

## Prólogo

**M**E cupo el honor y la satisfacción de asistir en el año 2013 al quincuagésimo aniversario del Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas (CENIM, CSIC), que, entre otras iniciativas desarrolladas para festejar esos 50 años de vida activa, acuñó para celebrarlo una medalla conmemorativa en la que aparecen distintas tareas relacionadas desde hace siglos con la metalurgia y, en su reverso, el emblema del CSIC, la leyenda «del mineral al material».

Esas palabras hacen referencia al material y su origen como recurso natural, algo que acompaña a la historia de la Humanidad desde sus comienzos, cómo se extrae y se purifica, cómo se moldea y se alea, cómo se suelda y cómo se potencian sus propiedades, y en esas palabras subyace toda la ciencia y el conocimiento profundos que han dado lugar a la tecnología de la *ars metalurgica*. El empirismo y quizá la serendipia en los primeros tiempos y la ciencia en los siglos más recientes son los que han permitido profundizar en las estructuras, características y propiedades de los metales y los efectos y fenómenos asociados a su procesamiento y a su interacción con otros elementos, sean estos gases, líquidos o sólidos.

Precisamente la corrosión de los metales es una de las áreas que exigen una aproximación multidisciplinar muy demandante de la química y la electroquímica, pero también de la ciencia de materiales, de la física y de la ingeniería.

El CENIM ha sido y es un excelente crisol donde se agregan, se funden y se alean buena parte de esas disciplinas. Se creó en 1963 como unión de los tres Institutos del Patronato Juan de la Cierva, que desarrollaban su actividad en el campo de la metalurgia: el Instituto del Hierro y del Acero, el Instituto de la Soldadura y el Instituto de Metales No Férreos. Durante unos veinte años, la mayor actividad del CENIM estuvo orientada a colaborar con la incipiente industria

española, especialmente en los campos de la extracción, producción y procesado de metales y aleaciones. Además de abordar grandes proyectos de I+D, el centro ayudó en la realización de ensayos y análisis a muchas industrias pequeñas que no disponían de los adecuados laboratorios. También se convirtió en lugar de encuentro de diversas asociaciones de investigación, firmas y particulares, ya que en él podían encontrar los medios materiales y los conocimientos capaces de resolver sus problemas, incluida una buena biblioteca.

La organización del CENIM ha pasado por diversas etapas desde su fundación, pero en esencia su actividad científica se articula en torno a cinco líneas de investigación que abarcan diferentes campos en el ámbito de los materiales metálicos: el procesado y la modelización; la caracterización de la microestructura y sus propiedades; los procesos de corrosión; la protección y funcionalización de superficies; y el medio ambiente, reciclado y recuperación energética.

Con el paso del tiempo, el desarrollo y la modernización de la industria española y la llegada de las grandes multinacionales que han desplazado hacia sus países de origen los centros de investigación, el CENIM ha ido evolucionando y enfocando su orientación hacia una investigación menos tecnológica. Siguiendo las nuevas tendencias, su actividad se dirige hacia una investigación de excelencia, basada tanto en los Planes Nacionales I+D, como en los Programas Marco de la Unión Europea. Este cambio de actitud se ha reflejado en que, desde la entrada de España en la Unión Europea, el CENIM ha sido uno de los primeros centros del Consejo que ha tenido, en número importante, proyectos de tipo CECA, EURAM, BRITE, etc.

De la misma manera, las líneas de actuación han cambiado notablemente. Así, en el campo de la metalurgia extractiva, donde en las décadas anteriores se dedicaba una atención prioritaria a la obtención de metales a partir de minerales, se presta mucho interés al aprovechamiento de residuos y al reciclado de materiales, siguiendo la tendencia moderna de aprovechar y eliminar todo tipo de residuos, tanto a causa del agotamiento de los recursos primarios como por razones ecológicas. Ello sin olvidar los procesos de obtención, donde se ha trabajado, por ejemplo, en la inyección directa de carbón en el horno. En el campo de la utilización de metales y aleaciones se ha pasado del estudio de las propiedades físicas y mecánicas de materiales ya conocidos, al desarrollo de nuevos materiales de altas prestaciones, tales como aceros nanocristalinos, intermetálicos o aleaciones de aluminio para alta temperatura, materiales superplásticos o materiales compuestos, así como biomateriales.

En ese marco han continuado los estudios sobre la corrosión, pero con una especial atención al estudio de los procesos de corrosión básicos, así como los

producidos por el efecto sinérgico que tiene lugar sobre una superficie metálica sometida a factores mecánicos (tensión, erosión, desgaste o fricción) en materiales convencionales y avanzados, incluyendo los del patrimonio histórico y cultural.

En este crisol que es el CENIM un grupo de cinco personas coordinadas por Manuel Morcillo, todos investigadores de plantilla o contratados, se ha propuesto con esta obra reunir la información sobre corrosión atmosférica costera de aceros al carbono, temática joven aunque de contribuciones desperdigadas y de indudable interés, sobre todo para el campo de la construcción civil costera y la construcción naval. En formato monografía extensa, se trata de una revisión rigurosa que parte de los conceptos básicos de la corrosión atmosférica, de las características de la atmósfera marina y costera industrial y de las técnicas de caracterización y análisis, para ir tratando los mecanismos de corrosión, los productos de corrosión atmosférica del acero y las propiedades de las capas de herrumbre. Ese análisis y recopilación de información se completa con tres capítulos dedicados a la corrosión de bienes históricos y arqueológicos de acero, el comportamiento del acero expuesto a la atmósfera costera a medio y largo plazo y unas consideraciones sobre los aceros *patinables*, más resistentes a la corrosión.

En suma, once capítulos que constituyen una obra necesaria para conocer el estado actual del problema de la corrosión atmosférica del acero al carbono y que suponen sin duda una excelente referencia para el progreso del conocimiento, en un tema de importante repercusión social.

Una contribución más del CSIC, en este caso de los investigadores de uno de sus centros veteranos, que ha sabido evolucionar a fin de cumplir con su misión de ampliar el conocimiento para contribuir al desarrollo y a la innovación.

EMILIO LORA-TAMAYO D'OCÓN

*Rector de la Universidad Internacional Menéndez Pelayo*

*Expresidente del CSIC (2003-2004 y 2012-2017)*



## Presentación

**D**EBIDO a su bajo costo y buenas propiedades mecánicas, el acero al carbono es el material metálico más comúnmente empleado en la fabricación de estructuras que operan al aire libre. Sin embargo, presenta la limitación de su notable corrosión en este medio, por lo que debe exponerse a la acción atmosférica protegido por recubrimientos de distinto tipo: recubrimientos metálicos (p. ej. galvanizado), recubrimientos de pintura, etc.

Estudios rigurosos señalan que la corrosión metálica supone para los países industrializados unas pérdidas anuales enormes, del orden del 3.5% del PNB. Estos mismos estudios también indican que más del 50% de esas pérdidas se atribuyen a la corrosión atmosférica. Se dispone de abundante literatura científica y técnica en el campo de la corrosión atmosférica, hay numerosos libros y tratados generales dedicados a este tema, algunos de ellos publicados en España.

El proceso de corrosión atmosférica, de naturaleza electroquímica, se acelera enormemente con la contaminación de la atmósfera, bien sea de origen natural (el aerosol marino) o antropogénico (dióxido de azufre principalmente). Así como el efecto del dióxido de azufre en la corrosión atmosférica del acero ha sido estudiado profusamente, el estudio en profundidad del aerosol marino y su influencia en la corrosión atmosférica del acero ha recibido hasta hace relativamente poco tiempo escasa atención por parte de los investigadores.

La corrosión atmosférica en regiones costeras es un tema particularmente relevante debido a su gran trascendencia para la sociedad. Aproximadamente la mitad de la población mundial vive en regiones costeras y la industrialización de países desarrollados tiende a concentrar las plantas de producción próximas a la costa.

Hasta el inicio del siglo XXI, la investigación científica sobre los mecanismos básicos de formación de herrumbre en atmósferas marinas fue muy escasa.

Desde entonces el conocimiento de la corrosión atmosférica marina ha avanzado notablemente. Estamos, pues, ante un campo científico relativamente joven en el que la información disponible se encuentra muy desperdigada en la literatura científica, sin que exista todavía un libro o tratado riguroso sobre el tema. Urge, por tanto, una revisión en profundidad donde se exponga el estado actual del conocimiento acerca de esta materia y se señalen los avances que necesariamente se deben realizar en los próximos años. La monografía que se presenta aquí pretende ese objetivo.

Después de unos primeros capítulos dedicados a consideraciones básicas del proceso de corrosión atmosférica, la atmósfera marina y la experimentación en corrosión atmosférica marina, el libro trata aspectos clave tales como la naturaleza de los productos de corrosión formados, las características de las capas de herrumbre desarrolladas y los mecanismos del proceso de corrosión atmosférica marina. Se consideran asimismo dos casos singulares: el caso de la acción conjunta de los dos contaminantes atmosféricos más comunes, el aerosol marino y el dióxido de azufre, y el caso de la corrosión atmosférica de bienes históricos y arqueológicos contaminados con cloruros. Finaliza la monografía con dos capítulos de notable importancia desde el punto de vista práctico: la predicción del alcance de la corrosión atmosférica marina a corto, medio y largo plazo, y el estado actual en el desarrollo de aceros patinables (autoprotectores) de mayor resistencia a la corrosión atmosférica en este medio.