



# Innovación en aceros: evolución y nuevos retos

Isabel Gutierrez  
igutierrez@ceit.es

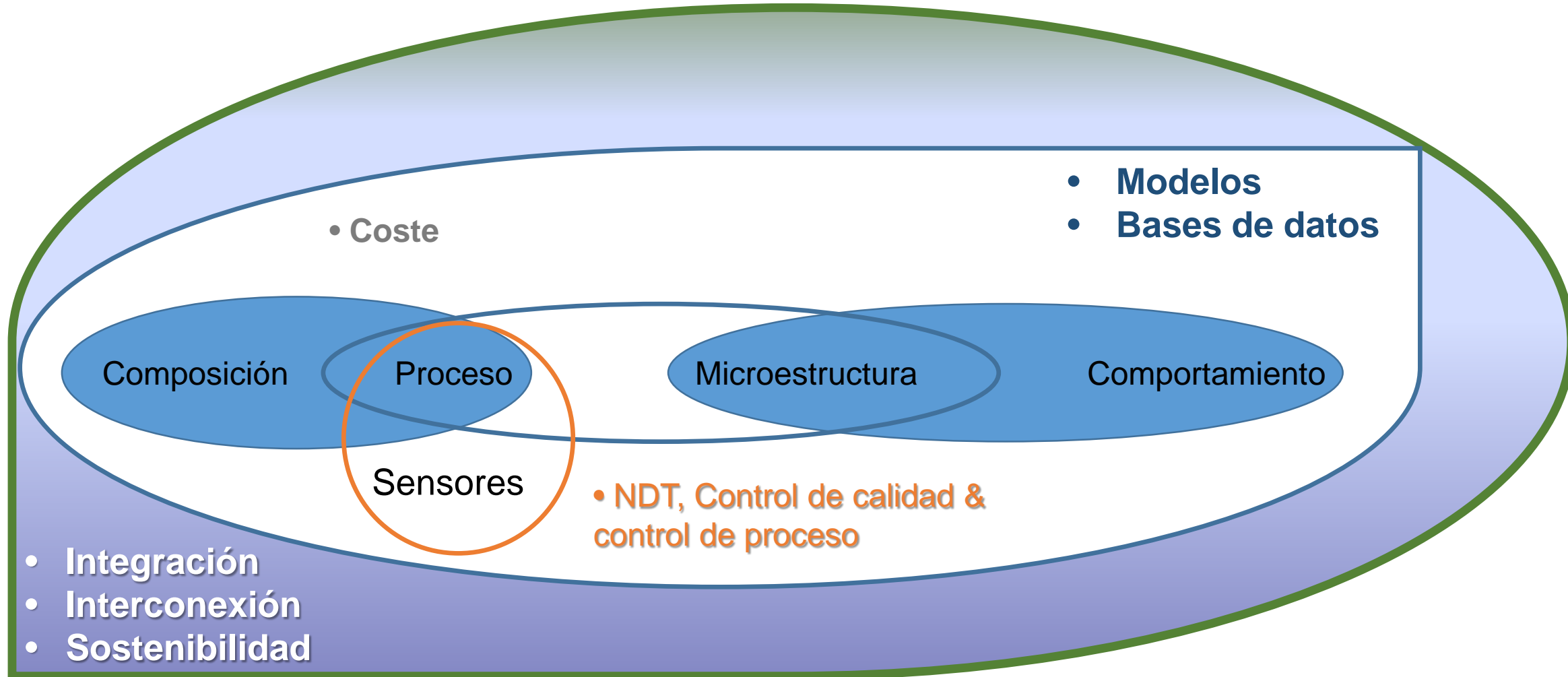
Ceit-IK4, Manuel Lardizábal 15,  
20018 Donostia-San Sebastián

# Indice

---

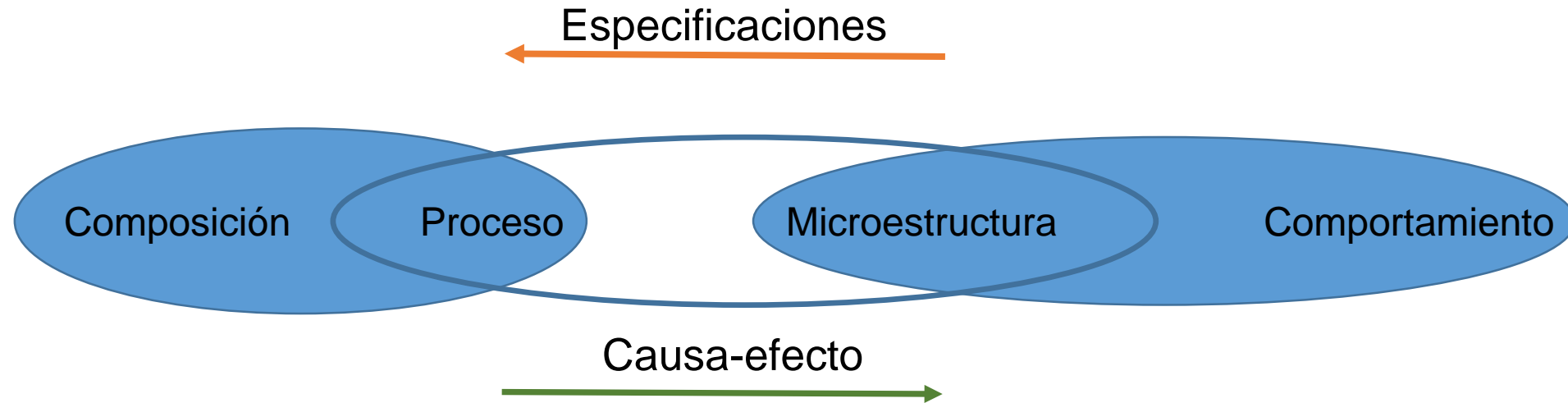
- El paradigma del acero en la Industria 4.0
- Innovación & ejemplos
- Grandes retos en aplicación
- Combinación de propiedades antagónicas
- Búsqueda de nuevas soluciones
- Comportamiento en condiciones extremas
- Consideraciones finales

# El paradigma del acero en la Industria 4.0

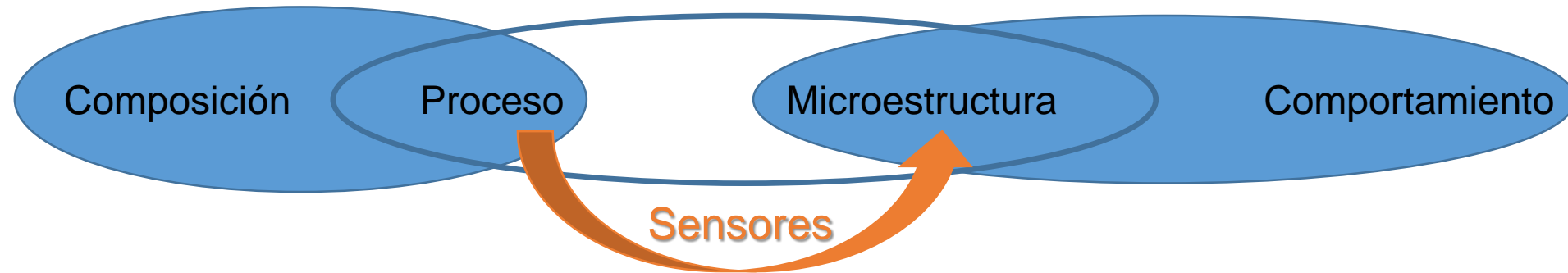


# El paradigma del acero ...

... clave para la innovación en aceros



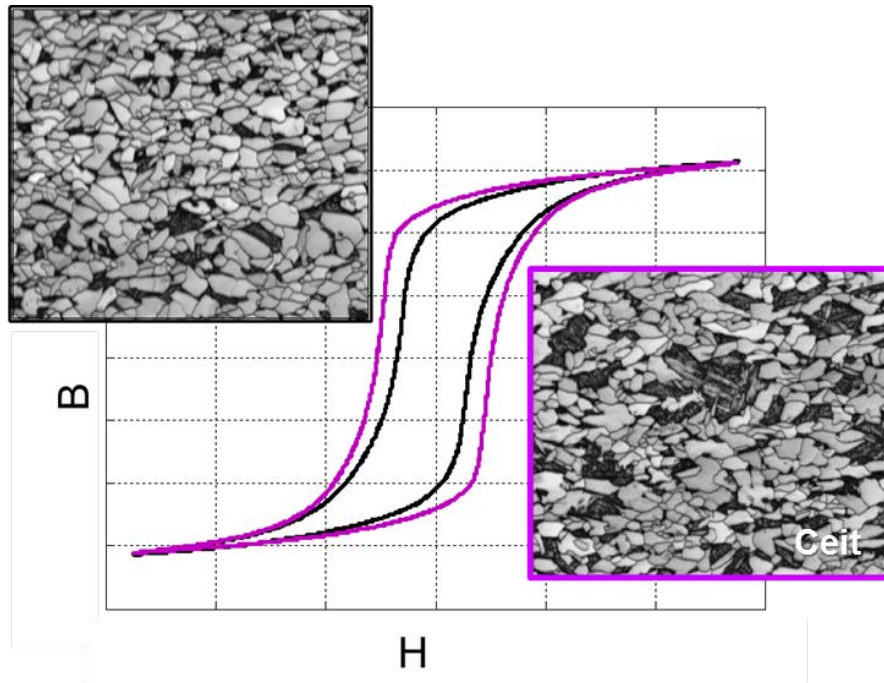
# El paradigma del acero en la Industria 4.0



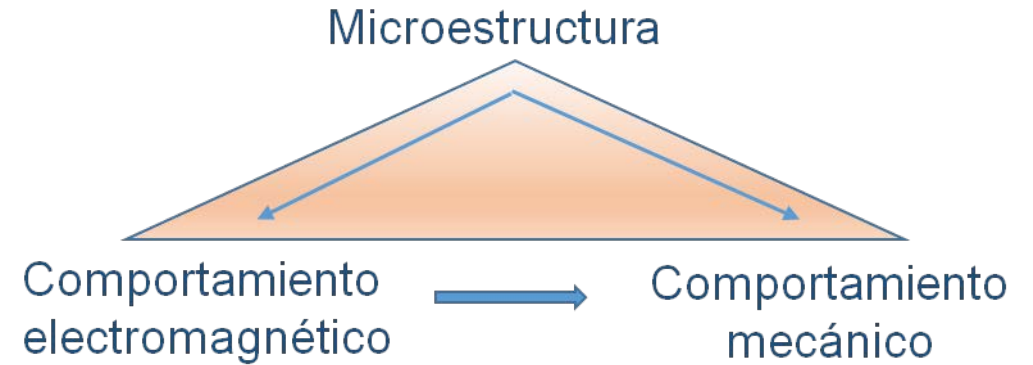
# Sensores

El ciclo de histéresis capta:

- Cambios microestructurales
- Tensiones residuales
- Fatiga



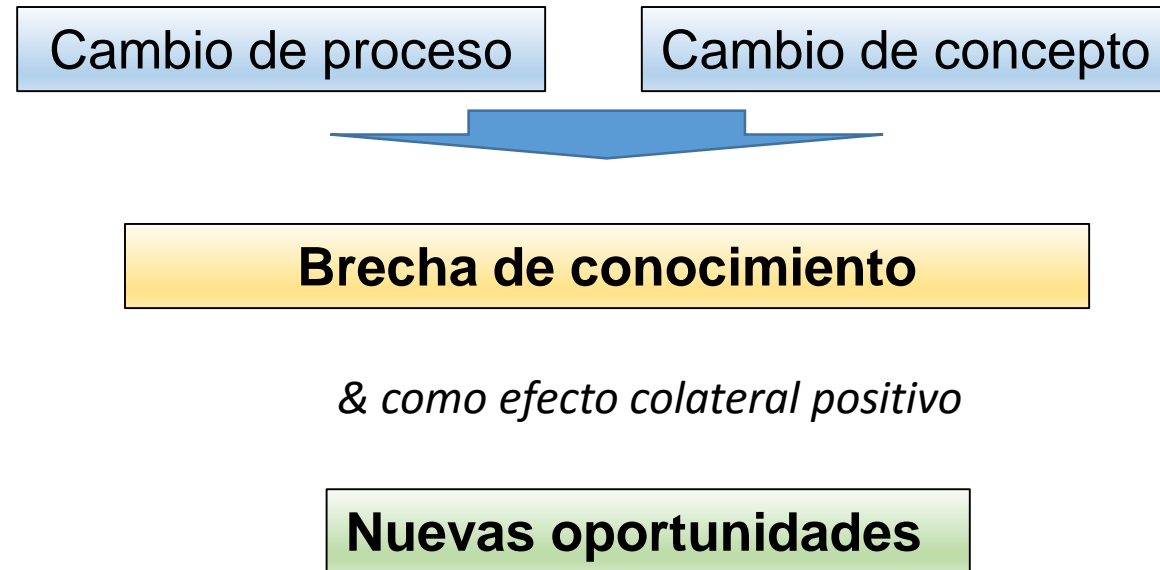
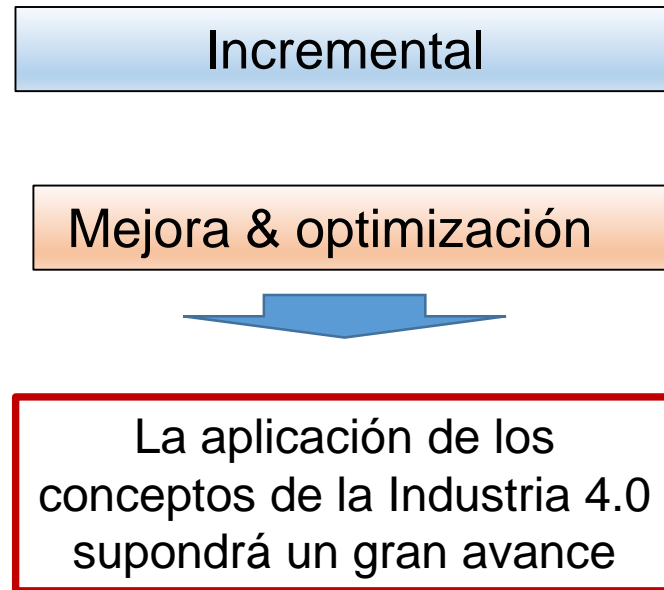
Ej.: Ciclo de histéresis de dos aceros DP con diferente fracción de martensita (oscuro).



⇒ *Mediante sensores se puede controlar tanto las propiedades mecánicas de un acero como su “vida remanente” en servicio*

# Innovación

Se pueden diferenciar diferentes tipos



*Tres ejemplos:*

- *Laminación en caliente*
- *Recocido en campana/recocido continuo*
- *Tratamiento térmico por inducción*

# Ejemplo 1: Laminación



En la década de los 70:

- el tren de laminación en caliente servía para transformar el material de colada
- las propiedades finales se obtenían mediante tratamiento térmico

En la actualidad:

- el tren de laminación en caliente + el enfriamiento acelerado es una **“herramienta integrada de control (microestructural) de propiedades”**



*Fue necesario desarrollar nuevo conocimiento...*

*...y la evolución sigue más de 40 años después como lo demuestran los congresos sucesivos sobre aceros HSLA*

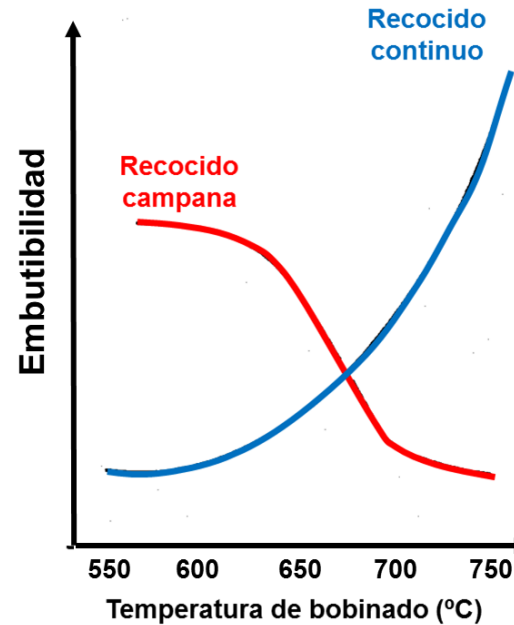
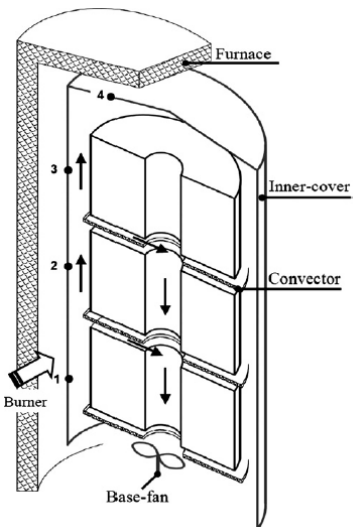
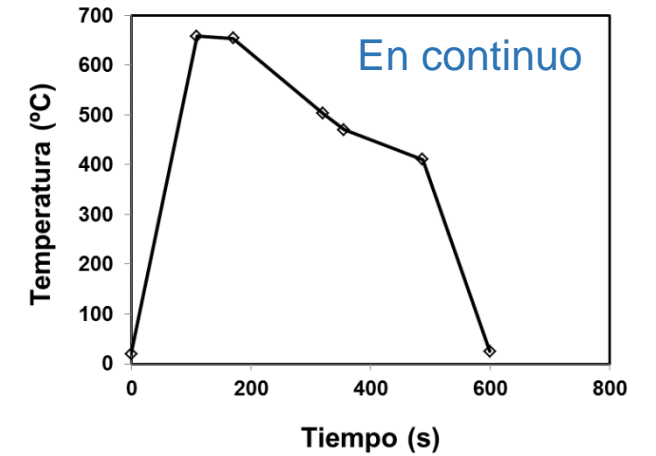
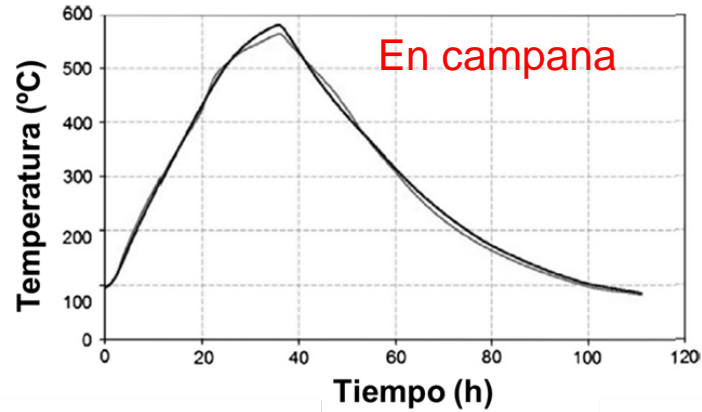
# Ejemplo 2: Recocido de chapas laminadas en frío

## Cambio en la escala de tiempos

Horas

Segundos

Cambio en los conceptos metalúrgicos



Nuevas oportunidades:

- Aceros duales
- Aceros TRIP

## Ejemplo 2: Tratamiento térmico por inducción

Comparando con TT convencionales:

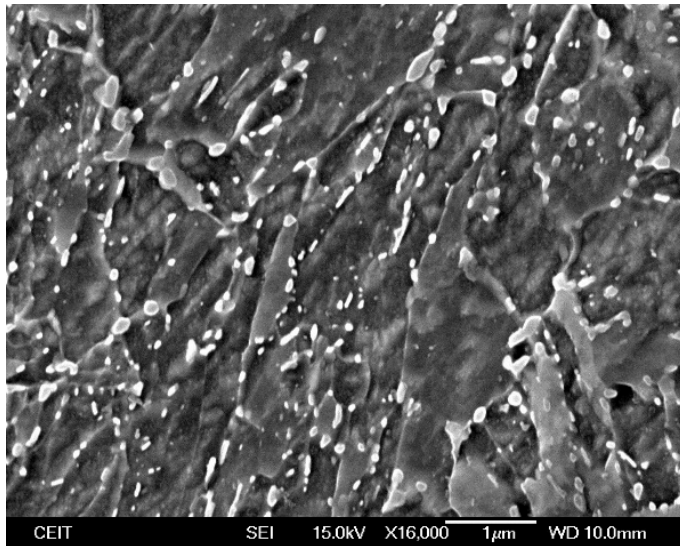
- Velocidades mucho más elevadas en calentamiento y enfriamiento
- Tiempos más cortos

Calentamiento  
a 700°C:

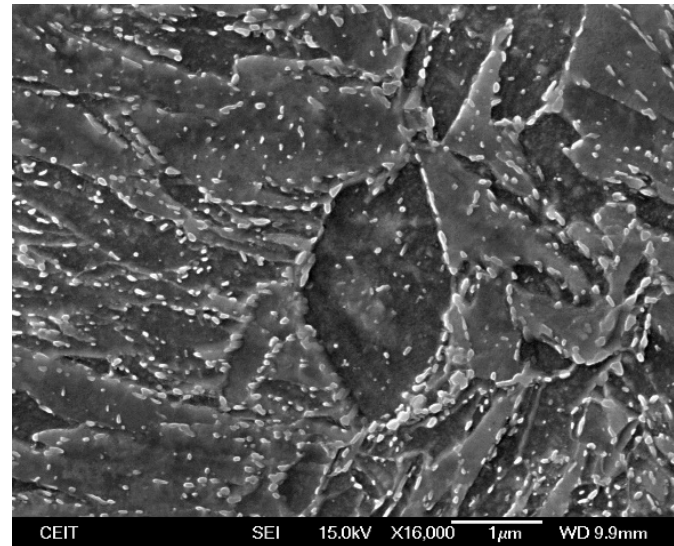
1°C/s

100°C/s

Modifica el tamaño y  
distribución de carburos



**Es preciso reajustar las  
condiciones**



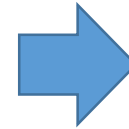
**Abre nuevas posibilidades de  
control propiedades mecánicas**

C. Revilla, B. López y J.M. Rodríguez Ibabe, Carbide size refinement by controlling the heating rate during induction tempering in a low alloy steel, *Materials and Design*, vol. 62, 2014, pp. 296-304.

# Grandes retos en aplicación

- **Combinación de propiedades antagónicas:**

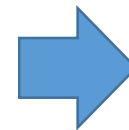
- Elevada resistencia mecánica
  - + ductilidad
  - + conformabilidad
  - + soldabilidad
  - + tenacidad



- Condicionantes en:
  - Seguridad
  - Reducción peso
  - Emisiones
- Soluciones en acero/otros materiales

- **Comportamiento en condiciones extremas:**

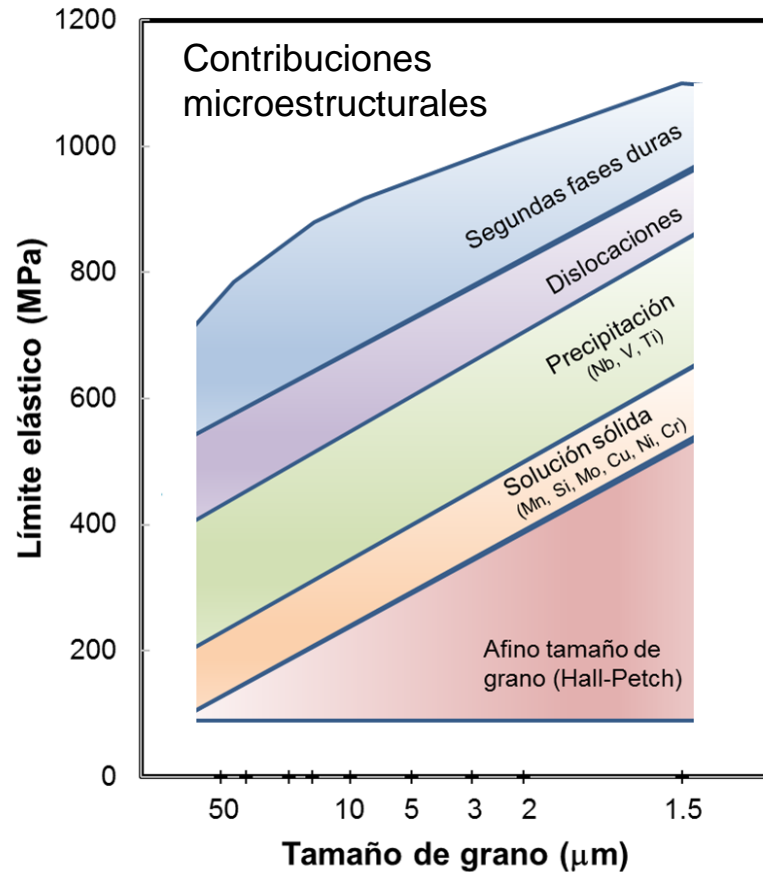
- Ambientes corrosivos, oxidantes
- Alta temperatura
- Elevada presión
- Desgaste severo
- Fatiga
- Radiación
- Condiciones criogénicas
- *...y combinaciones de las anteriores*



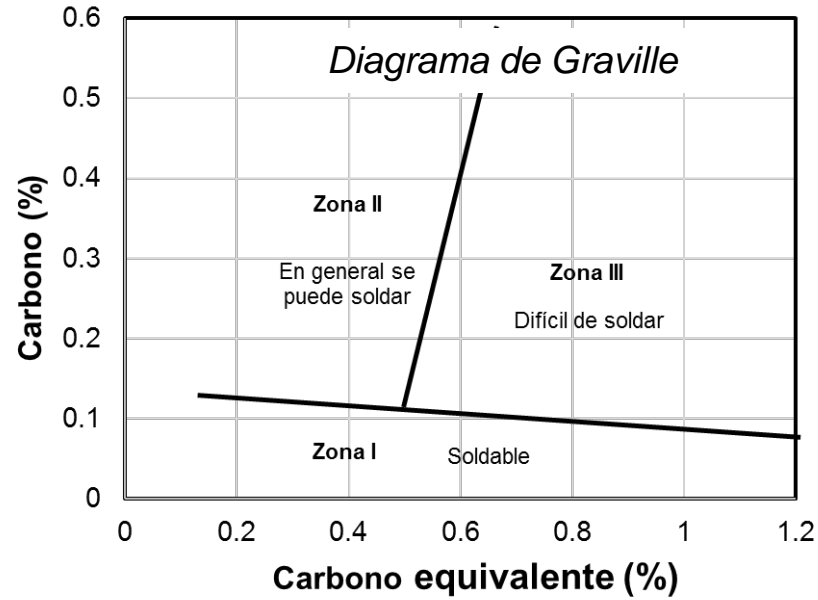
- Limitantes en:
  - El desarrollo de otras tecnologías
  - Eficiencia
- Soluciones en acero/otros materiales

# Combinación de propiedades antagónicas

## Resistencia mecánica



## Soldabilidad



## Tenacidad

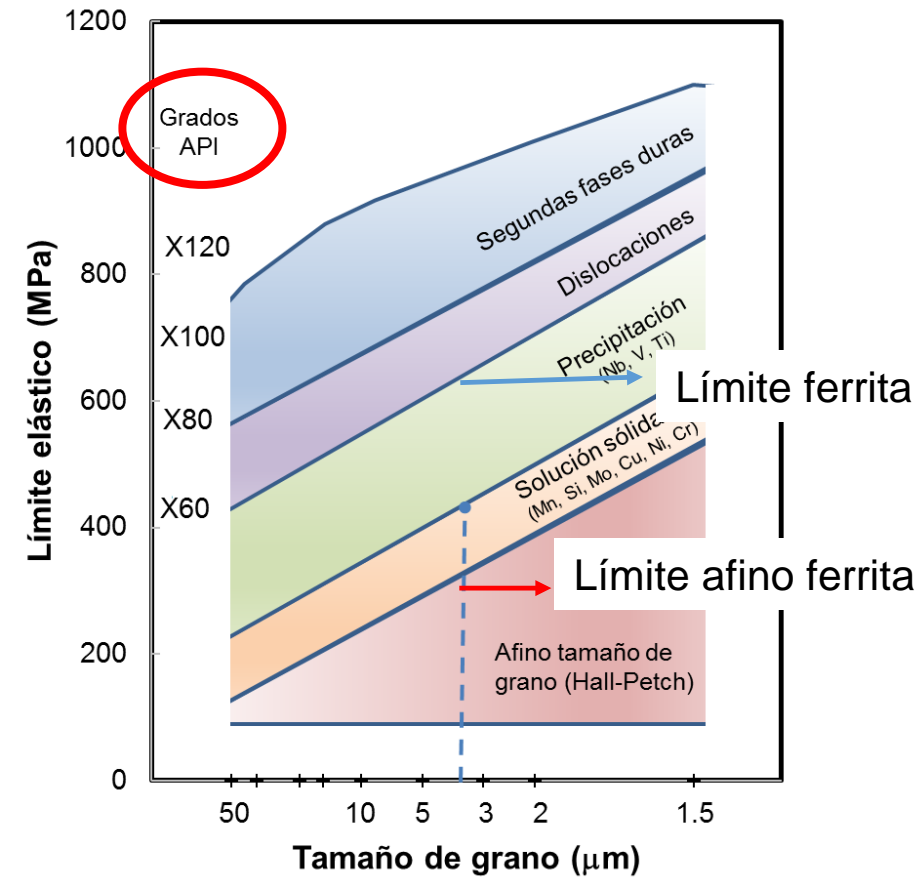
- Limpieza acero
- Bajo carbono
- Afino grano
- Homogeneidad microestructural
- Control fases duras (ej: bandeados,...)

Ejemplo: grados API

# Ejemplo grados API

El %C se ha ido reduciendo sistemáticamente a lo largo de los años en los grados API

Al mismo tiempo, han ido apareciendo grados con mayor resistencia mecánica y tenacidad



Límite ferrita + precipitación

Límite afino ferrita

Las microestructuras base ferrita alcanzan un límite

Necesidad de introducir microestructuras complejas

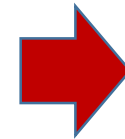
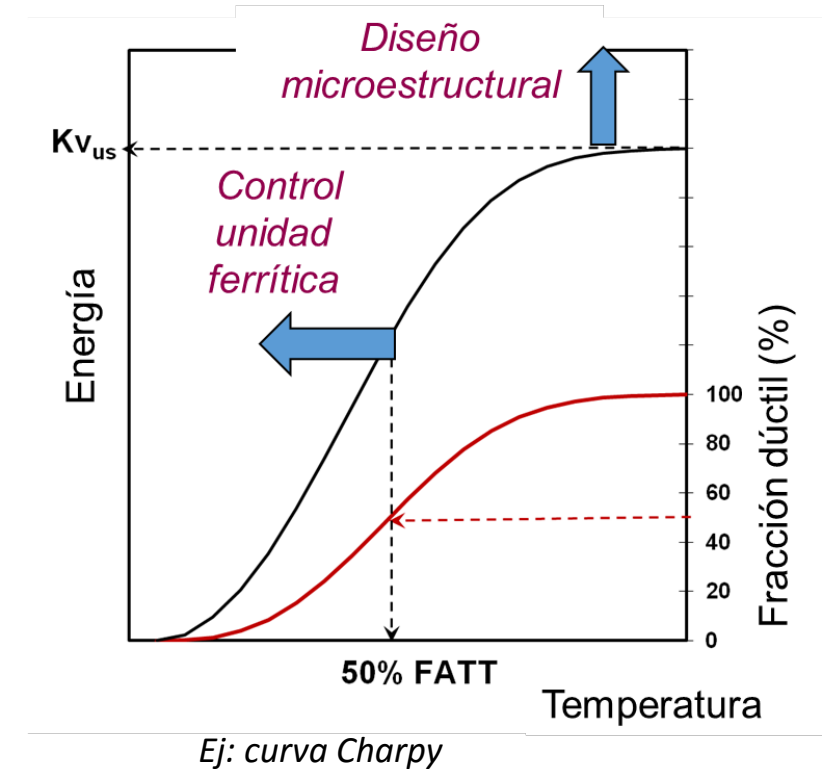
# Ejemplo grados API

## Microestructuras complejas

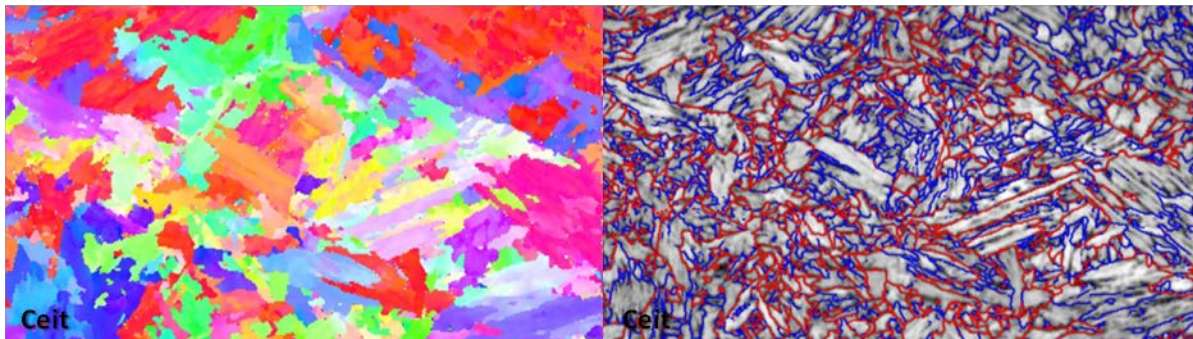
- Diferente combinación microestructural para el mismo grado
- Es necesario establecer estrategia de diseño microestructural
- La unidad ferrítica (clivaje) no está directamente relacionada con un elemento microestructural fácil de medir

Grados > X80

- Pocos productores
- Pocos proyectos



Reto: Tratar de extender el rango de las estructuras base ferrita

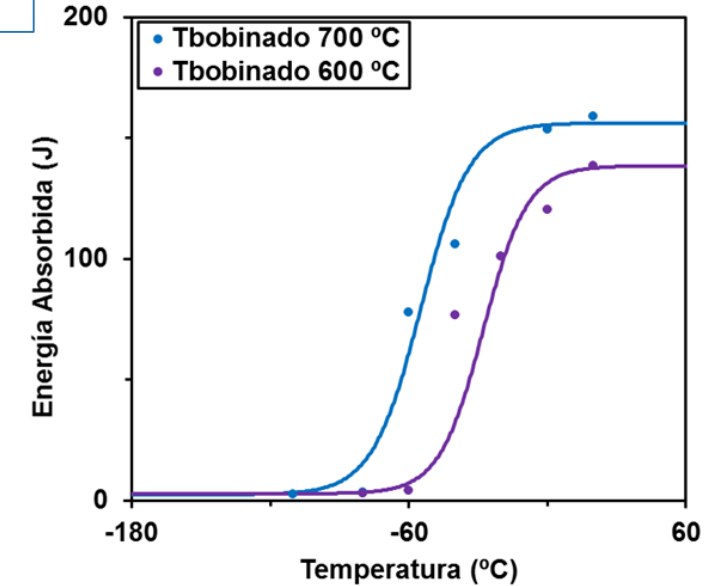
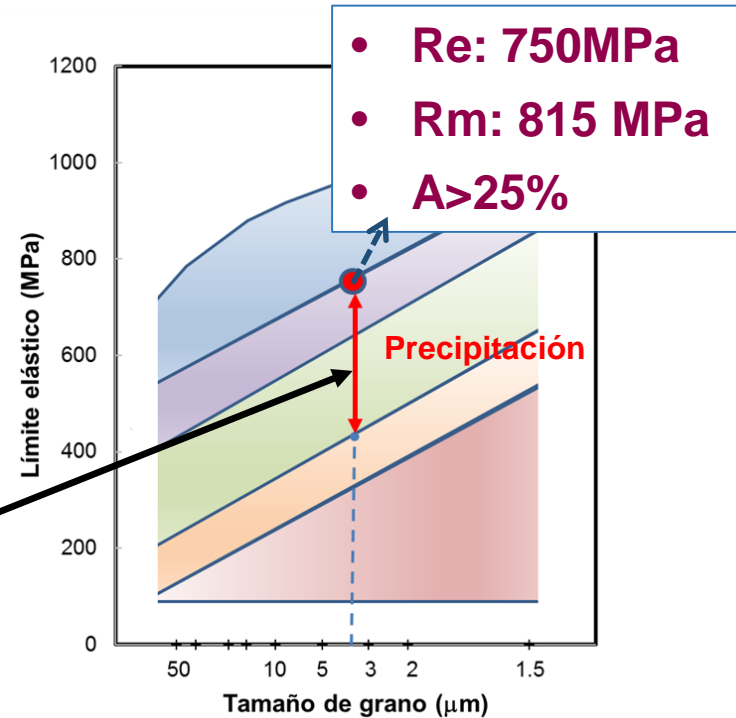
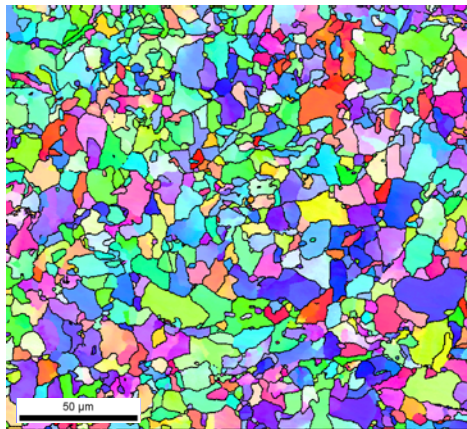
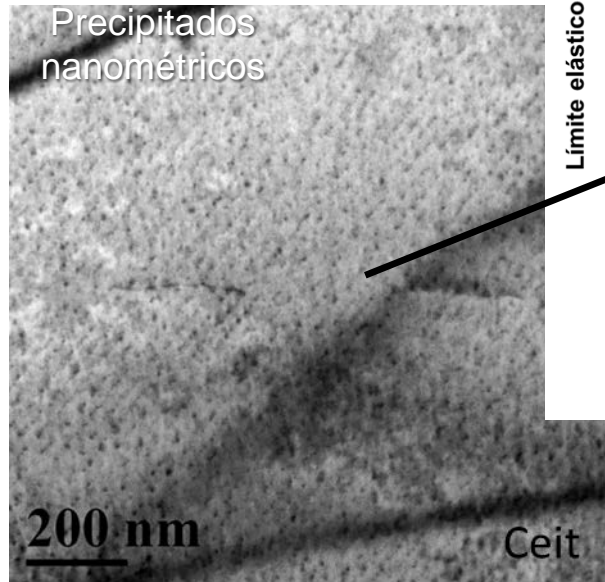
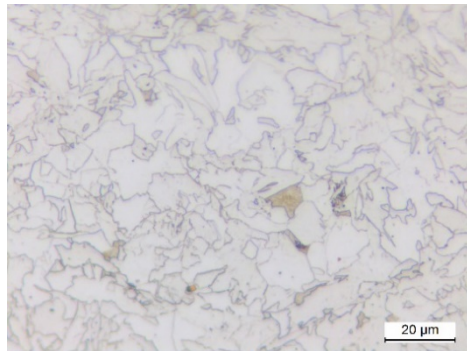


# Ejemplo de nuevo concepto

Acero	C	Mn	Si	Ti	Mo
Ti+Mo	0.05	1.6	0.2	0.09	0.2

## Concepto:

- Microestructura ferrita sin perlita ni carburos
- Endurecimiento por precipitación de Ti
- Mo para mejorar estabilidad de precipitados

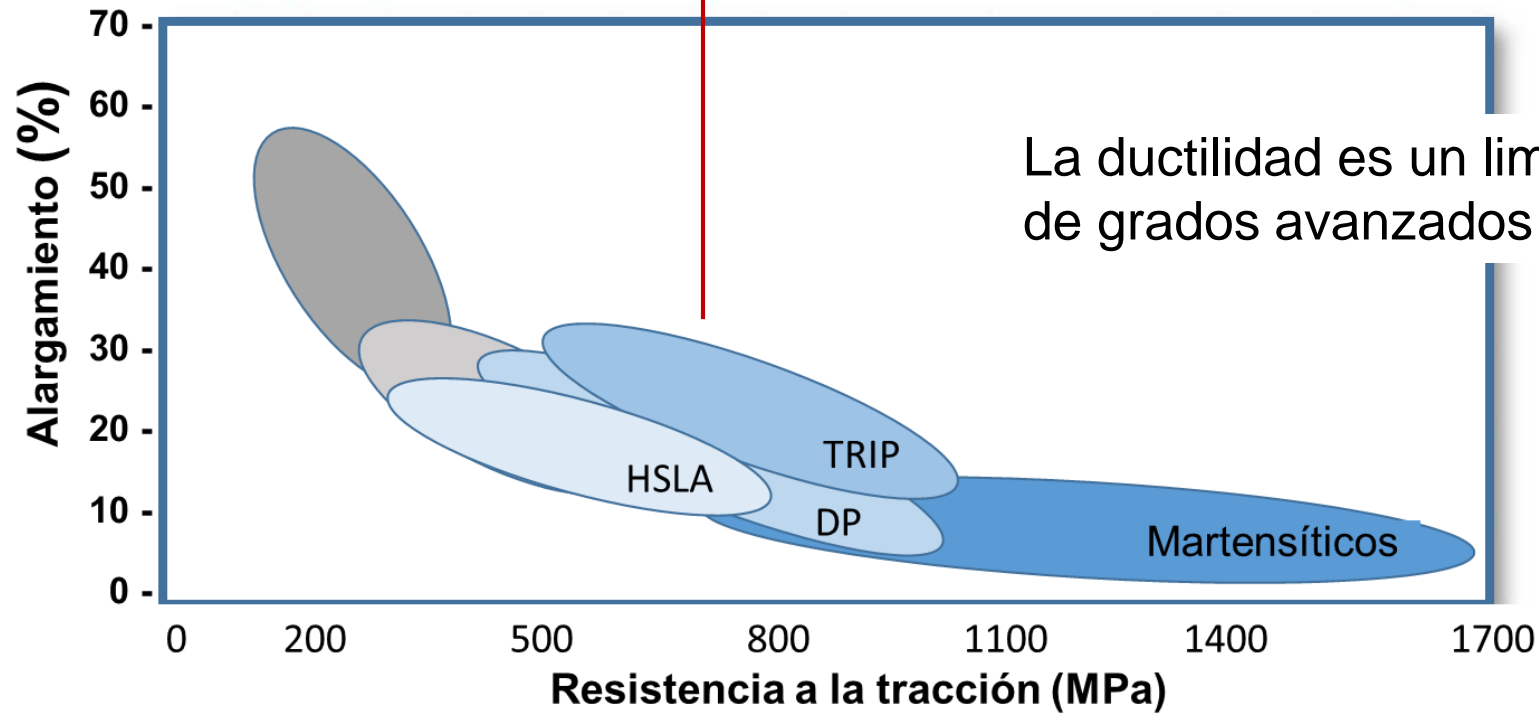


G. Larzabal et al. Congreso Nacional de Materiales, 7-9 Junio, 2016, Gijón

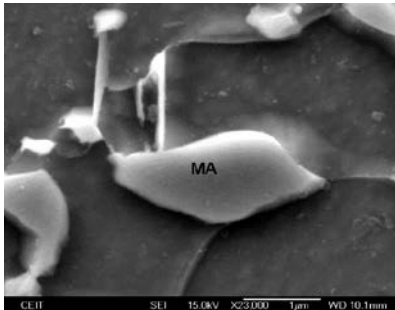
# Combinación de propiedades antagónicas

Mapa de propiedades: *Worldauto*

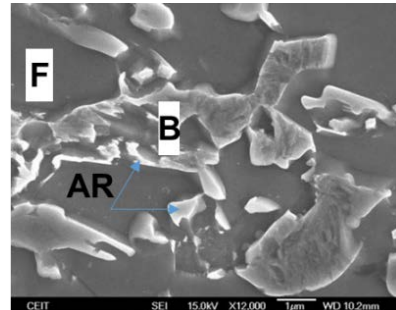
AHSS:  
Advanced High Strength Steels → *Primera generación*



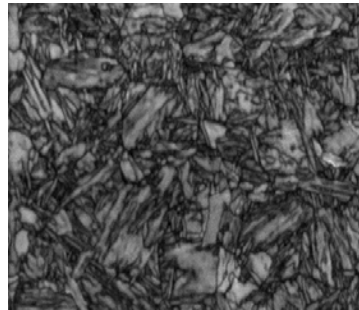
DP



TRIP



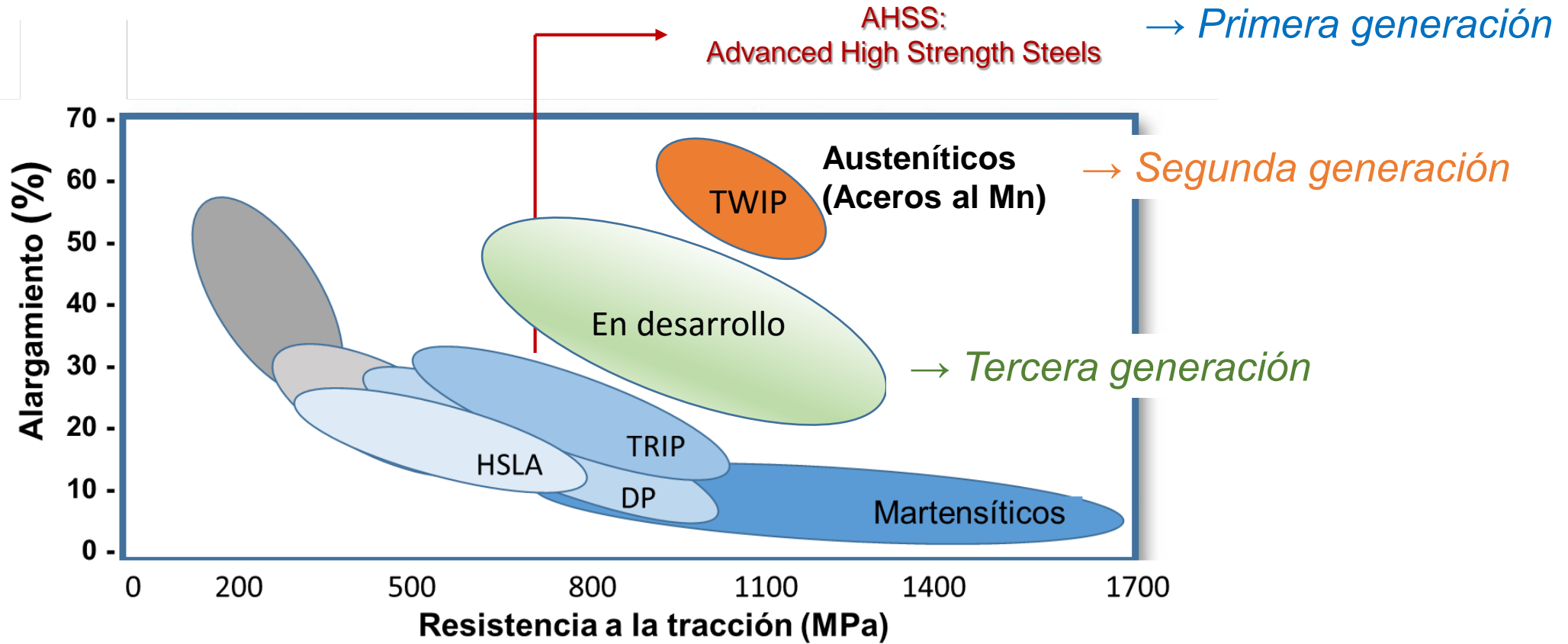
Martensita



*Proyecto RFCS-CT-2012-00018: New developments and optimization of high strength boron treated steels; OPTIBOS. Socios: CEIT, Tata steel, OCAS, CRM, MPIE. 2012-2015.*

# Búsqueda de nuevas soluciones...

...salto conceptual importante

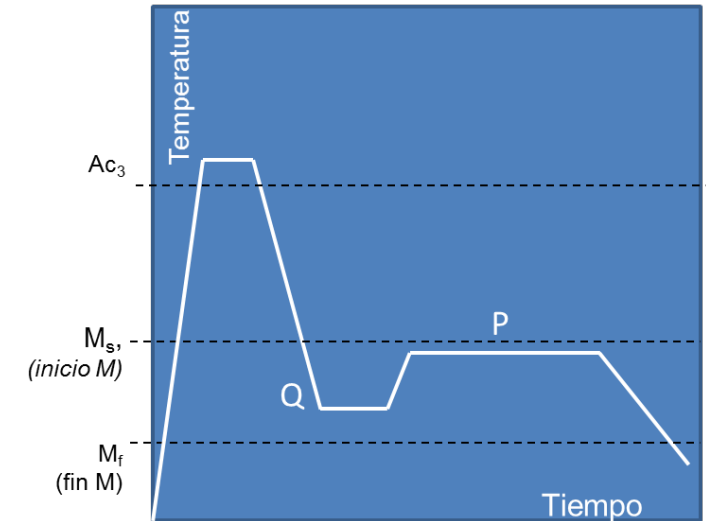


# Búsqueda de nuevas soluciones...

*Tercera generación:* Se están explorando nuevos conceptos

- Duales: Bainita+martensita
- Bainita libre de carburos+austenita
- Austenita + martensita
  - Quenching & Partitioning
  - Aceros con 3-8%Mn

*Se ha abierto el campo de investigación a cualquier tipo de composición y proceso.*



*Ej: Q&P*



**Ej: Bainita-martensita**

*Proyecto RFSR-CT-2014-00017: Bainite and second-phase engineering for improved formability; Baseform. Socios: M2I, Tata Steel, AMMR, TUDelft, CEIT. 2014-2018*

# Comportamiento en condiciones extremas

Algunos de los grandes retos:

- Aceros para elevada temperatura + condiciones extremas de corrosión/oxidación que llenen el hueco entre aceros y aleaciones de Ni
- Aceros más resistentes a la corrosión (ej.: offshore, Oil & gas,...)
- Resistencia a la enfragilización por hidrógeno
- Resistencia a la fatiga
- Resistencia a la abrasión
- ...
- Ensayos que simulen adecuadamente esas condiciones, modelos, ...
- ...

# Consideraciones finales

*En un mundo global, se impone estar en primera línea de la innovación*

- En el entorno de Industria 4.0, la innovación incremental se verá impulsada por la gran cantidad de datos disponibles y la mejora de los procesos
- La innovación que suponga una ruptura con métodos y/o conceptos previos tendrá que basarse en el **Conocimiento** y la **Investigación**
- Las soluciones que perduran son únicamente aquellas que cumplen además los criterios de:





**Muchas gracias**



Isabel Gutierrez

[igutierrez@ceit.es](mailto:igutierrez@ceit.es)

<http://ceit.es/>