



PLATAFORMA TECNOLÓGICA ESPAÑOLA DEL ACERO

Agenda Estratégica de Investigación

Julio 2021



Preámbulo

A continuación se describen, por áreas estratégicas, las líneas de investigación sobre las que los Miembros de PLATEA desearían desarrollar sus proyectos en los próximos años, acompañados de todos los agentes de la I+D+I nacional que lo estimen oportuno.

La prioridad otorgada a cada línea, así como el plazo esperado de obtención de resultados, es fruto del interés del sector siderúrgico en poder contar con proyectos encaminados a la obtención de resultados en dichas líneas de investigación. El desarrollo de cada una, así como de las tecnologías y otros desarrollos, adelantarán o retrasarán estos resultados del plazo inicialmente previsto o esperado.

La Agenda Estratégica de Investigación es un documento vivo, que se irá actualizando y recogiendo los intereses de los Miembros de PLATEA conforme se estime necesario.



Índice:

Áreas transversales:

- Ciberseguridad
 - Sistemas informáticos
 - Formación
- Logística
- Visibilidad sector siderúrgico como lugar de desarrollo profesional:
 - Formación
 - Atracción de talento
 - Comunicación

Áreas estratégicas:

- Fabricación aditiva:
 - Productos susceptibles de producirse
 - Proveedores de materia prima, en formato
 - Hilo
 - Polvo
 - Instalaciones para fabricación de componentes mediante Fabricación Aditiva y tecnologías para productos finales
 - Control defectología en la pieza in-situ
 - Post-proceso de la pieza según tecnología de fabricación
 - Aplicaciones multimaterial
 - Nanomateriales
 - Multi-funcionalidad
- Industria 4.0:
 - Sistemas inteligentes y autónomos de validación y filtrado de datos
 - Sensor de trazabilidad de producto
 - Productos sensorizados
 - Sensórica en condiciones extremas y autónomas (no conectados)
 - Mantenimiento predictivo
- Transición Energética / Cambio Climático:
 - Fuentes de energía no fósil:
 - Exploración de tendencias
 - Necesidades de los nuevos aceros
 - Eficiencia energética:
 - Aprovechamiento calores residuales
 - Uso de hornos eléctricos en otros procesos
- Economía Circular:
 - Valorización de nuestros subproductos en aplicaciones directas
 - Transformación de nuestros subproductos en materia prima



- Tecnologías de reciclado de químicos (ácidos y bases)
- Purificación de grafito y residuos asociados
- Tecnologías para otros subproductos
- Tecnologías de lubricantes más duraderos y eficientes
- Tecnologías de recuperación de elementos en vertederos
- Tecnologías de limpieza y valorización de chatarras
- Materias primas alternativas a la chatarra
- Aumento de la eficiencia de los elementos aleantes
- Captura y valorización de CO₂

Otras áreas estratégicas:

- Funcionalización de los productos de acero:
 - Materiales grafénicos y otros (orgánicos, metálicos, deposiciones metálicas, etc.)
 - Recubrimientos cerámicos
- Materiales de alto valor añadido, inoxidables y aleaciones base níquel, alto molibdeno, etc.
- Necesidades nuevos mercados:
 - Aeroespacial
 - Automoción
 - Construcción
 - Ferroviario
 - Naval
 - Energético
- Emisiones difusas: identificar origen y técnicas para evitarlas



Áreas transversales

De estas líneas de investigación, por ser transversales y no propiamente desarrolladas dentro del sector siderúrgico, no se hace indicación de su prioridad ni de cuándo se esperan obtener los resultados.

Líneas estratégicas	Sub-líneas
Ciberseguridad	Sistemas informáticos
	Formación
Logística	
Visibilidad sector siderúrgico como lugar de desarrollo profesional	Formación
	Atracción de talento
	Comunicación

Resumen líneas estratégicas:

Ciberseguridad:

- Sistemas informáticos:

Investigar la Ciberseguridad OT además de la Ciberseguridad IT. IT se refiere a los ataques a sistemas informáticos para bien inutilizarlos, robar información o coaccionar a la empresa con un objetivo económico. Los sistemas de correo electrónico, ERP (SAP) servidores de datos,... son susceptibles de este tipo de ataques. Los ataques OT se refieren más a atacar hardware que controla producción bien para parar la producción o manipular resultados en términos de calidad o averías. Para este tipo de ataques los PLCs, SCADAs son blancos preferentes y con frecuencia estos sistemas son antiguos o menos parcheados desde punto de vista de ciberseguridad al realizar tareas críticas en tiempo real. En la ciberseguridad OT incluso la prevención y seguridad física se conectan con la virtual.

Investigar sobre el equilibrio necesario de conectar más datos, fuentes de datos internas, externas, de clientes, proveedores en el marco de la optimización de cadena de valor de la industria 4.0 con los riesgos de Ciberseguridad que conllevan y la ventaja del confinamiento de las redes productivas. Desarrollo de sistemas de interconexión seguros por diseño.



- **Formación:**

Investigación social en referencia a la ciberseguridad. La creciente área de investigación social intenta comprender y ayudar a superar las dificultades a las que la innovación se enfrenta debido a resistencias personales, o aspectos humanos relacionados con las estructuras organizacionales. Sin duda es un aspecto a estudiar en la ciberseguridad donde el componente comportamental puede ser importante.

Desarrollo de formación sobre ciberseguridad para los diferentes perfiles de puesto de trabajo en función de los riesgos y/o conocimientos. Incluyendo no sólo perfiles de sistemas, sino también de áreas como I+D, mantenimiento, compras, comercial, financiera, logística y a niveles hasta de operario.

Logística

En el área de logística deberíamos diferenciar dos enfoques, la logística interna y la logística asociada desde la salida de nuestro producto hasta su recepción por parte de nuestro cliente.

- La logística interna está asociada a nuestro semiproducto/producto interno y sus diversas fases de transformación. El tracking interno desde la fabricación de nuestro semiproducto (palanquilla, Bloom, slab,...) debería asegurar la identificación de cada una de las unidades fabricadas, barras/bobinas/..., con el semiproducto de partida y este con los parámetros de fabricación del semiproducto (CC / Bloom).
- La tecnología asociada a la logística externa está muy desarrollada por las plataformas logísticas de "retail". Se trata de informar al cliente en todo momento de la situación de su pedido desde la salida de nuestras instalaciones a la llegada a sus instalaciones.

Visibilidad sector siderúrgico como lugar de desarrollo profesional

- **Formación:**

En el área de formación deberíamos colaborar con universidades e introducir dentro de los grados y máster asociados a la siderurgia otras capacidades que para el sector van a ser necesarias en breve, es decir, necesitamos gente capacitada en la metalurgia, pero también el sector siderúrgico va a requerir otras capacidades tales como:

- Análisis del dato
- Creación de inteligencia artificial
- Ingeniería avanzada con AGV y otros
- Ciencia de materiales no metálicos, como todo el conocimiento alrededor de los sub-productos que principalmente son óxidos.



- Conocimientos energéticos, de termodinámica y caracterización de gases.

Esto permitiría al sector siderúrgico conjuntamente con las universidades crear grados, masters y otros con más atractivo para las nuevas generaciones y que nos permita mostrar que la siderurgia es sector multidisciplinar donde hay mucho donde desarrollarse.

- **Atracción de talento**

En el área de talento deberíamos definir actuaciones en diferentes canales, creo que la siderurgia tiene suficiente entidad como para poder participar en los siguientes canales de difusión para llegar a dar un cambio a su visión actual:

- Comunicación, abrírnos a los nuevos canales de comunicación como son Instagram, y otras redes sociales, tener alguna colaboración con el canal tradicional de comunicación TV para poder realizar algún programa de divulgación científica con todo el tema del Green Deal, de interés general.
- Escuelas e institutos, generar jornadas de divulgación científico-técnicas para introducir la siderurgia en sus posibles elecciones como futura grados o masters.
- Universidades, colaboraciones constantes con actuaciones como organización de premios, participar activamente en la implementación de alguna temática dentro de un máster.

Poner en valor todo el esfuerzo que la siderurgia está haciendo en cuanto al Green Deal en los canales anteriores, este es un punto que la gente puede considerar como un bien común y los mensajes pueden ser más empáticos.

- **Comunicación:**

Desarrollar estrategias de difusión pública para visibilizar el sector siderúrgico como un sector innovador y moderno; comprometido con el medio ambiente, y en general con el desarrollo sostenible, siendo un baluarte de la economía circular en sentido extenso.

La siderurgia es un sector con una cadena de valor muy larga que, si se dan las situaciones de contorno, con la disponibilidad de precios razonables de la energía, y de competencia internacional justa, genera mucha riqueza y dinamización de la Economía a largo plazo. Es un importante tractor de la innovación al ser un sector muy intensivo en ella.

Se necesitan planes organizados para llevar a cabo dicha misión, para la cual PLATEA puede servir de una perfecta plataforma.

Fabricación aditiva

Líneas estratégicas	Sub-líneas	Prioridad ¹	Resultados
Productos susceptibles de producirse (incluyendo propiedades estructurales, metalográficas. ¿Posibilidad de modificación de las mismas?)		2	M
Proveedores de materia prima, en formato	Hilo	1	C
	Polvo	2	M
Instalaciones para fabricación de componentes mediante Fabricación Aditiva y tecnologías para productos finales		2	M
Control defectología en la pieza in-situ		2	M
Post-proceso de la pieza según tecnología de fabricación			
Aplicaciones multimaterial	Nanomateriales	1	M
	Multifuncionalidad	1	M

Resumen líneas estratégicas:

Productos susceptibles de producirse (incluyendo propiedades estructurales, metalográficas. ¿Posibilidad de modificación de las mismas?)

Las técnicas de fabricación aditiva (o impresión 3D) se han convertido hoy día en una realidad. Aun así, en la metalurgia de los aceros quedan pendientes notables interrogantes que limitan su posibilidad de desarrollo. Estamos acostumbrados a que los aceros reciban numerosos tratamientos termo-mecánicos desde su colada hasta su puesta en servicio. Es deseable progresar en el conocimiento de las modificaciones estructurales y en el comportamiento y las propiedades de los aceros crecidos por tecnologías aditivas, así como las propiedades de los nuevos materiales que pueden obtenerse por la combinación de diferentes materiales metálicos de partida y crecidos de manera aditiva, en particular de aquellos que globalmente puedan considerarse que se encuentran en el campo de las composiciones de los aceros.

La fabricación aditiva permite sacar el máximo partido a la optimización topológica, ya que se eliminan muchas de las restricciones de diseño implícitas en los procesos de fabricación tradicionales. Surge además la necesidad de diseñar específicamente para la fabricación aditiva y hacerlo de una manera diferente y eficiente, es necesario tener en cuenta las particularidades del proceso de fabricación y la estrategia seleccionada para garantizar su fabricabilidad. Teniendo en cuenta las características del proceso, se puede crear el diseño óptimo entre peso y resistencia, adaptado al proceso de fabricación.

¹ Prioridad: 1- corto plazo, 2- medio plazo y 3- largo plazo



Considerando que el sector siderúrgico puede ser receptor igualmente de piezas de repuesto y/o piezas que mejoren o prolonguen la vida útil, las líneas de investigación en piezas de repuestos también serán consideradas.

Proveedores de materia prima, en formato:

- Hilo:

El objetivo para los próximos años será el adaptar las calidades de acero especial que se fabrican actualmente, a los formatos y características que demanden las impresoras 3D futuras. Principalmente se necesitarán dimensiones del orden de 1 mm, combinando suficiente ductilidad para que pueda ser manipulado con los dispositivos de fabricación aditiva.

- Polvo:

Las tecnologías de fabricación aditiva tendrán un crecimiento importante en los próximos años y así también la demanda en la materia prima utilizada. Una de las principales materias primas utilizadas son los polvos metálicos, por ello será importante la investigación de los requerimientos y adecuación de los polvos metálicos para ser utilizados en este sector. Los objetivos de investigación en este sentido serían:

- Evaluación de las tecnologías 3D que empleen el uso de polvos metálicos que puedan ser adaptados a partir de nuestros productos como materia prima.
- Investigación de los requerimientos y características necesarias de polvos metálicos de nuestros productos para su uso en tecnología 3D.
- Investigación de los requerimientos y propiedades mecánicas y magnéticas de las impresiones con material metálico mediante fabricación aditiva.
- Desarrollo de tecnología de fabricación de polvo en continuo en el proceso siderúrgico
- Adaptación del proceso siderúrgico para la introducción de un nuevo proceso de fabricación.

Instalaciones para fabricación de componentes mediante fabricación aditiva y tecnologías para productos finales:

La fabricación aditiva puede suponer una revolución, tanto desde el punto de vista de conceptualización y diseño de los productos como desde el punto de su fabricación y distribución.

A pesar de las ventajas de estas tecnologías, existen limitaciones que hacen que todavía no se hayan aplicado de manera generalizada a muchas aplicaciones. Las propiedades físicas del producto (resistencia mecánica, dureza, direccionalidad de propiedades, etc.) así como la



precisión dimensional y la calidad superficial, hacen difíciles las homologaciones en sectores de alta exigencia. Por otro lado, existen también limitaciones en cuanto al tamaño de pieza que se puede fabricar. El desarrollo o evolución de las tecnologías de fabricación aditiva que redujeran estas limitaciones permitiría su uso en sectores de alta exigencia.

También hay que añadir que la calidad y repetitividad en la fabricación de las piezas por los distintos procesos de FA puede ser también un hándicap para la adopción viable de estas tecnologías. Entender no solo las características de los materiales obtenidos por FA sino también los posibles defectos que pueden aparecer es necesario para evitar fallos inesperados. En este sentido, la monitorización y control de procesos de FA en tiempo real se postulan como tecnologías muy atractivas para solventar estos problemas.

Una forma de poder actuar sobre parte de los hándicaps que presenta actualmente esta tecnología pasa por el análisis del proceso de fabricación mediante modelos de simulación.

El análisis FEM del proceso de fabricación permitirá evaluar el efecto de los distintos parámetros, estrategias, secuencias, etc. de fabricación, reduciendo el número de pruebas físicas que se llevan a cabo para ajustar el proceso. Gracias a la simulación es posible estudiar el proceso de fabricación aditiva desde el nivel baño fundido, hasta el comportamiento de piezas completas de gran tamaño, pasando por modelos térmicos transitorios con los que evaluar los ciclos térmicos a los que se ve sometido el componente durante el propio proceso de fabricación que incurrirán directamente sobre las propiedades de material. Este análisis FEM facilita la obtención de los parámetros óptimos de proceso permitiendo la fabricación de componentes con cero defectos, potenciando la implementación de esta tecnología a mayor escala.

Control defectología en la pieza in-situ

Es muy difícil poder asegurar la repetitividad de una pieza. La falta de estabilidad del proceso de fabricación hace que incluso dos piezas fabricadas a la vez en la misma máquina no presenten las mismas características. Además, el propio proceso de fabricación genera piezas con porosidades y otros daños a nivel microestructural difíciles de detectar y que pueden originar fallos. El control de grado de porosidad de la pieza impresa, estudiado por distintas técnicas de ensayos no destructivos, se hace necesario.

Post-proceso de la pieza según tecnología de fabricación

El acabado superficial de las piezas fabricadas, así como posibles tratamientos de sinterización en caso de vías de fabricación por FDM o Binder Jetting, es prioritario. Para ello se requiere de profundizar en métodos de simulación que permitan extra-dimensionar el diseño teniendo en cuenta los cambios dimensionales inherentes a estas técnicas de fabricación.

Aplicaciones Multimateriales:



- **Nanomateriales:**
 - El empleo de nanomateriales y materiales 2D (como el grafeno) a nivel industrial está aumentando de una manera muy considerable en la industria debido a las nuevas funcionalidades que se pueden obtener. Uno de los motivos de su implantación industrial y también de sus dificultades es el escalado de su fabricación. En este tema se ha trabajado mucho durante los últimos años y, aunque aún queda camino por recorrer, ya existen soluciones industriales. Gran parte de los esfuerzos se centran ahora en la aplicación de estos nanomateriales y, para poder avanzar más rápidamente, se necesita tanto conocimientos como equipamiento específico. La división de este conocimiento y equipamiento entre las Universidades y Centros Tecnológicos, y los centros de I+D de las empresas podría ser la siguiente: los equipamientos de los primeros se centrarían en caracterizar e intentar entender los fundamentos que permiten fabricar y utilizar los nanomateriales, mientras que los equipamientos de los segundos se centrarían en plantas piloto que permitan estudiar el escalado, parametrización y fabricación industrial.
- **Multi-funcionalidad:**
 - El empleo de distintos materiales en la misma pieza con una interfase definida puede proporcionar distintas funcionalidades dentro de un mismo componente. La obtención de piezas multi-material con distintas funcionalidades se hace muy patente en procesos de deposición directa de energía. Estos procesos permiten incluso obtener piezas con gradiente funcional debido a su gran flexibilidad. Varios de los hándicaps a explotar son el control de la deposición de cada material en su posición y la compatibilidad (térmica, química, etc.) entre varios materiales.



Industria 4.0

Líneas estratégicas	Sub-líneas	Prioridad ²	Resultados
Sistemas inteligentes y autónomos de validación y filtrado de datos		1	C
Sensor de trazabilidad de producto		1	C
Productos sensorizados		1	M
Sensórica en condiciones extremas y autónomas (no conectados)		1	C
Mantenimiento predictivo		1	C

Resumen líneas estratégicas:

Sistemas Inteligentes y autónomos de validación y filtrado de datos:

La industria siderúrgica genera gran número de datos por tener un grado de automatización creciente. No sólo hay que considerar los datos de sensores específicamente instalados para control de producción (temperatura, composición química, gases, presiones, caudales, etc.); además hay gran cantidad de cámaras ópticas, termográficas, pirómetros, sensores de sonido, etc. La forma de trabajar con estos datos antes de la Industria 4.0 ha sido obtener parámetros significativos sólo de una pequeña parte de la información medida debido a la falta de capacidad de cálculo y almacenamiento. El concepto 4.0 permite a priori generar, utilizar y conectar mucha más información, pero realizarlo es costoso y al mismo tiempo generador de mucho ruido que dificulta el análisis. Además, los datos industriales, si bien suelen ser más estructurados que en otras fuentes sufren de frecuentes problemas de fallos en el funcionamiento de sensores o de averías de instalaciones. El filtrado y validación de datos, por tanto, se convierte en un área de interés claro en la aplicación de la ciencia de datos a nivel industrial. Hacerlo de forma automatizada (aunque todavía supervisada) es, a su vez, imprescindible en un contexto con muchos más datos y más diversos. En esta actividad investigadora cobran importancia conceptos como:

- Plausibilidad del dato: Probabilidad de que el dato esté equivocado o no. Hay diferentes formas de investigarlo en función del tipo de dato.
- Outliariedad: Que un dato sea un outlier (dato extremo) no siempre significa que represente un valor no real, por tanto, un outlier puede ser muy plausible, pero es un outlier que puede afectar severamente a un modelo de datos.

² Prioridad: 1- corto plazo, 2- medio plazo y 3- largo plazo



Sensor de trazabilidad de producto:

La trazabilidad del producto es un elemento crítico en el mundo siderúrgico. Actualmente hay distintas soluciones, tanto software como hardware, para el seguimiento de los productos intermedios. Pero debido a las condiciones del proceso (deformaciones, tratamientos térmicos, tiempos de transición, etc.) es difícil encontrar respuestas fiables y fáciles de mantener a lo largo de las instalaciones.

Desarrollos basados en tecnologías que permitan de una manera única e inequívoca el seguimiento del acero en sus distintas formas a través de los procesos de las distintas instalaciones serán un elemento básico para dar un paso más en la digitalización de los procesos, incluyendo por supuesto el almacenamiento.

El objetivo es tener una solución que permita trazar el acero a lo largo de sus distintas fases de estado sólido.

Productos sensorizados:

La revolución tecnológica está convirtiendo los productos en sistemas complejos que, además de hardware, incorporan sensores, software y conectividad. La ventaja de disponer de productos inteligentes y conectados redundaría en un mejor control, fiabilidad y eficacia de los procesos. Conocer la información en tiempo real durante la vida en servicio, disponer de un plan de monitorización y ofrecer soluciones de alto valor añadido son líneas sobre las que trabajar en este sentido, más allá de las actualmente comerciales. Sin embargo, existen limitaciones claras en cuanto a la posibilidad de miniaturización de los dispositivos de manera que no generen interferencias en los flujos de proceso actuales, así como de conectividad inalámbrica en entornos agresivos y de difícil acceso.

Sensórica en condiciones extremas y autónomas (no conectados):

Las tecnologías empleadas en las acerías se caracterizan tradicionalmente por soportar temperaturas considerablemente altas y atmósferas agresivas. En muchas ocasiones es conveniente poder evaluar determinados parámetros del acero en proceso de fabricación, en sistemas auxiliares como sistemas de refrigeración, o de los materiales con los que está siendo trabajado, pero las condiciones en las que se encuentra hacen imposible la instalación de un dispositivo de medida. Es necesario disponer de nuevos dispositivos de medida que permitan evaluar parámetros de interés (temperaturas, espesores de capa solidificada, defectos, etc.) en condiciones extremas de temperaturas, presiones o atmósferas agresivas (como ejemplo). Más aún es necesario que estos nuevos sensores puedan trabajar de manera autónoma y sin conexión a dispositivos de alimentación o control externos y que sean lo menos intrusivos/invasivos para facilitar su instalación en el proceso de producción.



Mantenimiento predictivo:

Las soluciones actuales en mantenimiento predictivo están más encaminadas a la monitorización del punto de funcionamiento. En la mayoría de las propuestas existentes el objetivo es alertar sobre un comportamiento anómalo, que se aleja del funcionamiento esperado; en algunos casos más avanzados se proporcionan indicios de lo que puede estar pasando: si es un fallo eléctrico, mecánico, etc.

Pero es necesario dar un paso más allá para acercarse a soluciones de mantenimiento predictivo real, es decir, saber exactamente cuánto tiempo hay disponible hasta el fallo real. Por ello, una de las tareas de futuro es pasar del actual *conditioning monitoring* al mantenimiento predictivo real.

Transición Energética / Cambio Climático

Líneas estratégicas	Sub-líneas	Prioridad ³	Resultados
Fuentes de energía no fósil	Exploración de tendencias (ej.: generación de H ₂ , para su uso como vector energético y/o como elemento reductor de Fe evitando el uso de carbón)	2	M
	Necesidades de los nuevos aceros (ej.: Geotermia profunda, energía solar e Hidrógeno: acero en la generación, transporte, distribución y uso de estos vectores energéticos)	2	M
Eficiencia energética	Aprovechamiento calores residuales	2	M
	Uso de hornos eléctricos en otros procesos (de inducción, microondas, resistivos)	2	M

Resumen líneas estratégicas:

Fuentes de energía no fósil:

- **Exploración de tendencias (ej.: generación de H₂, para su uso como vector energético y/o como elemento reductor de Fe evitando el uso de carbón):**

Utilización de hidrógeno: La descarbonización de la fabricación de acero requiere la utilización de nuevas moléculas para la reducción y transformación del mineral de hierro y la chatarra, así como nuevos vectores energéticos no fósiles para calentar nuestros productos. El Hidrógeno reúne las características que permitirían realizar esa transición hacia un acero libre de emisiones. Es un candidato perfecto para utilizarse en los Hornos Altos como reductor del mineral de hierro y sustituto del carbón y el coke, además de un vector apropiado para reemplazar el gas natural en los hornos de recalentamiento y así asegurar que la laminación de los distintos aceros se transforme también en un proceso sin emisiones.

Además, el Hidrógeno se puede transportar y almacenar en grandes cantidades y permitiría desacoplar la producción y el consumo eléctrico.

Utilización de fuentes de carbono alternativas: Alineada con la estrategia de fabricación de acero con bajas emisiones de CO₂, desde la industria siderúrgica española se están valorando aquellas tecnologías que permitirían disponer de fuentes de carbono alternativas para reemplazar los carbonos fósiles. Tanto en la ruta siderúrgica integral

³ Prioridad: 1- corto plazo, 2- medio plazo y 3- largo plazo

como en la ruta eléctrica, distintos carbones se utilizan como reactivos químicos para el proceso de fabricación de acero y obtención de la química deseada.

La utilización de materiales con un origen no fósil y con una tasa de emisión de CO₂ mucho más baja o incluso neutra supondría una mejora fundamental en la reducción de emisiones del sector, haciendo más competitivo el acero así producido: a la par de estar poniendo en el mercado un acero con bajas emisiones de CO₂, se haría con unos costes de transformación asequibles y poniendo en marcha nuevas cadenas de suministro de materiales alternativos no fósiles.

- **Necesidades de los nuevos aceros** para la generación, transporte y almacenamiento de energía renovable (ej.: **eólica, geotermia profunda, solar e hidrógeno**):

El cambio climático y la sostenibilidad energética hacen imprescindible un cambio en el mix energético que disminuya nuestra dependencia de energías que provienen de combustibles fósiles. Energías limpias como la eólica, la solar, la geotérmica o el hidrógeno, como vector energético, ofrecen retos respecto a la utilización de materiales que permitan mejorar su eficiencia, en términos de generación, transporte y almacenamiento. Entre dichos retos están las condiciones ambientales en los sitios de generación (parques eólicos en alta mar, parques solares en ambientes desérticos, parques solares en alta mar, estaciones geotérmicas en zonas de potencial sísmico, etc.). La identificación y el conocimiento de las demandas asociadas a estas nuevas formas de energía permitirá a los fabricantes de acero desarrollar y adaptar su oferta de productos a las necesidades de estas aplicaciones y así reducir la dependencia de sectores basados en energías fósiles.

Eficiencia energética:

- **Aprovechamiento calores residuales**

Desde el punto de vista industrial, esta Área de Investigación sobre “Transición Energética / Cambio Climático” es posiblemente con la cuarta de “Economía Circular” las que más demanda de investigación y desarrollo van a requerir en los próximos años, sólo hay que referenciarse en el “Green Deal” lanzado desde la Comisión Europea. Lógicamente, el bloque 2 de Industria 4.0 constituirá un soporte básico.

Y en concreto, la eficiencia energética, tanto en consideraciones directas de consumos, como indirectas o reverse de aprovechamiento de los calores residuales, va a jugar un papel determinante, y por tanto objeto de innovación y de investigación, desde los siguientes aspectos:

1. Reducción de los consumos siempre como primera aproximación en todos los procesos.



2. Balances de energía de detalle, principalmente en lo referente a los calores residuales generados en los procesos industriales.
3. Análisis de dichos calores residuales con base Pareto, buscando siempre la eficiencia en las investigaciones.
4. Búsqueda, en la industria siderúrgica u otros sectores, de aplicaciones innovadoras para la utilización y aprovechamiento de dichos calores residuales.
5. Benchmarking entre sectores o industrias electrointensivas.

Aunque en los últimos años ya se está promoviendo esta línea de investigación relativa a la Eficiencia Energética, con proyectos en curso concretos, como el aprovechamiento del calor residual en el enfriamiento de las escorias negras (correspondiendo al cuarto ítem), o la reducción de los consumos energéticos en el Horno Eléctrico de Arco en base a la optimización del mix de chatarras y parámetros de proceso (ítem 1.), sin duda, estos epígrafes pueden constituir bloques estructurados de trabajo.

- **Uso de hornos eléctricos en otros procesos (de inducción, microondas, resistivos):**

Se da la tendencia que cada vez los lotes son más cortos, donde la eficiencia de los procesos de fabricación está comprometida. Por lo tanto, la búsqueda de otras estrategias de calentamiento en base a inducción, u otras, tienen una oportunidad de satisfacer las necesidades de fabricación actuales.

Se pretende sustituir energía térmica producida actualmente mediante la combustión de gas natural para el calentamiento de semiproductos en la cabecera del proceso de laminación en caliente, por energía eléctrica con el objetivo de disminuir la emisión de GEI. Disminuir la huella de carbono.

La disminución de la emisión de GEI en el calentamiento por combustión mediante gas natural está limitada al CO₂ estequiométrico de las reacciones de combustión, es necesario cambiar a tecnología no emisora directa de GEI como es el caso de la energía eléctrica, la cual puede ser renovable.

Un primer paso de investigación debiera ser explorar las tecnologías existentes en un planteamiento de sustitución parcial del proceso de calentamiento por energía eléctrica, siendo este último posterior al calentamiento por gas natural.

Se realizaría análisis de coste/beneficio considerando precios a futuro de la energía y del CO₂.

Economía Circular

Líneas estratégicas	Sub-líneas	Prioridad ⁴	Resultados
Valorización de nuestros subproductos en aplicaciones directas (ej.: Se puede recuperar vanadio para baterías de flujo redox de vanadio.)		1	M
Transformación de nuestros subproductos en materia prima	Tecnologías de reciclado de químicos (ácidos y bases)	1	M
	Purificación de grafito y residuos asociados	3	M
	Tecnologías para otros subproductos (ej.: transformar escorias en áridos siderúrgicos)	1	M
Tecnologías de lubricantes más duraderos y eficientes		2	C
Tecnologías de recuperación de elementos en vertederos		1	M
Tecnologías de limpieza y valorización de chatarras		1	M
Materias primas alternativas a la chatarra (por ej.: prerreducidos)		1	M
Aumentar la eficiencia de los elementos aleantes		2	C
Captura y valorización de CO ₂		2	M

Resumen líneas estratégicas:

Valorización de nuestros subproductos en aplicaciones directas

Los subproductos siderúrgicos tienen cantidades importantes de materiales valiosos (Zn, Va, Ca, etc.). La combinación de nuevas tecnologías extractivas, el marco medioambiental y económico harán económicamente factible la extracción de estos materiales de nuestros subproductos en el futuro.

Un ejemplo podría ser el desarrollo de tecnologías para la recuperación de vanadio, elemento crítico para baterías de flujo redox de vanadio, tecnologías que garanticen la extracción de metales como el cobre.

⁴ Prioridad: 1- corto plazo, 2- medio plazo y 3- largo plazo



Transformación de nuestros subproductos en materia prima:

- **Tecnologías de reciclado de químicos (ácidos y bases)**

Muchos de los consumibles que empleamos en las acerías provienen de materias primas naturales. Hoy día existe un amplio consenso social de que la naturaleza es un bien finito que hay que proteger y, en particular, la industria del acero es especialista en convertir un residuo, chatarra, en productos de altísima calidad, acero. Esta conciencia y forma de trabajo hay que potenciarla y extenderla a toda la cadena de valor. En particular a los ácidos y bases empleados en las industrias siderometalúrgicas.

Es necesario potenciar la I+D en tecnologías que faciliten la reducción de ácidos y bases generados a partir de productos naturales. Para esto existen tres vías principales, (a) el desarrollo de tecnologías más eficientes que reduzcan los consumos, (b) el desarrollo de tecnología que permitan la reutilización de ácidos o bases (en las propias plantas industriales), y (c) el desarrollo de nuevas tecnologías de fabricación de ácidos y bases que utilicen como materias primas otros residuos industriales.

- **Purificación de grafito y residuos asociados:**

Actualmente el grafito está incluido dentro de las materias primas críticas catalogadas por la Unión Europea como estratégicas y escasas. Esto va a agravarse con la electrificación del automóvil, ya que es un elemento esencial en la fabricación de ánodos en las baterías de ion-Li. La industria siderúrgica genera en su proceso siderúrgico un grafito sintético de alta cristalinidad que habitualmente se trata como un residuo. Este grafito con los tratamientos de purificación adecuados puede llegar a utilizarse como grafito para baterías (el más alto grado de calidad), o para otras aplicaciones industriales. Es por ello que se considera estratégico en la transición energética el estudio de la purificación de grafito y la gestión/minimización de los residuos asociados. Además, este proceso se engloba dentro de la economía circular del acero transformado un residuo en un producto de alto valor añadido.

- **Tecnologías para otros subproductos (ej.: transformar escorias en áridos siderúrgicos)**

Existen varias vías de investigación y desarrollo de tecnologías necesarias para la valorización de los subproductos del sector siderúrgico, entre ellas se encuentran:

- Investigación y desarrollo de tecnologías para adaptación de escorias en el sector de construcción como materia prima.
- Tecnologías para el tratamiento y eliminación de aceites de los lodos industriales generados en el proceso y su adecuación para ser reutilizados en el proceso.
- Investigación y evaluación de tecnologías para recuperación de refractarios.



- Desarrollo de tecnologías para separación y recuperación de óxidos de hierro para usos con alto valor añadido.
- Investigación y desarrollo de tecnologías para optimizar la separación de metales.
- Desarrollo de tecnologías para optimizar la recogida y adecuación de los polvos de acería.

Tecnologías de lubricantes más duraderos y eficientes:

La industria siderúrgica consume grandes cantidades de grasas y lubricantes, tanto en los procesos de laminación como en la lubricación de las propias máquinas. La mejora de la duración o de la eficiencia de las grasas o lubricantes daría lugar a mejoras de calidad de la materia, pero también a menores consumos energéticos, objetivo buscado en la transición energética. Por otra parte, el uso de nanomateriales ha demostrado su eficacia en la regeneración y mejora de propiedades en grasas y aceites fortaleciendo la economía circular.

Tecnologías de recuperación de elementos en vertederos:

No se trata de recuperar el valor de los residuos del presente, sino de encontrar una solución para los residuos no valorizados del pasado.

Nuestros subproductos siderúrgicos, que actualmente se están almacenando de forma masiva en vertederos, tienen grandes cantidades de materiales valiosos (Europa tiene entre 150.000 y 500.000 vertederos y se estima que el 90% de ellos son vertederos "no sanitarios", anteriores a la Directiva de vertederos de la UE de 1999). La recuperación de elementos (metálicos y valiosos) no ha sido considerada hasta el momento como un objetivo, las regulaciones de impacto medioambiental harán que tarde o temprano los vertederos dejen de ser una opción para el almacenamiento interminable de nuestros subproductos.

Por ello, es crucial empezar a trabajar en cómo afrontar este problema ahora para tener soluciones disponibles en un futuro próximo. Es necesario integrar la exploración segura, el acondicionamiento, la excavación y la valorización integrada de las corrientes de residuos de vertederos (históricos, presentes y/o futuros) como materiales (Waste-to-Material) y energía (Waste-to-Energía), utilizando tecnologías innovadoras de transformación y respetando los criterios sociales y ecológicos más estrictos, de forma sostenible en el tiempo. Por otro lado, es importante considerar soluciones orientadas a la recuperación de estos suelos y también tecnologías que hagan viable la valorización de su contenido (por ejemplo, utilizando el concepto de explotación minera, extrayendo los elementos valiosos de una mezcla de menor valor).

Tecnologías de limpieza y valorización de chatarras:



La chatarra férrica como materia prima del proceso de fabricación de acero, es un material extremadamente complejo, ya que se compone, además de la fracción férrica como elemento principal (representando entre el 80 – 95% del total en peso), de otros elementos no deseados tales como elementos metálicos no férricos, materiales impropios, suciedad, óxidos, recubrimientos y pinturas. La distribución en peso de dichos elementos depende de un elevado número de factores tales como origen, métodos de recuperación del material empleados, etapas de almacenamiento y mezclas, y que en la mayoría de los casos no dependen del acerista.

Por otro lado, las previsiones de disponibilidad de chatarra de baja calidad (chatarra obsoleta) se estiman que se incrementen de 386 Millones de toneladas en 2018 a 900 millones de toneladas en 2050 (Worldsteel.org). Este hecho, unido a la nueva estrategia de descarbonización del sector siderúrgico, dará lugar a un incremento en el consumo de chatarra que hará que las líneas de investigación en valorización de chatarra férrica tomen un papel crucial en la rentabilidad, tanto económica como medioambiental del sector siderúrgico

En este sentido, los principales retos tecnológicos residen en el desarrollo de tecnologías de separación, tratamiento y caracterización de la totalidad de los materiales que componen la mezcla férrica.

Materias primas alternativas a la chatarra (por ej.: prerreducidos):

El principal interés tecnológico de la chatarra en el proceso siderúrgico reside en su aportación en hierro al proceso. No obstante, junto con la fracción férrica, se introducen al proceso otros materiales de alto interés tales como carbones, elementos metálicos oxidables o generadores de escoria.

En la actualidad, la principal alternativa a la chatarra en el proceso siderúrgico, son materiales prerreducidos a partir de mineral de hierro. En este sentido, es necesario abrir nuevas líneas de investigación que permitan evaluar y optimizar el uso de otros materiales como potenciales materias primas en la fabricación de acero tales como materiales carbonáceos, subproductos provenientes de otras industrias o el acondicionamiento y/o pretratamiento de materiales férricos de baja calidad que no están actualmente en uso.

Aumento de la eficiencia de los elementos aleantes:

El ajuste de la composición del acero durante la etapa de la metalurgia secundaria se realiza mediante la adición de los elementos aleantes, principalmente en formato de hilo o mediante ferroaleaciones sólidas de distinta granulometría.

Se propone la fusión de los elementos aleantes en un horno de inducción para su posterior adición en estado líquido al inicio de la metalurgia secundaria. El principal beneficio de las adiciones líquidas sería poder utilizar material más “económico” puesto que se podría partir de granulometría más fina, que puede aumentar la eficiencia del rendimiento. Para ello habría que comprobar si este beneficio compensa la energía adicional necesaria para esta fusión y si se



consigue una distribución homogénea de las adiciones líquidas (determinar la cantidad de acero base para realizar la dilución y asemejar la densidad al acero de la cuchara).

La adición de aleantes en estado líquido presentaría las siguientes ventajas:

- reducir el tiempo de la metalurgia secundaria,
- reducir la temperatura del acero líquido al añadir todas las aleaciones en estado líquido,
- tratar de utilizar elementos de aleación más baratos,
- mejorar la mezcla entre los elementos de aleación y el acero,
- mejorar la limpieza del acero reduciendo la adición de inclusiones por ferroaleaciones

Mejorando así la calidad del acero, aumentando la eficiencia de las ferroaleaciones y aumentando la productividad.

Captura y valorización de CO₂:

La captura y la valorización de las emisiones de CO₂ en el sector siderúrgico son temas cruciales a investigar y desarrollar tecnologías en los próximos años. Actualmente, las tecnologías de captura de CO₂ tienen varias limitaciones en la industria. Por un lado, son pocas las tecnologías existentes con TRL altos para implementar a escala industrial, y los pocos existentes requieren grandes inversiones que no garantizan un retorno a medio-plazo y las tecnologías existentes están adaptadas a industrias con altas concentraciones de CO₂ y sin presencia de partículas corrosivas.

Es por ello por lo que se plantean las siguientes líneas a investigar:

- Tecnologías de captación de CO₂ adaptadas a salidas de gases con alta concentración de partículas corrosivas.
- Tecnologías de captación de CO₂ adaptadas para bajas concentraciones de CO₂ y permitan la concentración de CO₂ y separación de otros gases presentes en mayor concentración (NO_x).
- Investigación en tecnologías de captación de CO₂ que requieren la utilización de subproductos del sector siderúrgico como materia prima
- Investigación de tecnologías de almacenaje y utilización de CO₂ en el proceso siderúrgico.

Otras áreas estratégicas

Líneas estratégicas	Sub-líneas	Prioridad ⁵	Resultados
Funcionalización de los productos de acero	Materiales grafénicos (ej. Desarrollo de conocimiento en técnicas de aplicación industrial de resinas y tintas cargadas en materiales grafénicos)	1	M
	Recubrimientos cerámicos	1	C
	Otros (orgánicos, metálicos, deposiciones metálicas, etc.)	2	M
Materiales de alto valor añadido, inoxidable y aleaciones base níquel, alto molibdeno, ...		1	C
Necesidades nuevos mercados	Aeroespacial	2	M
	Automoción	1	C
	Construcción	1	C
	Energético	1	C
	Ferroviario	1	C
	Naval	2	C
Emisiones difusas: identificar origen y técnicas para evitarlas		1	C

Resumen líneas estratégicas:

Funcionalización de los productos de acero:

- **Materiales grafénicos (ej. Desarrollo de conocimiento en técnicas de aplicación industrial de resinas y tintas cargadas en materiales grafénicos) y otros (orgánicos, metálicos, deposiciones metálicas, etc.)**

En el mundo digitalizado al que nos movemos necesitamos que los materiales “nos hablen”, nos informen de qué les ocurre. Actualmente esto se resuelve sensorizando las piezas y cableándolas, pero hay que dar un paso más: Que sea el propio material el que lo comunique. Esto es posible a través de recubrimientos que sean capaces de transmitir información sobre el estado del acero tales como tensiones, grietas, temperatura, humedad, etc.

Para ello es fundamental desarrollar tecnologías primero que sean capaces de detectar y medir esta información, por ejemplo, con la utilización de elementos grafénicos,

⁵ Prioridad: 1- corto plazo, 2- medio plazo y 3- largo plazo



orgánicos, metálicos, etc. Estas tecnologías deberán ser posteriormente implementadas de una forma industrial, dependiendo de si su aplicación es en la pieza final o en el material previo a la conformación.

Igualmente, un campo de trabajo crucial para la funcionalización del acero es la investigación en cómo hacer que esas características, una vez medidas, se puedan transmitir y leer en la pieza final, es decir que sea posible conectarla con el resto de elementos digitales del sistema.

- **Recubrimientos cerámicos:**

Los recubrimientos sobre aceros permiten obtener características superficiales adaptadas a las necesidades de la aplicación. En particular, los recubrimientos cerámicos con características físicas muy diferentes a las de los aceros permiten obtener superficies con muy baja rugosidad, valores de dureza muy elevados y además inertes frente a gran número de reactivos químicos. El desarrollo de nuevas formulaciones de recubrimientos compatibles con los aceros permitirá generar productos optimizados para su aplicación combinando las características físicas de los aceros con las características físicas de los materiales cerámicos.

Materiales de alto valor añadido, inoxidables y aleaciones base níquel, alto molibdeno, etc.:

Las empresas fabricantes de acero se encuentran ante un entorno cada vez más exigente y una demanda creciente de materiales avanzados y de alto valor añadido para hacer frente a condiciones agresivas de uso (altas temperaturas/presiones ambientes corrosivos, desgastes agresivos por corte y fricción, etc.).

La resistencia a la termofluencia (creep), la resistencia a la corrosión en entornos químicos agresivos, la resistencia a desgaste en condiciones cada vez más exigentes y la estabilidad microestructural durante la vida en servicio del material, hacen necesario la investigación y el desarrollo, tanto de nuevos aceros inoxidables y aleaciones base níquel, como de nuevos procesos termo-mecánicos, que den respuesta a las necesidades de aplicaciones de alta exigencia.

Además debido a los requerimientos cada vez más exigentes en los impactos ambientales sobre los productos de acero, el aligeramiento sigue siendo, y será, muy relevante, por lo tanto los materiales de baja densidad como los aceros de tercera generación (por ejemplo, los aceros Q&P- Quenching & Partitioning con alto potencial para la mejora de la resistencia a desgaste/fatiga y de la tenacidad) como solución al aligeramiento de componentes en el sector transporte.

Necesidades nuevos mercados:



Para cumplir con las exigentes políticas europeas referente a las emisiones de CO₂, los fabricantes de automóviles están trabajando en la reducción del peso del automóvil sin penalizar la seguridad de los pasajeros. Para ello, están adoptando distintas estrategias como:

- (i) el rediseño de componentes (para eliminar el material innecesario),
- (ii) el uso de aceros de alta resistencia (para reducir espesores) y
- (iii) la reducción de la densidad del material utilizado. En esta última estrategia, el acero está fuertemente compitiendo con otros materiales más ligeros, tales como aluminio, magnesio, etc. Sin embargo, el “acero” tiene la gran ventaja de ser el material más reciclable.

En línea con la tercera estrategia mencionada, los “aceros” o aleaciones de baja densidad pueden contribuir notablemente al objetivo general de reducción de peso del vehículo.

Pero aunque estas aleaciones de baja densidad ($< 7.1 \text{ gr/cm}^3$) parecen tener un gran potencial para cumplir con las demandas de aligeramiento del sector de automoción, y de otras aplicaciones, su desarrollo requiere explorar conceptos de aleación completamente nuevos, ya que se tratan de aceros que requieren adiciones elevadas de elementos de aleación tales como Al, Mn, etc. En la actualidad, el conocimiento que existe sobre el efecto de tales adiciones en la capacidad de las aleaciones para ser procesadas y sus propiedades físicas, mecánicas y metalúrgicas es limitado. Se propone su investigación y aplicación a los diferentes sectores usuarios.

- **Aeroespacial:**

Algunas de las líneas de investigación en aceros para el sector aeroespacial son:

- Aceros inoxidables y aleaciones base níquel de alta resistencia mecánica que permita reducir el peso del material necesario.
- Aleaciones y aceros de baja densidad para el aligeramiento de componentes.
- Aceros inoxidables y aleaciones base níquel de alta resistencia a la corrosión.
- Aceros inoxidables y aleaciones base níquel con alta resistencia a la termofluencia (creep) que permitan aumentar las temperaturas de uso y así la eficiencia.

- **Automoción:**

En automoción, 3 son las grandes líneas de investigación:

- Independientemente de si el vehículo es eléctrico o con motor de combustión interna, el desarrollo de aceros de alta resistencia y/o baja densidad que permitan aligerar el peso del vehículo siempre va a permitir un menor consumo de energía. Además de permitir el aligeramiento, los nuevos aceros que se desarrollen deberían aumentar o por lo menos proporcionar los mismos niveles de seguridad.



- Para los vehículos eléctricos, desarrollo de aceros para engranajes que permitan resistir las transmisiones demandas, dado que el número de revoluciones al que funcionan estos motores son el doble que los actuales.
- Aceros eléctricos para los motores de los vehículos eléctricos.

- **Construcción:**

Para el sector construcción, los principales objetivos serán el desarrollar,

- Minimizar la huella de carbono del sector introduciendo materias primas reutilizadas y aceros con menor impacto medioambiental.
- Automatización del trabajo en obra introduciendo robots para aumentar la competitividad, debemos preparar nuestros productos para ser montados mediante estas nuevas tecnologías
- Digital twins de las obras mediante BIM, desarrollar nuestros productos estandarizados en esta tecnología.
- La industria del acero se encuentra alineada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de Naciones Unidas. En este sentido, entendemos que nuestros productos son, y deben seguir siendo, esenciales en la mejora de los modelos de construcción aplicables, cuya sostenibilidad es esencial para un progreso social más eficiente y con menor impacto en el entorno. La I+D+I, tanto como herramienta incremental como rupturista de los modelos actuales, impulsa la sostenibilidad de la construcción y el empleo de soluciones de aceros como eje del desarrollo.

Todos los objetivos anteriores pueden impactar en mayor manera en la obra pública.

- **Energético:**

La presión creciente para acelerar la Transición Energética en un contexto de efervescencia tecnológica posiciona al acero como un elemento clave, ya que está estrechamente relacionado con los sectores industriales más implicados en dicha transición, como son la energía, la automoción o el transporte.

En el caso de sector energético, la generación de energías limpias (eólica, H2,...) y el procesamiento, transporte y almacenamiento de otras fuentes de energía demandan materiales con mejores prestaciones que permitan aumentar los eficiencia de estos procesos manteniendo criterios medioambientales y de seguridad.

- **Ferrovionario:**

Para el sector ferroviario, los principales objetivos serán desarrollar:



- Aceros con resistencia a alta temperatura que permita soportar las temperaturas generadas durante el proceso de frenado;
- Limpieza inclusionaria adecuada a las especificaciones del usuario, fundamentalmente en la zona de influencia del área de rodadura;
- Los requerimientos hacia la durabilidad de la infraestructura, están promoviendo el aligeramiento de los vehículos; por lo tanto, los aceros de alta resistencia mecánica que permitan reducir el peso de los componentes manteniendo la seguridad necesaria, será cada vez más relevante.

Siendo estas condiciones muy exigentes especialmente en los trenes de Alta Velocidad.

- **Naval:**

Se trata de un sector estratégico y con gran potencial de crecimiento cuyo progreso pasa por la innovación, la incorporación de productos de alto valor añadido y la correcta adopción de nuevos modelos que permitan alcanzar los exigentes objetivos medioambientales marcados por la legislación.

La digitalización es uno de los principales retos de este sector junto con la automatización y optimización de procesos que permitirán desarrollar o integrar tecnologías de fabricación más eficientes, aumentando de esta manera la competitividad del sector. Desde el punto de vista de los materiales, el reto está por una parte en proporcionar aceros adecuados que permitan desarrollar todo el potencial de las nuevas tecnologías (aceros capaces de asegurar excelentes propiedades para diferentes tecnologías de unión) y, por otra parte, una mejor integración de la información que permita un mejor ajuste de los modelos y de los procesos de fabricación, así como de los diseños y las previsiones.

Dentro de los objetivos medioambientales cabe destacar la reducción de emisiones, principalmente azufre, en 2020 y la progresiva descarbonización del sector hasta reducir un 40% la emisión de CO₂ t/milla en 2030 sin impactar en la velocidad final del barco. Esto se puede traducir en la búsqueda de combustibles alternativos o complementarios a los actuales hidrocarburos, (LNG e hidrogeno entre otros) y la correspondiente adaptación de las tecnologías y materiales que permita operar bajo las nuevas condiciones, manteniendo o incrementando las prestaciones. Por ello es necesario el desarrollo de una gama de aceros que permitan a los diseñadores introducir nuevos combustibles (LNG e hidrogeno entre otros) mientras que se continúa trabajando en la reducción del espesor, reducir el peso del barco y bajar el centro de gravedad que incrementarán la estabilidad y la velocidad.

En este contexto, el diseño de aceros y aleaciones con propiedades mejoradas y/o baja densidad contribuiría favorablemente a la reducción de espesores.



Por último, cabe destacar que dentro de este mercado cada sector tiene unos objetivos muy concretos como, por ejemplo, aceros balísticos para barcos militares, Aceros antiabrasión para graneleros, Aceros criogénicos para gaseros, Aceros de alto límite elástico para barcos grúa, etc.

Emisiones difusas:

Dentro del marco de las políticas de Cambio Climático, las emisiones difusas son un punto crítico dentro de la industria siderúrgica, especialmente en la ruta integral. Soluciones para la identificación del origen de la emisión y su monitorización, así como la aplicación de tecnologías para su abatimiento y predicción de los impactos serán vectores de desarrollo imprescindibles en los próximos años.