

## **EVALUACIÓN DE LA EFICACIA DE DOS SISTEMAS PARA LA PROTECCIÓN DE PINTURAS EMPLEADOS EN LA COLECCIÓN DEL MUSEO THYSSEN BORNEMISZA: VIDRIO LAMINADO MIROGARD® Y PLÁSTICO ACRÍLICO ANTIRREFLEJANTE TRU VUE®**

---

**Andrés Sánchez Ledesma, Museo Thyssen Bornemisza**

**Susana Pérez, Museo Thyssen Bornemisza**

**Alejandra Martos, Museo Thyssen Bornemisza**

**Colaboración científica de Ubaldo Sedano, Museo Thyssen Bornemisza**

**Francisco Capel, Instituto de Cerámica y Vidrio – CSIC**

**Carlos Domínguez, LATEP de la Universidad Rey Juan Carlos**

---

En el campo de la conservación del patrimonio artístico y cultural es prioritaria la protección de las obras ante cualquier tipo de daño producido durante la exposición, traslado o almacenaje de las piezas, intentado evitar tanto los factores ambientales que influyen en el deterioro, como los daños que pudieran causar accidentes. Con este objetivo se aplican medidas que intentan paliar estos riesgos, entre ellas, la creación de sistemas de protección de pinturas con materiales resistentes que faciliten, a la vez, el resguardo ante posibles impactos físicos producidos por sucesos involuntarios o actos vandálicos, y el control de algunos procesos de deterioro como es la fotodegradación.

El Departamento de Restauración del Museo Thyssen Bornemisza está desarrollando un amplio proyecto de investigación con los materiales utilizados en la restauración, embalaje, transporte, exposición y protección de las obras empleados en esta colección. El proyecto consiste en el conocimiento de la composición general de los productos empleados para estos fines, especialmente de aquellos de los que no se dispone de una información técnica suficiente como para poder estimar su uso y su comportamiento a mediano o largo plazo. Por otra parte, la investigación contempla el estudio del envejecimiento acelerado de algunos de estos productos, de modo que, además de valorar las posibles transformaciones en su composición y propiedades, así como los efectos que estas puede causar en las obras se enriquezcan los argumentos que ayuden a realizar una correcta selección, si se cuenta con diversos productos recomendados para un mismo objetivo.

Entre los materiales empleados para la protección de pinturas de la colección se han empleado vidrios y plásticos acrílicos con tratamientos antirreflejantes y con filtros de protección UV. Una estadística nos muestra que de 1360 obras de pintura y papel, 591 cuadros están protegidos, lo que representa el 43% de la colección. De esta proporción, el 47% está protegida con vidrio laminado Mirogard®, el 24,5% con metacrilato antirreflejante Tru Vue® y el resto con otros sistemas como plásticos transparentes Plexiglas® o vidrio no laminado, resultando que los sistemas de protección más empleados, y con perspectivas de seguir siendo utilizados en la colección, son



las del vidrio laminado Mirogard® y el plástico acrílico antirreflejante Tru Vue® (**Figura 1**).

Las características técnicas aportadas por los fabricantes de estos productos son las siguientes:

*Vidrio laminado Mirogard®*: En el Museo se utilizan de dos grosores diferentes: 2mm + 2mm para obras menores de 1 m<sup>2</sup> y de 3mm + 3mm para obras con dimensiones mayores. Es un material muy transparente. Tiene cobertura antirreflejante por anverso y reverso (reduce el reflejo a menos de un 1%) y filtra el 84% de la radiación UV en un rango entre 300 y 380 nm.

*Plástico acrílico antirreflejante Tru Vue®*: Material de polimetacrilato de metilo. Se emplea con un espesor de 3mm en obras de hasta 1m<sup>2</sup>, con un espesor de 4,3 mm para obras cuando alguno de los lados tiene entre 1m – 1,5m y de 6,0 mm si alguno de los lados de la obra supera 1,5 m. El fabricante indica que está pulido sólo por una cara, que es antirreflejante por el anverso, reduciendo el reflejo a menos del 1% y filtra el 98,0% de la radiación UV.

Este trabajo tiene como objetivo evaluar la eficacia de los sistemas de protección Mirogard® y Tru Vue® mediante ensayos de resistencia mecánica al impacto, ensayos de resistencia a los líquidos y la medida del color en probetas pintadas, protegidas con estos materiales y sometidas a un régimen normalizado de envejecimiento acelerado.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

---

### **Elaboración de las distintas probetas:**

#### **Probetas para los ensayos de resistencia al impacto:**

- Vidrio laminado Mirogard. Se prepararon 9 probetas de 2 mm + 2 mm y 9 probetas de 3mm + 3 mm con los cantos pulidos, de dimensiones 300mm x 300 mm.
- Plástico Tru-View se prepararon 20 probetas de 80 mm x 10 mm x 4,3 mm de grosor con los cantos pulidos.

#### **Probetas para los ensayos de resistencia química a los líquidos:**

- Vidrio laminado Mirogard. Se prepararon 11 probetas de 2mm +2 mm de grosor de dimensiones 30 mm x 50 mm
- Plástico Tru-View. Se prepararon 11 probetas de 4,3 mm de grosor, de dimensiones 30 mm x 50 mm.

Los líquidos evaluados fueron: HCl (1M y concentrado), H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (1M y concentrado), HNO<sub>3</sub> (1M y concentrado), acetona, etanol, amoniaco comercial, limpiacristales de las marcas Cristasol y El bosque verde. Todos los ácidos y disolventes son de la marca Fluka y el amoniaco comercial de la firma Caprabo.

## **Probetas para los ensayos de envejecimiento acelerado y medidas del color:**

- Se realizó una probeta de lienzo, pintado con pintura acrílica de color blanco (blanco de titanio). La marca de pintura empleada fue Vallejo y se aplicó con brocha sobre la tela de lino de trama intermedia (Velázquez) preparada comercialmente. Esta tela se colocó en un bastidor y se dividió en seis secciones con dimensiones de 7,5 cm x 4,8 cm.

Tres secciones de la probeta se barnizaron con spray, con un barniz brillante de resina cetónica de la marca Talens y tres se dejaron sin barnizar de forma alterna. La mitad de la probeta se cubrió con una cartulina opaca, quedando la parte superior de todas las secciones tapadas y la parte inferior expuesta a la luz. Posteriormente, dos secciones (con barniz y sin barniz) se protegieron con el vidrio laminado Mirogard y otras dos con el plástico Tru Vue, permaneciendo las dos restantes sin ningún tipo de protección.

## **Condiciones de envejecimiento:**

Las condiciones de la cámara de envejecimiento para el ensayo se realizaron según la norma ASTM D4303-03 (American Society for Testing and Materials Standards) norma general para colores utilizados en materiales artísticos, y la D5098 norma específica para pintura acrílica.

- Tiempo en la cámara: 500 horas
- Temperatura BST: 63 °C +/- 2 °C
- Temperatura del aire de la cámara: 38 °C +/- 3 °C
- Humedad Relativa: 55% +/- 5% con agua destilada
- Fuente de Iluminación: Arco de Xenón
- Filtro: 310 nm
- Irradiancia: 0,35 w/m<sup>2</sup>

La Cámara de envejecimiento es del modelo Solarbox 3000e RH

## **MEDIDAS REALIZADAS**

---

### **1. Ensayos de resistencia al impacto.**

#### **1.1. Ensayo realizado con el vidrio laminado Mirogard**

Los ensayos de resistencia al impacto se realizaron según el método propuesto por el Instituto de Cerámica y Vidrio del CSIC derivado de la norma UNE 43018. Para la realización del ensayo se utilizó un impactómetro, que mide la altura a la que un cuerpo de impacto -sujeto por un electroimán para asegurar que no sufre ningún tipo de impulso- cae sobre la superficie de la probeta provocando la rotura. En este caso, el cuerpo de impacto fue una bola de acero de un peso de 260,4 g (**Figura 2**).



## 1.2. Ensayo realizado con el plástico acrílico antirreflejante Tru Vue

El ensayo se realizó mediante el método Charpy según la norma ISO 179-1fU (Figura 3).

## 2. Ensayo de resistencia química a los líquidos.

Los ensayos de resistencia química a los líquidos se realizaron según el método propuesto por Jean Tétreault en el Boletín Técnico N° 21 del Instituto de Conservación Canadiense del año 1999.

## 3. Medida de color

La medida de color se realizó con un espectrofotómetro marca GretagMacbeth® modelo Coloreye® XTH. Con iluminante primario D65. La evaluación colorimétrica fue según el sistema CIE 1976 ( $L^* a^* b^*$ ). El modo de medición fue la reflectancia y para cada fragmento de la probeta se tomaron cinco medidas. El límite de tolerancia fijado fue de un  $DE^* = 4$  según la norma ASTM D4303-03 (American Society for Testing and Materials Standards) norma general para colores utilizados en materiales artísticos, y la D5098 norma específica para pintura acrílica.

## RESULTADOS

---

### Ensayos de resistencia mecánica al impacto:

Los ensayos para la evaluación de la resistencia mecánica al impacto fueron realizados con métodos ajustados a la composición de cada uno de los sistemas de protección y a sus propiedades físicas. Por esta razón, en cada caso se ha obtenido una valoración individual, estimada a partir del procedimiento seleccionado, sin que se pueda establecer una comparación entre los valores alcanzados para cada producto.

Los resultados para el vidrio laminar Mirogard® se presentan en la tabla 1. En la mayor parte de las pruebas se observó que en los dos vidrios laminares estudiados la rotura ocurrió siempre en la hoja opuesta a la dirección de la caída de la bola, ya que ésta es la que queda sometida a una mayor tensión de tracción en el momento del impacto. Si tenemos en cuenta que esta cara es la que se ubica más próxima a la pintura en el sistema de protección, los resultados inducen a tener cierta prevención para elegir este material como agente protector contra posibles impactos. Sin embargo, es importante destacar que las roturas no produjeron en ningún caso un desprendimiento de fragmentos del vidrio o la separación de astillas, sino que siempre causaron fracturas en forma piramidal, otras en forma de tela de araña, o fracturas rectas semejantes a hilos, cuya morfología se presenta en la **Figura 4**. En este caso los fragmentos fracturados quedaron sujetos a la capa interna de Butiral que une las dos láminas de vidrio, impidiendo así que se separaran de la estructura.

Tabla 1.- Resultados de los ensayos de resistencia al impacto del vidrio Mirogard®

Muestra	Altura a la que ocurre rotura del material (cm)		Resultados
	2mm + 2mm	3mm + 3mm	
1	90	120	rompe la hoja interna
2	110 *	140	rompe ambas hojas *
3	80	140 **	rompe ambas hojas **
4	170	180	rompe la hoja interna
5	140	210	rompe la hoja interna
6	130	120	rompe la hoja interna
7	100	190	rompe la hoja interna
8	130	100	rompe la hoja interna
9	80	220	rompe la hoja interna
n	9	9	
Valor medio	114,44	157,78	* observado sólo en la probeta de 2mm + 2mm
Desviación estándar	30,46	43,24	
Coefficiente de variación	0,27	0,27	** observado sólo en la probeta de 3mm + 3mm
Valor mínimo	80,00	100,00	
Valor máximo	130,00	220,00	Cuerpo de impacto: bola de acero de 260,4 g

La información obtenida de los ensayos con el plástico Tru Vue® según el método CHARPY (ISO 179-1fU) se presentan en la Tabla 2. En esta ocasión se obtuvo una fractura total de las probetas a una velocidad de impacto de 2,9 m/s y una energía nominal del péndulo de 4J, alcanzando una resistencia al impacto de 12,8 KJ/m<sup>2</sup>. Si comparamos este valor con los que ofrecen otros plásticos de semejante composición, podemos concluir que el Tru Vue® se puede evaluar como un material resistente. Entre los plásticos que hemos tomado como referencia podemos citar el PMMA Repsol Glass® (9,0 KJ/m<sup>2</sup>) empleado en la construcción de estructuras altamente resistentes para uso doméstico, VITROFLEX® (14 KJ/m<sup>2</sup>) utilizado en estructuras altamente resistentes para arquitectura de exteriores y Polimetacrilato de colada de la firma PolimerTecnica (14 KJ/m<sup>2</sup>) recomendado para diversos usos en estructuras arquitectónicas, maquinaria, mobiliario doméstico y urbano en condiciones externas.



Tabla 2.- Resultados de los ensayos de resistencia al impacto del plástico Tru Vue®

Temperatura de ensayo	23 °C
Humedad relativa	50 %
Velocidad de impacto	2,9 m/s
Energía nominal del péndulo	4J
Número de probetas ensayadas	10
Resistencia al impacto	12,8 KJ/m <sup>2</sup>
Desviación estándar	1.6
Tipo de rotura	completa

### Ensayo de resistencia química a los líquidos

En los ensayos de resistencia a los líquidos se alcanzaron resultados esclarecedores, tanto para el vidrio Mirogard® como para el plástico Tru Vue®. En estas pruebas la evaluación después de transcurrir 24 horas del contacto directo entre el líquido y el sistema de protección permitió comprobar que ninguno de los líquidos seleccionados llegó a destruir totalmente la capa del material protector. Sólo los ácidos concentrados dejaron huellas persistentes sobre la superficie de los dos materiales, produciendo una erosión superficial apreciable a simple vista. También la acetona tuvo un efecto similar sobre el plástico, mostrándose el vidrio más resistente ante este disolvente. En la tabla 3 se indica la evaluación cualitativa de los daños que se observaron en los soportes después del contacto prolongado con los líquidos.

Tabla 3.- Evaluación cualitativa de los daños observados en la superficie de los sistemas de protección

Líquidos de referencia	Sistemas de protección	
	Mirogard®	Plástico Tru Vue®
HCl 1M	* (a)	* (a)
HCl concentrado	**	**
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 1M	* (a)	* (a)
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> concentrado	**	**
HNO <sub>3</sub> 1M	* (a)	* (a, c)
HNO <sub>3</sub> concentrado	**	**
etanol	n. s. o.	* (a, c)
acetona	n. s. o.	**
amoníaco (disolución comercial)	* (a, c)	* (c)
Limpiacristales CRISTASOL	* (d)	* (d)
Limpiacristales <i>El Bosque verde</i>	* (d)	* (d)
n. s. o.: no se observan efectos adversos		
* se observan pequeñas abrasiones (a), la presencia de residuos sin abrasiones persistentes (b), el incremento ligero de la opacidad (c), presencia de residuos y cambios en el brillo sin que exista abrasión persistente (d)		
** se observa una abrasión persistente		

Si bien los resultados mostraron una coherencia con lo esperado, es importante señalar que los productos limpiacristales -empleados con frecuencia para la limpieza de las dos caras de los sistemas protectores- dejaron una fina película o velo permanente sobre ambos materiales, de la que sería conveniente estudiar el tiempo real de permanencia después de un aclarado como el que se realiza en el uso práctico de estos productos, y la posible emisión de compuestos volátiles, una vez que han sido extendidos sobre los diferentes soportes durante el proceso de limpieza.

### **Ensayos de resistencia a la luz después de un envejecimiento acelerado en cámara climática.**

La información mostrada en este apartado forma parte de los estudios parciales realizados a los dos sistemas de protección, presentados en la VIII Reunión del GEAC del IIC en 2007. Junto con los ensayos comentados en los apartados anteriores se obtiene una dimensión integral de las posibilidades que ofrecen los dos materiales, tanto para la protección de las obras ante posibles agresiones físicas, como la protección de las pinturas del deterioro provocado por la luz.

El parámetro obtenido como referencia fue delta E (DE\*) calculado de acuerdo con el sistema CIE 1976 (L\*a\*b\*). En la tabla 4 se presentan los resultados de las mediciones realizadas a las probetas, tomando como valor de «referencia» la medida realizada en la zona de la probeta protegida de la luz con una superficie opaca y como valor de «muestra» la medida realizada en la zona de la superficie expuesta a la luz.

Tabla 4.- Valores obtenidos de las mediciones de color realizadas a las probetas sometidas al ensayo de envejecimiento acelerado.

<b>Características de las probetas</b>	<b>DL*</b>	<b>Da*</b>	<b>Db*</b>	<b>DE*</b>
Superficie barnizada / sin protección	2,40	-0,09	-0,10	2,40
Superficie sin barnizar / sin protección	0,52	-0,14	-0,04	0,54
Superficie barnizada / protegida con Mirogard®	1,16	-0,27	-0,23	1,21
Superficie sin barniz / protegida con Mirogard®	0,39	-0,19	-0,13	0,46
Superficie barnizada / protegida con Tru Vue®	0,53	-0,13	-0,04	0,55
Superficie sin barniz / protegida con Tru Vue®	-0,25	-0,22	-0,28	0,38

Los resultados indican que en el tiempo estimado de envejecimiento acelerado las probetas no sufren cambios de color que alcancen el límite desfavorable establecido por la norma. No obstante, sí se observan algunas tendencias que es importante resaltar: por una parte, el valor DE\* fue superior siempre en el caso de las probetas que



no fueron cubiertas con alguno de los sistemas de protección, respecto a las probetas protegidas de un mismo grupo (con barniz o sin barniz) lo que indica una mayor percepción en el cambio de color en las no protegidas. Por otra parte, los valores de DE\* de las probetas barnizadas fueron siempre superiores en comparación con las que no tenían barniz, obteniéndose la peor medida en la probeta que no tenía ninguno de los sistemas de protección estudiados.

Como se puede apreciar en la tabla de resultados, ante las condiciones de envejecimiento ensayadas el barniz de resina cetónica empleado sufrió cambios importantes, mostrando generalmente un aclarado que se manifiesta por el valor positivo de DL\* (luminosidad media en el eje de color de blanco a negro). Sin embargo, este parámetro fue sensiblemente disminuido cuando se emplearon los sistemas de protección, apareciendo una mejor evaluación con el plástico Tru Vue®. **(Figuras 5 y 6)**

## **CONCLUSIONES**

---

- 1.- Los materiales ensayados presentan una resistencia al impacto que puede evaluarse como satisfactoria para la protección física de pinturas.
- 2.- Los dos sistemas de protección fueron resistentes a los ácidos, bases, disolventes y productos de limpieza seleccionados, ya que los daños apreciados por contacto directo durante 24 horas no produjeron un deterioro significativo de las hojas de vidrio laminado ni de plástico.
- 3.- Se comprobó la eficacia de los dos sistemas de protección ante la exposición a la luz de las superficies pintadas, en un proceso de envejecimiento acelerado. En las superficies cubiertas con barniz de resina cetónica el plástico Tru Vue® presentó resultados más satisfactorios.



**FIGURAS.** (Fig. 5 y 6 en página XXX)

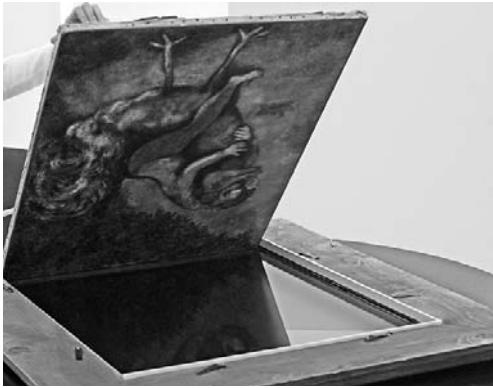


Fig. 1.: Imagen de la colocación del sistema de protección de plástico antirreflejante Tru Vue® a una obra de la Colección del Museo

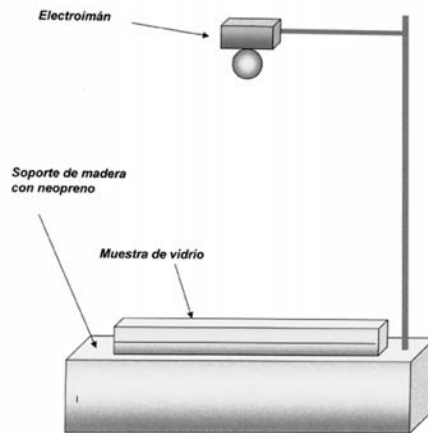


Fig. 2: Esquema del equipo para medir la resistencia al impacto en el vidrio laminado Mirogard® (Impactómetro)

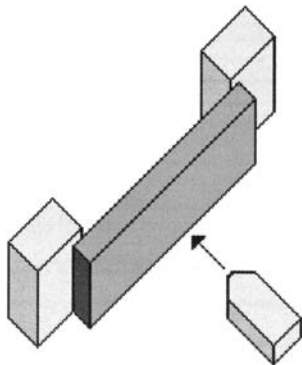


Fig. 3: Esquema del fundamento del Método Charpy para la medición de la resistencia al impacto del plástico antirreflejante Tru Vue®

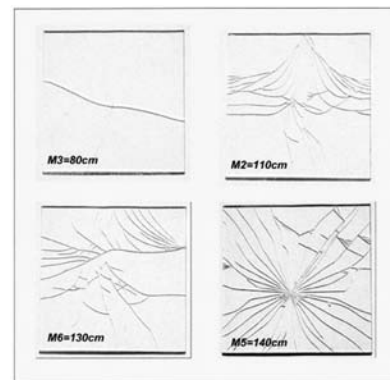


Fig. 4: Imagen de las diferentes morfologías de rotura del vidrio laminado Mirogard®



## **BIBLIOGRAFÍA**

---

ASTM D4303-03, Standard Test Methods for Lightfastness of Colorants Used in Artist's Materials. Current edition approved May 10, 2003. Published June 2003.

ASTM D5098, Specification for Artist's Acrylic Emulsion Paints. *Annual Book of ASTM Standards, Vol 06.02*.

ISO 179 –1fU., Método Charpy para la medida de la resistencia al impacto.

TÉTREAULT, J., «Chemical Resistance of Films to Liquids» en *Coatings for Display and Storage in Museums*. Technical Bulletin 21. Canadian Conservation Institute. Ottawa. 1999, p. 39.

[www.ilovemuseumglass.com/aboutmuseumglass.asp](http://www.ilovemuseumglass.com/aboutmuseumglass.asp) [consultado el 02/05/2007]

[www.polimertecnic.com/index.php?submodule=m\\_prod&module=prod&id=4&lang=es](http://www.polimertecnic.com/index.php?submodule=m_prod&module=prod&id=4&lang=es)

[www.repsol.dk/Metracrilato%20Espa%F1ol.pdf](http://www.repsol.dk/Metracrilato%20Espa%F1ol.pdf) [Consultado el 19/06/2007]

[www.resopal.com/IT/ES/PT/Metracrilato.htm](http://www.resopal.com/IT/ES/PT/Metracrilato.htm) [Consultado el 19/06/2007]

[www.schott.com/architecture/english/products/non\\_reflective\\_glass/mirogard/index.html](http://www.schott.com/architecture/english/products/non_reflective_glass/mirogard/index.html) [consultado el 01/30/2007]

[www.schott.com/architecture/english/download/mirogard.pdf](http://www.schott.com/architecture/english/download/mirogard.pdf) [consultado el 30/01/2007]

[www.tru-vue.com/container/glass%20charts.pdf](http://www.tru-vue.com/container/glass%20charts.pdf) [consultado el 02/05/2007]

[www.vitroflex.com/caracte.html](http://www.vitroflex.com/caracte.html) [Consultado el 19/06/2007]

## **AGRADECIMIENTOS**

---

Queremos expresar nuestro agradecimiento a Hélène Desplechin por la realización de las fotografías del proyecto y a Anaida Marcos por su colaboración en la ejecución del proyecto.

## **CURRÍCULUM VITAE**

---

### **Andrés Sánchez Ledesma**

Licenciado en Bioquímica por la Universidad de La Habana, especialista en análisis para la conservación y restauración de bienes culturales. Director técnico de la empresa Arte-Lab S.L. vinculado al laboratorio de análisis químicos del Museo Thyssen Bornemisza. Profesor Asociado de la Facultad de Bellas Artes de la Universidad Complutense de Madrid.



### **Susana Pérez**

Licenciada en Bellas Artes por la Universidad Complutense de Madrid, especialidad restauración de escultura. Diplomada por la Escuela Superior de Conservación y Restauración de Bienes Culturales de Madrid en la especialidad de restauración de pintura. Restauradora del Museo Thyssen Bornemisza.

### **Alejandra Martos**

Cursó estudios de Bellas Artes en la Universidad de Miami, USA. Diplomada por el Centro de Estudios de Restauración de Obras de Arte de Madrid. Restauradora de pintura del Museo Thyssen Bornemisza.

### **Ubaldo Sedano**

Restaurador de Pintura con amplia experiencia desarrollada en el Instituto del Patrimonio Histórico Español y en la coordinación de proyectos de restauración internacionales, actualmente Jefe del Departamento de Restauración del Museo Thyssen Bornemisza, donde dirige diversos proyectos de investigación relacionados con la conservación y restauración de bienes culturales.

### **Francisco Capel**

Doctor en Ciencias Químicas por la Universidad Complutense de Madrid (1988). Actualmente Investigador titular del Instituto de cerámica y vidrio (CSIC), Departamento de Electrocerámica, Ministerio de Ciencia y Tecnología 1987-2001 Delegado español de *L'Union Scientifique Continentale du Verre* con sede en Bruselas.

1988-2007 Vicesecretario General de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio.

2000-2007 Jefe del Departamento de Procesos, Ensayos e I+D (relaciones con la industria)

-40 trabajos en *Revistas Nacionales e Internacionales (SCI)*.

-30 publicaciones en libros monografías y volúmenes colectivos

- 100 Proyectos de Investigación, contratos con la industria e informes técnicos.

-62 Conferencias orales y comunicaciones orales y comunicaciones en sesión poster en Congresos Nacionales e Internacionales

### **Carlos Domínguez**

Licenciado en Ciencias Físicas por la Universidad Autónoma de Madrid, especialidad de Física Aplicada. Es Master en Ciencia y Tecnología de Polímeros y en Dirección de Calidad y Medio Ambiente. Actualmente es Director Técnico del Laboratorio de Tecnología de Polímeros de la Universidad Rey Juan Carlos (Madrid). Como curriculum investigador cuenta con diversas publicaciones tanto en revistas internacionales de alto impacto como en congresos en el área de polímeros. Además es investigador en varios proyectos en el área de fractura de polímeros donde actualmente está finalizando una tesis doctoral.