making in science-related issues (Dietz 2013; Scharrer et al. 2017). For example, it can lead to more investment for research; stimulate policy-making; and accelerate the inclusion of a new technology in commercial products (Guasch, Cortiñas, González, and Peña, 2019). Therefore, making science understandable for the public entails anticipation: on the one hand, people can adapt to a new breakthrough in its early stages and, on the other hand, the companies in which such people work can join the breakthrough earlier.

As Dietz (2013, 14081) states, “[w]ithout continuous and effective social learning, we are ill equipped as individuals, as a nation, and as a global society to make sound decisions about these complex matters. We need social learning about facts so that our beliefs about how the world

works are well aligned with reality.” The public relies on science communicators to inform them about the facts they need to know to make decisions.

In order to achieve accurate Science Communication, society must rely completely on the information that communicators produce and transmit. Therefore, working on credibility is crucial. In general, credibility is based on two different aspects: expertise, which involves both knowledge and the ability to be accurate; and trustworthiness, which covers motivation, warmth, and friendliness (Fiske and Dupree 2014). Scientists have the expertise in the topic being transmitted, but communicators are the ones in charge of gaining people’s trust and being precise when they transfer this knowledge into the community. Both designers and science communicators are concerned about the formation of public beliefs, and we believe that credible Science Communication—covering both dimensions of credibility—is noticeably more effective and far-reaching than communication that is not based on these credibility fundamentals.

Moreover, compelling and effective Science Communication is not—nor should it be—a simplification or translation of the scientific language but a recontextualization of the discourse into another field (Luzón 2013; Rodríguez Estrada and Davis 2015). Expert and non-expert audiences inhabit different information environments (Zhao et al. 2011), but this gap can be filled by a communicator who demonstrates trustworthiness by showing concern for humanity and the environment, and sharing information through discussions and debates rather than trying to persuade the audience (Fiske and Dupree 2014).

In the field of design, multiple methodologies can help the public visualize complex concepts in a more accessible way. Design Thinking is a concept that implies “strategizing and planning a user-centered inquiry, gathering information about the user and stakeholders to better grasp the complex nature of the problem space” (Leblanc 2016, 33). The application of design thinking methodologies is highly social-centric since it allows participants to become co-designers and to structure meaningful conversations which enhance knowledge transfer (Sanders and Stappers 2008). Besides Design Thinking, the fields of Design Research, Generative Research, and Research through Design (Curedale 2016; Design United 2013; Sanders and Stappers 2008; Hanington and Martin 2012) also offer a great variety of participatory methodologies. Despite the variety of formats and tools, all these methods share a common intention: to gain access to the participants’ tacit knowledge, the things they know without being able to express, and their practical knowledge, the things they do based on experienced situations (Spinuzzi 2005). The combination of these two enhances participation, understanding, motivation, attention, creativity, and interest in the topic.

Apart from the public’s predisposition to participate and learn, facilitation is needed in any participatory event. A facilitator is the person who plans and designs the methodology of a workshop—or another participatory activity—in which different stakeholders and/or non-expert audiences attend, share ideas, and cooperate to reach a common goal (Raijmakers, Thompson, and Van de Garde-Perik 2012), which is also defined within the workshop, as part of problem-framing. This figure has also been defined as the person who leads and guides a participatory activity, as well as elaborates and obtains the structures, materials, and spaces needed to carry it out (Sanders and Stappers 2008). In short, a facilitator is the person who encourages participants to express their thoughts, ideas, and creativity within a participatory session. Raijmakers et al. (2012) argue that the new role of designers should be facilitation instead of the traditional role of drawing and conceptualizing ideas behind a notebook or a screen. This does not mean that designers should stop designing. However, they should consider other possible ways to put their skills into practice. Designers can be good at facilitating because they have multiple means of achieving empathy, visualization, synthesis, prototyping, etc. The fact that the field of design provides plenty of participatory methodologies is also an indicator that this is a new possible reality for designers (Coulter 2013; European Commission 2007; Fortier and Chung 2013).

In the field of design, visual information is a tool that is commonly used to boost knowledge transfer (Rodríguez Estrada and Davis 2015). Images and visual elements can improve public

engagement with science (Bucchi and Saracino 2016). Evidence of this is that scientific content in the digital communication environment is especially filled with images, diagrams, and simulations of all kinds to help people understand it (Barrow 2008). In fact, scientists have been using images as tools to explain their advances and theories for years, both as symbolic illustrations (e.g., Bohr's atomic model) or highly literal forms (e.g., NASA's photographs of the Earth) (Rodríguez Estrada and Davis 2015). Blending the use of visual elements with the application of participatory design methodologies can add value to the communication of scientific topics (e.g., Guasch et al. 2019).

When talking about science, it is essential to keep in mind the latest and most interesting scientific advances, since not all science is newsworthy (Seguí-Simarro, Poza-Luján, and Mulet-Salort 2015). Non-scientists are mostly curious about scientific findings that have the potential to change their lives in a way that favors them, both directly and indirectly (Seguí-Simarro, Poza-Luján, and Mulet-Salort 2015). Therefore, a scientific topic that has the potential to benefit cultural, political, economic, and environmental fields is remarkably relevant to society. Graphene is a topic of this nature. It is a two-dimensional material with exceptional properties: 200 times more resistant than steel, the best electric and thermal conductor known to man, impermeable to substances and gases, harder than diamond, transparent, and flexible, among other properties (Mertens 2018).

Graphene is formed by a single layer of carbon atoms distributed in a hexagonal lattice, thus invisible to the human eye, and it was isolated for the first time in 2004 by Andre Geim and Konstantin Novoselov at the University of Manchester (Novoselov et al. 2004). In the field of materials science, graphene is a brand-new material and it is still at its infancy in terms of research and development (R&D). However, interest in the material has already been evidenced by most of the world's countries and technology-led companies, e.g., Samsung, IBM, Intel, Nokia, Sony, SanDisk, and Philips. In fact, the European Commission has centered its biggest investment project around it (Hirsch 2015). Every year, more and more technological centers and companies are developing, researching, and investing in graphene (Phantoms Foundation 2016).

In today's technological context, graphene can revolutionize many fields of application—electronics, flexible devices, transport, architecture, medical equipment, water purification systems, renewable energy systems, batteries, smart textiles, and more (Novoselov et al. 2012; Ferrari et al. 2015). On the other hand, since it is made of carbon atoms, it is completely organic and can thus be composted and recycled. In addition, it can be extracted from graphite, the most abundant material in earth's crust, and therefore has an inexhaustible, cheap, and accessible source.

These were the main reasons for choosing graphene as the core topic of our study. Apart from being a great advance at the laboratory level, it is relevant beyond materials science. It has the potential to improve people's lives and their environment, so it can easily attract society's attention. Another reason for choosing graphene was that, since it is still in its infancy, it is very suitable in doing conceptualization activities. Furthermore, given that it is invisible to the human eye, design methodologies can help non-scientists work with it—due to the capability of design methodologies to boost imagination and creativity—and generate new concepts with it. Feasibility is still relative with graphene, considering that the scientific community is working on the regulation and standardization of the material thus far (Justo-Hanani and Dayan 2015), so it is a fitting scenario for creativity and speculation.

Methodology

We carried out a case study called "Creativity Workshops with Graphene" in order to test the theories and methods based on collaboration to achieve knowledge transfer (Coulter 2013; Dietz and Pfund 1988; Dietz 2013). The case study was based on four sessions with four to six participants, twenty participants in total, one facilitator, and one photographer. The facilitator led the session and the photographer recorded it.

The reason for selecting such a small group of people in each session was that they were non-experts, therefore requiring more advice, supervision, and support than a group of experts would need. Also, as the sociologist Robert Merton stated “the dynamic created by a small group of well-chosen people, when guided by a skilled moderator, can provide deep insight into themes, patterns, and trends” (Hanington and Martin 2012, 92).

The recruitment of participants was made through an announcement in various civic and cultural facilities in different neighborhoods and a subsequent selection according to various parameters (Table 1).

Table 1: Recruitment Method for the Workshops

		<i>Quantity</i>	<i>Description</i>
<i>Place of announcement</i>	Civic centers	5	Civic centers are sociocultural spaces where various civic activities are carried out. They are usually delegations from the city council.
	Cultural facilities	5	Sociocultural spaces not related to the city council where cultural activities are performed.
<i>Resources</i>	Printed flyers	200	Small pieces of paper with information about the event were placed in the cultural facilities.
	Online newsletters	10	The online newsletter that each facility had associated delivered the event information.
<i>Participants selection</i>	Reception of applications	36	People interested in the workshops sent an email to participate.
	Age range selection	31	We made a first selection based on the age range. We selected people between 20 and 40 years of age because they are usually not very established people, meaning that they use to change jobs and roles within a company; so they are normally open-minded, active, and willing to learn and innovate.
	Variety of backgrounds	24	When two or more applicants had the same job, we selected only one person to have more variety of backgrounds.
	Random distribution	–	The distribution of participants in groups was made randomly.
	Final confirmation	20	Because of participants’ availability and last-minute decisions, we had a final number of 20 participants.

Source: Guasch, González, and Cortiñas



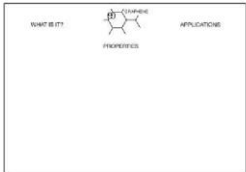

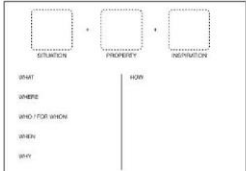


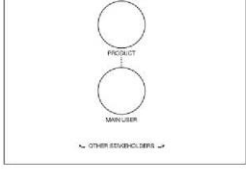

None of the participants’ jobs was related to the fields of design, product development, or graphene (Figure 1). The reason for choosing only non-experts to do this case study, instead of mixing them with experts, was that we wanted them to feel completely free to work with any unfeasible idea, not influencing them with scientific facts and feasibility considerations.



Figure 1: Professions of Each Participant in the Sessions
Source: Guasch, González, and Cortiñas

These workshops were based on participatory events (Coulter 2013; European Commission 2007), they required participants to work together towards a common goal, and they were completely collaborative. The sessions lasted three hours and included five parts, each of which had a different working methodology (Table 2). The five methodologies were carefully chosen to achieve what was needed in every part of the session, as we will describe below. We determined the minutes that every part should last in order to utilize every minute and every methodology wisely. The time dedicated to each part is also detailed in Table 2, and ten minutes were reserved to welcome the participants and make an initial presentation of the session. The first two parts were individual, and the rest were done together with the other participants in the group.

Table 2: Methodologies, Duration, Realization, and Materials Used in Every Part of the Workshop

Part	Methodology	Duration	Realization	Materials	Map
a.	Collage	30 min	Individual	Map, pen, and stickers	
		Work in progress 			
b.	Cognitive mapping	40 min	Individual	Map, pen, and presentation	
		Work in progress 			
c.	Mind mapping	30 min	In group	Map, pen, and stickers	
		Work in progress 			
d.	Creative toolkit	50 min	In group	A variety of woods, plastics, metals, clay, and textiles in different shapes (wires, plaques, ribbons, sheets, and bulk). Tools: pencils, pens, markers, glues, scissors, cutters, and a sewing kit	
		Work in progress			
e.	Stakeholders map	20 min	In group	Map and pen	
		Work in progress 			

Source: Guasch, González, and Cortiñas

First, we started with a Collage (Table 2a). The Collage technique is “a visual expression of thoughts or ideas that are difficult to articulate using traditional means” (Hanington and Martin 2012, 34). Besides that, it is a technique often known by all participants since it is often used in schools to help children articulate thoughts. The Collage helped the participants introduce themselves to the group. They built it with a collection of stickers and a pen.

After this, the facilitator gave a lesson about graphene, and participants had to build a Cognitive Map (Table 2b) of what they understood from the lesson. Cognitive Mapping is “a visualization of how people make sense of new information on a topic that they do not dominate” (Hanington and Martin 2012, 30). In this part, they became students, and, after the explanation, they had all the information they needed to work with graphene.

The third map was based on Mind Mapping (Table 2c), “a method for visually organizing a problem space in order to better understand it” (Hanington and Martin 2012, 118). In this map, they would choose one situation of their daily lives from the first map, and a graphene property that they had learned in the second part. The third input was a random concept picked from a bowl called “the bowl of ideas,” which contained a collection of stickers with random images. With these three concepts, they had to describe a problem and, then, define how they would solve it through a product that contained graphene. For this purpose, the map was divided in two parts. The upper part had the three inputs, and the lower part had the words what, where, who/for whom, when, why, and how. This lower part was inspired by the “Five Ws” methodology (Hart 1996; Robertson 1946), which can help anyone describe a situation or problem quite easily.

The fourth part was the most creative one (Table 2d). It was based on the Creative Toolkit technique (Hanington and Martin 2012). Participants were given a collection of physical elements, both materials and tools, and they had to create a conceptual model or prototype of the product they had in mind. Here they abandoned the paper and pen and started designing in three dimensions. Apart from changing tools, they also moved from one table to another one. This simple fact made them stand up and move their bodies, making them more active. It also changed their perspective of the room and often the person they had by their side, thus improving their predisposition to work with an unfamiliar method.

Finally, they returned to the first table and developed a Stakeholders Map (Table 2e) for each of the created products. This method is used to “visually consolidate and communicate the key constituents of a design project” (Hanington and Martin 2012, 166). After building the models of their products, they had to consider all the implications those products would have. In the map, they first made a sketch of the product, then they had to define the main user. After that, they detected and wrote down all the other stakeholders. In this way, the participants saw their products as something more real, something that could be industrialized and commercialized.

After all sessions were completed, we collected the information from all the parts of the workshops and analyzed the results. Spicer (2017) proposes two ways to evaluate science communication activities. The first one is formative evaluation and its goal is to assess the process. Therefore, it is carried out during the course of the activity. In our case study, the resulting maps and prototypes served as a way to detect if the participants were paying attention and doing the activity correctly. Therefore, our formative evaluation came from the workshop materials themselves. The second way of evaluating a science communication activity is summative evaluation. It assesses the real impact of the activity, so it is usually carried out once the session has finished. It reveals whether the activity contributes to the discipline of Science Communication. Accordingly, the last part of our analysis of the results was done three months after the sessions. We sent a digital interview to all the participants to discover if we had achieved a good transfer of knowledge. We followed the evaluation tools proposed by Spicer (2017) to create this interview. Table 3 shows the aims, objectives, audience, questions, data collection techniques, analysis, and reporting of our evaluation plan.

Table 3: Evaluation Plan of the Workshops

<i>Aims</i>	<ul style="list-style-type: none"> To transfer scientific knowledge and raise awareness of graphene, considering both the good and the bad aspects it implicates. To involve the public in a participatory science communication activity based on design thinking methodologies.
<i>Objectives</i>	<ul style="list-style-type: none"> To create a creative environment where people from different backgrounds can interact with each other and with elements they are not used to. To provide all the insights, materials, and design thinking methodologies needed so that non-experts can learn complex scientific knowledge and ask questions about graphene.
<i>Audience</i>	<ul style="list-style-type: none"> People between 20 and 40 years of age who are not involved with graphene in their jobs or in their daily lives.
<i>Evaluation questions</i>	<p>CONTENT:</p> <ul style="list-style-type: none"> Did participants understand the scientific information explained in the session? Do they remember this information three months after the session? Did the workshops achieve a successful knowledge transfer? Did we raise awareness about graphene? <p>METHODOLOGIES:</p> <ul style="list-style-type: none"> Did participants realize what the main goal of the activity was? Was the structure of the workshop logical and balanced? Did design methodologies facilitate the learning of scientific knowledge? Did they offer participants the possibility to increase their creative skills? <p>OVERALL EVALUATION:</p> <ul style="list-style-type: none"> Were participants satisfied with the session? Did it meet their expectations? Do participants think that this activity is a good initiative to promote the transfer of scientific knowledge to society? Would they recommend it to other people?
<i>Data collection techniques</i>	<ul style="list-style-type: none"> Maps: Collage, Cognitive mapping, Mind mapping, and Stakeholders map. Prototypes: Creative toolkit. Photographs of the sessions. Personal interview after the session (digital format).
<i>Analysis and interpretation of data</i>	<ul style="list-style-type: none"> Distributions of the product proposals: <ul style="list-style-type: none"> By sectors. Realistic/Speculative. Properties/Functionality. Analysis and interpretation of the results of the interviews.
<i>Reporting</i>	<ul style="list-style-type: none"> Case study. Possibility of applying the same method to other fields of scientific research.

Source: Guasch, González, and Cortiñas

Of the methodologies used, only the one corresponding to the development of prototypes was analyzed (Table 3). We believe that a product proposal that is aligned with all the properties and possibilities of graphene demonstrates a mastery of the contents learned in the session. Therefore, this is the phase in which the understanding of the contents was demonstrated.

The first part of the analysis consisted of distributing the proposals according to the market sectors into which they were framed. The purpose of this classification was to detect which areas of interest were more important for the participants. Then, we made two other distributions to better characterize the results:

- In one of them, we determined which proposals were more speculative and which were more realistic. The term “realistic” refers to “accepting things as they are in fact and not making decisions based on unlikely hopes for the future” (Cambridge University Press 2018), while “speculative” refers to things that are “based on a guess and not on information” (Cambridge University Press 2018). Therefore, we considered that this distribution could help us discover if the participants were more focused on short-term results or long-term projects.
- In the other one, we highlighted which proposals were more based on the material’s properties and which ones were more based on the needs that the product had to satisfy: its functionality. This distribution would show if participants focused their proposals mainly on the material itself or on the market. The first point of view would be a scientific one, starting with the material in the spotlight and developing a product from it. The second perspective would be an industrial one, starting with a need and developing a solution around it with graphene.

Overall, these distributions were made to detect to which extent the proposals were close to or far from reality and also to determine if participants gave more preference to what graphene could offer or to the need they wanted it to satisfy.

An assessment of validity and reliability (Noble and Smith 2015) was conducted for these three distributions. The first one, regarding the sectors, was the most difficult one as there are hundreds of sectors in the market and new industries are constantly emerging. Two researchers assessed the distribution cooperatively and a third researcher validated it afterwards. Since some of the sectors had a relationship and some of the proposals belonged to different sectors, they were connected to better describe and distribute the proposals.

For the other two distributions, two analysts examined the proposals separately following the categories described in Table 4. A score was given to each proposal, according to the numbers in the table. They also used decimals if needed. After this, they compared their results and calculated the average score. If they scored a proposal very differently or if they did not come to an agreement with a score, a third analyst assessed the result.

Table 4: Categorization of the Realistic/Speculative and the Properties/Functionality Distributions

<i>1 Realistic</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5 Speculative</i>
Applications that are already being developed	Applications that could be developed within 5 years	Applications that could be developed within 10 years	Applications that could be developed within 15 years	Applications that could be developed within 20 years
<i>1 Based on properties</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5 Based on functionality</i>
Applications that are mainly based on graphene’s properties, paying little attention to the functionality of the product	Applications that consider both the properties of graphene and functionality, but focus on properties	Balanced consideration of graphene’s properties and functionality of the developed product	Applications that consider both the properties of graphene and functionality, but focus on functionality	Applications that are mainly based on their functionality, paying little attention to graphene’s properties

Source: Guasch, González, and Cortiñas


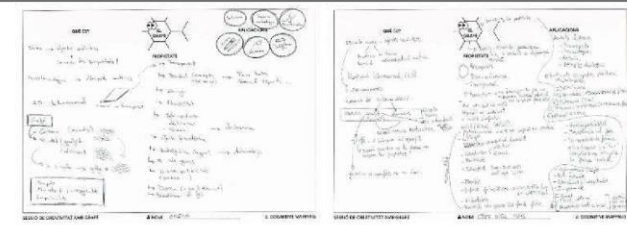
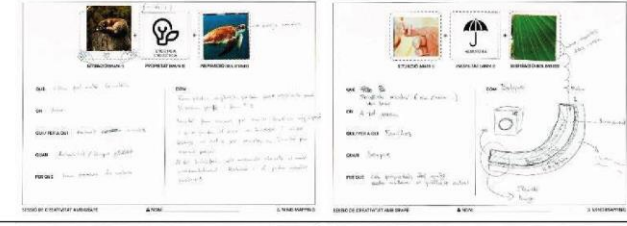
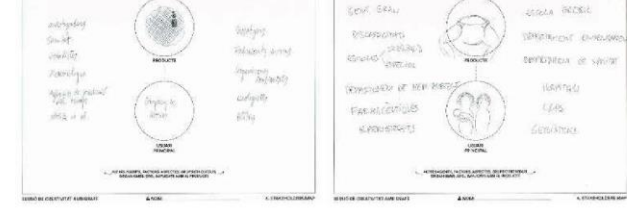
As described in Table 3, the interview was the last evaluation technique. We sent this digital interview by email to each participant three months after the session. This time period was needed to test if they remembered what they had learned in the session. The interview had three

blocks, each of which addressed a different feature: content, methodologies, and overall evaluation. These three blocks referred to the evaluation questions (Table 3). The first block was a test on the topics that had been explained in the session; the second one asked participants about methodological aspects; and the third one was an overall evaluation of the workshop.

Results

In total, twenty participants attended the four sessions. They were between twenty and forty years of age, and they generated sixty-four maps: twenty in the first and second part respectively and twelve in the other parts respectively. Twelve product proposals were conceptualized (three per session), with their respective conceptual 3D model. Table 5 displays some of the maps filled in by the participants.

Table 5: Examples of Maps Filled In by the Participants

Part	Methodology	Examples of finished maps
a.	Collage	
b.	Cognitive mapping	
c.	Mind mapping	
e.	Stakeholders map	

Source: Guasch, González, and Cortiñas

The fourth part of the workshop (d) is the only one that did not have a map as a result. Conceptual prototypes were developed instead for each proposal. According to their application and use, we grouped the proposals in seven different sectors. These were transport, environment, wellbeing, health, sports, workplaces, and scientific equipment. We detected that some of these sectors had similarities, so we also related them to create three big associations. The first one includes transport and the environment; the second one health, wellbeing, and sports; and the third one, workplaces and scientific equipment (Figure 2).

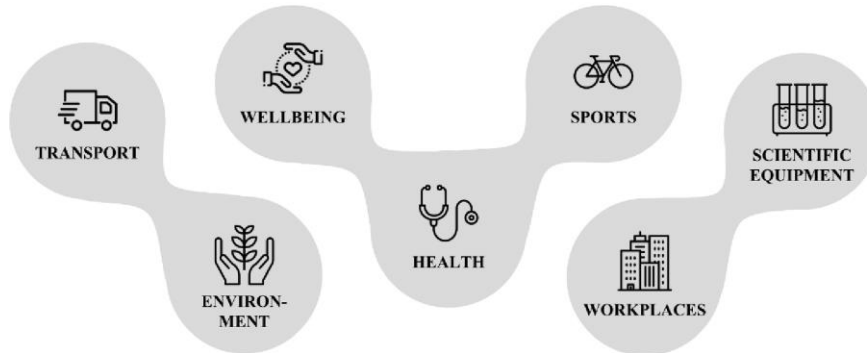


Figure 2: Sectors of Classification of the Workshops' Product Proposals
 Source: Guasch, González, and Cortiñas

In the transport sector, the participants conceptualized a new transportation system which would reduce the number of cars on the road (Figure 3a). Each person would have an individual transportation cabin that could be attached to other cabins, so that only one engine would drag several cabins. Graphene would provide robustness and would act as a solar cell on the surface. They also conceptualized a sensor that would be placed on the ceiling of subway or train wagons to detect air quality and the number of people (Figure 3b). A screen on the outside would recommend passengers which door to use to access the train according to the values detected by the sensor.

Regarding both transport and environment, the participants came to the idea of creating an air filter for airplanes which would be placed outside and clean the air as well as detect its quality (Figure 3c). In the environment sector specifically, the participants designed a fishing net that would be ultra-resistant thanks to graphene which would present no problem if it was lost in the ocean since it is completely organic (Figure 3d).

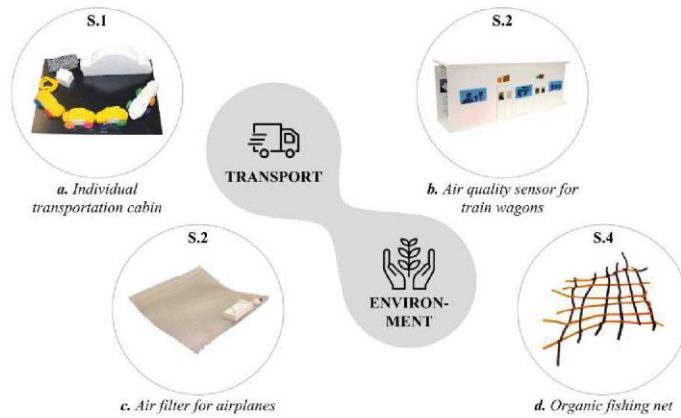


Figure 3: Conceptual Prototypes Modelled by the Participants Regarding the Transport and Environment Sectors
 Source: Guasch, González, and Cortiñas

In the health-related sectors, they conceptualized a thinner, more resistant, and organic diaper for babies (Figure 4a). Another design was a patch for diabetics. It would be a non-invasive system that would measure the user's glucose level and provide medication as soon as the body required it (Figure 4b). They also came up with a patch for sports injuries, which would be placed on the wound at the time of the injury (Figure 4c). Graphene would help keep the wound closed and clean until medical services arrived and it would prevent bleeding. Another product proposal was a splint for leg injuries that could have a transparent area so that doctors, nurses, and physiotherapists could see the wound from the outside (Figure 4d). Finally, regarding both health and sports, they designed an inflatable cervical collar for *castellers* (Figure 4e). *Castellers*—based in Catalonia, Spain—are groups of people dedicated to build human towers (Brotons 1995; UNESCO 2010). When these towers fall, people used to get hurt in the cervical area. This device would activate as soon as there was a fall, acting as a personal airbag.



Figure 4: Conceptual Prototypes Modelled by the Participants Regarding the Wellbeing, Health, and Sports Sectors
 Source: Guasch, González, and Cortiñas

With reference to the workplaces sector, participants designed clothing that would control body temperature (Figure 5a) so that every person could be comfortable in a shared space such as an office, in which air conditioning or heating is often too high. On the other hand, they designed an electrical conduction system for an office without wires (Figure 5b). Electricity would be conducted all around the office through conductive graphene paint. Finally, regarding scientific equipment, they conceptualized a storage and transport system of scientific equipment for biologists who work collecting samples in nature (Figure 5c). Graphene would provide resistance and lightness so that scientists would not have to carry so much weight.

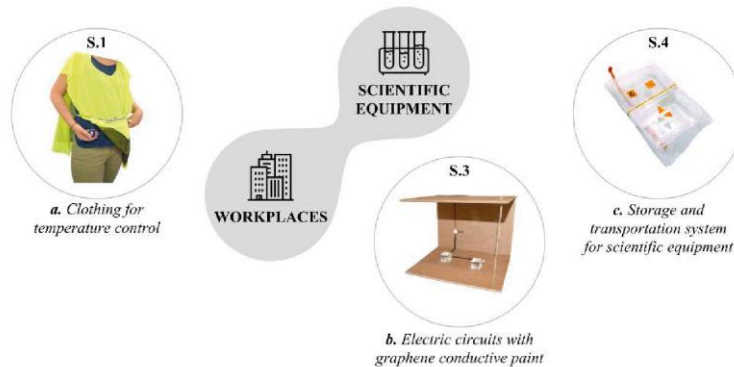


Figure 5: Conceptual Prototypes Modelled by the Participants Regarding Workplaces and Scientific Equipment
 Source: Guasch, González, and Cortiñas

The Speculative/Realistic distribution of all the product proposals (Figure 6) was remarkably balanced. Two of the products they proposed – conductive paint and clothing with temperature control – are currently being developed (Mertens and Peleg 2018). On the other hand, the proposal of an individual transportation cabin with a solar surface and the patch for sports injuries to avoid bleeding were highly speculative as many scientific advances must be achieved for the development of these products. The organic fishing net was placed in the middle of the figure as it was the most balanced product in this classification because it could easily be produced, although much testing would be needed to achieve good performance.

The air filter, the diaper, and the diabetic patch were considered fairly realistic, given that some laboratories are working on these or very similar applications (Mertens and Peleg 2018). However, they are only being developed in laboratories at present. On the other hand, the inflatable collar, the filter for train wagons, the transportation system for scientific equipment, and the transparent splint were placed in a more speculative position. They are not being developed in laboratories or industry today, but they could be more feasible than the most speculative proposals.

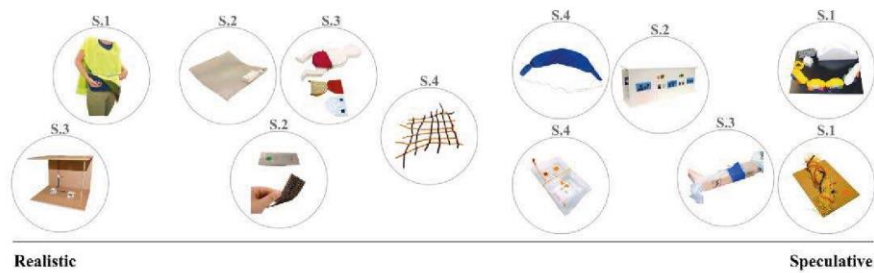


Figure 6: Distribution of the Product Proposals According to Whether They are More Speculative or Realistic
 Source: Guasch, González, and Cortiñas

The Properties/Functionality distribution (Figure 7) shows that most of the proposals were based both on properties and on the product functionality, so participants considered both aspects evenly important. However, there were two proposals mainly based on functionality: the inflatable collar and the transportation cabin. These two products were placed in this position because their main functionality did not depend directly on an intrinsic property of graphene. The participants focused on the need they wanted to cover then they added graphene to the parts of the product where it could perform a good function. In contrast, none of the product proposals were solely based on properties. All of them considered the functionality and usability of the application.



Figure 7: Distribution of the Product Proposals According to Whether They are More Focused on the Properties of Graphene or on the Functionality of the Product Itself
 Source: Guasch, González, and Cortiñas

The interviews performed three months after the workshops revealed that none of the participants had ever attended any similar activity where participatory design methodologies served as a means to acquire scientific knowledge. Most of them (70%) had never heard about graphene, while a minority (30%) had only read something about it on the news or had had a conversation with somebody about the material.

In the first block of the interview, called “what have you learned about graphene?” 85 percent of the participants remembered that graphene was found at the nanoscale (Figure 8a). On the other hand, 50 percent remembered that it was a two-dimensional material, 30 percent said that it was a nanostructure, which is also true since a 2D material is structured at the nanoscale,

and 20 percent answered incorrectly that it was a nanoparticle (Figure 8b). All participants answered correctly that graphene was formed by carbon atoms and that it was discovered thanks to sticky tape. 95 percent of them remembered that graphite was one of the two macroscopic forms in which carbon could be found in nature and 75 percent of them guessed that the other form was diamond.

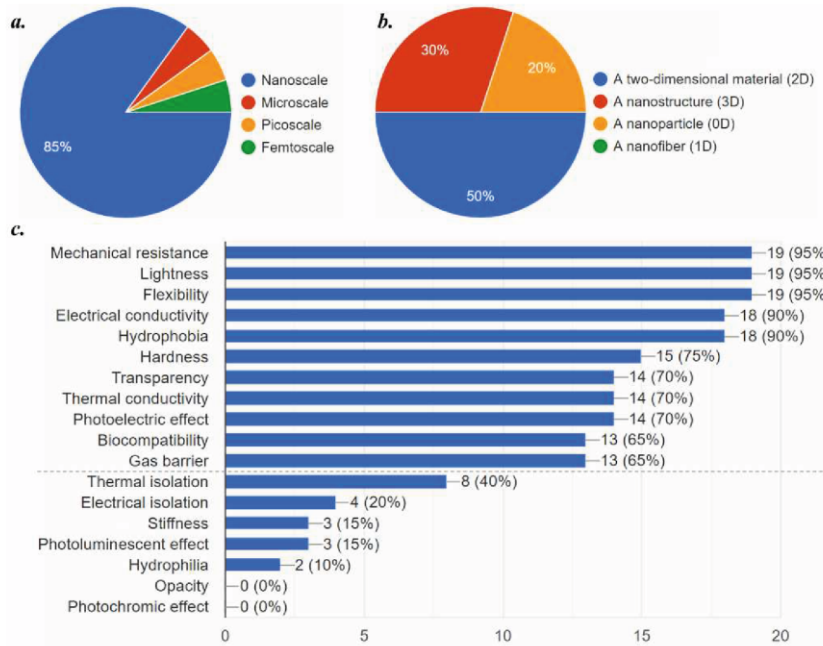


Figure 8: Results from the Three Questions in the First Block of the Interviews: (a) In Which Scale Can We Find Graphene? (b) Graphene Is... (c) Which of the Following Properties Does Graphene Have?
 Source: Guasch, González, and Cortiñas

They also had to choose the properties of graphene from a list (Figure 8c). Nineteen participants (95%) chose resistance, lightness, and flexibility. Eighteen of them (90%) chose electric conductivity and hydrophobia. Fifteen (75%) chose hardness; fourteen (70%) chose thermal conductivity, the photoelectric effect, and transparency; and thirteen (65%) chose impermeability to gases and biocompatibility. All these responses were the correct answers. Regarding incorrect answers, eight people (40%) chose thermal isolation, four people (20%) chose electric isolation, and three people (15%) chose rigidity and photoluminescent effect. No one chose the photochromic effect or opacity.

Regarding the applications of graphene, only three people did not remember any of the examples that were given in the workshop. The other seventeen answered correctly with some examples of possible graphene applications. On the other hand, 65 percent of them answered that there were already commercial products with graphene on the market while the other 35 percent answered incorrectly that there were none. There were three questions for which all participants coincided. They all remembered that graphene was stable at room temperature and that graphite—the natural form of carbon from which graphene can be extracted—was an abundant material in the earth’s crust. In addition, they all answered that graphene is a material with great potential, and they explained with many examples the reasons why they thought so.

In the first question of the second block of the interview, which was focused on evaluating the methodologies, participants were asked what they thought was the main goal of the workshop. Most of their answers reflected three concepts: an introduction to the world of graphene, the fact that it was an activity uniquely addressed to non-experts coming from very different backgrounds, and the fact that a great variety of creative activities were carried out within the workshop. Seventy percent of the participants gave a score of five out of five to the achievement of this goal. Twenty-five percent gave a score of four, and the remaining 5 percent gave a score of three.

Seventeen people (85%) gave a score of five to the structure of the session, and the other three (15%) a score of four. Eighty percent of them gave a score of five to the equilibrium between theory and practice and 75 percent said that the session was very easy to follow. Moreover, 95 percent of the participants had the feeling of having acquired new knowledge after the workshop and 90 percent of them believed that the fact of learning through their hands helped them to interiorize the concepts. Eighty-five percent of them believed that the methodologies used made them aware during the entire session but, at the same time, 90 percent of them felt they had much freedom within the lesson. Therefore, most of them were attentive during the entire session although they did not feel forced to do so.

Regarding the five design methodologies, Mind Mapping was the one that helped participants most to interiorize the theoretical contents of the session (45%), followed by Cognitive Mapping (35%) and the Creative Toolkit (20%). On the other hand, the Collage was the methodology that most took them out of their comfort zone (45%), followed by the Creative Toolkit (35%). Only one or two participants chose the other methodologies in this question. Finally, the Creative Toolkit was the method that participants enjoyed the most (65%), followed by Mind Mapping (30%) and the Collage (5%). Figure 9 illustrates these results.

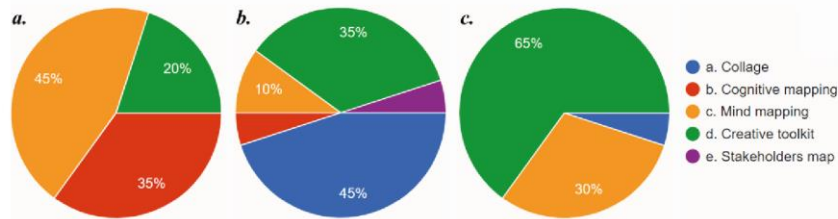


Figure 9: Results from Three of the Questions in the Second Block of the Interviews: (a) Which Methodology Helped You Better Internalize the Theoretical Content of the Session? (b) Which Methodology Took You More Out of Your Comfort Zone? (c) Which Methodology Did You Enjoy the Most?

Source: Guasch, González, and Cortiñas

The third and last block evaluated the workshop as a whole. Participants were remarkably satisfied with the event; 85 percent of them gave a score of five to the session, and 15 percent a score of four. The same distribution of answers was repeated in the question that asked them if the workshop had fulfilled their expectations. The methodologies as a whole were given a score of five by fourteen people (70%) and four by six people (30%). The time dedicated to each part of the workshop was given a score of four by twelve people (60%), five by six people (30%), three by one person (5%), and two by another person (5%). The working room got a score of five by sixteen people (80%) and four by four people (20%).

Regarding the group of people involved in each session, 75 percent of the participants gave their working group—regarding predisposition, initiative, participation, and tolerance—a score of five. The other 25 percent gave their groups a score of four. The facilitator was given a score of five by eighteen people (90%) and four by two people (10%). All participants (100%) believed

that working with design methodologies is a good initiative for achieving knowledge transfer for scientific topics. Consequently, all of them affirmed that they would recommend this activity to other people.

Discussion and Conclusions

The primary goal of this case study was to generate a participatory event for non-scientists based on design methodologies to achieve successful knowledge transfer in the field of graphene. For this purpose, we designed a session based on five methods, and we tested it with four groups of people with diverse backgrounds and professions. At the end of each session, participants conceptualized three product proposals and developed a three dimensional model and a stakeholders map for each of them.

The first thing that the maps showed us once participants had filled them in was that creativity is something intrinsic to people (Table 5). All of them were capable of working with new methodologies and all of them developed the maps rather easily. The fact of starting with the Collage technique (Table 5a) took them out of their comfort zone because they had to start the session working with images and explaining something about themselves. However, since all of them remembered this methodology from their childhood, it was very easy for them to understand what they had to do and it helped them get settled and familiarized with both the event and the other participants. From this first map, they understood that they had to be active and show their thoughts through their hands in every part of the session. The Cognitive maps (Table 5b) display how each participant understood and connected the different concepts that were explained. The three columns of the map offered the possibility of distributing the information as well as relating it. Since the other two maps were filled in by each group (Table 5c, 5e), the paper served as the communication tool among participants. They placed the map in the middle of the conversation, and they used it as a cooperation tool and guide with a clear objective.

The proposals developed in the sessions covered different sectors (Figure 2). This means that each group naturally focused on different problems that were not connected. We observed that the interests of the participants were closely linked to wellbeing, sustainability, and their day-to-day needs, therefore covering some of the most important issues for the sustainable development of society. Health, transport, and the environment were the most covered areas of interest in all four sessions. This showed that the participants, regardless of their background, were concerned about such matters. Another relevant issue extracted from the results was that none of the proposals referred to the electronics sector, although most of them included an electronic system. Due to its properties, graphene is an optimal material for the development of electronics. It is clear that all participants had this in mind in the conceptualization of their product proposals. However, they did not focus solely on that, but took advantage of it to delve deeper and create stronger proposals.

Our second objective for the study was to provide a change of focus in the transfer of scientific knowledge to society. Nowadays, most of the commercial products that incorporate graphene are products that already existed previously—bicycles, helmets, watches, headphones, and so on (Mertens and Peleg 2018). In these applications, graphene is simply added to the base materials to improve some of their properties. It is normal that the first applications of graphene are of this type since it is the easiest way for industry to start applying the material. However, we think it is necessary to go further in the conceptualization of products. In this way, industry can anticipate future scientific advances and, therefore, develop innovative products in a shorter time span. Accordingly, we believe it is highly valuable that we obtained both realistic and speculative results in our case study (Figure 6). The fact that Figure 6 shows a remarkably balanced distribution also reveals that the participants did not discard the non-realistic applications during the workshop. Their creativity was not limited by scientific facts, which allowed them to create with an open mind. On the other hand, Figure 7 reveals that both properties and functionality

were taken into account in each of the proposals. Only two proposals were mainly based on functionality, but the rest were created with both considerations together.

Both the case study and the subsequent interview demonstrated that the public could understand complex scientific advances through the application of design methodologies. As Zhao et al. (2011) state, experts and non-experts inhabit different information environments. This translation from a scientific language to a design thinking language is what could make non-scientist participants understand a complex topic they have never heard about. Moreover, credibility was achieved as these methodologies contributed both expertise and trustworthiness (Fiske and Dupree 2014). The different methodologies and the fact that a facilitator—instead of a scientist—led the session brought science closer to the audience.

The five methodologies used helped participants integrate the knowledge and made them conceptualize products from a material that they did not understand before the session. After just three hours, they felt like experts in the field of graphene, and after three months, they remembered most of the concepts they had learned. We can therefore assume that working with their hands made them feel confident, comfortable, and creative, and that using graphic elements helped them acquire knowledge (Rodríguez Estrada and Davis 2015). This was only possible thanks to the variety of formats that can be used in the field of Science Communication (Luzón 2013; Wiener, Schmeling, and Hopf 2017).

As shown in Figure 8, most of the participants remembered the main concepts related to the definition of graphene at the time of the interview. However, we believe these percentages could increase if a second workshop was held with the same participants. It is normal that some concepts are forgotten after a while, so perhaps giving continuity to the event would increase recall. Additionally, Figure 9 shows very valuable information. From the three graphics (a, b, c) we can see that the Collage, the Mind mapping and the Creative toolkit techniques were the most shocking and/or valuable from the participants' perspective.

If we follow the chronological order of the methodologies, we can observe that the first one, the Collage, was the one that got them out of their comfort zone (Figure 9). The fact of doing this at the beginning of the session may explain why 45 percent of the participants described it as such. This result shows how important it is to start with a shocking activity: thanks to this first part, the other methodologies were easier for them. Besides shocking, it was also familiar, both because they knew the technique from their childhood and because the collage was about their personal lives. Although they felt a bit lost, they had these two pillars to guide them. A similar example of the use of a “shocking but familiar” technique at the beginning of a creativity session can be found in the project developed by Guasch et al. (2019), where a SWOT analysis is the first activity. The participants of that workshop know this technique, but the “six thinking hats” methodology, which the participants do not know, is simultaneously applied.

After the Collage, we can also see in Figure 9 that Cognitive mapping was one of the two methodologies that helped participants better understand the theoretical content of the session. We believe they thought of this part as a school lesson, so paying attention and taking notes were also familiar to them. They identified it as a way of capturing and understanding the theory. The next method, Mind mapping, scored even better in this category. The fact of putting into practice what they had just learned allowed them to have time to think over and integrate all the knowledge. In addition, Mind mapping was the second most enjoyed methodology by participants. These results demonstrate that Mind mapping is quite an interesting technique for learning while having fun.

Using the Creative toolkit was, without a doubt, the central phase of the session. It was not only the one that participants enjoyed the most, but also the second one that most took them out of their comfort zone and the third one that most helped them interiorize the scientific knowledge. Participants developed their prototypes as if they were real designers and they commented that more time could have been devoted to this part. Finally, the Stakeholders map only appears once in Figure 9, and only one person voted it as the methodology that took them

out of their comfort zone. This part of the workshop was only meant to serve as a conclusion, to make participants see the number of stakeholders that would be involved in the development of their product proposals. We believe this part is as crucial as all the others since the session needs a quiet activity to dampen the excitement from the Creative toolkit part. Furthermore, this methodology offers participants the possibility of considering their product proposals as something that could be real in the future instead of only thinking that they are a small part of a science communication activity.

Considering the big picture, the participants were highly satisfied with the workshop. They all commented that they found it remarkably interesting as a scientific knowledge transfer activity and that they would recommend this activity to other people. The main objective of the discipline of Science Communication is to achieve a successful knowledge transfer that reaches all levels of society (Jucan and Jucan 2014; Medin and Bang 2014). According to the results of the interviews and taking into account the variety of professions in the sessions, we can conclude that we obtained a successful transfer of knowledge.

This does not mean that design thinking methods are the only way to achieve this knowledge transfer or that the methodologies proposed in this case study are the only ones that can be used. However, we do contend that this workshop is an opportunity to bring Science Communication to another level, more informal and accessible, such as Jensen and Buckley (2014) support.

Given the results obtained, we consider that the application of design methodologies in the field of Science Communication is a good initiative. We agree with Raijmakers et al. (2012) that a new role for designers could be facilitation and we believe design is a field full of opportunities for innovative science communication methods. The capability that design has to boost imagination and creativity is a good feature to increase interest, motivation, participation, and attention in knowledge transfer activities as well as the understanding of complex concepts. Therefore, by transforming non-experts into participants of workshops based on Design Thinking, they can become co-designers (Sanders and Stappers 2008) and use the information they learn to create new knowledge.

Thus, we conclude that participatory design methodologies can be a good opportunity for the science communication field to transfer scientific knowledge to society. We believe that this method can be applied to other areas of scientific research. However, further research is needed and we encourage other designers and researchers to replicate this case study with other scientific topics. The information provided here can serve as a guide for any designer who wishes to do so.

REFERENCES

- Barrow, J. D. 2008. *Cosmic Imagery: Key Images in the History of Science*. London: The Bodley Head.
- Bell, Philip, Bruce Lewenstein, Andrew W. Shouse, and Michael A. Feder. 2009. *Learning Science in Informal Environments: People, Places and Pursuits*. Washington, D.C.: The National Academies Press.
- Brotans, X. 1995. *Castells i Castellors: Guia Completa Del Món Casteller* ["Castells" and "Castellers": Complete Guide to the "Casteller" World]. Barcelona: Lynx Edicions.
- Bucchi, Massimiano. 2013. "Style in Science Communication." *Public Understanding of Science* 22 (8): 904–15. doi:10.1177/0963662513498202.
- Bucchi, Massimiano, and Barbara Saracino. 2016. "'Visual Science Literacy': Images and Public Understanding of Science in the Digital Age." *Science Communication* 38 (6): 812–19. <https://doi.org/10.1177/1075547016677833>.
- Burns, Terry W., John O'Connor, and Sue M. Stocklmeyer. 2003. "Science Communication: A Contemporary Definition." *Public Understanding of Science* 12: 183–202.
- Cambridge University Press. 2018. "Cambridge Dictionary." <http://dictionary.cambridge.org/>.

- Clark, Greg, Josh Russell, Peter Enyeart, Brant Gracia, Aimee Wessel, Inga Jarmoskaite, Damon Polioudakis, et al. 2016. "Science Educational Outreach Programs That Benefit Students and Scientists." *PLoS Biology* 14 (2): 1–8. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1002368>.
- Coulter, Janet. 2013. "Interdisciplinarity: Creativity in Collaborative Research Approaches to Enhance Knowledge Transfer." *Innovation through Knowledge Transfer 2012* 18: 169–78. https://doi.org/10.1007/978-3-642-34219-6_19.
- Curedale, Robert A. 2016. *Design Thinking Process and Methods Guide*, 3rd ed. Topanga, CA: Design Community College Inc.
- Design United. 2013. *Advanced Design Methods for Successful Innovation*. Ministry of Economic Affairs. [Please add either city of publication or a URL]
- Dietz, Thomas. 2013. "Bringing Values and Deliberation to Science Communication." *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 110 (Suppl 3): 14081–87. <https://doi.org/10.1073/pnas.1212740110>.
- Dietz, Thomas, and Alicia Pfund. 1988. "An Impact Identification Method for Development Program Evaluation." *Review of Policy Research* 8 (1): 137–45. <https://doi.org/10.1111/j.1541-1338.1988.tb00923.x>.
- Dudo, Anthony, and John C. Besley. 2016. "Scientists' Prioritization of Communication Objectives for Public Engagement." *PLoS ONE* 11 (2): 1–18. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0148867>.
- European Commission. 2007. *Improving Knowledge Transfer between Research Institutions and Industry across Europe*. Luxembourg, Belgium: European Communities.
- Ferrari, Andrea C., Francesco Bonaccorso, Vladimir Falko, Konstantin S. Novoselov, Stephan Roche, Peter Bøggild, Stefano Borini, et al. 2015. "Science and Technology Roadmap for Graphene, Related Two-Dimensional Crystals, and Hybrid Systems." *Nanoscale* 7 (11): 4598–4810. <https://doi.org/10.1039/C4NR01600A>.
- Fiske, S. T., and C. Dupree. 2014. "Gaining Trust as Well as Respect in Communicating to Motivated Audiences about Science Topics." *Proceedings of the National Academy of Sciences* 111 (Supplement_4): 13593–97. <https://doi.org/10.1073/pnas.1317505111>.
- Fortier, Sara, and WonJoon Chung. 2013. "Designing for Experience: A Practical Investigation." *The International Journal of Design in Society* 6 (2): 81–93.
- Geim, Andre K. 2009. "Graphene: Status and Prospects." *Science* 324: 1530–35. <https://doi.org/10.1126/science.1158877>.
- Graphene Flagship. 2015. "Graphene Flagship Annual Report 2015." https://graphene-flagship.eu/SiteCollectionDocuments/Admin/Annual%20report/Graphene_Annual_report_2015.pdf.
- Guasch, B., S. Cortiñas, M. González, and J. Peña. 2019. Design Methodologies for Bridging Science, Technology, and Industry: A Graphene-Centered Case Study. *The International Journal of Design Management and Professional Practice* 13 (1). <https://doi.org/10.18848/2325-162X/CGP/v13i01/1-20>.
- Hanington, Bruce, and Bella Martin. 2012. *Universal Methods of Design*. Beverly, MA: Rockport Publishers.
- Hart, Geoff. 1996. "The Five W's: An Old Tool for the New Task of Audience Analysis." *Technical Communication* 43 (2): 139–45.
- Haywood, Benjamin K., and John C. Besley. 2014. "Education, Outreach, and Inclusive Engagement: Towards Integrated Indicators of Successful Program Outcomes in Participatory Science." *Public Understanding of Science* 23 (1): 92–106. <https://doi.org/10.1177/0963662513494560>.
- Hirsch, Andreas. 2015. "The Graphene Flagship - A Giant European Research Project." *Angewandte Chemie International Edition* 54 (32): 9132–33. <https://doi.org/10.1002/anie.201504842>.

- Jensen, Eric, and Nicola Buckley. 2014. "Why People Attend Science Festivals: Interests, Motivations and Self-Reported Benefits of Public Engagement with Research." *Public Understanding of Science* 23 (5): 557–73. <https://doi.org/10.1177/0963662512458624>.
- Jucan, Mihaela S., and Cornel N. Jucan. 2014. "The Power of Science Communication." *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 149: 461–66. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.08.288>.
- Justo-Hanani, Ronit, and Tamar Dayan. 2015. "European Risk Governance of Nanotechnology: Explaining the Emerging Regulatory Policy." *Research Policy* 44 (8): 1527–36. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2015.05.001>.
- Koskinen, Ilpo, and Peter G. Krogh. 2015. "Design Accountability: When Design Research Entangles Theory and Practice." *International Journal of Design* 9 (1): 121–27. <https://doi.org/10.1002/pola.26327/abstract>.
- Leblanc, Tatjana. 2016. "Research-Driven Design: The Case of Repurposing Glass." *The International Journal of Design in Society* 10 (3): 31–40.
- Luzón, María José. 2013. "Public Communication of Science in Blogs: Recontextualizing Scientific Discourse for a Diversified Audience." *Written Communication* 30: 428–57.
- Medin, D. L., and M. Bang. 2014. "The Cultural Side of Science Communication." *Proceedings of the National Academy of Sciences* 111 (Supplement_4): 13621–26. <https://doi.org/10.1073/pnas.1317510111>.
- Mertens, Ron. 2018. *The Graphene Handbook*. lulu.com. <https://www.graphene-info.com/handbook>
- Mertens, Ron, and Roni Peleg. 2018. "Graphene Info." <https://www.graphene-info.com/>.
- Morose, Gregory. 2010. "The 5 Principles of 'Design for Safer Nanotechnology.'" *Journal of Cleaner Production* 18 (3): 285–89. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2009.10.001>.
- Noble, Helen, and Joanna Smith. 2015. "Issues of Validity and Reliability in Qualitative Research." *Evidence-Based Nursing* 18 (2): 34–35. <https://doi.org/10.1136/eb-2015-102054>.
- Novoselov, K. S., A. K. Geim, S. V. Morozov, D. Jiang, Y. Zhang, S. V. Dubonos, I. V. Grigorieva, and A. A. Firsov. 2004. "Electric Field Effect in Atomically Thin Carbon Films." *Science* 306 (5696): 666–69. <https://doi.org/10.1126/science.1102896>.
- Novoselov, K. S., V. I. Fal'ko, L. Colombo, P. R. Gellert, M. G. Schwab, and K. Kim. 2012. "A Roadmap for Graphene." *Nature* 490: 192–200. <https://doi.org/10.1038/nature11458>.
- Phantoms Foundation. 2016. "Graphene Companies Catalogue and Research Centers." *Issuu Inc.* https://issuu.com/phantoms_foundation/docs/graphene_companies_catalogue_total_.
- Raijmakers, Bas, Mike Thompson, and Evelien Van de Garde-Perik. 2012. *New Goals for Design, New Roles for Designers?* Helsinki: Cumulus.
- Rice, Ronald E., and Howard Giles. 2016. "The Contexts and Dynamics of Science Communication and Language." *Journal of Language and Social Psychology* 36 (1): 127–39. <https://doi.org/10.1177/0261927X16663257>.
- Robertson, D.W. 1946. "A Note on the Classical Origin of Circumstances in the Medieval Confessional." *Studies in Philology* 43 (1): 6–14.
- Rodríguez Estrada, Fabiola Cristina, and Lloyd Spencer Davis. 2015. "Improving Visual Communication of Science through the Incorporation of Graphic Design Theories and Practices Into Science Communication." *Science Communication* 37 (1): 140–48. <https://doi.org/10.1177/1075547014562914>.
- Sanders, Elisabeth B.-N., and Pieter J. Stappers. 2008. "Co-Creation and the New Landscapes of Design." *CoDesign* 4 (1). <https://doi.org/10.1080/15710880701875068>.
- Scharrer, Lisa, Yvonne Rupieper, Marc Stadler, and Rainer Bromme. 2017. "When Science Becomes Too Easy: Science Popularization Inclines Laypeople to Underrate Their Dependence on Experts." *Public Understanding of Science* 26 (8): 1003–18. <https://doi.org/10.1177/0963662516680311>.

- Seguí-Simarro, J. M., J. L. Poza-Luján, and J. M. Mulet-Salort. 2015. *Estrategias de Divulgación Científica* [Scientific Dissemination Strategies]. Valencia: Universitat Politècnica de València.
- Selin, Cynthia, Kelly Campbell Rawlings, Kathryn de Ridder-Vignone, Jathan Sadowski, Carlo Altamirano Allende, Gretchen Gano, Sarah R. Davies, and David H. Guston. 2017. "Experiments in Engagement: Designing Public Engagement with Science and Technology for Capacity Building." *Public Understanding of Science* 26 (6): 634–49. <https://doi.org/10.1177/0963662515620970>.
- Spicer, Suzanne. 2017. "The Nuts and Bolts of Evaluating Science Communication Activities." *Seminars in Cell and Developmental Biology* 70: 17–25. <https://doi.org/10.1016/j.semdb.2017.08.026>.
- Spinuzzi, Clay. 2005. "The Methodology of Participatory Design." *Technical Communication* 52 (2): 163–74.
- UNESCO. 2010. "Human Towers." *UNESCO Intangible Heritage*. <https://ich.unesco.org/en/RL/human-towers-00364#TOC1>.
- Wiener, Gerfried J., Sascha M. Schmeling, and Martin Hopf. 2017. "Why Not Start with Quarks? Teachers Investigate a Learning Unit on the Subatomic Structure of Matter with 12-Year-Olds." *European Journal of Science and Mathematics Education* 5 (2): 134–57.
- Woensel, Lieve Van, and Geoff Archer. 2015. "Ten Technologies Which Could Change Our Lives - Potential Impacts and Policy Implications." *European Parliamentary Research Service* PE 527.417: 1–20. <https://doi.org/10.2861/610145>.
- Zhao, X, A. A. Leiserowitz, E. W. Maibach, and C. Roser-Renouf. 2011. "Attention to Science/Environment News Positively Predicts and Attention to Political News Negatively Predicts Global Warming Risk Perceptions and Policy Support." *Journal of Communication* 61 (4): 713–31.

ABOUT THE AUTHORS

Blanca Guasch: Researcher and Lecturer, Elisava Research, Elisava–Universitat Pompeu Fabra, Barcelona, Catalonia, Spain

Dr. Marta González: Head of the Materials and Sustainability Area, Elisava Research, Elisava–Universitat Pompeu Fabra, Barcelona, Catalonia, Spain

Dr. Sergi Cortiñas: Lecturer and Coordinator of the Science Communication Observatory (OCC) and the Scientific Communication Research Group (GRECC), Department of Communication, Universitat Pompeu Fabra, Barcelona, Catalonia, Spain

11.4. Article IV

Guasch, B., González, M., & Cortiñas, S. (Acceptat per a la seva publicació). Educational Toolkit Based on Design Methodologies to Promote Scientific Knowledge Transfer in Secondary Schools: A Graphene-Centered Case Study. *Journal of Technolgy and Science Education*.

Publicació *Journal of Technology and Science Education*

Editor *OmniaScience*

País Espanya

ISSN 20145349, 20136374

Índexs de qualitat:

- ERIH PLUS: revista inclosa des del 13/05/2015
- Scopus SJR (2018): 0.22 – Q3

S'adjunta, seguidament, el correu de la revista conforme l'article ha estat acceptat per a la seva publicació.

[jotse] Editor Decision

Journal of Technology and Science Education [info@jotse.org]

Enviat el: dijous, 26 / setembre / 2019 16:16

Per a: Guasch Balcells, Blanca

A/c: Gonzalez Colominas, Marta; Sergi Cortiñas [sergi.cortinas@upf.edu]

Categories: Articles i revistes

Dear Blanca Guasch,

We have reached a decision regarding your submission to Journal of Technology and Science Education, "Educational toolkit based on design methodologies to promote scientific knowledge transfer in secondary schools: A graphene-centered case study".

We are pleased to notify that your manuscript has been ACCEPTED for publication in JOTSE. One of the two reviewer (R2), proposes two minor corrections. We hope you can resolve before submitting the final manuscript for printing.

Thank you for the trust you have placed JOTSE editorial team.

We hope to receive your future work soon.

best regards,

Dr Emilio Rayon
JOTSE Area Editor

Reviewer 1

The paper "Educational toolkit based on design methodologies to promote scientific knowledge transfer in secondary schools: A graphene-centered case study," merits publication in Journal of Technology and Science Education. The manuscript shows an excellent scientific rigor and adequate adaptation of contents. The methodology is perfectly explained and is consistent with the purpose of the project.

Reviewer 2

The manuscript "EDUCATIONAL TOOLKIT BASED ON DESIGN METHODOLOGIES TO PROMOTE SCIENTIFIC KNOWLEDGE TRANSFER IN SECONDARY SCHOOLS: A GRAPHENE-CENTERED CASE STUDY" is an innovative and very interesting work which is in accordance with the scope of the journal since it is in the field of science education of nanotechnology. The methodology used here shows logical train of thought, while the obtained results suggest that the methodology could be used not only in nanotechnology, but also in other fields. Thus, highlighting the interest of the work in the science education area. Moreover, it describes in an appropriate way how to motivate students to participate in similar studies. I consider that the manuscript can be published as is.

I only have some minor formal comments that can be taken into account previously to be published as I detail in the following points:

- C1-C5 in Figure 4 should be described in the figure or figure title.
- CX.S1-CX.S7 in Figure 5, 6, 7, 8 and 9 should be described in the Figure or Figure title, to facilitate the understanding of the results.

The educational toolkit used are very simple, useful and well described

Journal of Technology and Science Education
<http://www.jotse.org>

1 **EDUCATIONAL TOOLKIT BASED ON DESIGN METHODOLOGIES**
2 **TO PROMOTE SCIENTIFIC KNOWLEDGE TRANSFER IN**
3 **SECONDARY SCHOOLS: A GRAPHENE-CENTERED CASE STUDY**

4

5 **Abstract:** Nanoscience and nanotechnology are two key areas in the development of
6 new technologies. However, scientific advances in these fields are still far removed
7 from the contents taught in schools. But what if basic concepts within these areas
8 were introduced in secondary schools? We believe science is an essential facet of
9 culture and the most recent scientific advances should be within everyone's reach.
10 With this in mind, we have developed and tested an educational toolkit to transfer
11 complex scientific concepts in classrooms. The toolkit is based on design and creative
12 thinking methodologies, and graphene is used as an example of a subject that is
13 challenging to communicate within the area of nanoscience. This paper highlights the
14 development of the toolkit and it being tested out in a secondary school by 93
15 students between the ages of 11 and 13. The testing was carried out through the
16 creation of a workshop called "Graphene in the Classroom." We determined five
17 evaluation categories: Acquiring Knowledge, Satisfaction, Challenges, Teamwork, and
18 Facilitator's Role. The results show that integrating scientific content and design
19 methodologies is a complex yet profitable strategy. The toolkit demonstrated to allow
20 the translation of a complex language into friendlier, more approachable, and easier
21 language. The classroom climate was positive and the presence of a facilitator
22 enhanced motivation, empathy, scientific rigor, and adequate adaptation of contents.

23 **Keywords:** educational toolkit; graphene; nanotechnology; knowledge transfer; design
24 methodologies; science education.

25

26 **1. Introduction**

27 Nanoscience and nanotechnology are two emerging fields that are gaining ground on
28 the market every day (Correia & Serena-Domingo, 2010; Hirsch, 2015). Everything
29 appears to indicate that they will be two key areas for the development of new
30 technologies and applications in the future. That said, knowledge of them is still
31 clustered within specialized scientific fields. However, what would happen if basic
32 terms and concepts from these areas began to be introduced in secondary schools?

33 For our research, we developed a toolkit to transfer scientific knowledge in secondary
34 schools about a nanomaterial: graphene (Mertens, 2018; Novoselov et al., 2004). The
35 aim of the toolkit was to set the stage for a dynamic activity based on creative thinking
36 to transfer basic knowledge about graphene, which could serve as a starting point for
37 introducing nanoscience and nanotechnology in schools. Creative thinking and design
38 methodologies served as an inspiration for the creation of the experimental teaching
39 materials included in the toolkit. To test this toolkit, a workshop was held with three
40 groups of 30 to 32 students in the first year of secondary school – a total of 93
41 students between the ages of 11 and 13. The workshop was called “Graphene in the
42 Classroom.”

43 The vision of interconnection and complementarity between disciplines that this
44 project aimed to convey was quite in line with the idea of STEM education. We believe
45 that carrying out dynamic activities like those described in this paper facilitates the
46 promotion of scientific and technological careers for children and teenagers in a fun
47 and clear manner. The project also intended to share the idea that nanoscience and
48 nanotechnology are fields of study that can be accessed from many approaches and
49 areas, such as the world of design.

50 The relevance of this paper lies in the notion that the field of design can create a new
51 learning environment for science for secondary school students.

52

53 **2. Background**

54 **2.1. Schools and classrooms as learning environments**

55 Schools, especially classrooms, are social organizations based on learning. However,
56 although learning is the central focus, a specific emotional atmosphere is created
57 within each classroom that also affects a student's personal growth (Carroll, Goldman,
58 Britos & Koh, 2010; Scheer, Noweski & Meinel, 2012). This climate depends greatly on
59 the teacher's attitude, as well as the resources that are used and the activities that
60 take place therein.

61 The quality of the atmosphere or climate created in the classroom is highly relevant as,
62 in many cases, it depends on student motivation and discipline (Hugerat, 2016). These
63 two aspects can greatly impact academic performance and, given the number of hours
64 a student spends in school, this is a key point in the field of education. Some authors
65 have defined the benefits of a good climate in the classroom. Among them, they
66 emphasize interest in the subjects, acquiring and using knowledge, learning through
67 trial and error, self confidence, and accepting mistakes (Broussard & Garrison, 2004).

68

69 **2.2. Scientific projects in the classroom**

70 Undertaking scientific projects in schools usually involves a change in the setup of the
71 classroom or a change of location – if the school has a science laboratory. Reorganizing
72 the classroom and/or changing locations can directly affect student behavior in class as
73 well as their relationship with their surroundings and their classmates (Hugerat, 2016).
74 It has been shown that a flexible work environment facilitates student-centered
75 education, collaboration, self-regulation, autonomy, motivation, inclusion, and
76 interaction (Kariippanon, Cliff, Lancaster, Okely & Parrish, 2018; Valdez & Bungihan,
77 2019).

78 Therefore, science education in schools not only allows students to discover and
79 understand scientific facts and principles, but also, and in large part, to stimulate
80 positive behavior, adopt new ways of thinking, satisfy curiosities, promote conflict
81 resolution, enhance skills, practice critical thinking, and increase self-confidence,
82 among others (Hadim & Esche, 2002). In fact, Dewey (1902) asserts that the most
83 natural way for children to learn is by doing. However, he also states that children
84 should be guided in this process and they must be provided with the necessary tools
85 and activities to acquire knowledge.

86

87 **2.3. Design as a tool for science education**

88 The variety of formats that scientific activities can employ is an opportunity for
89 teachers to experiment with new resources and dynamics. Particularly, student-
90 centered activities are highly relevant in science education (Pratt, 2002). This approach
91 allows students to satisfy their learning needs, be guided, receive feedback, be
92 stimulated, to empathize with them, and foster mutual trust and respect (Pratt, 2002).

93 In the field of design, there are tools that seek the same objectives, with a purely social
94 focus (Sanders & Stappers, 2008). Creative thinking, or Design Thinking, is a technique
95 that is based on exploring different fields and possibilities with the aim of producing
96 strategies to address a problem or a challenge (Curedale, 2016; Design United, 2013;

97 Hanington & Martin, 2012; Leblanc, 2016). Its operating engine is lateral thinking (de
98 Bono, 1994) which aims to address a challenge or a problem from very different, wide,
99 and complementary views instead of taking the most logical solution as the only
100 option. Lateral thinking and all Design Thinking methodologies enable designers in
101 their day-to-day work to search for new solutions in the form of products, systems,
102 and services in a constantly changing and evolving world. Multiple authors have
103 defined its characteristics, phases, and benefits (Carroll et al., 2010; Dorst, 2011;
104 Scheer et al., 2012).

105 Design methodologies can be applied across a multitude of formats. However,
106 regardless of the format, they always seek to gain access to two types of knowledge.
107 On the one hand, participants' tacit knowledge, that is, what they know but cannot
108 express. On the other hand, practical knowledge, that is, what participants know how
109 to do based on previously experienced situations (Spinuzzi, 2005). The combination of
110 these two forms of knowledge lends understanding, motivation, attention, creativity,
111 and interest to the subject being studied (Guasch, Cortiñas, González & Peña, 2019).

112 In a way, activities based on creative thinking are related to project-based education
113 (Hadim & Esche, 2002; Scheer et al., 2012). In both cases, students usually work in
114 groups and the activities are focused on helping participants build their own
115 knowledge. However, when we discuss applying design methodologies to co-design
116 activities, we are not referring to projects or classes, but workshops. Likewise, the
117 person who leads and moderates an activity is not called a teacher or an instructor,
118 but a facilitator (Sanders & Stappers, 2008). A facilitator is the person who plans and
119 designs a creative workshop, taking into account the objectives, methodology, time
120 spent on each part, focus, and characteristics of the participants (Rajmakers,
121 Thompson & Van de Garde-Perik, 2012). The facilitator also guides and leads the
122 activity, prepares the necessary materials, adequately adapts the space, and
123 encourages participants to express themselves freely in the workshop (Sanders &
124 Stappers, 2008). Students who feel a facilitator's support and presence tend to be
125 more motivated and make greater efforts to reach a goal (Lumpkin, 2007).

126 In these types of activities, participants often find themselves disoriented at first as
127 they are given much more freedom to work with compared to traditional learning
128 methods (Hugerat, 2016). However, this freedom also allows them to abandon the
129 habit of following the teacher's direct instructions in order to explore new ways of
130 learning and to create their own work pace (Lenschow, 1998). Table 1 shows a brief
131 description of the design methodologies that were used in carrying out this research
132 (Dignan, 2011; Hanington & Martin, 2012). In most of them, the use of concept maps
133 as a learning and working strategy is a common characteristic (Romero, Cazorla &
134 Buzón, 2017).

135

136

137

Methodology	Description
<i>Cognitive mapping</i>	Visualization of how participants give meaning to a particular topic. It usually takes the form of an outline or structured text that contains essential ideas.
<i>Gamification</i>	The application of games in non-game contexts. The creation or use of a game in an educational setting is gamification.
<i>Mental model diagram</i>	Diagram or outline that aids in expressing causes and effects or other dualities, such as related properties and applications. It is used to find a relationship between items that are part of two different but complementary realities.
<i>Collage</i>	This technique allows participants to express thoughts, ideas, and/or concepts visually. It always involves a board and stickers or other items that can be placed freely on the board.
<i>Participatory design</i>	This approach is centered on society and the individual, which fosters the active involvement of participants in a cooperative activity. It is an approach and a way of working rather than a technique.
<i>Research through design</i>	This method involves examining design tools and processes in order to apply them to other areas. It is used to acquire knowledge about a topic through designing a product or system.
<i>Concept mapping</i>	This is a visual technique that enables participants to digest new concepts and give them new meaning. It uses the information to organize it differently while giving it new meaning. It is used to enhance recall of concepts learned beforehand.
<i>Evaluative research</i>	This involves the testing of prototypes, products, or interfaces by potential future users. Interaction between a design and participants to contribute their opinions.
<i>Fly-on-the-wall observation</i>	This observation technique allows researchers to gather information in a non-invasive manner. A researcher compiles information while watching and listening to an activity's participants, not interfering with their work.

138

Table 1. Description of the design methodologies used in the project.

139

140 **2.4. Nanoscience, nanotechnology, and graphene**

141 Nanoscience and nanotechnology are revolutionizing industry and becoming
142 increasingly visible in our surroundings to such an extent that experts say that
143 companies that adapt and understand how to make good use of nanotechnologies will
144 be at the forefront of industry in coming years (Correia & Serena-Domingo, 2010;
145 European Commission, 2012). Graphene is the material that is currently at the
146 forefront of materials science and nanotechnology (Hirsch, 2015). For this reason, we
147 considered it to be an interesting, current, and, at present, rarely covered topic in
148 schools.

149 Graphene is a two-dimensional material consisting of a single layer of carbon atoms
150 bonded together forming a hexagonal lattice (Mertens, 2018). It was isolated for the
151 first time at the University of Manchester in 2004 (Novoselov et al., 2004), and its
152 discoverers won the Nobel Prize in Physics for their discovery in 2010. The material is
153 relevant mainly due to its unique properties. It is more resistant than steel, more
154 conductive than copper, and harder than diamond (Mertens, 2018). Furthermore, it is
155 flexible, transparent, and impermeable even to gas and can be applied to the
156 electronics, transport, medicine, energy, architecture, and other sectors (Ferrari et al.,
157 2015). Many call it “the wonder material” and, since 2004, technology centers
158 specializing in graphene have been created around the world (Hirsch, 2015).

159

160 3. Objectives

161 The main goal of this project was to create an experimental educational toolkit based
162 on design methodologies to transmit scientific knowledge in high schools. It was
163 essential for the toolkit to design work tools that were appropriate and attractive for
164 youth around 12 years of age. In order to test it, we developed the workshop called
165 “Graphene in the Classroom”, which had the following objectives:

- 166 1) Acquiring Knowledge: The primary objective of the “Graphene in the
167 Classroom” educational initiative was to introduce basic concepts regarding
168 graphene to students in the 1st year of secondary school, as well as to raise
169 awareness about graphene's importance in the world of materials.
- 170 2) Satisfaction: A second objective was to motivate students and generate a
171 positive classroom climate. The workshop and the toolkit sought to promote
172 interest in scientific and technological disciplines to students. They also sought
173 to update secondary school teachers' knowledge, thus boosting their
174 professional qualifications – both in terms of knowledge about graphene and
175 regarding the methodologies used in classrooms to impart scientific topics.
- 176 3) Challenges: The third objective was to reduce the complexity usually associated
177 to science. The main goal of the tools and dynamics included in the toolkit was
178 to make graphene understandable for 12-year-old students.
- 179 4) Teamwork: Another objective was to maintain a balance between competition
180 and cooperation among students.
- 181 5) Facilitator's Role: The last objective was to test the role of the facilitator. The
182 facilitator had to enhance motivation, transmit empathy, explain clearly, solve
183 doubts, and connect with the students.

184

185 **4. Methodology**

186 **4.1. Generic toolkit**

187 The toolkit included five parts (Table 2). Each of them had a name, its duration, up to
 188 three methodologies associated, and the materials needed.

<i>Part</i>	<i>Name</i>	<i>Duration</i>	<i>Methodologies used</i>	<i>Materials</i>
<i>a</i>	Listen and Understand	30 min.	· Traditional lesson · Cognitive mapping	Presentation, map, and markers
<i>b</i>	Memorize	20 min.	· Gamification · Mental model diagram · Collage	"Memory" cards, explanatory booklets, yellow and blue labels, markers, and map
<i>c</i>	Transfer and Guess	20 min.		Chalk and board, "Pictionary" cards, explanatory booklets, yellow and blue labels, markers, and map
<i>d</i>	Formulate	20 min.	· Participatory design · Research through design · Concept mapping	Map and markers
<i>e</i>	Explain and Assess	20 min.	· Evaluative research	Map
-	-	Entire workshop	· Fly-on-the-wall observation	Camera, notebook, and pen

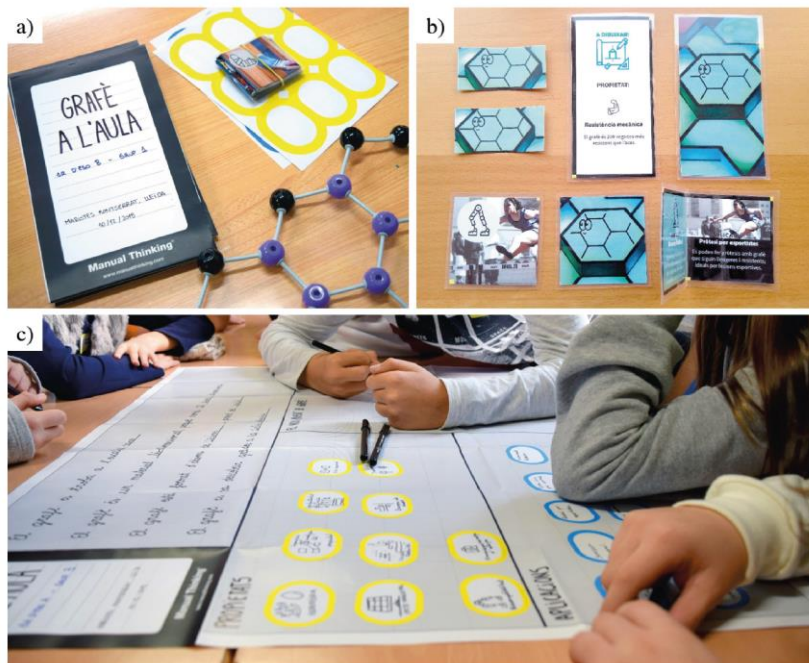
189 Table 2. Educational toolkit based on design methodologies to promote scientific knowledge transfer in
 190 secondary schools.

191 In the following sections, the case study will help define the parts, methodologies and
 192 materials of the toolkit more accurately.

193

194 **4.2. Case study: Application of the toolkit**

195 The "Graphene in the Classroom" workshop was designed as a dynamic
 196 interdisciplinary session that included contents related to graphene and the
 197 methodologies from the field of design included in the toolkit. The workshop was held
 198 with a total of 93 students between 11 and 13 years of age, divided into three
 199 classrooms: A (30 students, 16 girls and 14 boys), B (32 students, 16 girls and 16 boys),
 200 and C (31 students, 18 girls and 13 boys). Since the groups were quite large, each class
 201 was divided into three subgroups of about 10 or 11 students. A facilitator guided the
 202 sessions, aided by three teachers with science and technology backgrounds. Figure 1
 203 shows the tools and materials created for the workshop.



204

205 Figure 1. "Graphene in the Classroom" Workshop Toolkit: (a) maps, labels, and stacked cards; (b)
 206 "Memory" and "Pictionary" images, cards, and booklets; (c) spread out map.

207 The first part, called Listen and Understand, used a traditional classroom format. In
 208 this part, the facilitator explained what graphene is, its main properties, and its sectors
 209 of application. This activity aimed to engage students through questions that were
 210 brought up throughout the presentation. To assess whether they understood the
 211 essential details, they had to compose four sentences about graphene after the
 212 explanation on a map (method: cognitive mapping). Then, this map became the focal
 213 point of the other activities. Since the map was used as a recurring point for all the
 214 activities, it also served as a journal and a record for the session.

215 The second part of the session, Memorize, was based on the board game called
 216 "Memory" (method: gamification). 18 cards were distributed, with nine pairs of two
 217 matching cards. Each card in the game contained a property and an application of
 218 graphene, related to one another. The students had to place the cards upside down on
 219 the table, forming a grid. They took turns picking up pairs of cards until they got a
 220 match. Once all the cards had been turned over and matched, each participant
 221 received a small booklet with an explanation of the properties and applications that
 222 they acquired. Next, they had to draw the property and the application from each card
 223 they obtained on separate labels. Properties were put on yellow labels and

224 applications were put on blue labels. Next, they placed these labels on the map within
225 the corresponding boxes for properties and applications (methods: mental model
226 diagram and collage). While they did so, they had to explain the properties and
227 applications they obtained to the other students in their group.

228 The third part, Transfer and Guess, was also based on a board game, "Pictionary"
229 (method: gamification). In turns, a student from each group went in front of the class,
230 picked up a card with the name of a property, and drew the property on the board.
231 The group that guessed correctly the name of the property kept the explanatory
232 booklet for that property and a related application and had to draw the two items in
233 the blue and yellow labels from the earlier Memorize activity. These labels were added
234 to the map in the corresponding boxes (methods: mental model diagram and collage).

235 The fourth part of the session, Formulate, called on participants to imagine and invent
236 a new application for graphene (method: participatory design). Together, they had to
237 create a new product by drawing it on the map, in the box called "The latest graphene
238 invention." While drawing this new invention, they addressed doubts by asking the
239 facilitator questions to move the design forward (method: research through design).
240 Additionally, they were asked to explain, using arrows, the product's main
241 characteristics as well as the most relevant reasons why it was important to use
242 graphene for it (method: concept mapping).

243 Finally, the fifth part, called Explain and Assess, summed up the session. Each group
244 went in front of the class and explained their new graphene application. The other
245 groups had to evaluate the design and its pros and cons (method: evaluative research).
246 Following that, the facilitator asked them what they liked most about the session, what
247 they found most difficult, and their thoughts regarding graphene.

248 The final methodology used in the workshop was not associated with any particular
249 part, but with all of them. It is called fly-on-the-wall observation. Throughout the
250 session, the facilitator and the teachers present were responsible for taking
251 photographs and notes of the session and student comments.

252 Figure 2 illustrates how the toolkit was used in every part of the workshop.

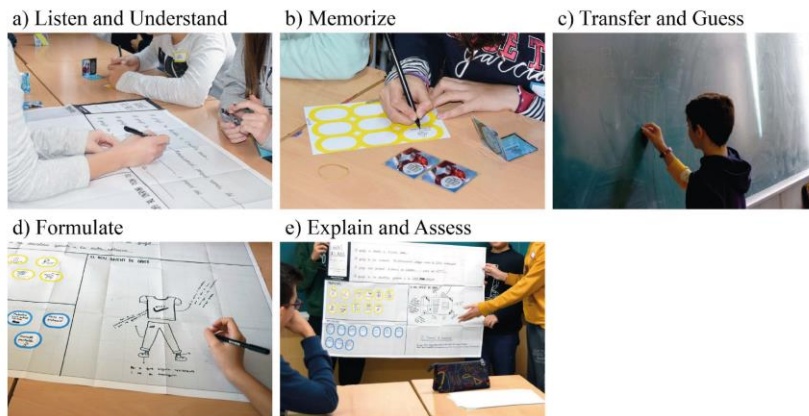


Figure 2. Photos of the workshop "Graphene in the Classroom."

4.3. Workshop assessment tools

The workshop's main assessment tool was a questionnaire that evaluated and compiled the students' views regarding the activity. The following categories were established for the questionnaire: Acquiring Knowledge, Satisfaction, Challenges, Teamwork, and the Facilitator's Role (Table 3), according to the five objectives of the study. There were 35 questions in total, all of them closed-ended. The students had to indicate if they agreed, somewhat agreed, somewhat disagreed, or disagreed with the statements used. Some statements were framed negatively to prevent students from giving automatic responses.

Category	Statements to evaluate
<i>C1. Acquiring Knowledge</i>	C1.S1 The workshop was interesting and useful. C1.S2 I learned a lot about graphene and nanomaterials. C1.S3 Some concepts were not clear during session. C1.S4 I still remember most of the things we learned. C1.S5 I am satisfied that I understood the information presented in the workshop. C1.S6 Working on a team motivated me to learn. C1.S7 The facilitator did not adapt the information to our level.
<i>C2. Satisfaction</i>	C2.S1 The activities were fun and engaging. C2.S2 I am satisfied with my participation in the activity. C2.S3 The facilitator was satisfied with my work. C2.S4 I enjoyed the different activities that were presented to us. C2.S5 I felt that I was able to work with complex concepts during the workshop. C2.S6 I liked the workshop format and I enjoyed it more than a normal class. C2.S7 The activity lasting for two hours seemed too long.
<i>C3. Challenges</i>	C3.S1 I thought the content was too challenging for my level. C3.S2 I felt there was gender discrimination during the session. C3.S3 The workshop tasks were very difficult. C3.S4 I was uneasy during the workshop because I'm not used to this kind of activity. C3.S5 It was hard to understand what the facilitator wanted from us at certain times. C3.S6 The activities had too many rules and it was difficult to follow them. C3.S7 I felt lost during the workshop because I had too much freedom while working.
<i>C4. Teamwork</i>	C4.S1 I got along well with the other members in my group. C4.S2 Some of my group's member didn't want to participate in the activities. C4.S3 I worked with students I don't usually work with during the workshop. C4.S4 Some students didn't let me do things the way I wanted. C4.S5 I enjoyed how the groups competed against each other for certain activities. C4.S6 I enjoyed all of the challenges we resolved as a group. C4.S7 My group aided me in understanding the workshop's concepts.
<i>C5. Facilitator's Role</i>	C5.S1 I received clear instructions for carrying out my tasks. C5.S2 I received help from the facilitator whenever I needed it. C5.S3 I gladly participated during the workshop because the facilitator asked us to. C5.S4 The facilitator encouraged us to participate in the session and make the most of it. C5.S5 Boys and girls participated equally and received equal treatment from the facilitator. C5.S6 The facilitator made us participate at all times during the activity. C5.S7 The facilitator did not address doubts that came up during the activity.

274 Table 3. Workshop assessment questionnaire (C=category, S=statement).

275 Some of these categories, as well as some of the statements they contained, were
276 crafted following the method proposed by Hugerat (2016). However, they were
277 adapted to the objectives and challenges of this research and to the evaluation of
278 design methodologies for teaching science instead of the evaluation of project-based
279 education. The questionnaire was given to the students one month after the workshop
280 to assess if, after some time, they had retained the knowledge they had been taught.

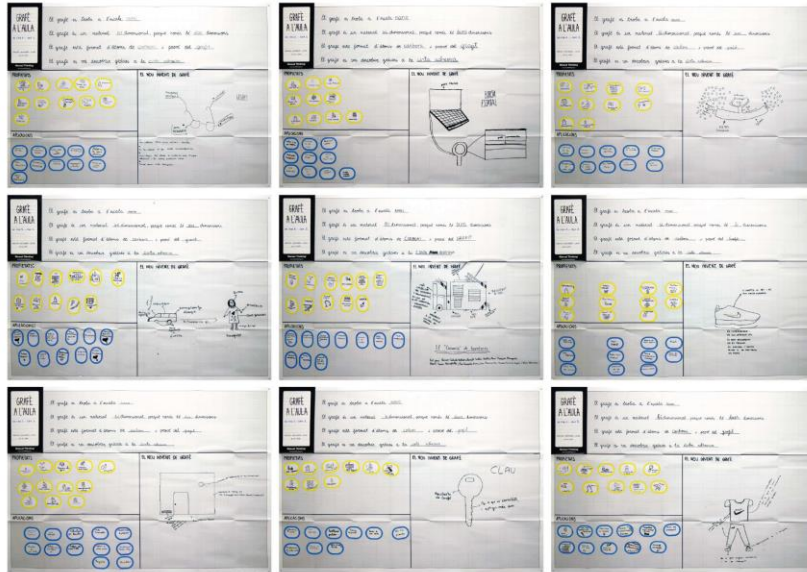
281 The three teachers who took turns in assisting the facilitator during the activity also
282 added their input to the workshop assessment questionnaire. They were asked to give

283 a score of 1 to 4 for each category as a whole and write down any comments they
 284 deemed relevant.

285

286 **5. Results**

287 Nine maps filled out by the students were produced as a physical result of the session
 288 (Figure 3).



289

290 Figure 3. Maps filled out by students.

291 Figure 4 shows the general assessment of the workshop by the teachers. As shown in
 292 the figure, all categories were given a score of 3 or 4 out of 4.

293

294

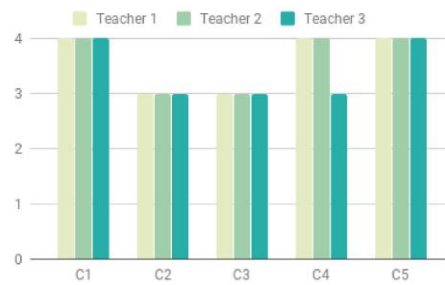


Figure 4. Quantitative results from the questionnaire answered by the teachers.

295 The main findings from the questionnaires are given below, distributed into
 296 subsections for the five categories analyzed. In addition, qualitative comments from
 297 the teachers have been added. In the graphs shown throughout the section, "A"
 298 represents the most positive/favorable score and "D" the most negative/unfavorable
 299 score.

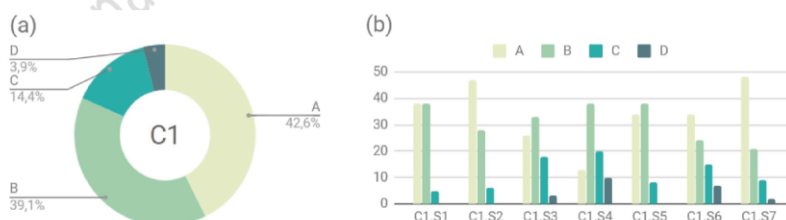
300

301 5.1. Acquiring knowledge

302 As seen in Figure 4, the three teachers rated Acquiring Knowledge with the highest
 303 score. They emphasized in their comments that the presentation and knowledge
 304 transfer about graphene was excellent. They also stressed that they, as teachers,
 305 learned as much as or more than the students. On the one hand, they gained new
 306 knowledge about graphene and, on the other, they found the work methodologies
 307 inspiring for their classes. One of the teachers noted that the methodologies used
 308 worked on different types of intelligence in a way that students with different abilities
 309 could understand the session's content more easily than in a traditional classroom
 310 format.

311 They also appreciated that the content in the session was new, as it made the session
 312 very interesting. The teachers positively assessed the initial theoretical foundations,
 313 the fact that the activities were well-planned, and the interaction with the students as
 314 three key factors in the transfer of knowledge.

315 In the student assessment (Figure 5), 42.6% of the students rated this category very
 316 positively. 39.1% rated it second, 14.4% third, and only 3.9% the most negative. The
 317 two most favorable aspects for the students were that they learned a lot about
 318 graphene and nanomaterials and that the information was suitably adapted to their
 319 level. A negative point worth noting is that, after some time, they did not remember
 320 most things that had been taught.



321

322 Figure 5. Student assessment of category C1. Acquiring Knowledge (a) as a whole and (b) for each
 323 question.

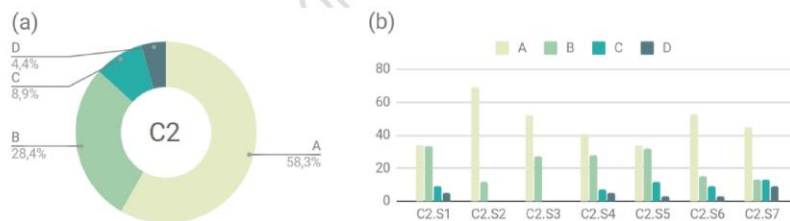
324

325 **5.2. Satisfaction**

326 Regarding Satisfaction, the teachers positively rated the autonomy of the students and
327 that they motivated themselves and adapted their energy and dedication to what each
328 activity required. One of the teachers noted that “[t]he students expressed great
329 satisfaction with the workshop and that the format was quite stimulating.” The
330 teachers were also pleased with the fact that it was a dynamic activity in which
331 students had to be active and willing to participate. They highlighted that, in the
332 traditional classroom format, students are much more passive and, in some cases,
333 detached.

334 Two of the teachers said that one of the challenges schools face is knowing how to
335 handle interactive activities in contexts that are not yet adapted to them. Additionally,
336 one of the teachers noted that “[t]he lack of preconceived notions (knowledge of
337 graphene and design methodologies) generates student interest but, at the same time,
338 a sort of relaxation as the students associate games with playful environments, not
339 learning.”

340 58.3% of students gave the highest score in the Satisfaction category (Figure 6). The
341 most valued aspects were satisfaction with their own attitude, satisfaction with the
342 fact that the facilitator was happy with the work they did, and satisfaction with the
343 workshop's format, which made the students enjoy the activity more than a normal
344 class. Conversely, some students thought that the activity was too long and some did
345 not enjoy all the activities, but some more than others.



346
347 Figure 6. Student assessment of category C2. Satisfaction (a) as a whole and (b) for each question.

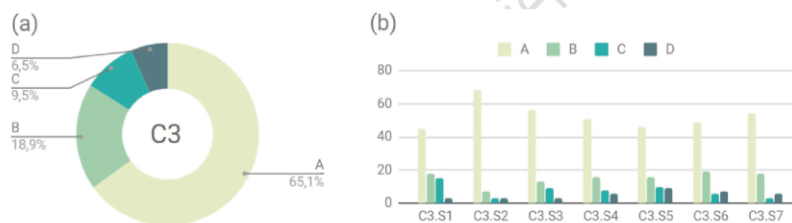
348
349 **5.3. Challenges**

350 In the Challenges category, the teachers pointed out that they found some challenges
351 in carrying out the workshop activities. In terms of participation, content
352 comprehension, and concentration, the students responded quite favorably as the
353 format was very appropriate, according to one of the teachers. However, the main
354 challenge the teachers encountered in the activities was the size of the groups. All

355 three indicated that it would have been better to have smaller groups, between 6 to 8
356 students. Done this way, participation and involvement by all students would increase.

357 Another challenge that was noted was the same as discussed in the previous category
358 (Satisfaction). In the words of one teacher: “[a]ny activity that involves breaking down
359 the typical classroom structure – with its unidirectional nature in which knowledge is
360 centered on the teacher – makes the students more relaxed.” Simultaneously, such
361 relaxation implies noise and distractions. Handling possible distractions is key for
362 dynamic activities in which students are at the center.

363 As shown in Figure 7, 65.1% of students found no challenges in carrying out the
364 workshop tasks, while 6.5% found many. All questions in this category were assessed
365 quite favorably. It should be noted that the most positive was that there was no
366 gender discrimination during the workshop. In contrast, the most negative was that it
367 was difficult for some students to understand what the facilitator expected at certain
368 times. In this category, however, student satisfaction with the workshop as a whole is
369 once again manifest.



370

371 Figure 7. Student assessment of category C3. Challenges (a) as a whole and (b) for each question.

372

373 5.4. Teamwork

374 When assessing Teamwork, all three teachers defined the workshop as inclusive since
375 students with learning difficulties participated in almost the same way as the rest of
376 their classmates. As one teacher stated, “[t]he workshop was very inclusive. One clear
377 example is that a student with special learning needs went up to the board for the
378 Transfer and Guess activity to draw one of the graphene properties, and the student's
379 teammates guessed it. This was the first time I have seen this student going up to the
380 board and not just that, the student did the task as well as any other.”

381 Regarding the format of the activities and the interaction between classmates, the
382 teachers thought that “the balance of competition/cooperation was quite appropriate
383 and did not create situations that would harm relationships between students.” They
384 also noted that “[t]he teamwork was genuine, everyone participated, and having
385 students with different abilities and levels of understanding was not a problem.”

386 Other statements commented on the workshop's tools and methodology, such as:
 387 “[d]uring the session, we learned and verified that gamification is a good
 388 democratizing tool” and “[c]ompetition is innate, but our school does not promote it
 389 that much. These kinds of activities, which combine competition with cooperation,
 390 help encourage the positive side of competition.” An important point to note here is
 391 that the groups were thought out and organized by the teachers. This made the groups
 392 balanced in terms of roles, participation, motivation, and collaboration.

393 There is a great diversity of opinion by the students in this category (Figure 8). 45.8%
 394 rated Teamwork highly, 24.3% good, 16.7% fair, and 13.3% poor. The most positive
 395 aspects were related to good relationships with teammates, competing in certain
 396 activities, and the fact of facing all the challenges as a group. In contrast, the most
 397 negative aspects revealed that some group members did not want to participate in the
 398 activities and that students did not help each other within the teams to understand
 399 complex concepts, which always fell on the facilitator or assisting teacher to help.

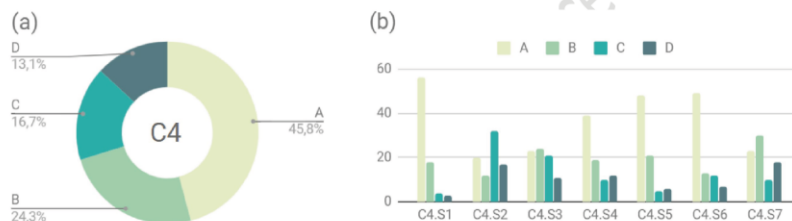


Figure 8. Student assessment of category C4. Teamwork (a) as a whole and (b) for each question.

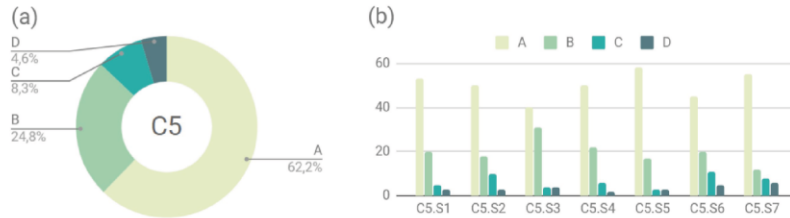
5.5. Facilitator's Role

404 Regarding the Facilitator's Role, the teachers noted the importance of the facilitator's
 405 tone and capacity for empathy and motivation, and all three agreed that the facilitator
 406 did an excellent job. “Clear, thorough technical information presented in a pleasant
 407 and age-friendly manner without the facilitator being too much a part of everything
 408 yet providing all terms,” said one of the teachers.

409 There was a diversity of opinion regarding the fact that the facilitator was not a staff
 410 member at the school. One teacher did not think it was too relevant that the
 411 workshop's facilitator was not a staff member, while another emphasized that an
 412 external facilitator “gave more identity and value to the workshop.” The third teacher
 413 did not comment on this aspect.

414 The students assessed the Facilitator's Role highly (Figure 9). 62.2% of students gave
 415 the most favorable score, and only 4.6% the most unfavorable. Among the most

416 positive aspects, clear instructions, help offered, motivation, approachable and fair
417 treatment, and addressing doubts are most noteworthy.



418

419 Figure 9. Student assessment of category C5. Facilitator's Role (a) as a whole and (b) for each question.

420

421 5.6. Observation notes

422 Most observations made by the teachers were included in the questionnaires.
423 However, some comments not included in any of the above categories were also given.
424 The three most relevant issues noted were the following:

- 425 • Most students had a hard time understanding the relationship between design
426 methodologies and learning about a scientific subject such as graphene. They
427 did not understand why bringing these two disciplines together was desirable.
- 428 • While doing the Formulate activity, the students began to draw their product
429 proposals on different booklets or sheets. The reason for doing so was that
430 they wanted the final drawing to be aesthetically pleasing, which is why they
431 started with a rough draft then cleaned it up for the work map.
- 432 • Relationships and social interaction were enhanced thanks to the different
433 activities in the workshop. Students felt listened to and appreciated at all times
434 all while interacting with one another positively and naturally at the same time.

435

436 6. Discussion and conclusions

437 The "Graphene in the Classroom" workshop turned out satisfactorily in many respects.
438 The experimental educational toolkit obtained a highly positive assessment in the
439 Acquiring Knowledge category (Figures 4 and 5). According to the teachers'
440 assessment, not only knowledge about graphene was gained during the session, but
441 also new learning methods and techniques. Furthermore, the initial theoretical
442 foundations were positively assessed, as well as the change in pace between activities
443 and the time spent on them.

444 For the development of the activity, we took into account that a favorable emotional
445 climate in the classroom enhances students' personal growth (Carroll et al., 2010;
446 Scheer et al., 2012) and that a student-focused educational system can increase
447 motivation for learning (Broussard & Garrison, 2004; Pratt, 2002). The fact that overall
448 student Satisfaction with the workshop was high (Figure 6) shows that the climate that
449 was created was pleasant and motivating.

450 However, we see a contrast between this view compared to the teachers' assessment
451 (Figure 4). The teachers positively assessed the autonomy and self-motivation of the
452 students, but also noted three negative aspects. First, the fact that they did not know
453 how to handle an activity of this nature due to lack of experience or habit. In this
454 sense, the facilitator's presence was key. Second, the flexibility of the space was also
455 mentioned as the activity was held in a traditional classroom and, despite reorganizing
456 the tables, the regular unidirectional classroom format makes the spaces not quite
457 suitable for dynamic activities. As several authors attest, designing a flexible space
458 facilitates learning, autonomy, inclusion, and interaction, among others (Hadim &
459 Esche, 2002; Kariippanon et al., 2018). Finally, the fact that the students were not
460 accustomed to this type of workshop meant that there was a sort of relaxation or
461 playful atmosphere in the classroom at certain times.

462 Said relaxation was also a challenge, since it sometimes involved noise and
463 distractions. Teachers attributed this to the size of the groups. However, some authors
464 associate this challenge with a benefit: the reduction of tension in the classroom
465 (Hugerat, 2016). By focusing the activity on the students, tension in the environment is
466 reduced and this creates a much more relaxed classroom climate. From the point of
467 view of the students (Figure 7), few Challenges were noted. Those that stood out were
468 related to how it was difficult to understand what was expected of them in certain
469 activities. This relates to how many students had a hard time understanding the
470 relationship between design methodologies and learning about science.

471 The Teamwork assessment (Figure 8) also reveals that the most significant challenge
472 noted both by students and by teachers is the difficulty of adapting a traditional
473 classroom format to a dynamic format such as a workshop. Learning by doing has
474 many benefits (Dewey, 1902; Scheer et al., 2012). However, much remains to be done
475 before schools can integrate this into their daily operations. One observation that
476 proves this is the fact that the students began to draw their proposals as a rough draft
477 before cleaning them up and making a final drawing. Design methodologies do not
478 focus on aesthetic or formal perfection, but on the search for solutions. Habits and
479 approaches like this are deeply entrenched in schools, and changing them would imply
480 a paradigm shift.

481 Regarding the Facilitator's Role, the most valued characteristics were empathy,
482 motivation, clear explanations, scientific rigor, and the adaptation of contents (Figure

483 9). As Lumpkin (2007) affirms, a student's motivation and predisposition depend, to a
484 large extent, on the facilitator's support and presence. This activity pursued a balance
485 between an objective and thorough explanation about a complex subject and
486 supporting the students in their learning process. As such, the teachers assessed the
487 activity using the words inclusion, integration, and interaction.

488 Designing a workshop that integrates academic standards, theoretical content, and
489 design methodologies is a complex process, challenging in many respects. However,
490 design methodologies allow translating complex languages into friendlier, more
491 approachable, and easier language (Guasch et al., 2019). As such, design
492 methodologies are also included in social environments and encourage problem
493 resolution based on creative thinking and the development of innovative strategies
494 (Curedale, 2016; Design United, 2013; Hanington & Martin, 2012; Leblanc, 2016).

495 The methodologies used in this workshop are a just small sample of the wide array of
496 methods, resources, materials, and techniques that the design discipline can offer in
497 science and technology education. The students who took part in the "Graphene in the
498 Classroom" workshop served as an example to test whether these types of activities
499 work in a school setting. The results were quite favorable and, for this reason, we
500 believe that design methodologies are a good resource and can help simplify more
501 complex languages and transfer knowledge. However, the specific methodologies used
502 are not the only ones available, just as graphene and nanomaterials are not the only
503 scientific topics that can be communicated through them. We offer this model as an
504 example and a guide to continue researching how to apply design methodologies to
505 scientific communication and education.

506

507 **Declaration of Conflicting Interests**

508 The author(s) declared no potential conflicts of interest with respect to the research,
509 authorship, and/or publication of this article.

510

511 **Funding**

512 The author(s) received no financial support for the research, authorship, and/or publication of
513 this article.

514

515 **References**

516 Broussard, S. C., & Garrison, M. E. (2004). The relationship between classroom
517 motivation and academic achievement in elementary school-aged children.

- 518 *Family and Consumer Sciences Research Journal*, 33(2), 106–120.
519 <https://doi.org/10.1177/1077727X04269573>
- 520 Carroll, M., Goldman, S., Britos, L., & Koh, J. (2010). Destination, Imagination and the
521 Fires Within: Design Thinking in a Middle School Classroom. *The Journal of*
522 *Academic Development and Education*, 29(1), 37–53.
- 523 Correia, A., & Serena-Domingo, P. A. (2010). 2010–2020: ¿La década del despegue de
524 la nanotecnología española? [2010–2020: The decade of the takeoff of Spanish
525 nanotechnology?] *Física y Sociedad*, 36–39.
- 526 Curedale, R. A. (2016). *Design Thinking Process & Methods Guide* (3rd ed.). Topanga
527 CA: Design Community College Inc.
- 528 de Bono, E. (1994). *Creative Thinking. The Power of Lateral Thinking for the Creation of*
529 *New Ideas*. Paidós.
- 530 Design United. (2013). *Advanced Design Methods for Successful Innovation*. Ministry of
531 Economic Affairs.
- 532 Dewey, J. (1902). *The child and the curriculum*. Chicago: University of Chicago Press.
- 533 Dignan, A. (2011). *Game Frame: Using Games as a Strategy for Success*. New York: Free
534 Press.
- 535 Dorst, K. (2011). The core of “design thinking” and its application. *Design Studies*,
536 32(6), 521–532. <https://doi.org/10.1016/j.destud.2011.07.006>
- 537 European Commission. (2012). Communicating EU Research and Innovation: A Guide
538 for Project Participants. Retrieved from
539 <http://ec.europa.eu/research/participants/portal/ShowDoc/Extensions+Repository/>
540 [y/](http://ec.europa.eu/research/participants/portal/ShowDoc/Extensions+Repository/)
- 541 Ferrari, A. C., Bonaccorso, F., Falko, V., Novoselov, K. S., Roche, S., Bøggild, P., ...
542 Kinaret, J. (2015). Science and technology roadmap for graphene, related two-
543 dimensional crystals, and hybrid systems. *Nanoscale*, 7(11), 4598–4810.
544 <https://doi.org/10.1039/C4NR01600A>
- 545 Guasch, B., Cortiñas, S., González, M., & Peña, J. (2019). Design Methodologies for
546 Bridging Science, Technology, and Industry: A Graphene-Centered Case Study. *The*
547 *International Journal of Design Management and Professional Practice*, 13(1).
548 <https://doi.org/10.18848/2325-162X/CGP/v13i01/1-20>
- 549 Hadim, H. A., & Esche, S. K. (2002). Enhancing the engineering curriculum through
550 project-based learning. In *Frontiers in Education Conference* (pp. 1–6). Boston.

- 551 <https://doi.org/10.1109/FIE.2002.1158200>
- 552 Hanington, B., & Martin, B. (2012). *Universal Methods of Design*. Beverly, MA:
553 Rockport Publishers.
- 554 Hirsch, A. (2015). The Graphene Flagship – A Giant European Research Project.
555 *Angewandte Chemie International Edition*, 54(32), 9132–9133.
556 <https://doi.org/10.1002/anie.201504842>
- 557 Hugerat, M. (2016). How teaching science using project-based learning strategies
558 affects the classroom learning environment. *Learning Environments Research*,
559 19(3), 383–395. <https://doi.org/10.1007/s10984-016-9212-y>
- 560 Kariippanon, K. E., Cliff, D. P., Lancaster, S. L., Okely, A. D., & Parrish, A. M. (2018).
561 Perceived interplay between flexible learning spaces and teaching, learning and
562 student wellbeing. *Learning Environments Research*, 21(3), 301–320.
563 <https://doi.org/10.1007/s10984-017-9254-9>
- 564 Leblanc, T. (2016). Research-driven Design: The Case of Repurposing Glass. *The*
565 *International Journal of Design in Society*, 10(3), 31–40.
- 566 Lenschow, R. J. (1998). From teaching to learning: A paradigm shift in engineering
567 education and lifelong learning. *European Journal of Engineering Education*, 23(2),
568 155–161.
- 569 Lumpkin, A. (2007). Caring teachers: The key to student learning. *Kappa Delta Pi*
570 *Record*, 43(4), 158–160.
- 571 Mertens, R. (2018). *The Graphene Handbook*. <https://www.lulu.com/>
- 572 Novoselov, K. S., Geim, A. K., Morozov, S. V., Jiang, D., Zhang, Y., Dubonos, S. V., ...
573 Firsov, A. A. (2004). Electric Field Effect in Atomically Thin Carbon Films. *Science*,
574 306(5696), 666–669. <https://doi.org/10.1126/science.1102896>
- 575 Pratt, D. (2002). Analyzing perspectives: Identifying commitments and belief
576 structures. In *Five perspectives on teaching in adult and higher education* (pp.
577 217–255). Malabar, FL: Krieger Publishing Company.
- 578 Raijmakers, B., Thompson, M., & Van de Garde-Perik, E. (2012). *New goals for design,*
579 *new roles for designers?* Helsinki: Cumulus.
- 580 Romero, C., Cazorla, M., & Buzón, O. (2017). Meaningful learning using concept maps
581 as a learning strategy. *Journal of Technology and Science Education*, 7(3), 313–
582 332. <https://doi.org/10.3926/jotse.276>

- 583 Sanders, E. B. N., & Stappers, P. J. (2008). Co-creation and the new landscapes of
584 design. *CoDesign*, 4(1). <https://doi.org/10.1080/15710880701875068>
- 585 Scheer, A., Noweski, C., & Meinel, C. (2012). Transforming constructivist learning into
586 action: Design thinking in education. *Design and Technology Education: An
587 International Journal*, 17(3), 8–19. <https://doi.org/10.1007/BF02019079>
- 588 Spinuzzi, C. (2005). The Methodology of Participatory Design. *Technical
589 Communication*, 52(2), 163–174.
- 590 Valdez, J., & Bungihan, M. (2019). Problem-based learning approach enhances the
591 problem solving skills in chemistry of high school students. *Journal of Technology
592 and Science Education*, 9(3), 282–294. <https://doi.org/10.3926/jotse.631>

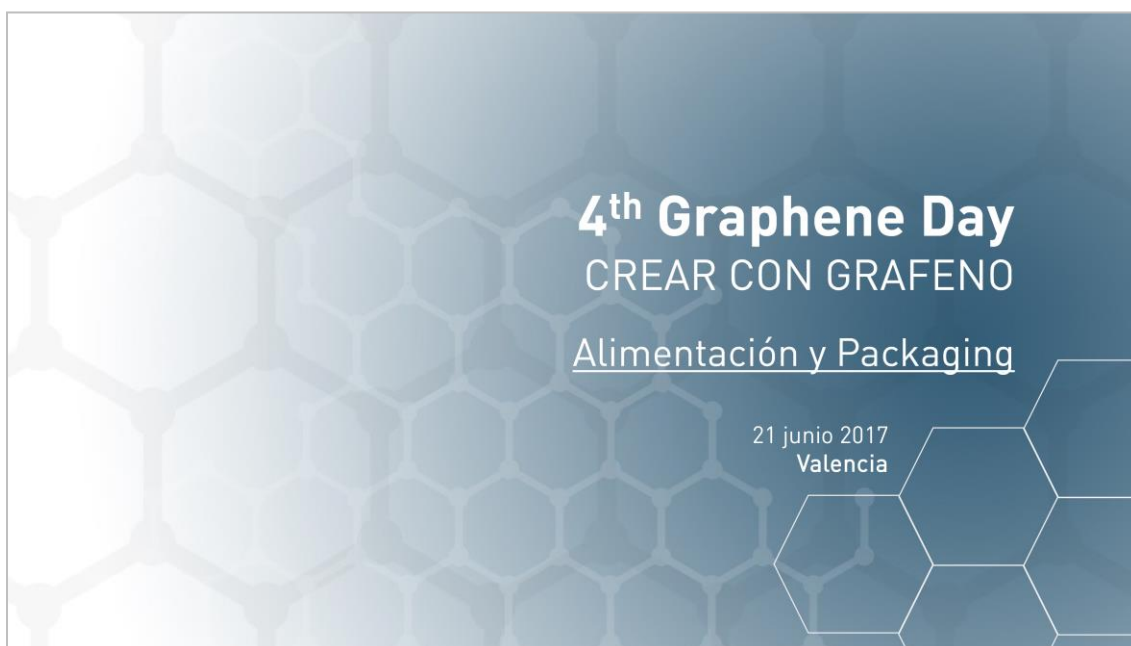
Journal of Technology and Science Education

11.5. Elements gràfics desenvolupats pels casos d'estudi

En aquest apartat es mostren els diferents elements dissenyats específicament per les sessions de creativitat de cada cas d'estudi. Aquests s'inclouen amb el format d'impressió corresponent.

Per a la realització dels tallers amb experts, es desenvolupen tres materials gràfics (cartell, fulletó i panells senyalitzadors). A mode d'exemple, es mostren en aquest apartat els elements gràfics dissenyats per al 4th Graphene Day:

(a) Cartell amb el títol de la sessió (1 pàg. DIN-A3 H CMYK):



(b) Fulletó informatiu (2 pàg. DIN-A4 H CMYK):



Cilindro de aerogel grafeno de 100 cm³ sobre una espiga de Sino, H. Xu, Z. and Gao, C. (2013), Multifunctional, Ultra-Flyweight, Synergistically Assembled Carbon Aerogels. Adv. Mater., 25(25):2561-2566. doi:10.1002/adma.2126376

CREAR CON GRAFENO

Decoding Matter

4th Graphene Day
21 junio 2017, Valencia

Fecha
21 de junio del 2017
09.00h - 18.30h

Lugar
ITENE - Instituto Tecnológico del Embalaje, Transporte y Logística
C/ Albert Einstein 1
46980 Paterna, Valencia

Inscripción
www.itene.com / www.materplat.org / www.elisava.net
(Plazas limitadas)

Organizan

ITENE **ELISAVA** **CSIC**

Materfad **GRAFENET** **GRAFIP**

Colaboran

materplat

Taller de creatividad para:
Construcción y Hábitat
Energía
Transporte
Alimentación y Packaging
Salud
...



4th Graphene Day

PROGRAMA

09.00 - 09.30 h
Recepción

09.30 - 10.00 h
Bienvenida y Presentación
Mar García Hernández (CSIC)

10.00 - 10.20 h
El Grafeno: un Material Superlativo
Mar García Hernández (CSIC)

10.20 - 10.40 h
Material-Centered Design para Innovar con Grafeno
Javier Peña (ELISAVA)

10.40 - 11.00 h
Potencialidad y Aplicaciones del Grafeno en el Packaging Alimentario
Inmaculada Lorente (ITENE)

11.00 - 11.20 h
Descanso y Café

11.20 - 11.40 h
Seguridad Alimentaria y Legislación
Cristina Ripollés (ITENE)

11.40 - 12.00 h
El Grafeno en Envases Rígidos: Aplicación y Retos

12.00 - 12.20 h
El Grafeno en Envases Flexibles: Aplicación y Retos
Andrea Cabanes (GAVIPLAS)

12.20 - 13.00 h
Crear con Grafeno: Producción y Aplicaciones
Alegria Caballero (Avanzare)

13.00 - 14.00 h
Comida

14.00 - 15.00 h
Visita a las instalaciones de ITENE

15.00 - 17.00 h
Talleres de Creatividad
a) Grafeno para la mejora de las propiedades barrera
b) Grafeno para la mejora de las propiedades mecánicas
c) Grafeno como material inteligente en el envase
d) Grafeno para la mejora de las propiedades térmicas
Equipo de ELISAVA Research (ELISAVA)

17.00 - 18.00 h
Mesa Redonda y Debate

18.00 - 18.30 h
Cierre de la Sesión y Networking

DECODING GRAPHENE es un formato ágil y creativo que conecta ciencia, tecnología, diseño, necesidades, usuario, oportunidades y empresa. Mediante técnicas de creatividad enlaza oferta y demanda, pregunta y respuesta, y prefigura el futuro que entre todos queremos visualizar. Genera oportunidades, une a personas y ámbitos, crea situaciones, posiciona ideas y dinamiza conocimiento.

Los materiales grafénicos son un punto de partida válido para dar respuesta a nuevas necesidades de mercado focalizadas en un amplio espectro de sectores industriales.

El grafeno es el material más delgado que se conoce: con sólo un átomo de espesor, es el más resistente, ligero y flexible que el hombre ha desarrollado. Además, su base es el elemento carbono, conocido como el elemento de la vida.

También es impermeable de manera controlada y un excelente conductor eléctrico y térmico. El grafeno es transparente y combina de una manera excepcional propiedades ópticas y eléctricas.

Es por eso por lo que dentro del sector de la alimentación y *packaging* tiene tanto que aportar.

"El grafeno es demasiado simple como para interpretarlo de una manera compleja"

(c) Panells amb els títols de les sub-temàtiques dels tallers, per senyalitzar les sales de treball (es mostren només dos dels panells) (1 pàg. DIN-A4 H CMYK):

Grafeno para la mejora de las:
**PROPIEDADES
TÉRMICAS**

4th Graphene Day / TALLERES

ITENE ELISAVA CSIC Materfad IGRAPHENET GRAFIP SECRETARÍA DE ESTADO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA E INNOVACIÓN materplat

This poster features a blue background with a faint hexagonal molecular structure pattern. The title is in large white letters. At the bottom, there is a row of logos for various organizations including ITENE, ELISAVA, CSIC, Materfad, IGRAPHENET, GRAFIP, the Spanish Government, and materplat.

Grafeno como:
**MATERIAL
INTELIGENTE**
en el envase

4th Graphene Day / TALLERES

ITENE ELISAVA CSIC Materfad IGRAPHENET GRAFIP SECRETARÍA DE ESTADO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA E INNOVACIÓN materplat

This poster features a blue background with a faint hexagonal molecular structure pattern. The title is in large white letters. At the bottom, there is a row of logos for various organizations including ITENE, ELISAVA, CSIC, Materfad, IGRAPHENET, GRAFIP, the Spanish Government, and materplat.

Per a la comunicació i el funcionament dels tallers amb no experts, es dissenyen i desenvolupen set elements gràfics. Es llisten i mostren a continuació:

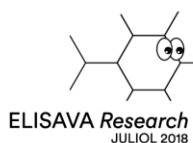
(a) Cartell genèric per a totes les sessions (1 pàg. DIN-A3 H B/N):



(b) Fulletó orientatiu per trobar la sala de treball (2 pàg. DIN-A4 V B/N):

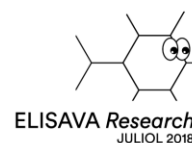
SESSIÓ DE CREATIVITAT AMB GRAFÈ

Laboratori
d'interacció



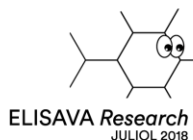
SESSIÓ DE CREATIVITAT AMB GRAFÈ

Laboratori
d'interacció



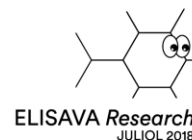
SESSIÓ DE CREATIVITAT AMB GRAFÈ

Laboratori
d'interacció

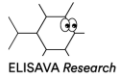
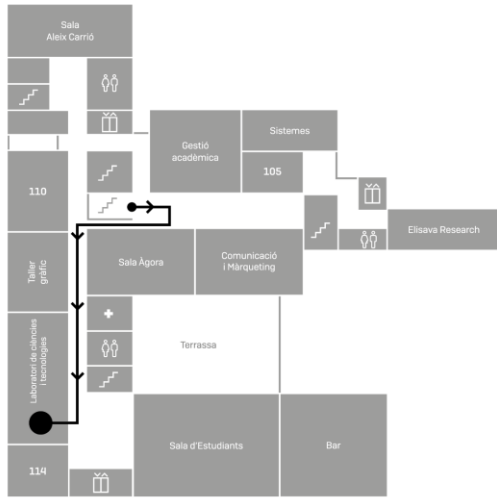


SESSIÓ DE CREATIVITAT AMB GRAFÈ

Laboratori
d'interacció

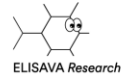
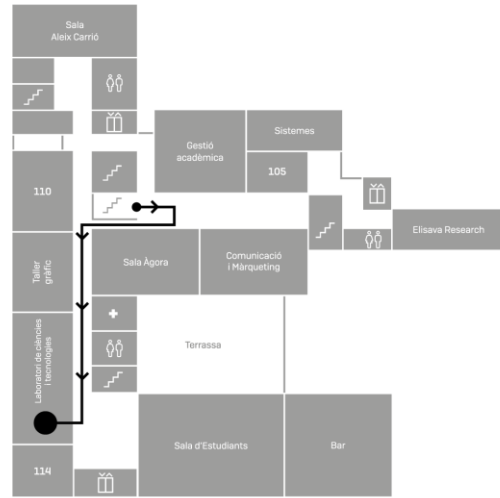


COM ARRIBAR



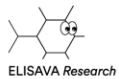
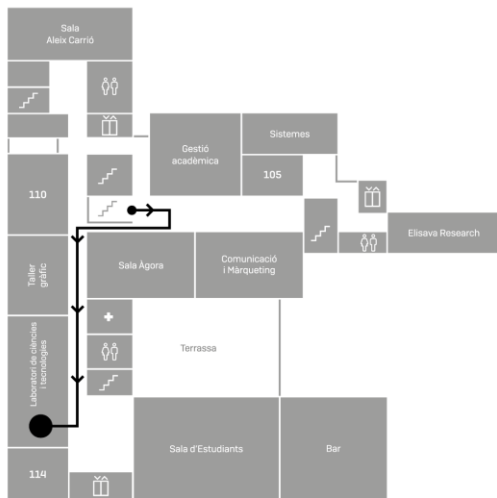
SESSIÓ DE
CREATIVITAT
AMB GRAFÈ

COM ARRIBAR



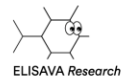
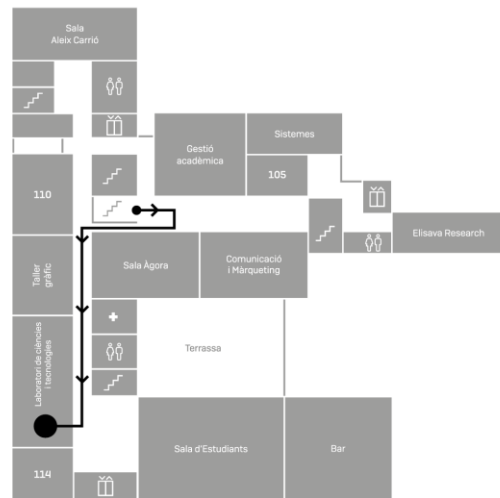
SESSIÓ DE
CREATIVITAT
AMB GRAFÈ

COM ARRIBAR



SESSIÓ DE
CREATIVITAT
AMB GRAFÈ

COM ARRIBAR



SESSIÓ DE
CREATIVITAT
AMB GRAFÈ

(c) Quatre mapes de treball (1 pàg. DIN-A4 H B/N):

	NOM I COGNOM: _____
	EDAT: _____
	PROFESSIÓ: _____
	EMAIL: _____
SESSIÓ DE CREATIVITAT AMB GRAFÈ	
NOM: _____	
1. COLLAGE	

QUÈ ÉS?		APLICACIONS
SESSIÓ DE CREATIVITAT AMB GRAFÈ		
NOM: _____		
2. COGNITIVE MAPPING		

SITUACIÓ (MAPA 1) PROPIETAT (MAPA 2) INSPIRACIÓ (BOL D'IDEES)

<p>QUÈ</p> <p>ON</p> <p>QUI / PER A QUI</p> <p>QUAN</p> <p>PER QUÈ</p>		<p>COM</p>
--	--	------------

SESSIÓ DE CREATIVITAT AMB GRAFÈ
👤 NOM: _____
3. MIND MAPPING

PRODUCTE

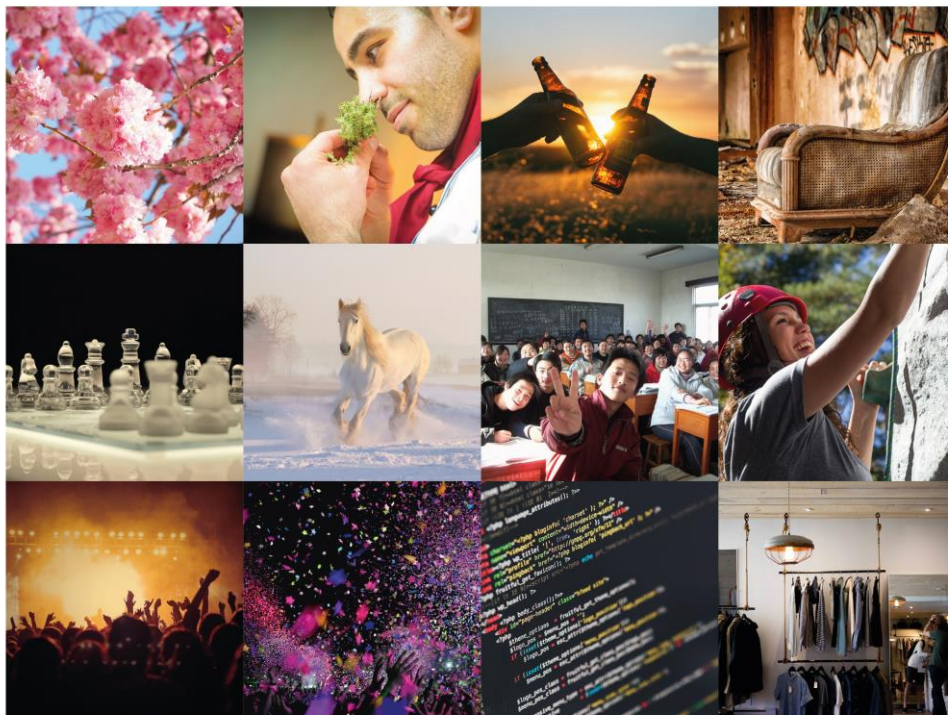
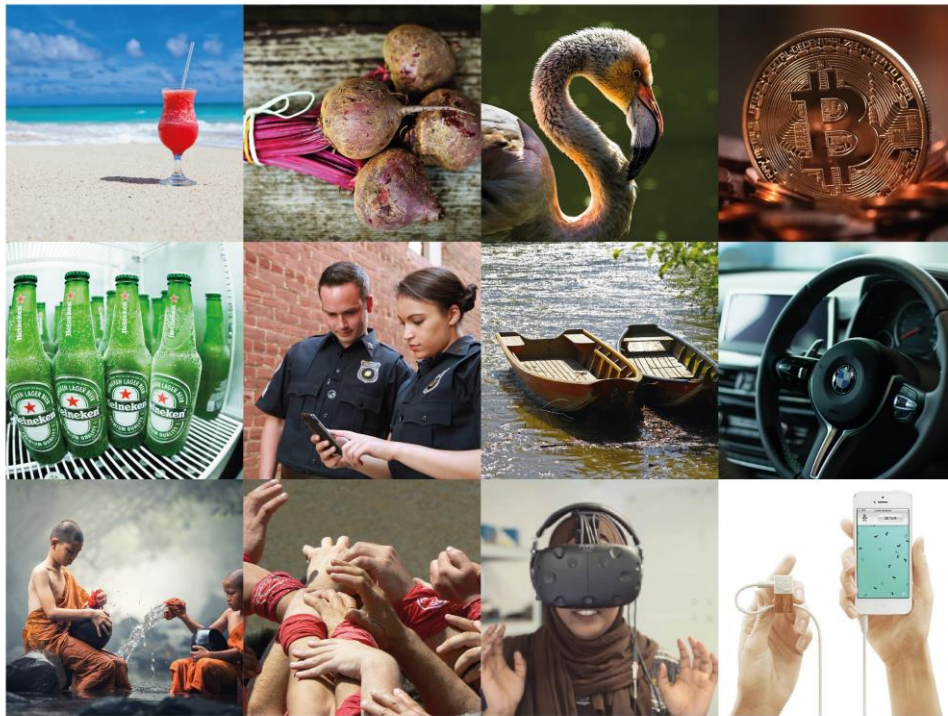
USUARI PRINCIPAL

↩ ALTRES AGENTS, FACTORS, ASPECTES, GRUPS D'INDIVIDUS, ORGANISMES, ETC., IMPLICATS AMB EL PRODUCTE ↪

SESSIÓ DE CREATIVITAT AMB GRAFÈ
👤 NOM: _____
4. STAKEHOLDERS MAP

(d) Enganxines amb imatges aleatòries (7 pàg. DIN-A4 V CMYK):

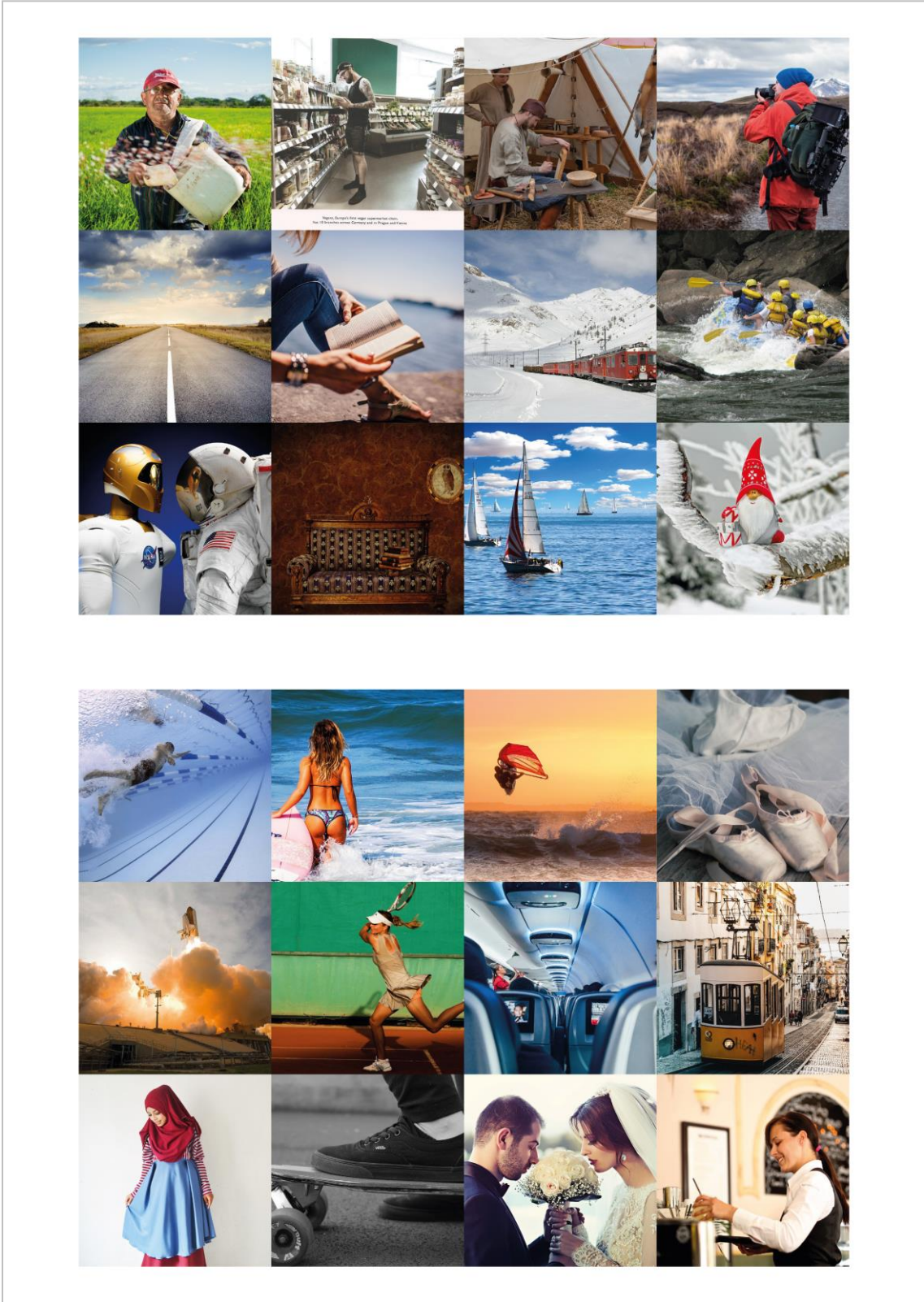


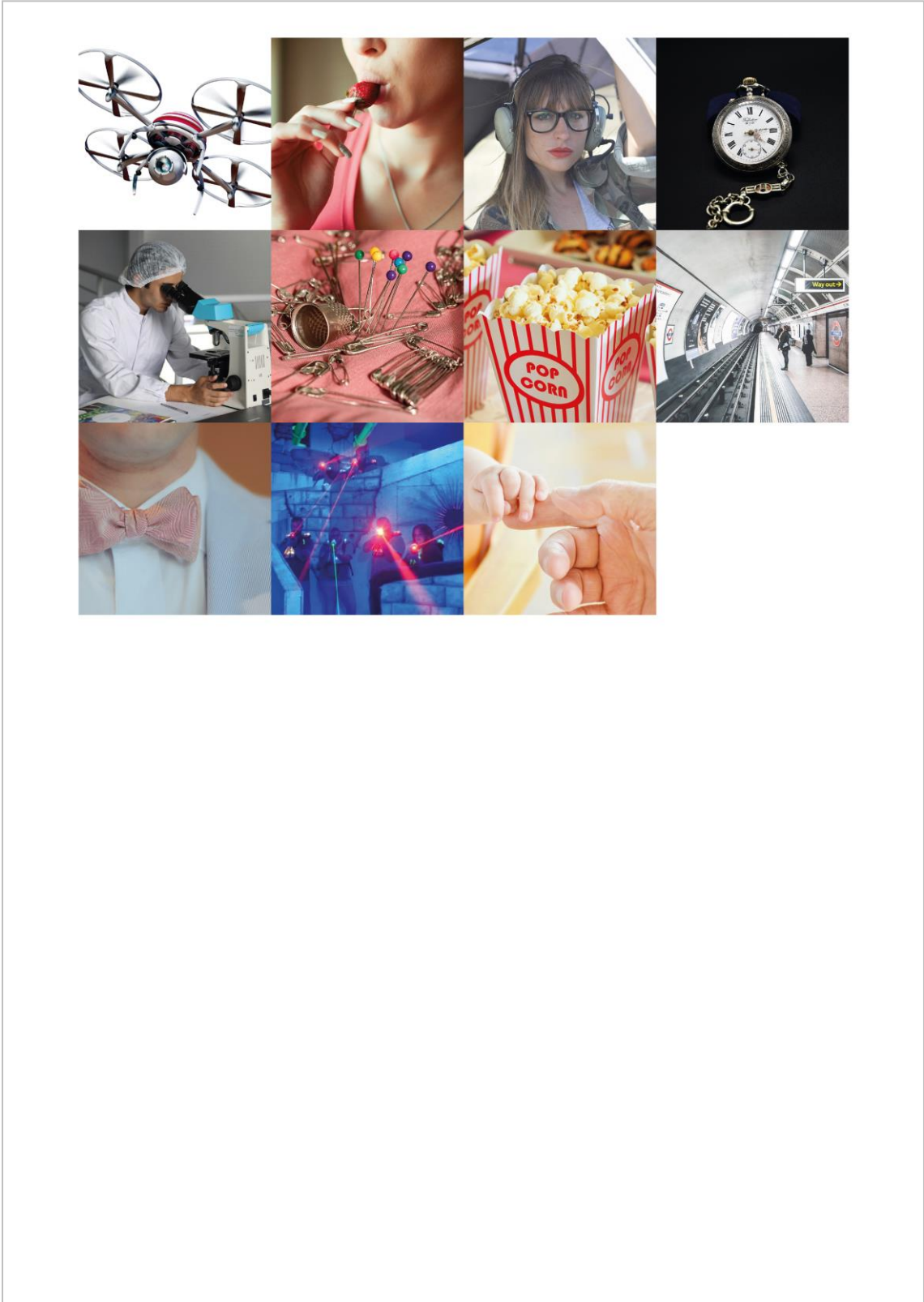




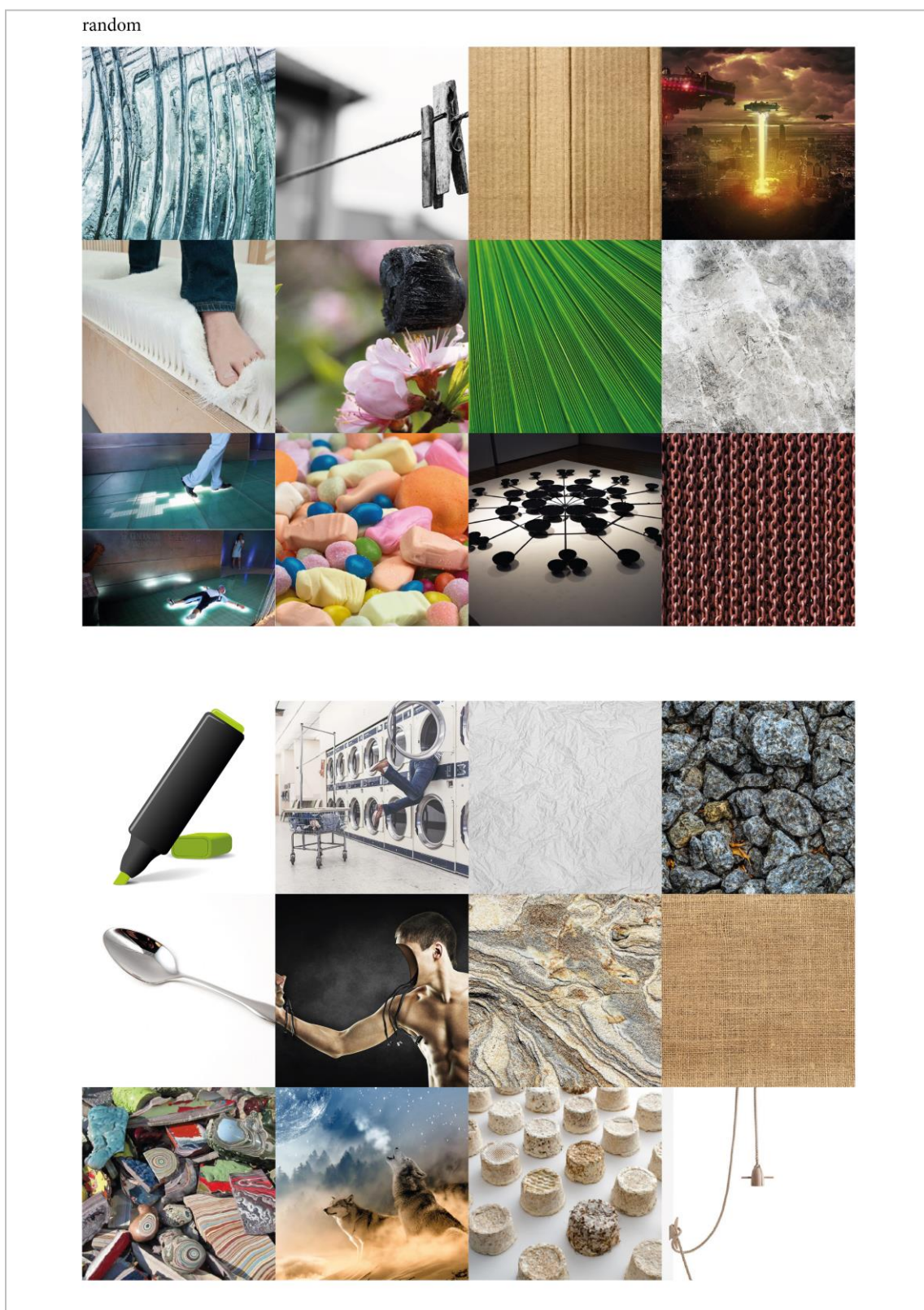




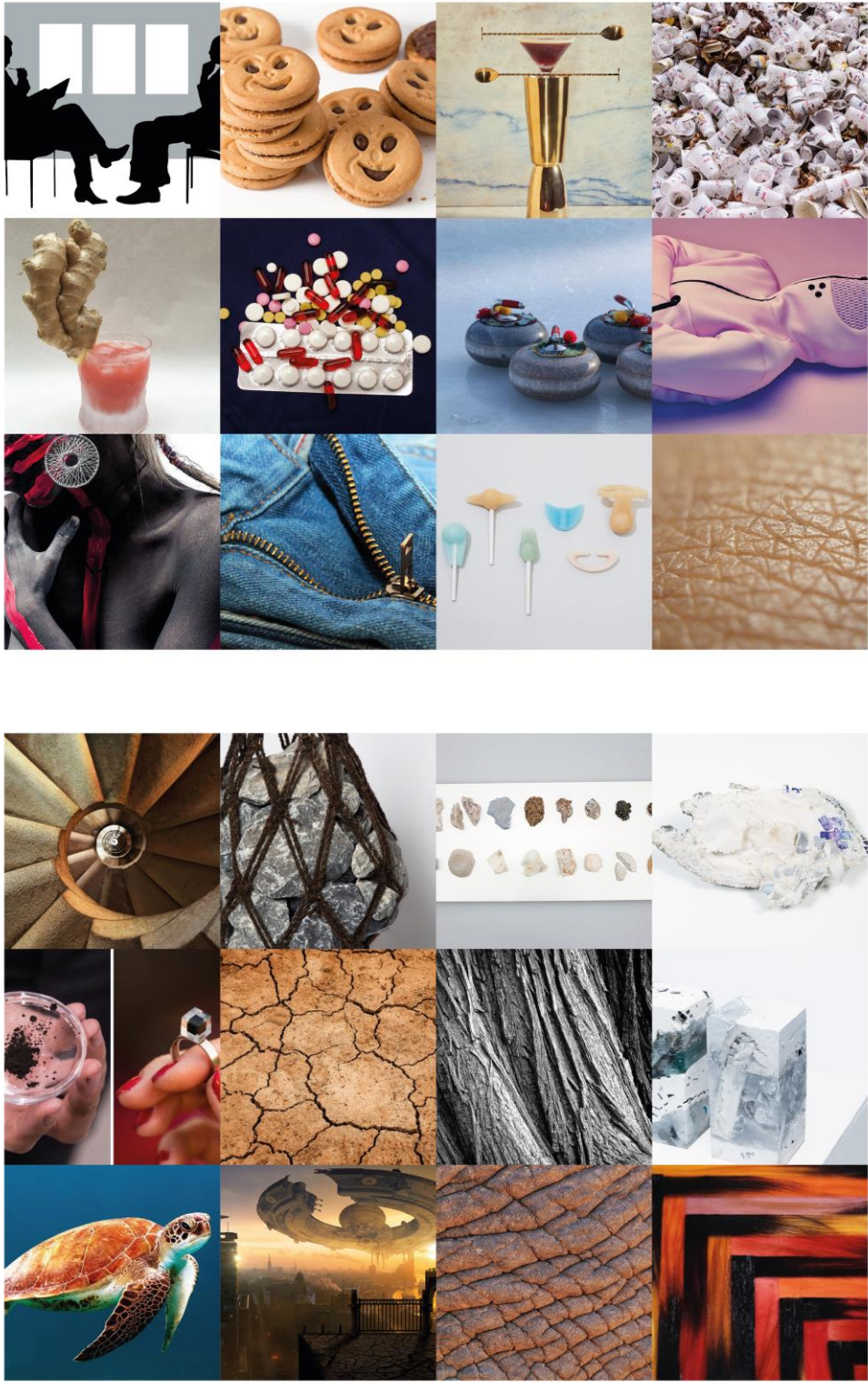







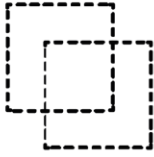

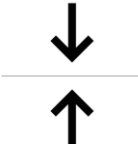



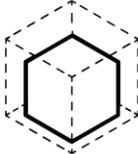














(e) Enganxines amb imatges referents a propietats sensorials i textures (2 pàg. DIN-A4 V CMYK):



random



(f) Enganxines amb icones representatives de les propietats del grafè (2 pàg. DIN-A4 V B/N):

 RESISTÈNCIA	 LLEUGERESA	 FLEXIBILITAT	 TRANSPARÈNCIA
 DURESA	 MÍNIM GRUIX	 DUCTILITAT	 FILTRATGE
 DURABILITAT	 MIDA REDUÏDA	 TENACITAT	 VERSATILITAT
 GRAN SUPERFÍCIE	 HIDROFÒBIA	 CONDUCTIVITAT ELÈCTRICA	 CONDUCTIVITAT TÈRMICA
 BARRERA ALS GASOS	 IMPERMEABILITAT	 BIOCOMPATIBILITAT	 RESISTÈNCIA QUÍMICA
 PROPIETATS ELECTRÒNIQUES	 EMMAGATZEMATGE D'INFORMACIÓ	 MATERIAL BASE CARBONI	 EFICIÈNCIA ENERGÈTICA

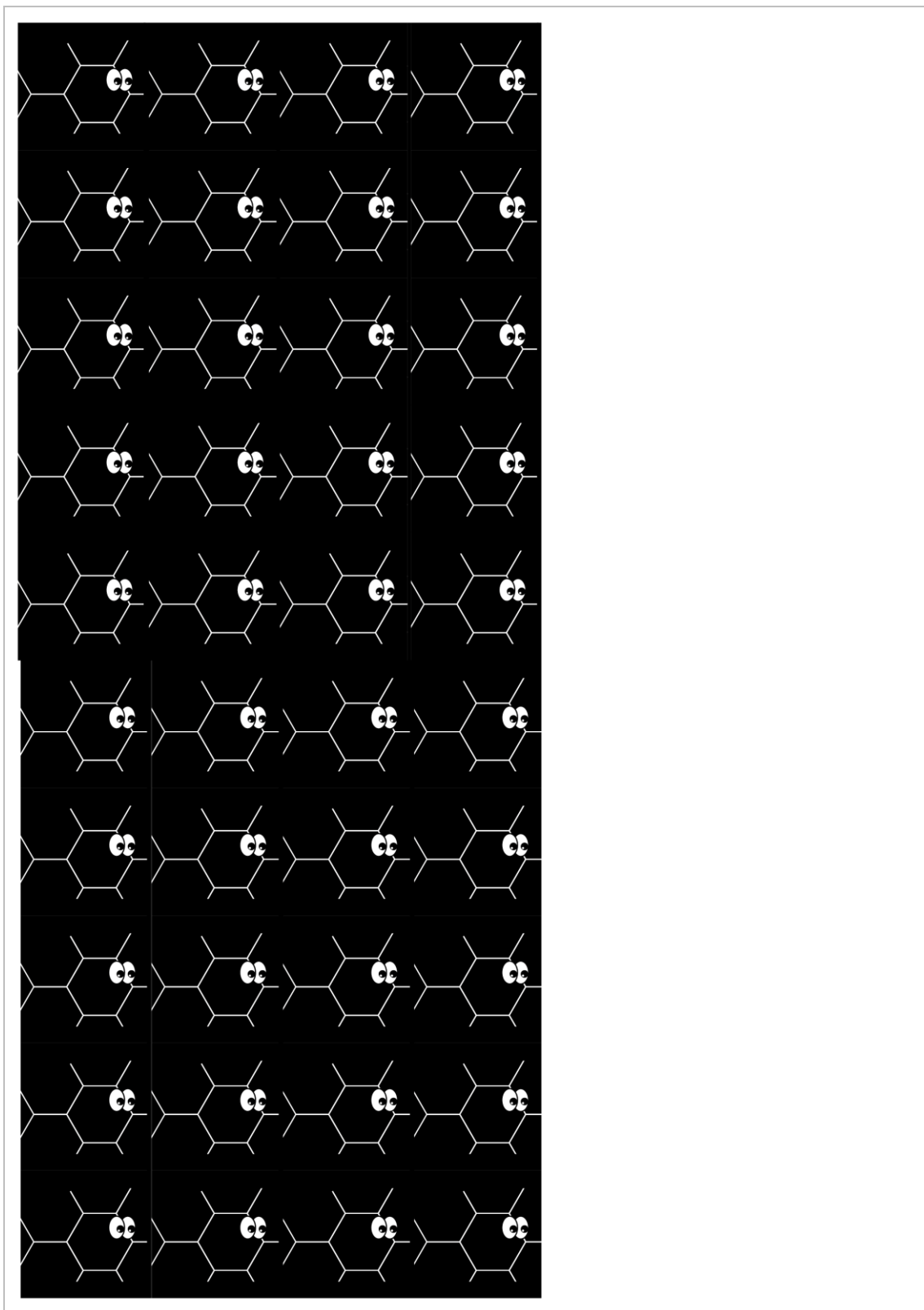


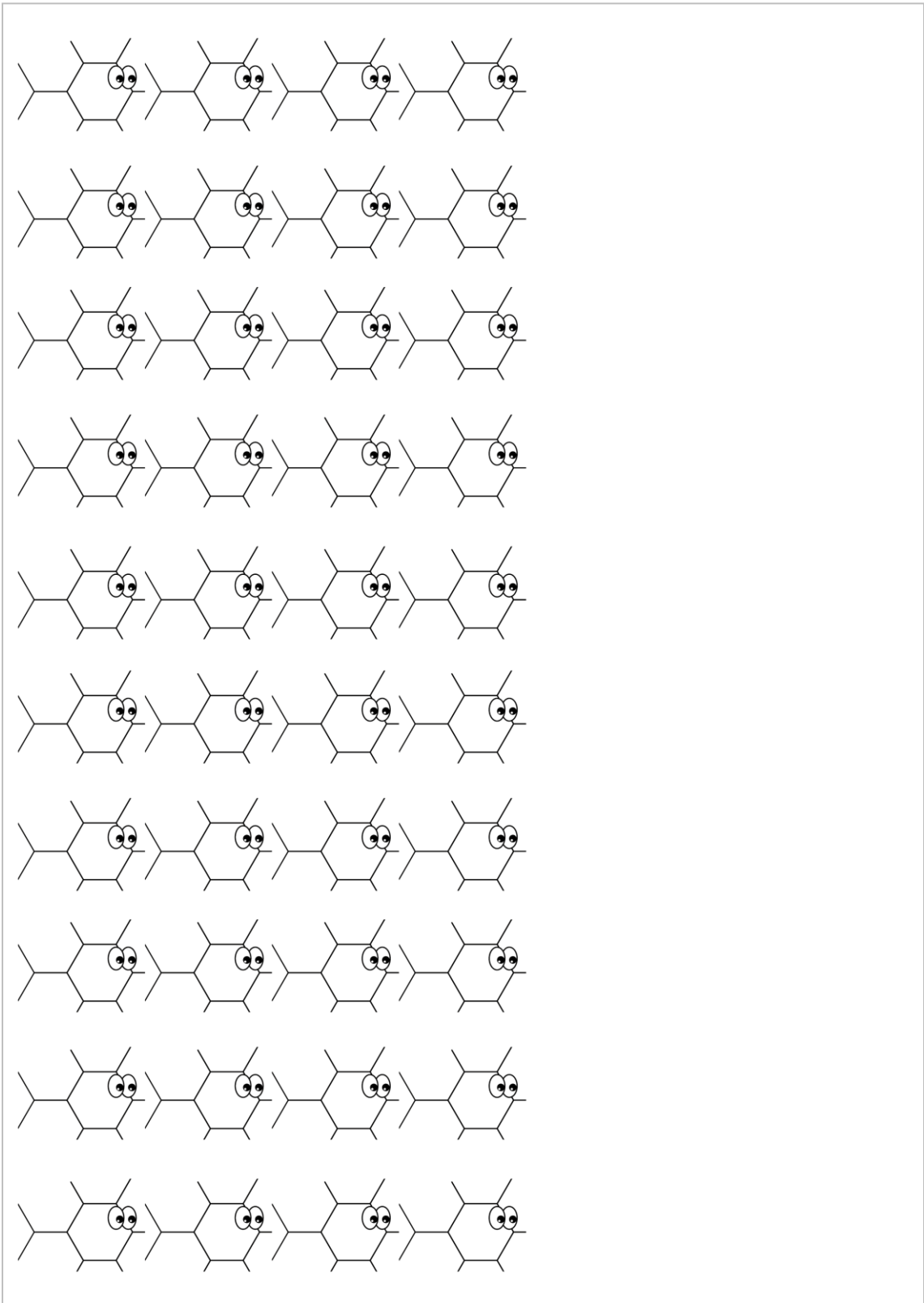
EFFECTE
FOTOELÈCTRIC



RESISTÈNCIA A
LA FATIGA

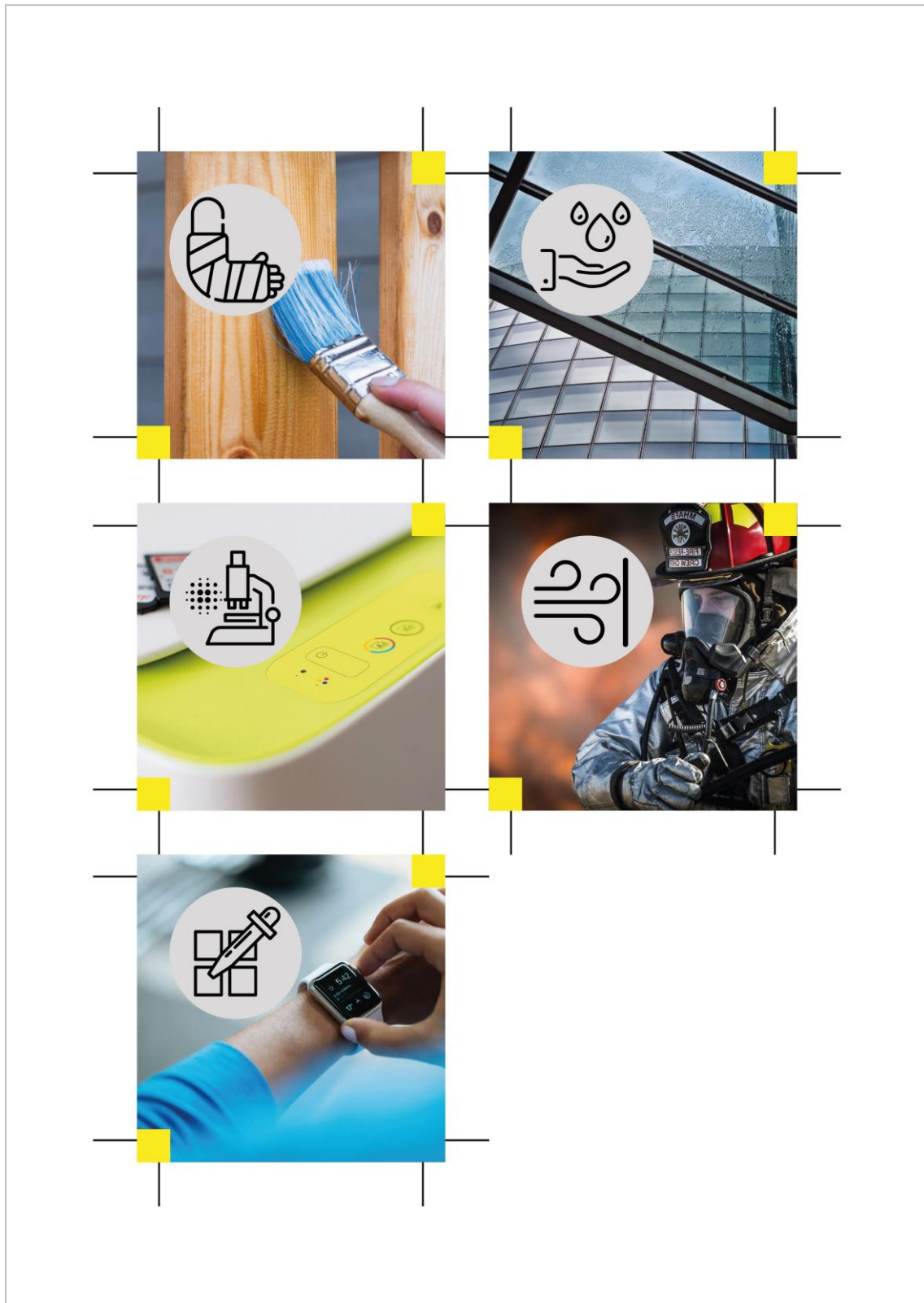
(g) Enganxines amb l'ícona que defineix la imatge gràfica de les sessions per donar com a record als participants (2 pàg. DIN-A4 V B/N):

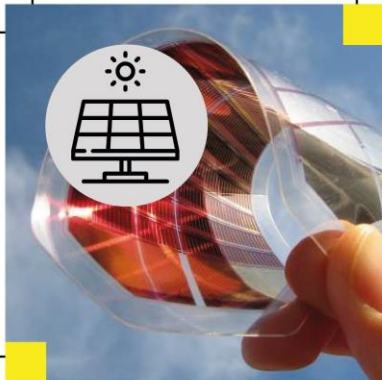
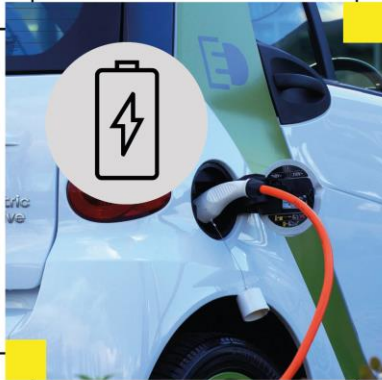




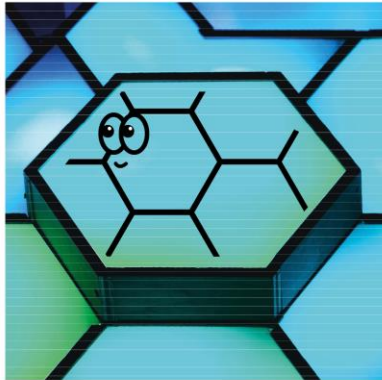
En el cas dels tallers amb estudiants de secundària, es dissenyen tres tipus d'elements gràfics per a la realització dels diferents jocs d'aprenentatge. Són els següents:

(a) Targetes quadrades (3 pàg. "davant" + 1 pàg. "darrere" DIN-A4 V CMYK):

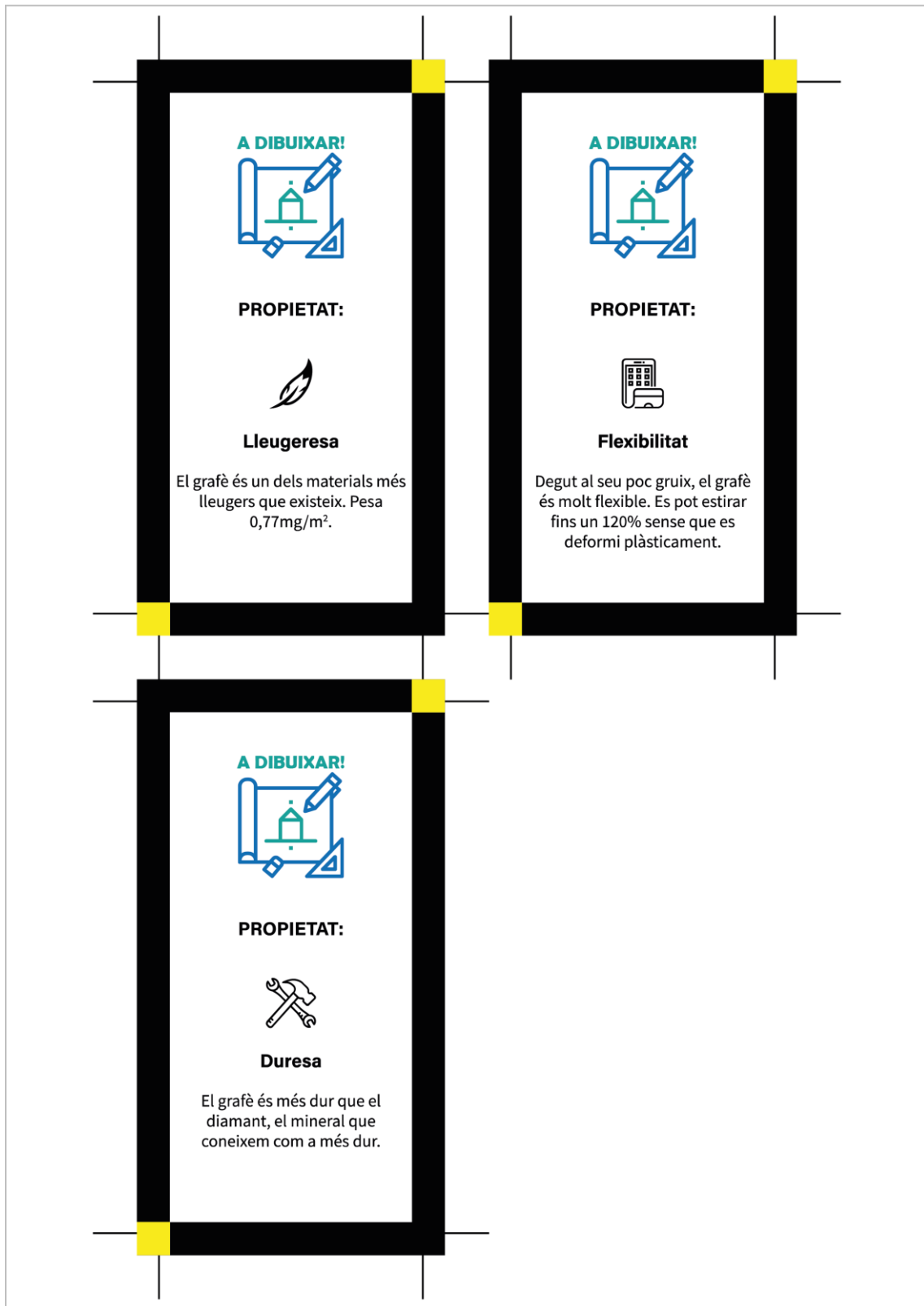








(b) Targetes rectangulars (2 pàg. “davant” + 1 pàg. “darrere” DIN-A4 V CMYK):



A DIBUIXAR!



PROPIETAT:



Resistència mecànica

El grafè és 200 vegades més resistent que l'acer.

A DIBUIXAR!



PROPIETAT:



Conductivitat tèrmica

El grafè és el millor conductor de temperatura que existeix.

A DIBUIXAR!

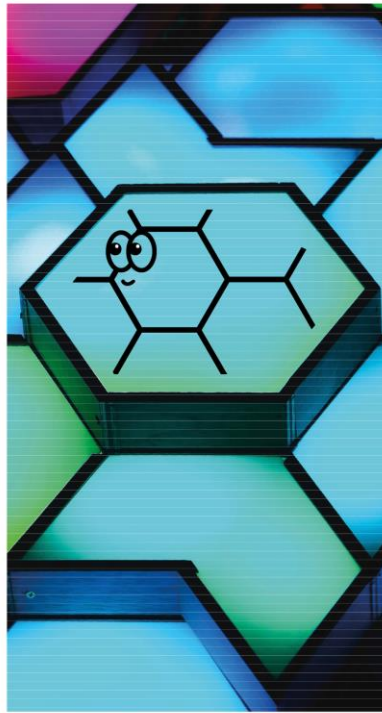
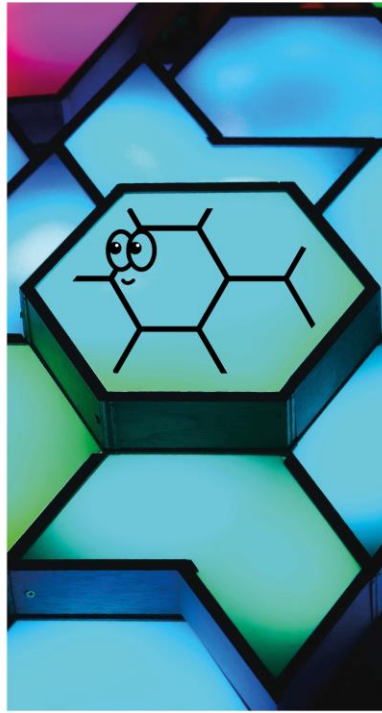
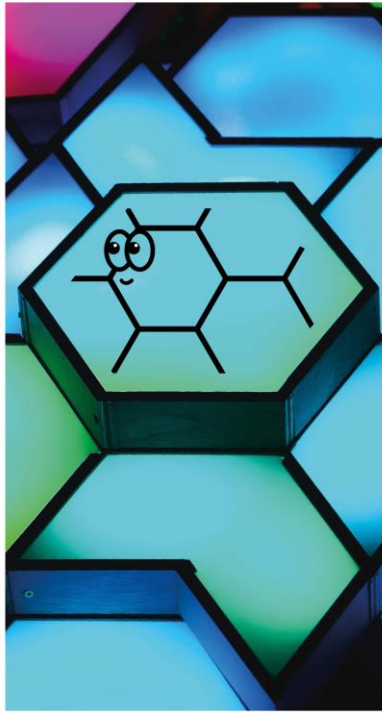


PROPIETAT:

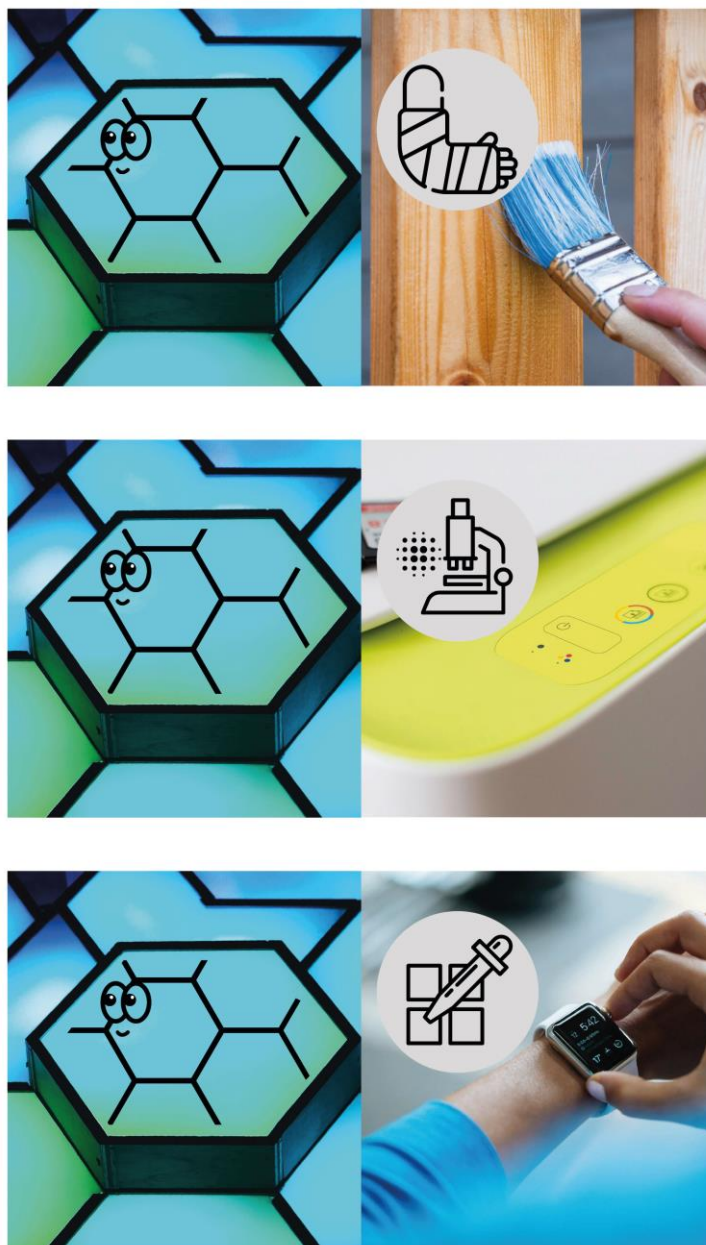


Transparència

El grafè és altament transparent. Deixa passar el 92% de la llum a través seu.



(c) Llibrets informatius (5 pàg. “fora” + 5 pàg. “dins” DIN-A4 V CMYK):













PROPIETAT:
Auto-reparació

El grafè és capaç de reparar els seus propis danys.



APLICACIÓ:
Recobriments protector

Es pot barrejar amb pintures i vernissos per poder-lo aplicar amb pinzell sobre tot tipus de superfícies.



PROPIETAT:
Escala reduïda

El grafè és un material que es troba a l'escala nano. Per tant, és tan petit que ni tan sols el podem veure a escala real.



APLICACIÓ:
Tinta imprimible

De tan petit que és, es pot aplicar a tintes d'impresora i fer circuits impresos que condueixin l'electricitat.



PROPIETAT:
Superfície modificable

La superfície del grafè es pot modificar químicament per aconseguir diferents propietats.



APLICACIÓ:
Sensor corporal

Aquestes modificacions permeten fer sensors que detectin la pressió sanguínia i altres paràmetres mèdics.



PROPIETAT:
Hidrofòbia

El grafè no només és impermeable, sinó que a més a més repel·leix l'aigua.



APLICACIÓ:
Recobriments d'auto-neteja

La hidrofòbia permet fer recobriments transparents que netegin els vidres dels edificis quan plou.



PROPIETAT:
Barrera als gasos

El grafè és impermeable a tots els gasos de l'atmosfera. La seva superfície es pot modificar per deixar passar alguns gasos.



APLICACIÓ:
Filtre d'aire per bombers

Aquesta propietat permet fer filtres d'aire. Aquests filtres es poden aplicar en màscares per respirar en incendis.



PROPIETAT:
Conductivitat tèrmica

El grafè és el millor conductor de temperatura que existeix.



APLICACIÓ:
Matalàs amb control tèrmic

Es poden fabricar matalassos amb grafè que millorin el control de temperatura del cos.



PROPIETAT:
Emmagatzematge d'energia

El grafè és molt bon conductor d'electricitat i alhora permet emmagatzemar energia.



APLICACIÓ:
Bateria de cotxe elèctric

Les bateries dels cotxes elèctrics poden arribar a ser cinc vegades més eficients que les actuals de liti, arribant al 98% d'eficiència.



PROPIETAT:
Efecte fotoelèctric

El grafè té la propietat de convertir la llum ("foto-") en electricitat ("-elèctric").



APLICACIÓ:
Placa fotovoltaica flexible

Es poden fer plaques fotovoltaïques flexibles, per integrar-les sobre teixits i/o superfícies corbades.



PROPIETAT:
Lleugeresa

El grafè és un dels materials més lleugers que existeix. Pesa $0,77\text{mg}/\text{m}^2$.



APLICACIÓ:
Quadre de bicicleta

La lleugeresa del grafè permet fer quadres de bicicleta i peces d'automoció molt més lleugeres i resistents.



PROPIETAT:

Conductivitat elèctrica

El grafè és el millor conductor elèctric que existeix. Pot conduir l'electricitat més ràpid que el coure i l'or.



APLICACIÓ:

Enllumenat de les ciutats

Si tots els circuits elèctrics que il·luminen les ciutats fossin de grafè, serien molt més eficients.



PROPIETAT:

Flexibilitat

Degut al seu poc gruix, el grafè és molt flexible. Es pot estirar fins un 120% sense que es deformi plàsticament.



APLICACIÓ:

Tauleta digital plegable

La seva flexibilitat permet fer tot tipus de dispositius plegables. Amb el grafè podríem portar el nostre ordinador a la butxaca.



PROPIETAT:

Resistència mecànica

El grafè és 200 vegades més resistent que l'acer.



APLICACIÓ:

Raqueta

La seva resistència permet fabricar raquetes i altres elements que rebin molts impactes, com para-xocs.



PROPIETAT:
Transparència

El grafè és altament transparent. Deixa passar el 92% de la llum a través seu.



APLICACIÓ:
Mirall-pantalla

El mirall de la teva habitació podria servir per mirar l'agenda o una sèrie mentre et vesteixes cada matí.



PROPIETAT:
Biocompatibilitat

El grafè està fet de carboni, l'element que compon gran part del nostre cos. Per tant, és compatible amb el cos humà.



APLICACIÓ:
Pròtesi per esportistes

Es poden fer pròtesis amb grafè que siguin lleugeres i resistents; ideals per lesions esportives.



PROPIETAT:
Duresa

El grafè és més dur que el diamant, el mineral que coneixem com a més dur.



APLICACIÓ:
Casc de protecció

Afegint grafè als cascs de protecció que utilitzen els operaris d'obra i maquinària, s'aconseguiria més protecció.

11.6. Kit d'elements Manual Thinking

Manual Thinking és una empresa que desenvolupa i aplica un kit de materials per a la realització de tallers cooperatius fonamentats en la creativitat. Generalment, aquest kit inclou mapes de treball de 100x70 cm i enganxines ovalades i rodones de diferents mides amb el contorn de diversos colors. També es disposa d'un llibre per consultar-ne l'ús i les possibilitats. Seguidament es mostren algunes imatges d'aquests elements:



11.7. Enquestes d'avaluació dels tallers

Model de l'enquesta realitzada als participants dels tallers amb no experts:

Tallers de Creativitat amb Grafè

Aquest és el formulari que m'ajudará a recopilar la informació que necessito sobre els súper tallers que vam compartir el passat mes de juliol.

El formulari consta de 3 blocs principals. El primer és un test sobre el grafè, el segon una valoració de la metodologia emprada i, el tercer, una valoració general de la sessió.

Per mi és molt important tenir aquesta informació, així que us agraeixo plenament el temps que hi dediqueu. Aproximadament us prendrà uns 6-7 minuts completar l'enquesta, així que feu-la en algun moment en què disposeu d'aquest temps. Moltes gràcies de tot cor!

* Obligatòria

Tallers de Creativitat amb Grafè

1. A quina de les sessions vas participar? *

Maqueu només un oval.



Sessió 1 (dj 5/07)



Sessió 2 (dv 6/07)



Sessió 3 (dj 12/07)



Sessió 4 (dv 13/07)

2. Havies assistit algun cop a una activitat similar a aquesta? *

*(Alguna sessió de creativitat amb metodologies participatives sobre un tema científic)
Maqueu només un oval.*

- Sí
 No

3. En cas afirmatiu, explica-la breument

4. Abans de la sessió, havies sentit mai a parlar del grafè? *

(Sense que te n'hagués parlat jo)

Maqueu només un oval.

- Sí
- No

Què has après sobre el grafè?

5. El grafè és un material que trobem a l'escala... *

Maqueu només un oval.

- Femto
- Micro
- Nano
- Pico

6. El grafè és... *

Maqueu només un oval.

- Una nanoestructura (3D)
- Un material bidimensional (2D)
- Una nanofibra (1D)
- Una nanopartícula (0D)

7. El grafè està format d'àtoms de... *

Maqueu només un oval.

- Oxigen
- Hidrògen
- Carboni
- Nitrogen

8. En quines dues formes trobem el carboni de forma macroscòpica a la natura? *

Seleccioneu totes les opcions que corresponguin.

- Diamant
- Granit
- Quars
- Grafit

9. Quin element va fer possible el descobriment del grafè? *

Maqueu només un oval.

- La cinta adhesiva
- El microscopi
- La cinta de cassette
- La lupa

10. Quines de les següents propietats té el grafè? *

Seleccioneu totes les opcions que corresponguin.

- Efecte fotoelèctric
- Resistència
- Aïllament elèctric
- Aïllament tèrmic
- Efecte fotocromic
- Hidrofilia
- Conductivitat tèrmica
- Flexibilitat
- Efecte fotoluminiscent
- Transparència
- Duresa
- Conductivitat elèctrica
- Biocompatibilitat
- Lleugeresa
- Rigidesa
- Opacitat
- Barrera als gasos
- Hidrofòbia

11. Digueu alguna o algunes de les aplicacions que recordeu del grafè (que es possessin com a exemple durant la sessió) *

12. Actualment hi ha productes comercials de grafè al mercat? *

Maqueu només un oval.

- Sí
- No

13. El grafè és estable a temperatura ambient? *

Maqueu només un oval.

- Sí
 No

14. El grafit (material del qual prové el grafè) és un element abundant a l'escorça terrestre? *

Maqueu només un oval.

- Sí
 No

15. Creus que sentirem a parlar del grafè en els propers anys? *

Maqueu només un oval.

- Sí
 No

16. Per què? *

Valora la metodologia

17. Quin creus que era l'objectiu principal del taller? *

18. Creus que aquest objectiu es va complir? *

Maqueu només un oval.

	1	2	3	4	5	
No massa	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Sí, 100%

19. L'estructura de la sessió et va semblar lògica? *

Maqueu només un oval.

	1	2	3	4	5	
No, gens	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Sí, molt

20. Creus que la quantitat de part teòrica i pràctica va ser correcta? *

Maqueu només un oval.

	1	2	3	4	5	
No, estava desequilibrada	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Sí, molt correcta

21. La sessió et va resultar fàcil de seguir? *

Maqueu només un oval.

	1	2	3	4	5	
No, molt difícil	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Sí, molt fàcil

22. En sortir del taller, vas tenir la sensació d'haver adquirit nous coneixements? *

Maqueu només un oval.

	1	2	3	4	5	
No, no vaig aprendre res	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Sí, vaig aprendre molt

23. Creus que el fet de pensar amb les mans et va ajudar a interioritzar els coneixements apresos sobre el grafè? *

Maqueu només un oval.

	1	2	3	4	5	
No, gens	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Sí, molt

24. Creus que les dinàmiques utilitzades et feien estar atent/a en tot moment? *

Maqueu només un oval.

	1	2	3	4	5	
No, desconnectava	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Sí, estava molt atent/a

25. Creus que la facilitadora us donava llibertat a l'hora de treballar? *

Maqueu només un oval.

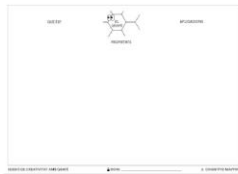
	1	2	3	4	5	
No, gens	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Sí, molta

26. Quina de les metodologies del taller creus que et va ajudar més a interioritzar el contingut teòric de la sessió? *

a. Collage



b. Cognitive Mapping



c. Mind Mapping



d. Creative Toolkit



e. Stakeholders Map



Maqueu només un oval.

- a. Collage
- b. Cognitive mapping
- c. Mind mapping
- d. Creative toolkit
- e. Stakeholders map

27. Quina de les metodologies del taller creus que et va treure més de la teva zona de confort? *

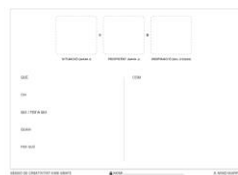
a. Collage



b. Cognitive Mapping



c. Mind Mapping



d. Creative Toolkit



e. Stakeholders Map



Maqueu només un oval.

- a. Collage
- b. Cognitive mapping
- c. Mind mapping
- d. Creative toolkit
- e. Stakeholders map

28. Amb quina de les metodologies del taller vas gaudir més? *

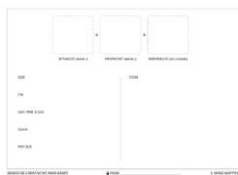
a. Collage



b. Cognitive Mapping



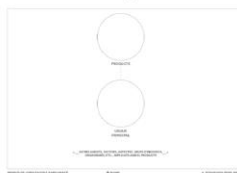
c. Mind Mapping



d. Creative Toolkit



e. Stakeholders Map



Maqueu només un oval.

- a. Collage
- b. Cognitive mapping
- c. Mind mapping
- d. Creative toolkit
- e. Stakeholders map

29. Què és el que més et va agradar de tota la sessió? *

30. Si poguessis canviar alguna cosa (del taller, de les dinàmiques i metodologies, dels temps de treball, etc.), què seria? *

Valora la sessió en conjunt

31. En conjunt, com de satisfet/a estàs amb l'esdeveniment? *

Maqueu només un oval.

1 2 3 4 5

Gens satisfet/a Molt satisfet/a

32. El taller va complir amb les teves expectatives? *

Maqueu només un oval.

	1	2	3	4	5	
No, i ara!	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Si, i tant!

Com valoraries...

33. ...les metodologies emprades? *

Maqueu només un oval.

	1	2	3	4	5
	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

34. ...el temps dedicat a cada part del taller? *

Maqueu només un oval.

	1	2	3	4	5
	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

35. ...la sala de treball? *

Maqueu només un oval.

	1	2	3	4	5
	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

36. ...la tasca de la facilitadora? *

Maqueu només un oval.

	1	2	3	4	5
	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

37. ...el tracte rebut? *

Maqueu només un oval.

	1	2	3	4	5
	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

38. ...el teu grup de treball (predisposició, iniciativa, participació, tolerància, etc.)? *

Maqueu només un oval.

	1	2	3	4	5
	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

39. Creus que aquesta activitat és una bona iniciativa per promoure la transferència de coneixement científic a la societat? *

Maqueu només un oval.

- Sí
 No

40. És una activitat que recomanaries a altres persones? *

Maqueu només un oval.

	1	2	3	4	5	
Ni pensaments	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Sí, sens dubte!

41. Moltes gràcies! Si t'ha quedat alguna cosa al tinter, aquí la pots comentar. Tota suggerència/comentari serà benvingut

Tecnologia de
 Google Forms

Model de l'enquesta realitzada als alumnes en els tallers amb estudiants de secundària:

Enquesta sobre el taller "Grafè a l'Aula"

Classe: 1r d'ESO _____

Edat: _____ anys

Aquesta enquesta és una valoració del taller "Grafè a l'Aula" ☺ . És anònima, així que no escriguis el teu nom!

Llegeix les següents afirmacions i indica amb una creu si hi estàs d'acord, bastant d'acord, bastant en desacord, o en desacord.

++	Hi estic d'acord
+	Bastant d'acord
-	Bastant en desacord
--	En desacord

⇒ Compte! Llegeix bé les frases, algunes estan formulades en negatiu.

→ La "facilitadora" significa la persona que conduïa el taller, és a dir, la Blanca.

☞ Si tens algun dubte, consulta'l amb la professora o professor.

	++	+	-	--
Obtenció de coneixements				
· El taller va ser interessant i útil.				
· Vaig aprendre moltes coses sobre el grafè i els nanomaterials.				
· Alguns conceptes no van quedar gaire clars.				
· A dia d'avui encara recordo la majoria de coses que se'ns van ensenyar.				
· Em sento satisfet/a per haver entès els coneixements que es van donar al taller.				
· Treballar en equip em va ajudar a motivar-me per aprendre.				
· La facilitadora no va adaptar els coneixements al nostre nivell.				

	++	+	-	--
Satisfacció				
· Les dinàmiques van ser animades i divertides.				
· Em sento satisfet/a amb la meva actitud durant l'activitat.				
· La facilitadora va estar contenta amb el meu treball.				
· Vaig gaudir de les diferents dinàmiques que se'ns van proposar.				
· Durant el taller vaig sentir que era capaç de treballar amb conceptes complexos.				
· Em va agradar el format del taller, i el vaig gaudir més que una classe normal.				
· Se'm va fer massa llarg que l'activitat durés dues hores.				

	++	+	-	--
Dificultats				
· Vaig trobar que els continguts eren massa difícils pel meu nivell.				
· Vaig sentir que hi havia discriminació segons si eres nen o nena durant la sessió.				
· Les tasques del taller eren molt difícils.				
· Vaig estar en tensió durant el taller perquè no estic acostumat/da a aquest tipus de dinàmiques.				
· Em va costar entendre què volia la facilitadora de nosaltres en certs moments.				
· Les dinàmiques tenien massa normes i era difícil complir-les.				
· Em vaig sentir perdut/da en el taller perquè tenia massa llibertat a l'hora de treballar.				

	++	+	-	--
<i>Treball en equip</i>				
· Vaig mantenir una bona relació amb els altres integrants del meu equip de treball.				
· Algunes companyes i companys del meu equip no volien participar de les dinàmiques.				
· Durant el taller, vaig treballar amb companyes i companys amb qui mai acostumo a treballar.				
· Alguns/es alumnes no em deixaven fer les coses com a mi m'agrada.				
· Em va agradar que els equips de treball competissin entre ells en algunes dinàmiques.				
· Em va agradar que tots els reptes els assolíssim en grup.				
· El meu grup de treball em va ajudar a entendre els conceptes del taller.				

	++	+	-	--
<i>Tasca de la facilitadora</i>				
· Vaig rebre instruccions clares per dur a terme les meves tasques.				
· Vaig rebre l'ajuda de la facilitadora en tots els moments en què em va fer falta.				
· Vaig tenir una actitud participativa durant el taller perquè la facilitadora ens ho va demanar.				
· La facilitadora ens va encoratjar per participar de la sessió i treure'n profit.				
· Les nenes i els nens participaven de manera equitativa i rebien el mateix tracte per part de la facilitadora.				
· La facilitadora ens feia participar en tot moment de l'activitat.				
· La facilitadora no resolva els dubtes que sorgien durant l'activitat.				

Model de l'enquesta realitzada al professorat en els tallers amb estudiants de secundària:

Enquesta sobre el taller "Gràfic a l'Aula"

Opinió del professorat

Llegeix i valora cada camp amb una puntuació de l'1 al 4. A continuació, comenta amb les teves paraules el que creguis més destacable i/o algun aspecte que et sorprengués o t'agradés de la sessió.

Comenta també quins aspectes canviaries, a fi de millorar el taller per futures ocasions. Els punts a valorar que s'indiquen a cada camp et poden servir com a guia d'aspectes a comentar. No obstant, pots afegir-hi tot el què vulguis.

Les teves respostes seran de gran ajuda! ☺

- | | |
|---|----------------------|
| 1 | Gens satisfactori |
| 2 | Poc satisfactori |
| 3 | Bastant satisfactori |
| 4 | Molt satisfactori |

	1	2	3	4
<i>Obtenció de coneixements</i>				
Punts a valorar: <ul style="list-style-type: none">✓ Adquisició de coneixements sobre el grafè.✓ Adaptació dels continguts a l'edat dels alumnes.✓ El fet d'aprendre jugant va facilitar l'obtenció de coneixements?✓ Com a professor/a, què vas aprendre de la sessió?				
Comentaris: 				

	1	2	3	4
<i>Satisfacció</i>				
Punts a valorar: ✓ Predisposició, actitud i satisfacció dels i de les alumnes. ✓ Autonomia de l'alumne/a, auto-regulació i auto-motivació. ✓ Confort, ergonomia de l'aula, moviment. ✓ Format de l'activitat.				
Comentaris:				

	1	2	3	4
<i>Dificultats</i>				
Punts a valorar: ✓ Dificultats associades al format de l'activitat i/o a la mida dels grups de treball. ✓ Soroll, tensions i distraccions. ✓ Participació en les diferents dinàmiques, tothom participava igual? ✓ Hi va haver dificultats per entendre els continguts?				
Comentaris:				

	1	2	3	4
<i>Treball en equip</i>				
Punts a valorar: ✓ Competitivitat i cooperativitat: punts positius i negatius. ✓ Afectivitat, interacció social i relació amb la resta de companys. ✓ Rols dels i de les alumnes. ✓ Suport entre membres dels equips. Creus que el taller és inclusiu?				
Comentaris:				

	1	2	3	4
<i>Tasca de la facilitadora</i>				
Punts a valorar: ✓ Actitud i predisposició de la facilitadora. ✓ Claredat en l'explicació dels continguts teòrics i en la resolució de dubtes. ✓ Motivació i tracte envers els alumnes. ✓ Com valora el fet que fes el taller una persona externa al col·legi?				
Comentaris:				