

GRAFENO

¿AMENAZA O COMPLEMENTO?

INFORME DE INTELIGENCIA TECNOLÓGICA

CORFO

GERENCIA DE CAPACIDADES TECNOLÓGICAS

Jaime Ramírez - Ejecutivo de Inteligencia Tecnológica

Mauro Tesei - Ejecutivo de Desarrollo Tecnológico

Diciembre de 2015



**Gobierno
de Chile**

gob.cl



TEMARIO

- I. Introducción
- II. Metodología
- III. Grafeno: ¿qué es y para qué sirve?
- IV. Mercado
- V. Revisión de las patentes
- VI. Revisión de las publicaciones científicas
- VII. Conclusiones Preliminares



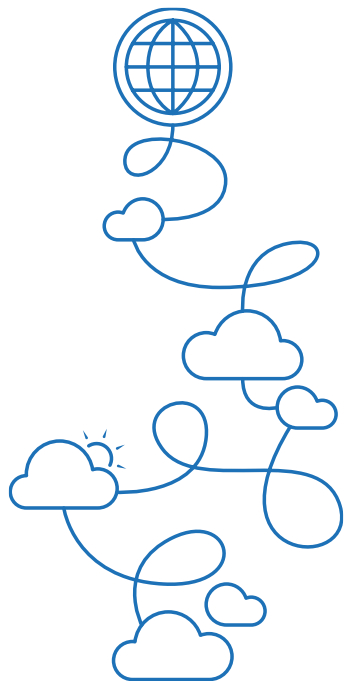
I. Introducción

Antecedentes Generales

Si bien el grafeno se conoce y se ha descrito desde hace más de medio siglo, no es sino hasta el año 2004 que toma mayor notoriedad cuando los científicos de la Universidad de Manchester, Andre Geim y Konstantin Novoselov, logran aislar y fabricar el material en su laboratorio a partir de grafito. El año 2010 recibirían el Nobel de Física por su trabajo.

Las propiedades del grafeno, particularmente su alta conductividad eléctrica y térmica entre tantas otras, han hecho que se generen grandes expectativas sobre su potencial uso en diferentes ámbitos, incluyendo su capacidad para reemplazar diversos materiales, entre ellos al cobre.

Objetivo General



Entregar una mirada general sobre la situación actual de desarrollo tecnológico e investigación en grafeno, levantando información que permita identificar los principales actores a nivel mundial que trabajan en la materia, sus focos de I+D, empresas, avances científicos y tendencias, entre otros, que permitan orientar decisiones de política pública y programas de I+D+i pertinentes para el país.



II. Metodología

Metodología (1/2)

1. Foco

El presente informe ha sido desarrollado para entregar una **mirada general sobre el grafeno**, sus características principales y situación actual, ayudando a identificar su alcance, avances tecnológicos, actores en I+D+i y áreas de aplicación, entre otros.

2. Fuentes de información

Las fuentes de información principales utilizadas en este informe corresponden a **bases de datos tecnológicas y científicas**, como lo son la base de datos de patentes de EPO*, que cubre más de 90 países y se actualiza semanalmente, y la plataforma científica de ISI Web of Science* que facilita el acceso a un conjunto de bases de datos bibliográficas y otros recursos que abarcan todos los campos del conocimiento académico. Adicionalmente, se realizó una revisión de **fuentes abiertas** (mercado, empresas, organismos internacionales y portales especializados,) así como la revisión de **documentos oficiales y técnicos**.

3. Estrategias de búsqueda

Se llevó a cabo una búsqueda general de patentes y literatura científica para el período 2005 a 2015 (hasta el mes de abril inclusive), utilizando la palabra clave “*graphene*”. En el caso de las patentes, la búsqueda se orientó fundamentalmente a través de títulos y claims, mientras que en literatura científica se utilizaron los campos título y abstract.

*European Patent Office www.epo.org

* www.webofknowledge.com

Metodología (2/2)

4. Filtro y selección de resultados

Los filtros se realizaron fundamentalmente a través del foco, uso de campos específicos y rangos de años (2005 – 2015). En posteriores trabajos se puede hacer una bajada a diferentes usos asociados al grafeno en, por ejemplo, electrónica, tratamiento de agua, polímeros, etc. En este sentido se avanzó además en vinculaciones grafeno-cobre que no están reflejadas en este informe.

5. Análisis de información

Los resultados fueron analizados por la Unidad de Desarrollo e Inteligencia Tecnológica de CORFO, con la participación de Mauro Tesei, Doctor en Física y ejecutivo de programas tecnológicos, y Jaime Ramírez, ejecutivo de inteligencia tecnológica, especialista en análisis de información científica y tecnológica.

6. Entrevista a expertos

En esta fase inicial no se realizaron entrevistas directas a expertos, pero si se llevó a cabo un trabajo de identificación de los mismos a nivel mundial. No obstante, se analizaron diversas entrevistas, opiniones y papers de algunos de los mayores especialistas en la materia en el mundo. Una segunda fase contempla una serie de entrevistas a importantes expertos mundiales identificados en este trabajo.



III. ¿Grafeno: qué es y para qué sirve?

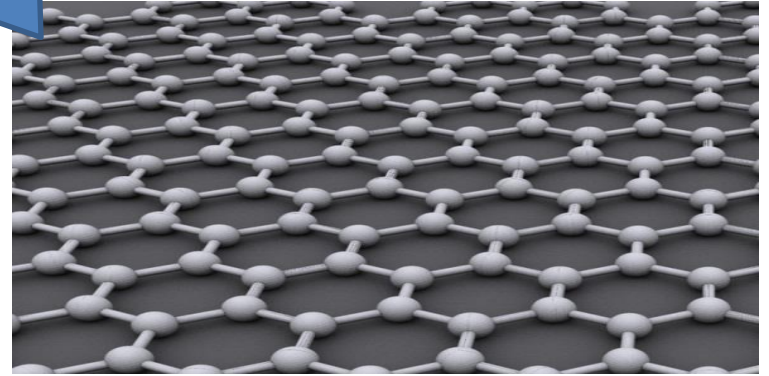


GRAFITO



*Estructura da propiedades
físicas, químicas y bioquímicas*

GRAFENO



Material **sintético**:

- espesor de 1 átomo
- estructura muy regular de panal de abejas
- sólo átomos de carbono

Propiedades*	COBRE	GRAFENO	GRAFENO vs COBRE
Densidad de corriente máxima (depende de la estructura) [A/cm ²]	3500 (cable diam.4mm)	10 ⁸ (en nano cintas)	x 100'000
Conductividad eléctrica [S/m]	5,95 x 10 ⁷	10 ⁸ (la más alta con temperatura ambiente)	+68%
Movilidad cargas eléctricas [m ² /Vs]	4x10 ⁻³	> 5	x 1000
Velocidad cargas eléctricas [m/s]	<< 1	10 ⁶ (~1/300 velocidad de la luz)	x 100'000 y más
Densidad [kg/m ³]	8960	2260 (grafito)	(grafito) 4x más ligero
Tensión de rotura [MPa]	220	130'000	x 1000
Modulo elasticidad [GPa]	110	1000	x 10
Conductividad térmica [W/mK]	400	5000	x 10
Toxicidad Valor umbral [mg/L]	En agua corriente: 2 Consumo global diario: 10	Efectos tóxicos en ratones: 1-10	Acumulación tóxica de grafeno en pulmón, hígado, bazo (ratones)

*Valores con temperatura ambiente - Fuentes en próxima lámina.

Propiedades adicionales únicas

- **ópticas** (transparencia, alta conversión fotovoltaica...)
- **magnéticas** (inerte)
- **físico-químicas** (alta compatibilidad para crear compuestos nuevos)
- **metrológicas** (material de referencia en el área de la metrología eléctrica)
- ...



En general, estas **propiedades intrínsecas** del grafeno resultan disminuidas cuando se combina con otros materiales para crear nuevos dispositivos.

Fabricación del grafeno – Los principios

2003 – Primera *elaboración* en laboratorio
Láminas desde grafito utilizando cinta adhesiva

Pequeñas cantidades de copos mm^2



Exfoliación
→
Láminas



- *Top-down*: **Exfoliación** de grafito
 - mecánica = **la mejor calidad, la menor cantidad**
 - química = gran cantidad, baja calidad

- *Bottom-up*: **Sintetizar por crecimiento epitaxial**
Depositar de manera controlada átomos de carbón sobre sustrato

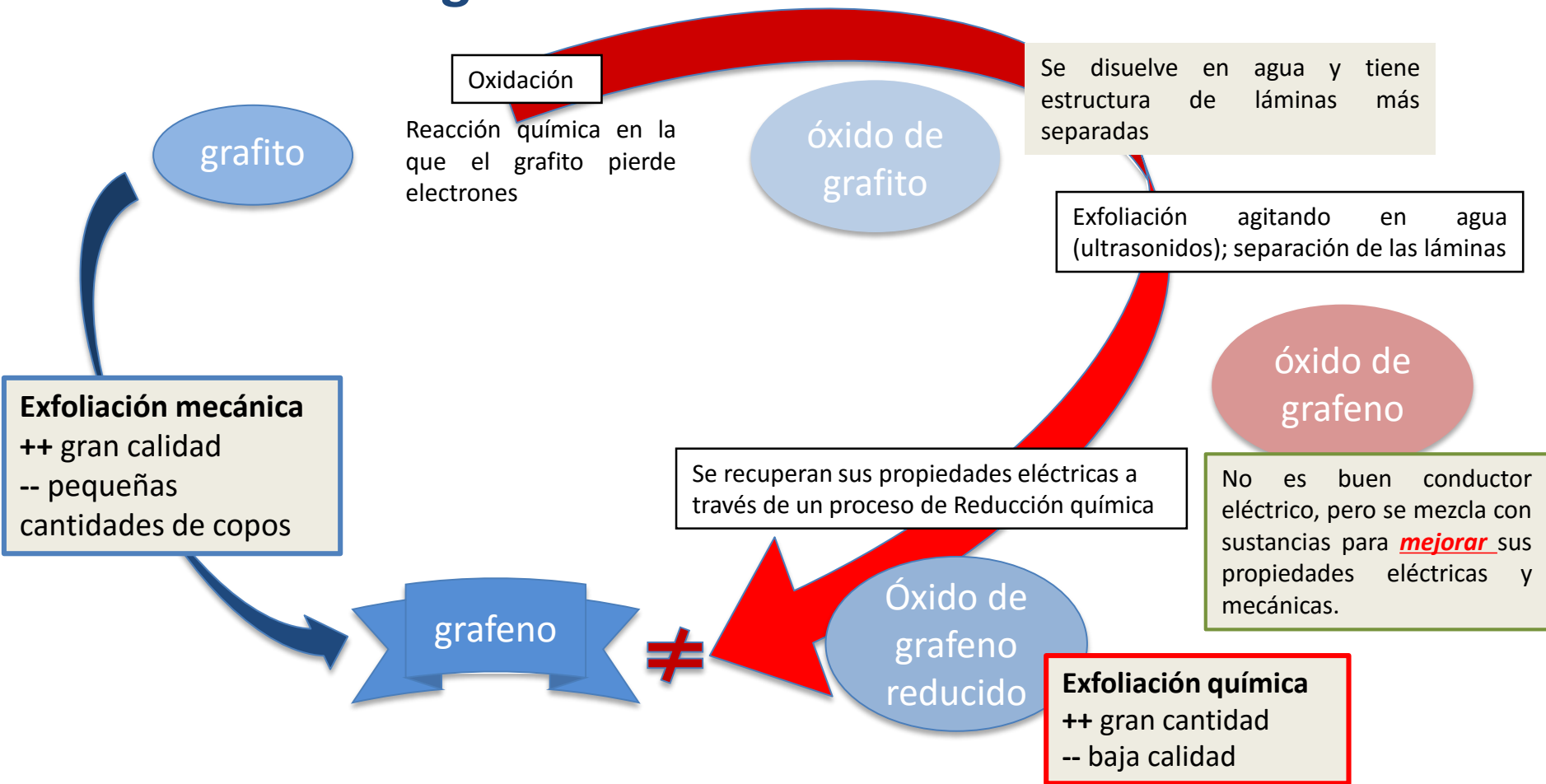
Mayor cantidad... calidad



Laboratorio crecimiento epitaxial



Fabricación del grafeno – exfoliación



Fabricación del grafeno – epitaxial

Deposición química de vapor (CVD en inglés) → 2014 muy complejo y poco eficiente

CVD + metano + **cobre** = grafeno

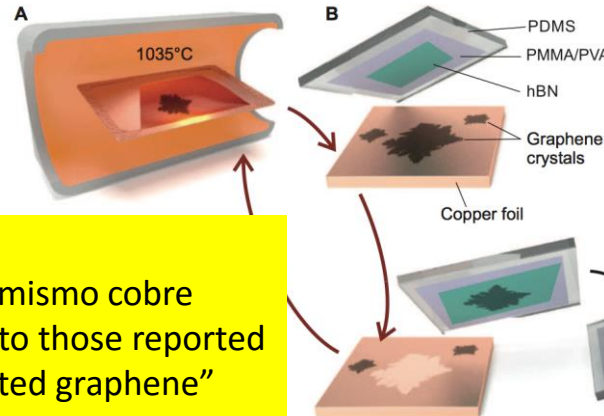
Boyd et al., 18 de marzo 2015



Nueva «receta» más sencilla – económica – rápida
PERO... propiedades **debajo de las expectativas**

“The commercially-available copper we used in our process retails for around one dollar per square metre, compared to around \$115 for a similar amount of the copper currently used in graphene production.”

Polat et al., 18 de Noviembre 2015



L. Banszerus et al., 31 de julio 2015

Baja la contaminación + re-usa el mismo cobre
“[...]electronic properties **comparable** to those reported for similar devices based on exfoliated graphene”

NEXT



Aplicaciones potenciales del grafeno

– propuestas de desarrollo a través de una producción de masa –

80% de la demanda mundial de cobre se destina a usos electrónicos y sistemas de potencia de baja tensión.

Electrónica

- Circuitos integrados (nano procesadores, transistores hasta 300GHz – IBM)
- Electrónica flexible, sensores (proceso de fabricación necesita cobre)
- ... no sustituye el silicio, necesita elaboración

Energía

- Celdas solares flexibles (el silicio no lo es)
- Conversión de luz en electricidad
- Transporte eléctrico
- Almacenamiento

Medio ambiente

Depuración y desalinización de aguas - bactericida

Materiales

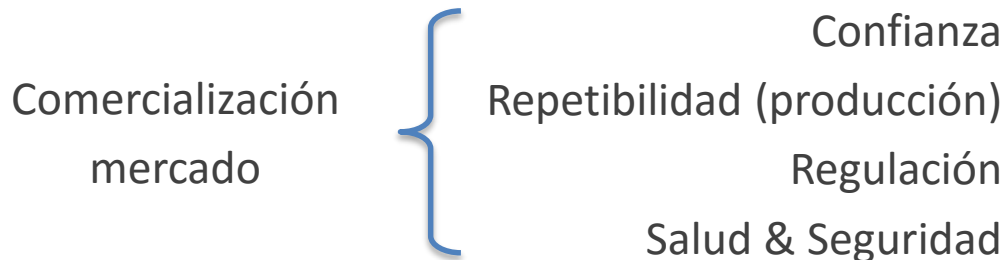
- Textiles, membranas, fibras, papel
- Sustitutos del acero y aluminio (área mecánica)

Comunicaciones

Redes – Internet – Telefonía... transporte de información cientos de veces más rápido que en fibras ópticas

Estandarización de nueva Tecnología

No todo el grafeno es grafeno



Calidad – Normas – Capacidades de medición
(*metrología*)

Transparencia – Comparación de materiales
Competencia (producción)



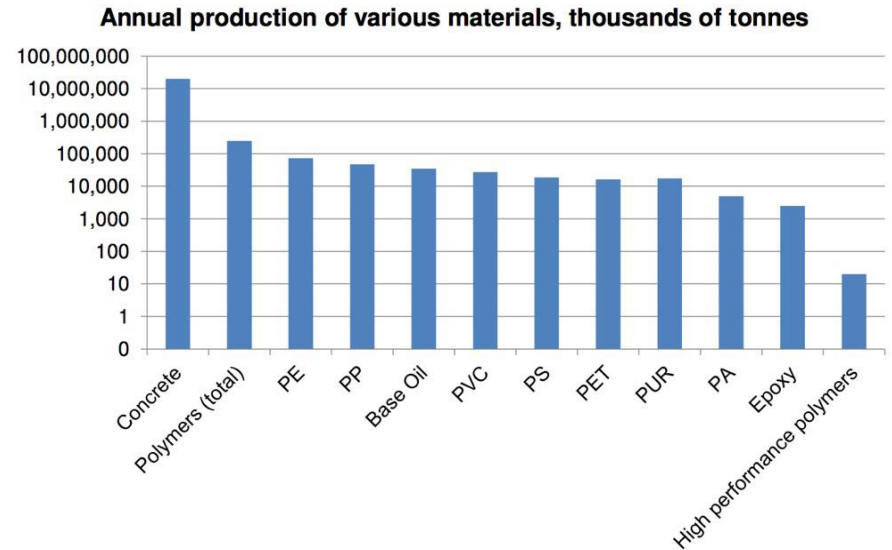
IV. Mercado

Mercado

- Tamaño estimado de mercado al año 2012 era de **US\$ 10 MM** apróx.
- Tamaño actual bordearía los **US\$ 120 MM** apróx. (Demanda viene fundamentalmente de **centros de I+D**).
- Estimación de **US\$ 200 MM** al 2018, y **US\$ 1bn** en 2023.

- Mientras el mundo pone su atención en futuras aplicaciones 'hi-tech', el principal driver de producción y consumo masivo de grafeno **a corto plazo** es como **aditivo**.

- Pequeñas cantidades de grafeno agregadas en los materiales pueden otorgar incrementos importantes en su fuerza y/o conductividad permitiendo más resistencia y menos peso (más eficiencia) en los productos y nuevos tipos de materiales.



Principales materiales industriales con potencial de grafeno*

* Fuentes: Fullerex Report for Talga 2014. / The Investors' Guide to Graphene. Far East Capital 2015. / Revisión de papers y entrevistas.

Mercado con mayor potencial

Tintas conductoras / Etiquetas RFID US\$ 3B

Reemplaza el carbón negro, la plata y el cobre utilizados actualmente en tintas conductoras de rápido crecimiento en dispositivos del "Internet de las cosas", así como en etiquetas RFID.

Electrónica / pantallas flexibles US\$ 16B

La conductividad, transparencia y resistencia del grafeno permiten pantallas flexibles/curvas y busca reemplazar el uso de ITO (Indium Tin Oxide) en los principales tipos de pantallas de visualización.

Materiales de impresión 3D US\$ 3B

Aditivo para plásticos/materiales imprimibles en 3D para fabricar estructuras conductoras utilizadas en baterías o aumentar la fuerza para la impresión de calidad en productos para el hogar, por ejemplo, Lego.

Compuestos livianos US\$ 20B

Agregado a materiales compuestos de fibra de carbono para aumentar fuerza y disminuir peso y emisiones.

Polímeros y Materiales US\$ 567B

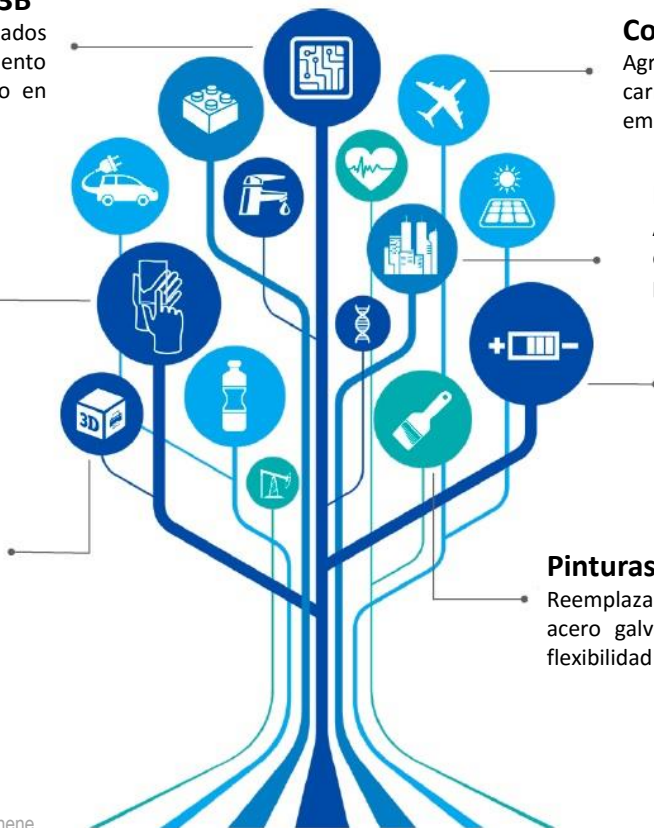
Aditivo para aumentar la fuerza y disminuir la permeabilidad de los plásticos para aumentar la vida útil de los alimentos, por ejemplo, botellas de PET, productos envasados.

Almacenamiento de energía US\$ 62B

Agregado o reemplazando al grafito esférico en las actuales baterías de Li-ion y otras baterías para aumentar el rendimiento y rango en automóviles, y la capacidad de almacenamiento de energía fuera de la red.

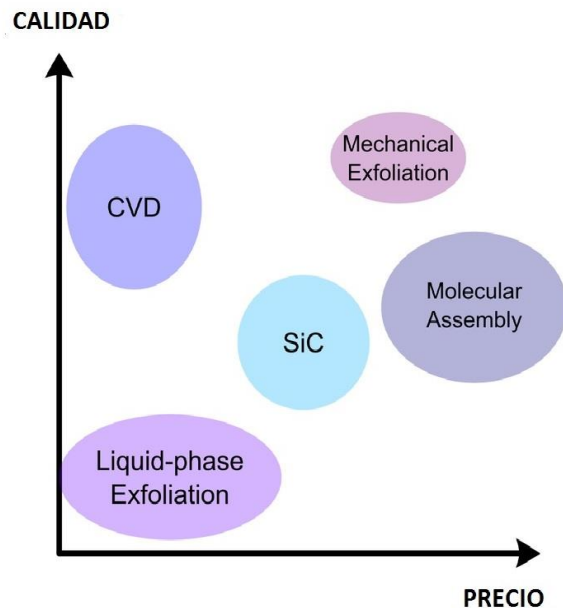
Pinturas / Revestimientos / Acero galvanizado \$ 53B

Reemplaza el zinc y cromo en las pinturas resistentes a la corrosión. En acero galvanizado aporta una mayor resistencia a la corrosión, la flexibilidad y la longevidad.



Precio

- Los precios indicativos de proveedores están en el orden de **UD\$ 300/g de óxido de grafeno de una sola capa y US\$ 112 por 250 ml de óxido de grafeno**, ninguno de estos se ve afectado por el volumen.
- Hay en el mercado **diferentes tipos de grafeno** dependiendo fundamentalmente de **3 factores**:
 - El método de producción utilizado
 - La fuente de la materia prima
 - El método utilizado para estabilizar el producto
- Existe concordancia respecto a que una producción de masa para la entrada al mercado requiere al menos **dos condiciones de base**:
 - Contar con una **masa crítica adecuada de proveedores** comerciales capaces de generar un mercado competitivo.
 - Establecer un sistema de **acreditación y normas** que faciliten la **comparación de las especificaciones y calidad** de los productos de grafeno.



Diferentes tipos de grafeno: calidad sobre precio



V. Revisión de las patentes

Grafeno hoy

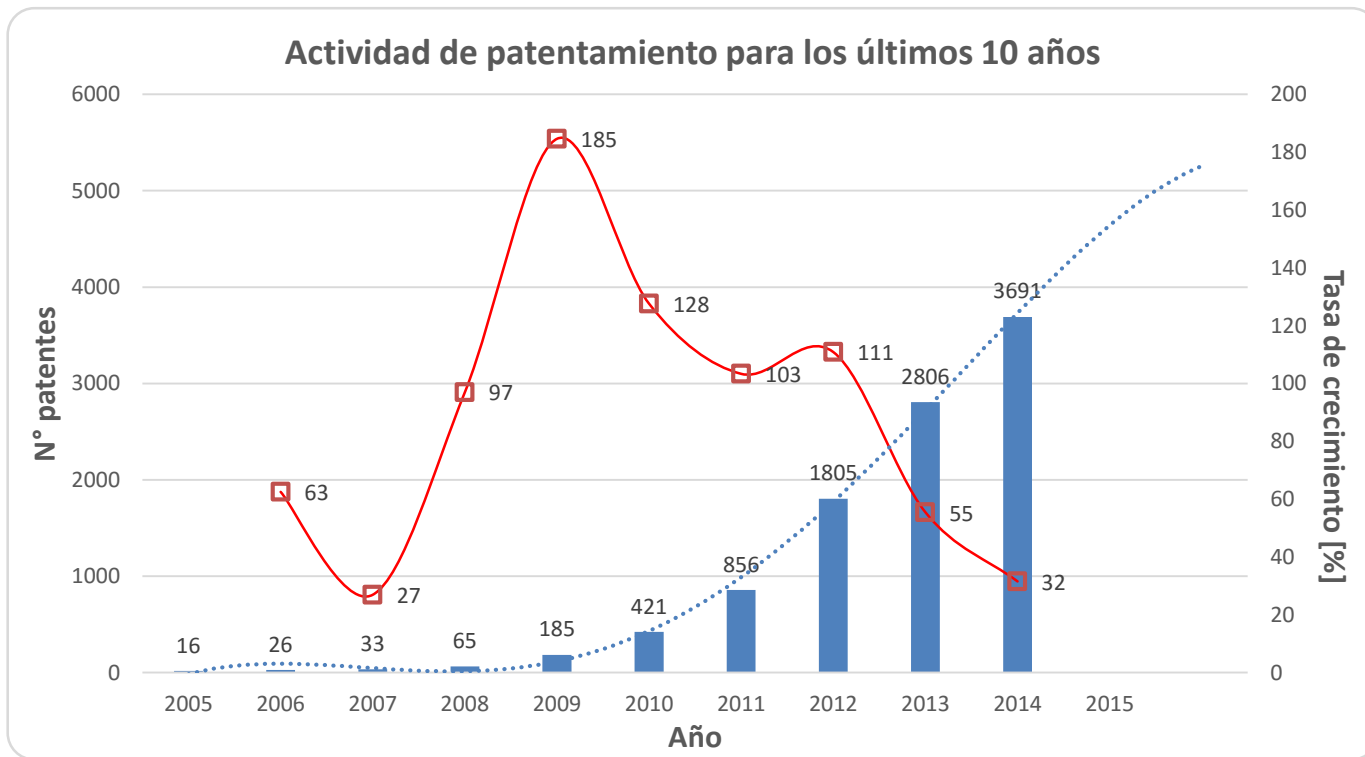
	MUNDO	CHILE
Publicaciones científicas	40.763	61
Centros / Universidades	3.243	11
Investigadores	> 25.000	< 70
Patentes	10.281	1
Empresas	> 2.400	0
Inversión pública	> USD 3b	?

Abengoa,
2015.

(*)

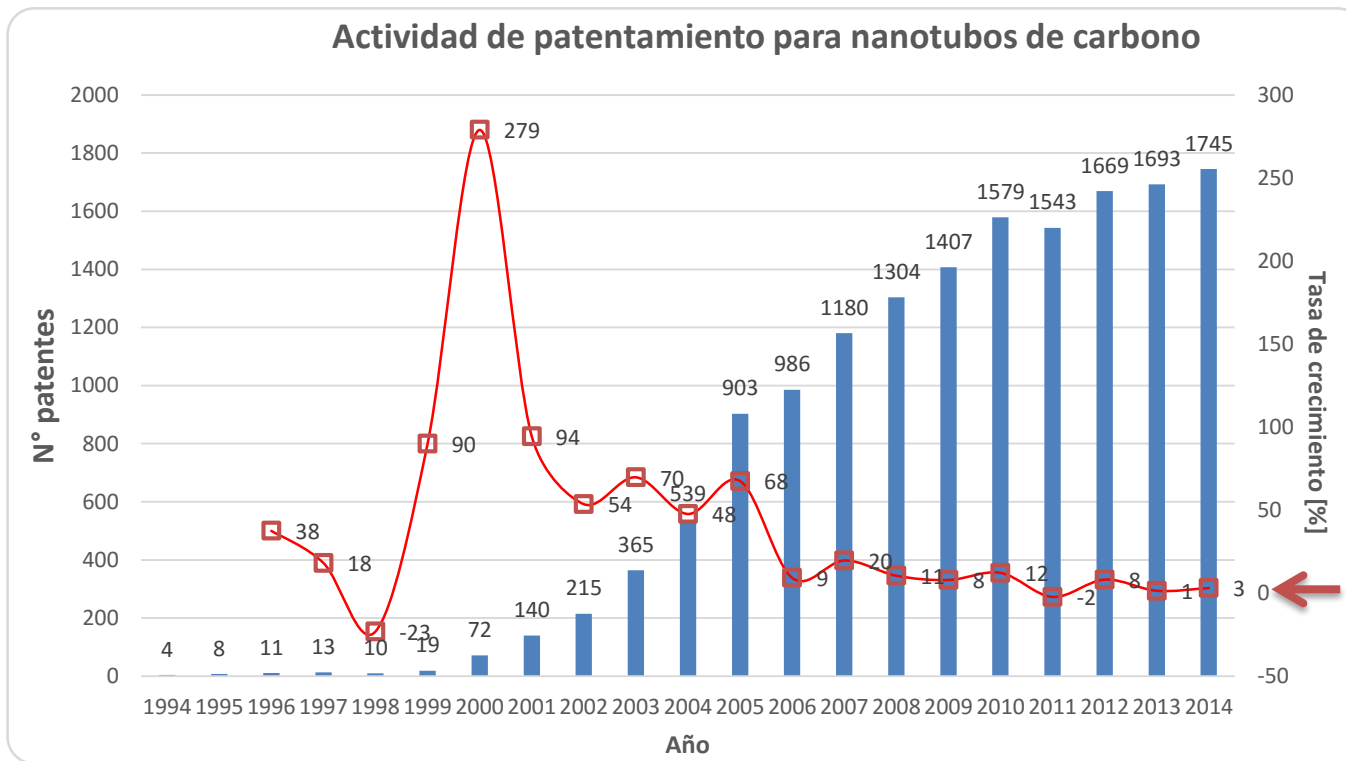
(*) INAPI. Solicitud de patente pendiente, 2015. "PROCEDIMIENTO PARA LA PREPARACION DE PELICULAS DE GRAFENO O MATERIALES GRAFENICOS SOBRE SUSTRATOS NO METALICOS". Solicitante: Abengoa.

Evolución de la actividad - Grafeno



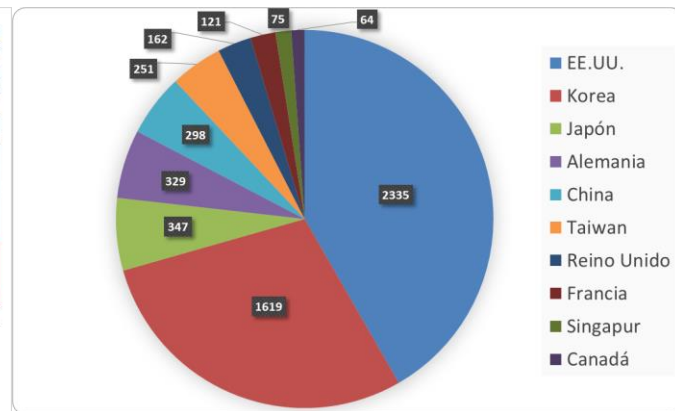
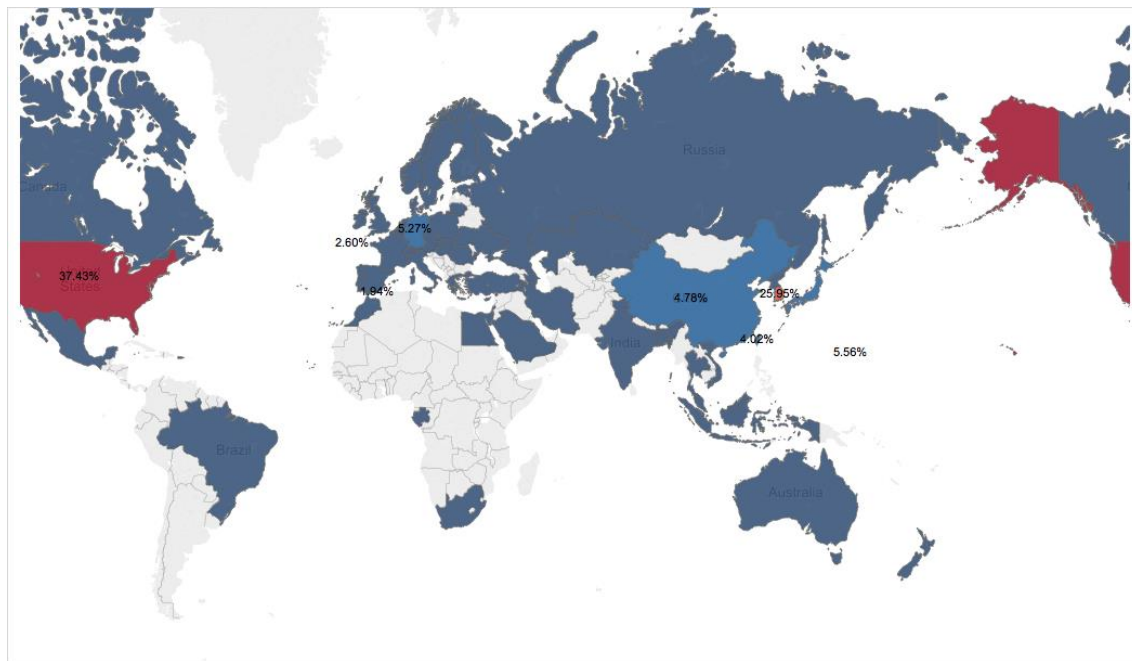
El gráfico permite visualizar la evolución de la actividad de patentamiento sobre grafeno para los últimos 10 años a nivel mundial. Se identificó un total de **10.281** solicitudes de patente (curva azul), concentrándose casi el **90% durante los últimos 4 años**. La tasa de crecimiento anual (curva roja) en tanto muestra un ritmo decreciente desde el año 2010 que tiende a estabilizarse.

Comparación Evolución de la actividad – Nanotubos



El gráfico presenta la evolución en la actividad de patentamiento para nanotubos de carbono. Esta tendencia podría representar de forma similar el comportamiento esperado para el grafeno durante los próximos años.

Países líderes – Top 10



Presenta los 10 países que lideran el desarrollo tecnológico. La lista es encabezada por **Estados Unidos** con 2335 registros y **Korea** con 1619. Le siguen Japón con 347 y Alemania con 329. China ha crecido fuertemente durante los últimos 3 años posicionándose en 5to lugar con 298 solicitudes, provenientes principalmente desde las universidades.

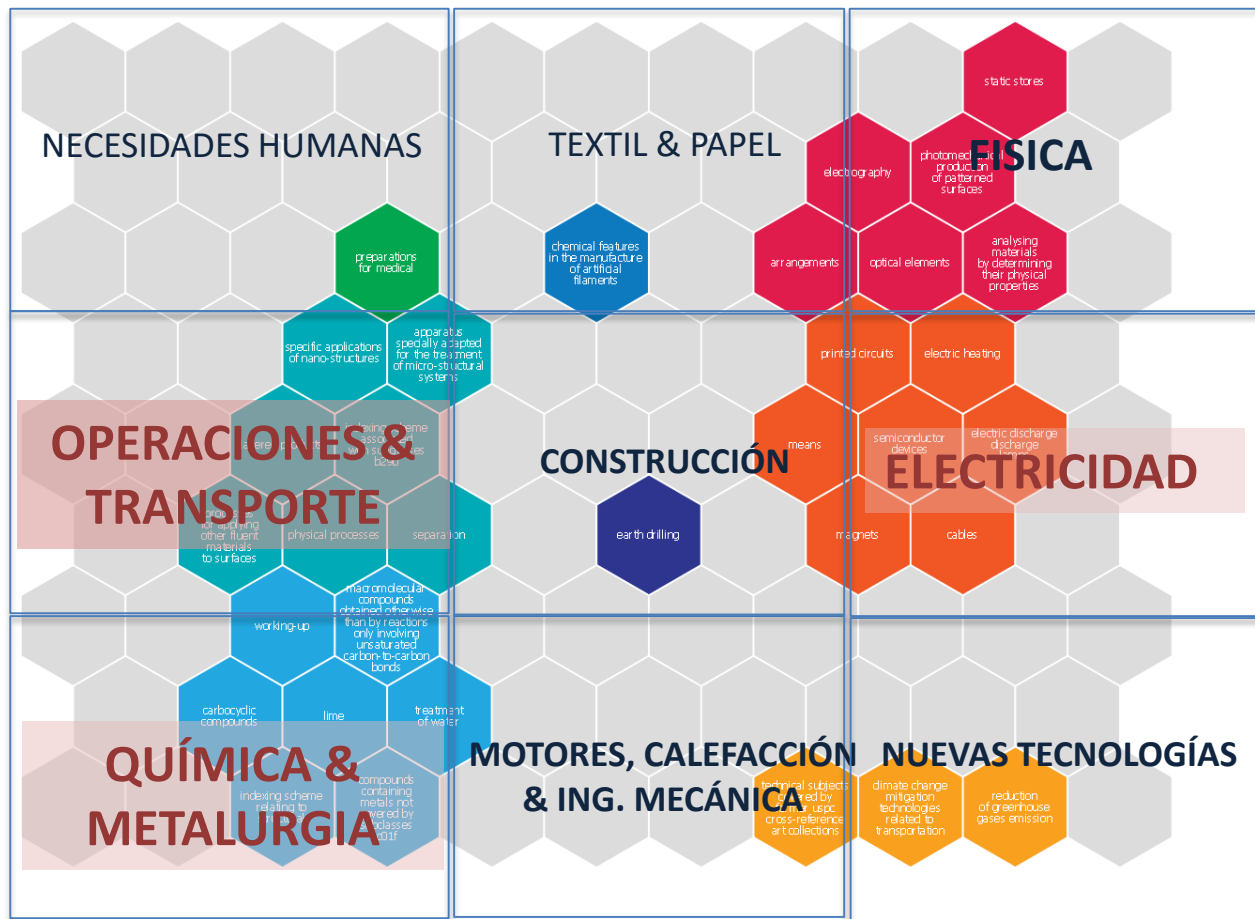
Principales solicitantes

BAKER HUGHES INC BASF AG HARBIN INST OF TECHNOLOGY HON HAI PREC IND CO LTD **IBM**
JANG BOR Z KOREA ADVANCED INST SCI & TECH KOREA ELECTRONICS TELECOMM
KOREA INST SCI & TECH NANOTEK INSTRUMENTS INC NINGBO INST MAT TECH & ENG CAS
OCEANS KING LIGHTING SCIENCE SAMSUNG ELECTRO MECH
SAMSUNG ELECTRONICS CO LTD SANDISK 3D LLC
SEMICONDUCTOR ENERGY LAB SHANGHAI INST MICROSYS & INF SNU R&DB FOUNDATION UNIV BEIJING
UNIV BEIJING CHEMICAL **UNIV CALIFORNIA** UNIV DONGHUA UNIV ELECTRONIC SCIENCE & TECH **UNIV FUDAN**
UNIV JIANGSU UNIV NANJING UNIV NANJING SCIENCE & TECH UNIV RICE WILLIAM M **UNIV SHANGHAI**
UNIV SHANGHAI JIAOTONG UNIV SOUTHEAST UNIV SUNGKYUNKWAN RES & BUS
UNIV TIANJIN UNIV TONGJI **UNIV TSINGHUA** UNIV WUHAN **UNIV XIDIAN UNIV ZHEJIANG**
XEROX CORP ZHAMU ARUNA

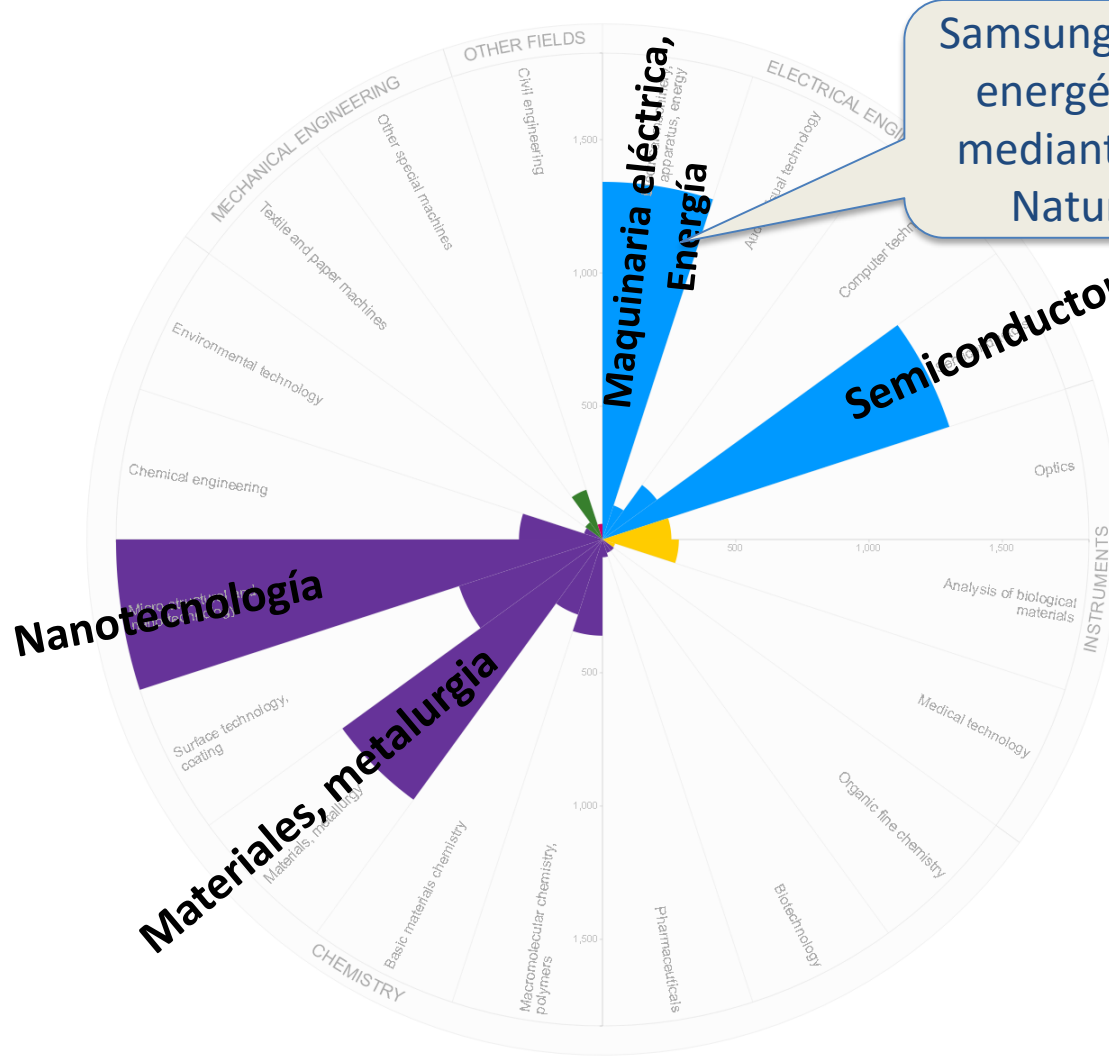
Se presentan los principales solicitantes de patentes, destacando entre otras, instituciones y empresas de **Korea, Estados Unidos y China**. Entre las empresas, **Samsung** es la más productiva con 297 registros seguida por **IBM** con 143. Destaca la fuerte presencia de universidades Chinas, ubicándose la **Universidad de Zhejiang** en segundo lugar por encima de IBM con 154 registros.

Principales sectores de solicitud de patentes

■ Human needs
 ■ Operations & transport
 ■ Chemistry & metallurgy
 ■ Textile & paper
 ■ Construction
 ■ Physics
 ■ Electricity
 ■ New technologies



Principales campos tecnológicos de desarrollo



Samsung duplica la capacidad energética de sus baterías mediante el uso de grafeno. Nature, 25 junio 2015.

“Silicon carbide-free graphene growth on silicon for lithium-ion battery with high volumetric energy density”. Nature, June 25, 2015.

Empresas de nicho

N°	Empresa	País	Foco	Página web
1	Angstrom Materials	EE.UU.	Producción de nanoplaquetas de grafeno Trabaja con sus clientes para el desarrollo de soluciones	www.angstrommaterials.com
2	Applied Graphene Materials plc (AGM)	Reino Unido	Spin Off de la Universidad de Durham. Trabaja en la producción de masa de polvo de grafeno utilizando átomos de carbono de etanol	www.appliedgraphenematerials.com
3	Aixtron SE	Alemania	Semiconductores, iluminación, energía fotovoltaica, transistores, almacenamiento de energía, electrónica y sensores	www.aixtron.com
4	CVD Equipment Corp (CVV)	EE.UU.	Produce equipos especializados para la producción de grafeno. Suministra recubrimientos de productos de grafeno por el proceso CVD	www.cvdequipment.com
5	Graphenea SA	Epaña	Exporta materiales de grafeno a 40 países	www.graphenea.com
6	Graphene Square Inc.	Korea del Sur	Proporciona productos y sistemas CVD para fabricación de grafeno. Grafeno para panel de pantalla táctil.	www.graphenesq.com
7	Graphensic AB	Suecia	Produce grafeno epitaxial de carburo de silicio. También suministra monocapa y bicapa de grafeno	www.graphensic.com
8	Grafoid Inc.	Canadá	Desarrolló un método de producción de grafeno que, aparentemente, constaría de una fase y entregaría un material de alta pureza y bajo costo de producción	www.grafoid.com
9	Graftech International	EE.UU.	Fabrica productos a partir de grafito y mantiene cerca de 200 patentes vinculadas.	www.graftech.com
10	Graphene 3D Lab Inc	EE.UU. / Canadá	Trabaja con grafeno e impresión 3D de baterías	www.graphene3dlab.com

Se presentan algunas de las principales empresas de nicho y sus focos de I+D en grafeno.



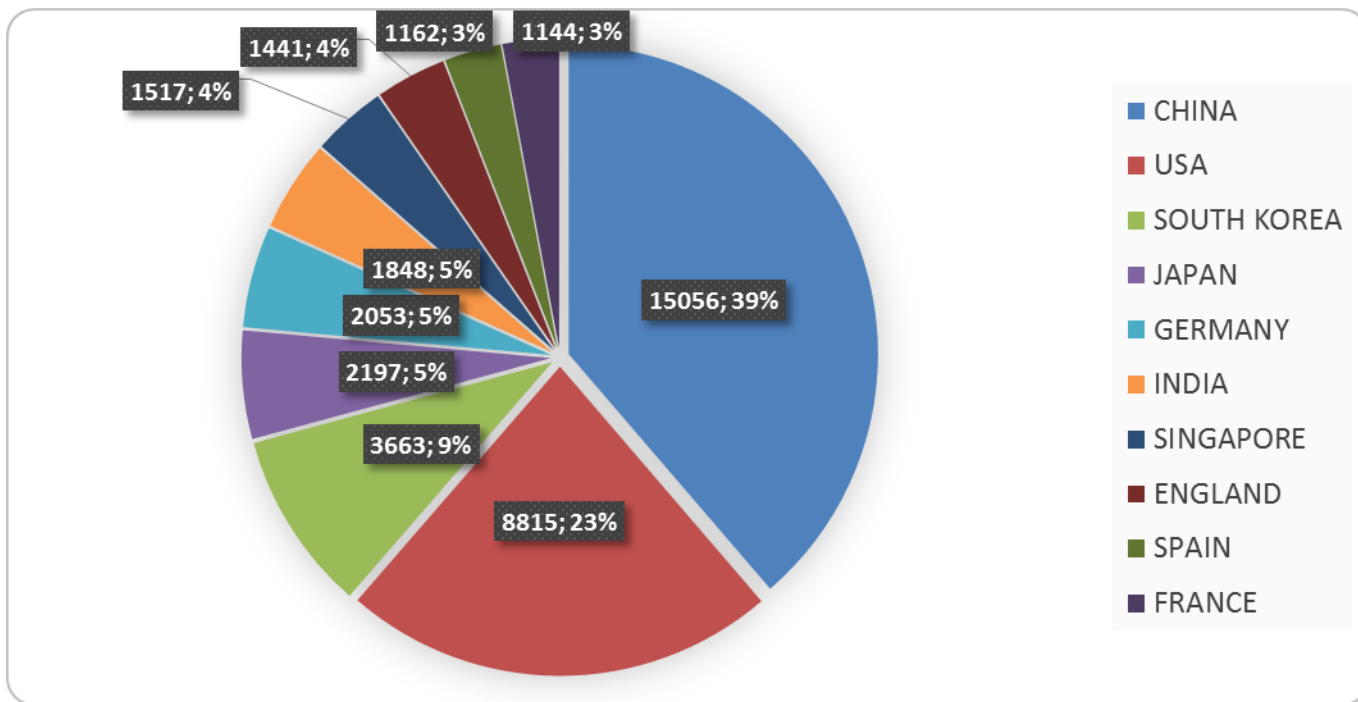
VI. Revisión de las publicaciones científicas

Evolución de la investigación



El gráfico permite apreciar la evolución en el número de publicaciones/investigaciones indexadas por ISI para para los últimos 10 años. Se identificó un total de **40.763** publicaciones, observándose un crecimiento constante, concentrando los últimos 4 años el **73% del total**.

Top 10 países que investigan



El gráfico muestra los 10 principales países donde se investiga en grafeno. **China** lidera la investigación en grafeno, seguido por **EE.UU.** y **Korea**. Fuera de los top 10, **Brasil** ocupa un lugar destacado en el puesto 18, siendo líder en investigación a nivel latinoamericano (En 2014 inauguró el centro MackGrafe, centro especializado en grafeno).

Principales instituciones que investigan

Ranking	Institución	N° de Publicaciones
1	CHINESE ACADEMY OF SCIENCES	3026
2	US DEPARTMENT OF ENERGY - DOE	1009
3	UNIVERSITY OF CALIFORNIA SYSTEM	955
4	CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE CIENTIFIQUE - CNRS	936
5	NANYANG TECHNOLOGICAL UNIVERSITY	826
6	TSINGHUA UNIVERSITY	741
7	NATIONAL UNIVERSITY OF SINGAPORE	668
8	RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES	635
9	PEKING UNIVERSITY	553
10	CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTIFICAS CSIC	538
11	UNIVERSITY OF SCIENCE TECHNOLOGY OF CHINA	509
12	SUNGKYUNKWAN UNIVERSITY	497
13	UNIVERSITY OF TEXAS AUSTIN	474
14	MAX PLANCK SOCIETY	461
15	SEOUL NATIONAL UNIVERSITY	435
16	ZHEJIANG UNIVERSITY	425
17	NANJING UNIVERSITY	423
18	FUDAN UNIVERSITY	421
19	INDIAN INSTITUTE OF TECHNOLOGY	408
20	MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY - MIT	407
21	KOREA ADVANCED INSTITUTE OF SCIENCE TECHNOLOGY - KAIST	391
22	COUNCIL OF SCIENTIFIC INDUSTRIAL RESEARCH – CSIR INDIA	382
23	FLORIDA STATE UNIVERSITY SYSTEM	380
24	UNIVERSITY OF CHINESE ACADEMY OF SCIENCES	376

Ranking con las 24 instituciones con mayor cantidad de publicaciones ISI.

Graphene Flagship en UE

El programa más grande en la historia de la UE, con 16 programas de I+D y recursos por € 1.000 millones!



The screenshot shows the Graphene Flagship website interface. At the top left is the Graphene Flagship logo, and at the top right is the European Union flag with the text "Funded by the European Union". Below this is a navigation bar with tabs for "Project", "Material", "News", "Interact", and "Vacancies", along with a search bar. The main content area features three columns: 1) "What is graphene?" with a 3D molecular model and text describing graphene as a single layer of carbon atoms. 2) "The history of graphene" with a photo of a person using a microscope and text stating that drawing with a pencil involves making graphene. 3) "GRAPHENE STUDY 2016" with a brain graphic filled with various scientific icons. Below these is a video player showing a woman in a lab, with the caption "Kostas Kostarelos, The University of Manchester, about biomedical technologies".



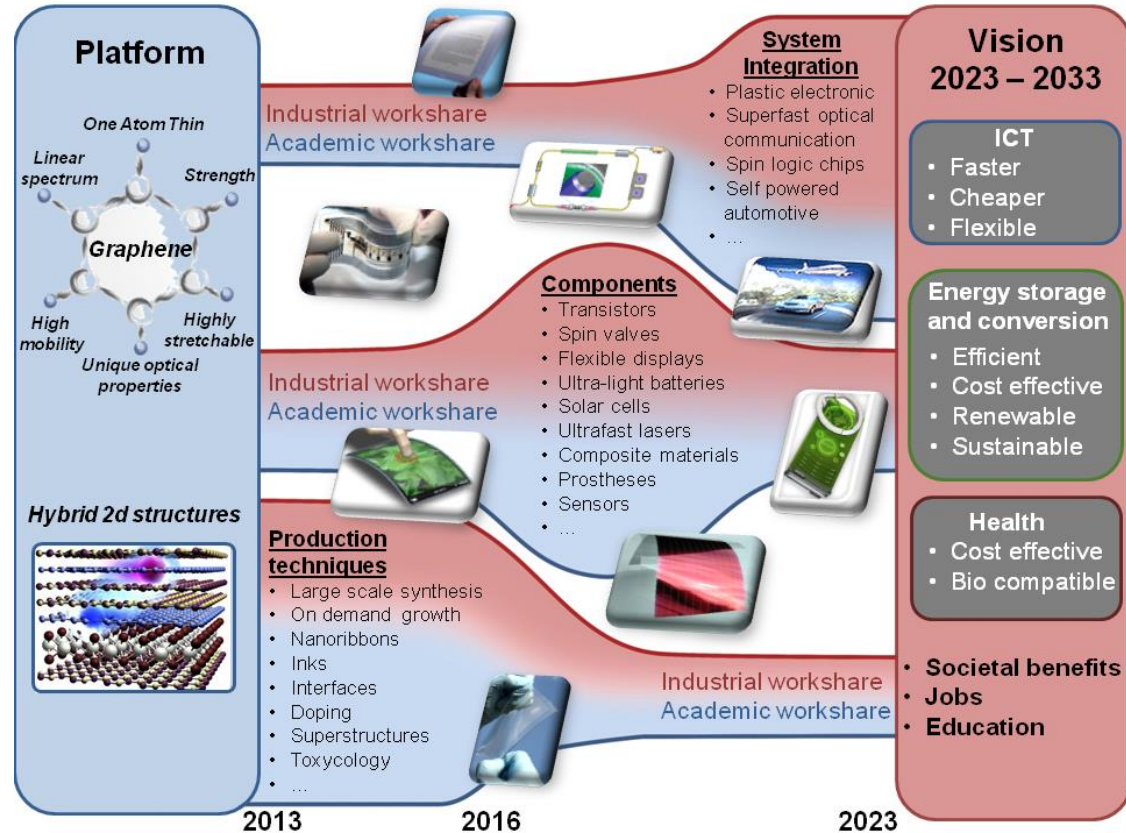
Coordina 141 grupos de investigación académica e industrial de 23 países

I+D en Materiales, Salud&Ambiente, Electrónica de alta frecuencia, Optoelectrónica, Sensores, Energía, Nanocompositos, etc.

Graphene Flagship en UE

Roadmap tecnológico:

Plantea que el trabajo coordinado de la industria y la academia permitiría tener el grafeno comercialmente disponible para variadas aplicaciones a partir de 2023.





VII. Conclusiones preliminares

1/3 – Estado del arte

Este informe hace una revisión general de la situación actual del grafeno y sus diferentes aplicaciones, destacando lo siguiente:

- Actualmente se **comercializan productos derivados** del grafeno (polvo, óxido de grafeno, etc.), aunque con propiedades disminuidas.
- Existe un intensa actividad de I+D orientada a una **producción industrial** de grafeno, que plantea que el grafeno podría tener aplicaciones comerciales en unos 10 años, sea con la expectativa de producir grafeno puro, como para el desarrollo de una generación de materiales intermedios.
- El incipiente mercado del grafeno necesita certificaciones; se vende todo tipo de grafeno sin conocer su **calidad**.
- Algunos de los principales países que investigan y desarrollan la tecnología son **EE.UU., China, Korea, Japón, Alemania**, entre otros. Destaca la iniciativa **Graphene Flagship en la UE**.
- Entre las empresas, lideran **Samsung, IBM, SanDisk**, entre otras. Entre los centros de I+D destacan **MIT, KAIST, Harbin Institute**.

2/3 – Vinculación entre cobre y grafeno

Del análisis de nuevas aplicaciones del grafeno aparece una línea de interés relacionada con el uso combinado de **cobre-grafeno**:

- Se identificaron desarrollos e interés comercial que vincula el uso de cobre y grafeno ya sea **utilizando cobre para la producción de grafeno** (como sustrato) o bien **utilizando de forma combinada ambos materiales**, sumando alrededor de 100 patentes.
- Varias de estas aplicaciones se orientan a combinar grafeno con cobre para **aumentar la conductividad del cobre** → fomenta el uso de cobre en dispositivos electrónicos para reducir el calentamiento (microelectrónica).
- Empresas como IBM o SAMSUNG utilizan grafeno para **mejorar la resistencia a la electromigración** de las estructuras de interconexión de cobre. Otras como JX Nippon Mining & Metals utilizan cobre **como sustrato** para la fabricación de grafeno.
- Otros **usos combinados de cobre/grafeno** se relacionan con soluciones líquidas que mejoran la conductividad, celdas solares (mejora en la eficiencia de conversión), mejora de conductividad de cables eléctricos, fibra óptica, entre otros.

3/3 – Implicancias de política pública en I+D+i

1. Vigilancia tecnológica y de mercado

- Se recomienda tomar acciones que apunten a instalar una capacidad permanente de **vigilancia estratégica** sobre avances en I+D para producción de masa, productos derivados y situación del mercado, entre otros.

2. Formación de capital humano y vinculación a redes internacionales:

- Se recomienda **apoyar e incentivar** el desarrollo de líneas de investigación/formación **con un enfoque aplicado** (Por ejemplo: cobre/grafeno, tratamiento de agua (desalación, purificación), baterías Li-grafeno, impresión 3D en polímeros-grafeno), abordadas de forma consorciada entre instituciones nacionales que se vinculen de forma activa con redes internacionales.

3. Desarrollo Tecnológico en ámbitos de interés estratégico

- Se recomienda **orientar el uso de recursos de desarrollo tecnológico** en ámbitos de interés estratégico para la competitividad del país, en particular en **aplicaciones de cobre-grafeno**.

Algunos artículos de referencia

- *Large-area ultrathin films of reduced graphene oxide as a transparent and flexible electronic material*
G Eda et al., Nature Nanotechnology 3, 270 - 274 (2008)
- *High-yield production of graphene by liquid-phase exfoliation of graphite*
Y. Hernandez et al., Nature Nanotechnology Vol.3, 563 - 568 (2008)
- *Single-step deposition of high-mobility graphene at reduced temperatures*
D.A. Boyd et al., Nature Communications Vol.6, 6620 (2015)
- *Ultrahigh-mobility graphene devices from chemical vapor deposition on reusable copper*
L. Banszerus et al., Sci. Adv. 2015;1:e1500222
- *Supergrafeno' ultrarresistente*
T. Guerrero, El Mundo, www.elmundo.es/ciencia, 09/01/2015
- *Amenazas y oportunidades para el Cobre y sus aplicaciones*
N. Messer, www.plataformacientifica.cl, 14/12/2014
- *Fullerex Report for Talga 2014.*
- *Benchmarking the Effects of Substrates Upon Graphene Properties", Manchester Graphene Conference, June 2014.*
- *The Investors' Guide to Graphene. Far East Capital 2015.*
- *Graphene in Biomedicine: Opportunities and Challenges*
L. Feng and Z. Liu, Nanomedicine. Vol.6(2), 317-324 (2011)
- *Is graphene safe?*
D. Bradley, materialstoday, Vol.15, 6, p.230 (2012)
- *Thermal Properties of Graphene–Copper–Graphene Heterogeneous Films*
P. Goli et al., Nano Lett., 14 (3), 1497–1503 (2014)
- *Move over graphene, silicene is the new star material*
NewScientist, 2862, 29/04/2012
- *Will 2-D tin be the next super material?*
Phys.org, 21/11/2013
- *Quantitative Determination of Technological Improvement from Patent Data.*
Plos.org, 15/04/2015



**Unidad de Inteligencia Tecnológica
Gerencia de Capacidades Tecnológicas
Diciembre de 2015**