

# Evaluación del comportamiento térmico de EPS-Biopek (EPS<sub>bpk</sub>) para el transporte de cargas termosensibles en ensayos de simulación térmica bajo un entorno controlado

Esteban Tubert

Tetraquimica S.A. Gral. Rodriguez 972,  
Hurlingham, Buenos Aires, Argentina

## Abstract - ESP

Debido a su versatilidad, alta performance y bajo costo, el poliestireno expandido (EPS) es el polímero más utilizado a nivel mundial para aplicaciones en aislación térmica, tanto en viviendas y edificios como en empaques térmicos desechables, con particular relevancia en el ámbito de la distribución de alimentos y de medicamentos. Si bien los beneficios del EPS han sido probados a lo largo de décadas, en los últimos años ha surgido la necesidad de mejorar su impacto ambiental, especialmente en relación con la biodegradabilidad en los entornos de disposición final de este polímero. Recientemente ha comenzado a utilizarse un EPS con una tasa de biodegradabilidad mayor denominado *EPS-Biopek*, comercializado localmente por la firma POLIEX S.A., que mantiene inalteradas sus características estructurales y térmicas declaradas. El objetivo de este trabajo fue evaluar térmicamente esta nueva iteración de EPS (EPS<sub>bpk</sub>) en un entorno controlado (cámara de simulación térmica) en cuanto a su capacidad para aislar térmicamente una carga refrigerada o congelada, en comparación con el EPS estándar (EPS<sub>std</sub>), de menor tasa de biodegradabilidad. Nuestros resultados indican que no existen diferencias detectables en cuanto a la performance térmica en comparación con el material estándar. Específicamente se midieron parámetros como autonomía (AUT), temperaturas máximas ( $t_{max}$ ) y mínimas ( $t_{min}$ ) y temperatura cinética media (MKT) tanto en ensayos para una condición térmica para productos ‘refrigerados’ (+2,0; +8,0°C) como en una condición para ‘congelados’ (<-16°C).

## ENG

Due to its versatility, high performance and low cost, expanded polystyrene (EPS) is the most used polymer worldwide for thermal insulation applications, both in homes and buildings and in disposable thermal packaging, with relevance as a material for distributing refrigerated goods. Although the benefits of EPS have been proven over decades, in recent years the need to improve its environmental impact has emerged, especially in relation to its biodegradability at the final disposal site. Recently, an EPS with a higher biodegradability rate called Biopek has started to be marketed, locally by POLIEX S.A. This material maintains its declared structural and thermal characteristics unchanged. The objective of this work was to thermally evaluate this new iteration of EPS in a controlled environment (thermal simulation chamber) in terms of its ability to thermally insulate a refrigerated load, compared to standard EPS. Our results indicate that there are no detectable differences in thermal

performance compared to the standard material. Specifically, we measured parameters such as autonomy in the thermal ranges +2+8°C and <-16°C (AUT), maximum ( $t_{max}$ ) and minimum ( $t_{min}$ ) temperatures and average kinetic temperatures (MKT).

## I. INTRODUCCIÓN

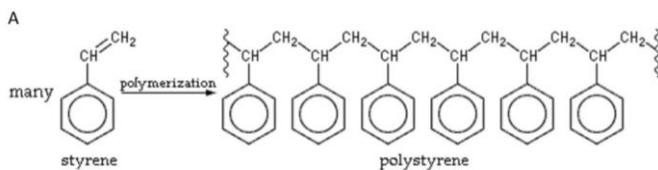
El poliestireno (PS) es uno de los polímeros sintéticos con mayor uso a nivel mundial en diversos ámbitos industriales. Anualmente se producen alrededor de 21 millones de toneladas de PS en el mundo (Ho et al, 2018). Asimismo, el PS se emplea ampliamente como material aislante, en su forma expandida que contiene aire (EPS), debido a sus buenas propiedades mecánicas y térmicas y su costo relativamente bajo (Yang et al, 2015). Como resultado de un uso tan amplio, un factor que preocupa a la comunidad es su acumulación en el medio ambiente, lo que podría provocar cambios en los ecosistemas debido a la liberación de compuestos recalcitrantes (Matthew D, 2013). Asimismo, la acumulación del EPS en los rellenos sanitarios podría implicar una abrupta liberación de CO<sub>2</sub> en caso de incendio o incineración de los rellenos (Chen et al, 2024).

A pesar de que los productos elaborados con EPS son reciclables, una importante fracción de éstos termina en vertederos o rellenos, debido fundamentalmente a que su reciclaje es más dificultoso que el de otros plásticos, por su naturaleza liviana y voluminosa. Por ello, los costos del reciclaje de EPS hacen virtualmente inviable este proceso. En vistas de este inconveniente se han propuesto algunas posibles soluciones, a) reducir el uso de productos de PS y b) utilizar materiales de PS modificados que puedan biodegradarse en el medio ambiente. Sin embargo, es actualmente también un tema de debate si la biodegradabilidad de un plástico es en sí misma beneficiosa para el medio ambiente o si en cambio no lo es, evaluada en términos de la liberación de carbono que produce el material a lo largo del ciclo de su existencia (LCA o *life cycle assessment*). Recientemente algunos estudios realizados a partir de evaluaciones de largo plazo en LCA concluyen que los plásticos con mayores tasas de biodegradabilidad producen un beneficio neto en cuanto a la liberación total de carbono frente al plástico con menor tasa de

biodegradabilidad para una misma función (Chen et al, 2024; Walker et al, 2020).

### Naturaleza del poliestireno (PS) y poliestireno expandido (EPS)

El PS es un polímero aromático sintético de alto peso molecular (fórmula  $[C_8H_8]_n$ ) elaborado a partir del monómero estireno (**Figura 1**). La transformación a EPS ocurre mediante un proceso de expansión con pentano, proceso por el cual ingresa aire al polímero, convirtiéndolo en una espuma con capacidades aislantes.

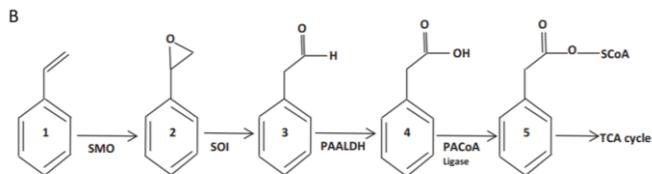


**Figura 1.** Estructura química del poliestireno (modificado de Ho et al, 2018)

### Biodegradación del EPS

La biodegradación del EPS ocurre, pero a un ritmo muy lento en entornos naturales y, por lo tanto, el EPS persiste durante largos períodos de tiempo como residuo sólido. Kaplan et al. afirmaron que en suelos cultivados que contienen una amplia gama de hongos, microbios e invertebrados, la degradación de este material es inferior al 1 % después de 90 días sin un aumento significativo en la tasa de degradación después de este tiempo (Kaplan et al, 1979).

Los termoplásticos como el PS tienen pesos moleculares altos y su falta general de solubilidad en agua impide que los microorganismos los transporten a sus células para metabolizarlos. En ese sentido, la composición de las cadenas poliméricas puede afectar la hidrofobicidad de la superficie del polímero, lo que a su vez afecta la facilidad con la que los microorganismos pueden adherirse (Albertson et al, 1993). Los procesos biológicos de degradación suelen comenzar fuera de la célula microbiana mediante la secreción de enzimas extracelulares. Sin embargo, estas enzimas son demasiado grandes para penetrar profundamente en el polímero, por lo que actúan en la superficie escindiendo la cadena de polímero mediante mecanismos hidrolíticos (Palmisano & Pettigrew, 2006). Los procesos biológicos se mejoran aún más mediante la formación de grupos funcionales en la cadena de polímero (Albertsson et al, 1987) y son estas estrategias, entre otras, las que podrían utilizarse para mejorar la biodegradabilidad del polímero en los entornos de relleno.



**Figura 2.** Posible camino de biodegradación del PS en un entorno de relleno. Las siglas entre cada paso indican enzimas extracelulares que podrían estar activas durante el procesamiento del polímero.

Es decir que, mediante estos mecanismos, se podría mejorar el acceso de las enzimas producidas por hongos y bacterias del suelo al polímero, pero únicamente en entornos de alta presencia de estos organismos y de humedad, típicas de los rellenos sanitarios o vertederos. Por ello, no es esperable que exista degradación de estas versiones de PS fuera de los ámbitos de disposición final, siendo además ésta una característica fundamental para garantizar la funcionalidad operativa y seguridad de los objetos elaborados con estos grados de PS.

El EPS-Biopek es un EPS que integra estrategias de biodegradación en entornos de relleno sanitario o disposición final. Según su productor (Styropek, USA), esta nueva versión de EPS es significativamente más biodegradable y posee el resto de sus características sin alteraciones con respecto a las versiones anteriores de EPS (estándar).

El objetivo de este trabajo fue evaluar las características térmicas de este nuevo material, con el propósito de determinar si efectivamente sus propiedades son comparables con aquellas del EPS estándar cuando estos materiales se utilizan para la fabricación de conservadoras térmicas para transporte de medicamentos o alimentos.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

### Materiales utilizados en los ensayos

#### Conservadoras

Se emplearon conservadoras N19 de 30 mm (Poliex S.A., Argentina), elaboradas tanto con EPS estándar como con EPS-Biopek, ambos grados de EPS producidos por Styropek Corp, USA. Para su confección el fabricante refiere únicamente cambio del tipo de PS, manteniendo idénticos los procesos industriales y los moldes empleados para la expansión. Externamente las conservadoras EPS<sub>bpk</sub> presentan intencionalmente una coloración levemente amarronada si se las compara con aquellas elaboradas con EPS<sub>std</sub>.



**Figura 3.** Comparación de la apariencia externa del EPS-estandar y EPS-biopek (en cámara de ensayos TS-01).

#### Insumos internos de las configuraciones en condición +2 °C; +8 °C

i) Geles refrigerantes de 1000g (Icepak® 1000g, Tetraquimica S.A., Argentina) los cuales se utilizaron congelados y a una temperatura superficial en el rango -5,0°C a 0,0°C; ii) Geles refrigerantes de 1100g (Manta refrigerante Icepack®1100g) utilizadas en estado refrigerado y a una temperatura superficial en el rango +3,0°C a +6,0°C. Para la medición de la temperatura de los geles se utilizó un termómetro IR; iii) Barreras térmicas de poliestireno aluminizadas; iv) chips de EPS utilizados como material de relleno.

#### Insumos internos de las configuraciones en condición <-16°C

i) Botellas de 715g conteniendo un material de cambio de fase (PCM) de punto eutéctico  $p_r = -21,0^\circ\text{C}$  (STABELITE®-20, Tetraquimica S.A., Argentina) utilizados en estado congelado y a una temperatura superficial en el rango -25,0°C a -20,0°C; ii) chips de EPS utilizados como material de relleno.

#### Producto simulado (placebos)

Cajas de cartulina de medidas 100 x 50 x 40 mm, conteniendo cada una un gotero plástico con 30 ml de agua destilada. Para los presentes ensayos se utilizó un único placebo colocado en el centro geográfico de las conservadoras. En el caso de los ensayos realizados para la ruta térmica +2,0°C+8,0°C, los placebos se mantuvieron en cámara de frío hasta su utilización y se verificó que su temperatura estuviera en el rango +3,0°C a +6,0°C. Para los ensayos de la ruta térmica <-16°C, los placebos se mantuvieron durante al menos 24 hs en freezer y se utilizaron congelados a una temperatura en el rango <-16°C.

#### Metodologías y diseño de los ensayos

##### Simulación de perfiles térmicos

Para la generación de los perfiles térmicos para el testeo de las conservadoras se utilizó una cámara de ensayos térmicos de medidas internas 3 x 3 x 3 m denominada TS-01, la cual cuenta con controlador PLC marca Carel (Modelo PC-0S, Italia) y permite la simulación de perfiles de temperatura en el rango -10°C a +50°C. La cámara posee una histéresis de 1,5°C y se encuentra calificada para el rango dinámico de operación, estando sus instrumentos de medición (sonda CAREL modelo PC-0S) calibrados con una desviación de 0,5°C.



**Figura 4.** Exterior e interior de la cámara de ensayos TS-01.

#### Data-loggers y su posicionamiento

Para los ensayos de ambas rutas térmicas se emplearon data-loggers (DL) marca LOGTAG (Nueva Zelanda), modelos Trix o Trel, que presentan una desviación máxima de 0,5°C. Los DL se colocaron en contacto directo con el placebo, el cual se posicionó en el centro geográfico de cada una de las conservadoras, con la ayuda del material de relleno.

#### Perfiles térmicos

Se eligieron perfiles térmicos compatibles con las condiciones de temperatura estivales, que son las consideradas críticas para ambas condiciones térmicas evaluadas. Específicamente, los perfiles seleccionados están descritos por los siguientes parámetros teóricos:

Perfil	MKT (°C)	T <sub>min</sub> (°C)	T <sub>max</sub> (°C)	Duración corrida (hs)
A	26,5 ± 1,5	17,0	36,0	65
B	26,0 ± 1,5	13,0	41,0	60

**Tabla 1.** Características de los perfiles empleados en los ensayos.

#### Diseño de los ensayos y armado de las configuraciones

Para ambas rutas térmicas el armado de las conservadoras fue realizado dentro de la cámara TS-01, la cual fue seteada en ambos casos a una temperatura de +5,0°C. Por cada condición experimental se realizaron tres replicas, según se observa en la **Tabla 2**. Las condiciones experimentales tienen en cuenta tanto la condición térmica como el tipo de material de la conservadora ESP estándar (EPS<sub>std</sub>) o EPS Biopek (EPS<sub>bpk</sub>). Para cada condición térmica el resto de las condiciones experimentales se mantienen sin cambios entre el control o el tratamiento, es decir que la configuración interna de las conservadoras es idéntica, siendo únicamente variable el tipo de EPS con el cual está elaborada la conservadora.

Condición térmica	'Control' EPS-ESTANDAR (EPS <sub>std</sub> )	'Tratamiento' EPS-BIOPEK (EPS <sub>bpk</sub> )
<-16,0°C	3 replicas	3 replicas
+2,0°C; +8,0°C	3 replicas	3 replicas

**Tabla 2.** Diseño experimental de los ensayos.

### Análisis de datos

Los parámetros evaluados para todos los casos son los siguientes, los cuales se obtienen para los datos colectados por los DL:

- 1) *MKT*: temperatura cinética media
- 2)  $T_{max}$ : temperatura máxima (es equivalente a la temperatura final)
- 3)  $T_{min}$ : temperatura mínima
- 4) *AUT*: tiempo de permanencia en un rango térmico

$$t^{a}_{+2,0^{\circ}\text{C}\dots+8,0^{\circ}\text{C}} = \text{AUT}_a$$

$$t^{b}_{<-18^{\circ}\text{C}} = \text{AUT}_b^*$$

\*Para el caso de la condición para productos congelados ( $<-16^{\circ}\text{C}$ ) se evaluó además el tiempo de permanencia en una temperatura inferior a  $-18^{\circ}\text{C}$ , ya que para esta condición más exigente podrían visualizarse mayores diferencias entre los tratamientos.

Para los parámetros arriba indicados se realizaron promedios para cada condición y se obtuvieron sus respectivos desvíos estándar (SD), con el propósito de poder efectuar comparaciones estadísticas, las cuales se llevaron a cabo a través de ANOVA de un factor (Microsoft Excel y GraphPad Prism). Se considera significativo un  $P_{valor} < 0,05$ .

## III. RESULTADOS

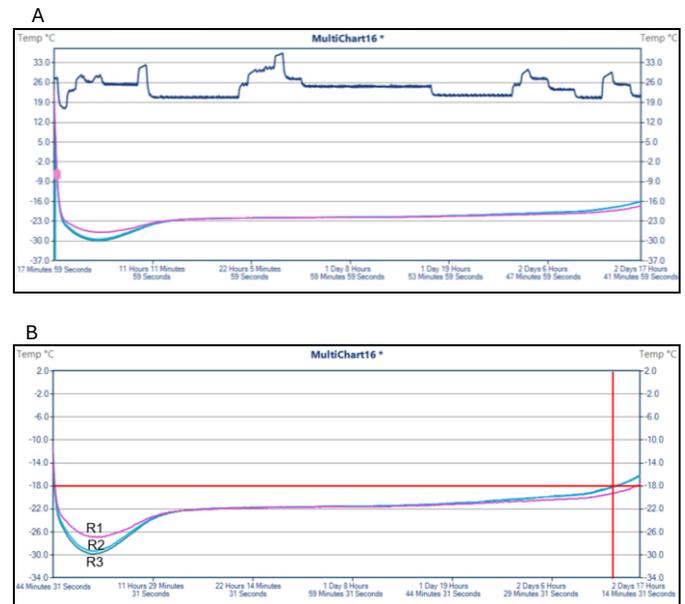
### Evaluación de $\text{EPS}_{\text{bpk}}$ en el rango térmico de operación

La evaluación del  $\text{EPS}_{\text{bpk}}$  se realizó para dos condiciones térmicas, como se expuso en la sección M&M, con el objetivo de evaluar el comportamiento de este material en dos entornos térmicos, y teniendo en cuenta el rango de operación de las cadenas de frío más usuales, representadas en este caso por una condición ‘refrigerada’ ( $+2,0^{\circ}\text{C}$  a  $+8,0^{\circ}\text{C}$ ) y por una condición ‘de freezer’, que en este caso será  $<-16^{\circ}\text{C}$ . El objetivo de los ensayos no fue calificar configuraciones/embalajes como ocurre en los ensayos de calificación operacional o de performance (OQ/PQ), sino caracterizar el material  $\text{EPS}_{\text{bpk}}$  en términos de su capacidad de aislar térmicamente a una carga en un entorno térmico dado. Por ese motivo, los mecanismos de evaluación y diseño experimental del presente estudio no son equivalentes a aquellos tomados para la calificación de configuraciones de transporte, ya que el objetivo aquí es otro y se centra en la comparación del  $\text{EPS}_{\text{bpk}}$  con el  $\text{EPS}_{\text{std}}$ . Específicamente, al localizar el DL en el centro geográfico de la conservadora, se intenta que el mismo tome datos en el mismo lugar en todas las réplicas, algo que no suele ocurrir en los ensayos de calificación, ya que los DL suelen quedar desplazados unos con respecto a otros, entre las diversas réplicas.

### Comportamiento de $\text{EPS}_{\text{bpk}}$ en la condición térmica $<-16^{\circ}\text{C}$

Para la evaluación del  $\text{EPS}_{\text{bpk}}$  en una condición de transporte de productos congelados, se utilizó, como refrigerante, un

material de cambio de fase (PCM) de punto de fusión  $p_f = -21,0^{\circ}\text{C}$ , lo que produce una notable homogeneidad en el interior de la conservadora, incluso frente a cambios térmicos externos, como aquellos generados por la cámara de simulación de temperaturas. En la **Figura 5** pueden apreciarse los resultados para las tres réplicas estudiadas (R1, R2 y R3) para el caso del control ( $\text{EPS}_{\text{std}}$ ), mientras que en la **Figura 6** se exponen los resultados para el tratamiento ( $\text{EPS}_{\text{bpk}}$ ).

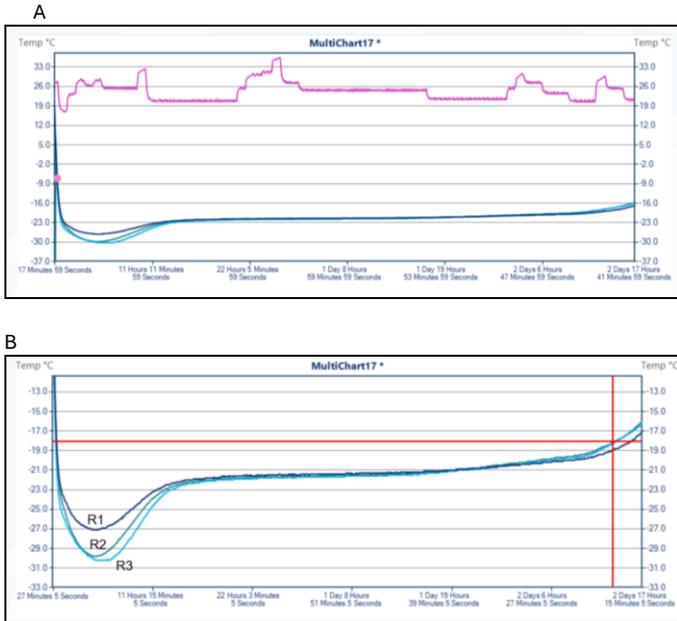


**Figura 5. A.** Vista general de los resultados para el ensayo realizado para  $\text{EPS}_{\text{std}}$  en condición térmica de productos congelados. Se visualizan las curvas correspondientes a las tres réplicas realizadas (líneas violeta, gris y celeste), y en la parte superior se observa el perfil externo generado por la cámara de simulación (línea azul oscuro). **B.** Gráfico detalle de las tres curvas correspondientes a las tres réplicas R1, R2 y R3. Las líneas rojas indican el límite de  $-18^{\circ}\text{C}$  en temperatura y temporalidad.

En la **Tabla 3** se exponen los resultados obtenidos para los parámetros de interés termodinámicos para el control ( $\text{EPS}_{\text{std}}$ ).

REPLICA	MKT ( $^{\circ}\text{C}$ )	$T_{min}$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	$T_{max}$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	AUT <sub>b</sub> (hs)
<b>R3</b>	-21,40	-29,80	-16,1	63
<b>R2</b>	-21,40	-29,30	-16,0	63
<b>R1</b>	-21,30	-26,90	-17,6	64
<b>PROMEDIO ±</b>	-21,37 ±	-28,66 ±	16,56 ±	63,33
<b>SD</b>	0,057	1,55	0,75	

**Tabla 3.** Parámetros obtenidos para los ensayos realizados en condición térmica de productos congelados para  $\text{EPS}_{\text{std}}$



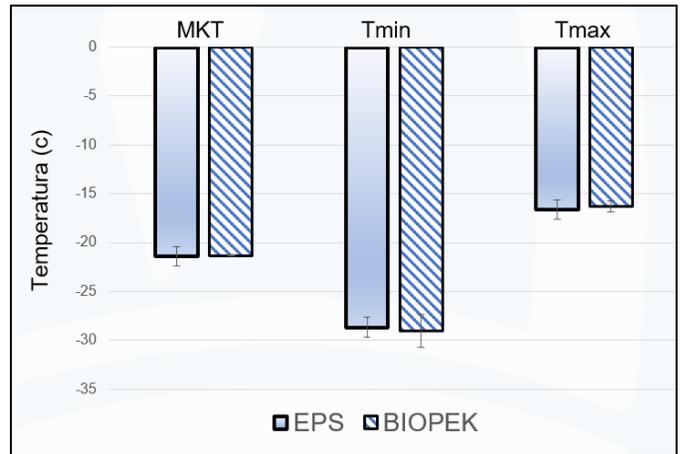
**Figura 6.** A. Vista general de los resultados para el ensayo realizado para EPS<sub>bpk</sub> en condición térmica de productos congelados. Se visualizan las curvas correspondientes a las tres replicas realizadas (líneas azul, gris y celeste), y en la parte superior se observa el perfil externo generado por la cámara de simulación (línea violeta). B. Gráfico detalle de las tres curvas correspondientes a las tres replicas R1, R2 y R3. Las líneas rojas indican el límite de -18°C en temperatura y temporalidad.

En la **Tabla 4** se exponen los resultados obtenidos para los parámetros de interés termodinámicos para el control (EPS<sub>bpk</sub>).

REPLICA	MKT (°C)	T <sub>min</sub> (°C)	T <sub>max</sub> (°C)	AUT <sub>b</sub> (hs)
R3	-21,30	-30,2	-15,9	63
R2	-21,40	-29,8	-16,1	63
R1	-21,30	-27,1	-16,9	64
<b>PROMEDIO ± SD</b>	<b>-21,33 ± 0,06</b>	<b>-29,03 ± 1,69</b>	<b>-16,30 ± 0,53</b>	<b>63,33</b>

**Tabla 4.** Parámetros obtenidos para los ensayos realizados en condición térmica de productos congelados para EPS<sub>bpk</sub>.

En función de lo observado en las **Figuras 5 y 6** y las **Tablas 3 y 4** se concluye que no hay diferencias evidentes entre el control y el tratamiento. Para determinar la significancia estadística de los resultados obtenidos, se graficó el promedio de los valores obtenidos para los parámetros MKT, T<sub>min</sub> y T<sub>max</sub> tanto para el control como para el tratamiento y se realizó una prueba estadística. En ningún caso las diferencias fueron significativas (**Figura 7**, p-value>0,05).

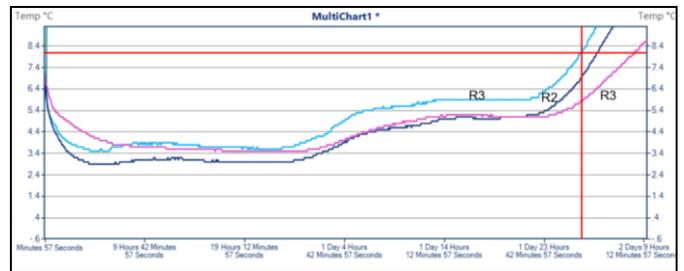


**Figura 7.** Comparación entre los promedios de los parámetros de estudio para el control (EPS<sub>std</sub>) y tratamiento (EPS<sub>bpk</sub>).

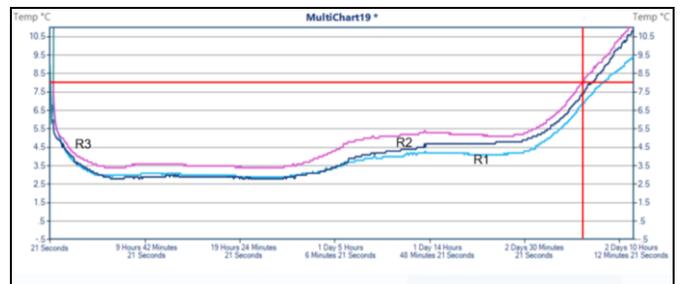
*Comportamiento de EPS<sub>bpk</sub> en la condición térmica +2°C a +8°C*

Para la evaluación del EPS<sub>bpk</sub> en la condición de transporte de productos refrigerados, se utilizó una configuración que comprende tanto geles (base agua) congelados como refrigerados, además de otros insumos como barreras térmicas. En la **Figura 8** pueden apreciarse los resultados para las tres replicas estudiadas (R1, R2 y R3) para el caso del control (EPS<sub>std</sub>) (8A) y para el tratamiento (EPS<sub>bpk</sub>) (8B).

A Control EPS<sub>std</sub>



B Tratamiento EPS<sub>bpk</sub>



**Figura 8.** Detalle de los resultados para el ensayo realizado para EPS<sub>std</sub> (A) y EPS<sub>bpk</sub> (B) en condición térmica de productos refrigerados para las tres replicas ejecutadas en cada caso (R1, R2 y R3). Las líneas rojas indican el limite de +8°C en temperatura y temporalidad.

En la **Tabla 5A** se exponen los resultados obtenidos para los parámetros de interés termodinámicos para el control (EPS<sub>std</sub>) y en la **Tabla 5B** aquellos datos para el tratamiento (EPS<sub>bpk</sub>) en los ensayos realizados para la condición +2; +8°C.

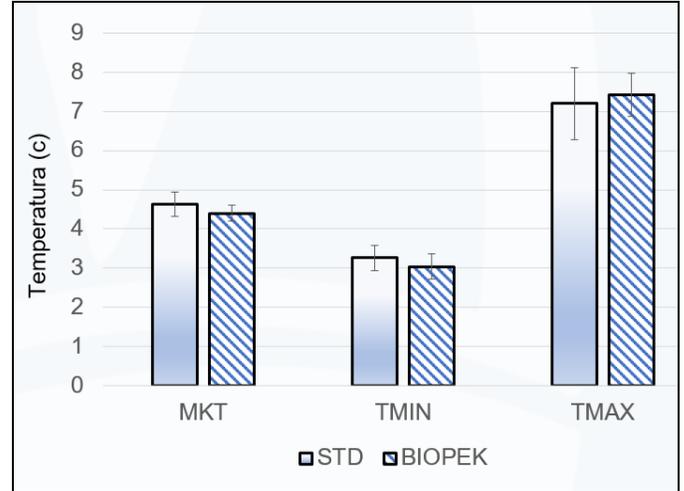
A Control EPS <sub>std</sub>				
RÉPLICA	MKT (°C)	T <sub>min</sub> (°C)	T <sub>max</sub> (°C)	AUT <sub>b</sub> (hs)
R3	4,3	3,4	6,2	56,0
R2	4,7	2,9	7,4	53,5
R1	4,9	3,5	8,0	52,5
<b>PROMEDIO ± SD</b>	<b>4,63 ± 0,31</b>	<b>3,26 ± 0,32</b>	<b>7,20 ± 0,91</b>	<b>54,0 ± 1,8</b>

B Tratamiento EPS <sub>bpk</sub>				
RÉPLICA	MKT (°C)	T <sub>min</sub> (°C)	T <sub>max</sub> (°C)	AUT <sub>b</sub> (hs)
R3	4,2	2,8	6,9	55
R2	4,4	2,9	7,4	54
R1	4,6	3,4	8,0	53
<b>PROMEDIO ± SD</b>	<b>4,40 ± 0,2</b>	<b>4,04 ± 0,32</b>	<b>7,43 ± 0,55</b>	<b>54 ± 1</b>

**Tabla 5.** Parámetros obtenidos para los ensayos realizados en condición térmica de productos refrigerados para EPS<sub>std</sub> (A) y para EPS<sub>bpk</sub> (B).

En función de lo observado en las **Figura 8** y la **Tabla 5** se concluye que, al igual que lo que ocurre en el caso anterior, no hay diferencias relevantes entre el control y el tratamiento para la condición refrigerada. Para determinar la significancia estadística de los resultados obtenidos, se graficó el promedio de los valores obtenidos para los parámetros MKT, T<sub>min</sub> y T<sub>max</sub> tanto para el control como para el tratamiento y se realizó una prueba estadística. En ningún caso las diferencias fueron significativas (**Figura 9**, p-value>0,05).



**Figura 9.** Comparación entre los promedios de los parametros de estudio para el control (EPS<sub>std</sub>) y tratamiento (EPS<sub>bpk</sub>).

#### IV. DISCUSIÓN

En función de los resultados obtenidos puede observarse que el comportamiento de los dos tipos de EPS es indistinguible en cuanto a su performance térmica. En cuanto a la cinética de las curvas, la misma muestra una clara equivalencia en términos de la respuesta del material a las temperaturas externas, existiendo un virtual solapamiento de las pendientes de las curvas en todos los intervalos, a pesar de sutiles diferencias las cuales no pueden ligarse al material sino mas bien a las particularidades de cada una de las replicas ensayadas.

Los resultados obtenidos son esperables en cuanto a la bibliografía disponible, en cuanto a que la capacidad de aislar del EPS está directamente relacionada con su capacidad para ocluir aire, tras el proceso de expansión. En ese sentido, no es esperable que exista una capacidad de expansión distinta entre los dos tipos de EPS, siendo por lo tanto esperable que la aislación térmica, que depende de la presencia y distribución de aire en el PS, sea equivalente para el EPS convencional y el nuevo EPS-biopek. Existen otros ejemplos de versiones de EPS que contienen aditivos, como el grafito, que no solo no perjudican la capacidad de aislación del material final, sino que la mejoran (Blazejczyk et al, 2020). Se concluye por tanto que el nuevo material EPS-Biopek combina las características térmicas del EPS y una mayor tasa de biodegradabilidad, constituyendo entonces una alternativa posible al EPS tradicional.

#### REFERENCIAS

- [1] Yang Y, Yang J, Wu WM, et al. Biodegradation and mineralization of polystyrene by plastic-eating mealworms: Part 2. Role of gut microorganisms. Environ Sci Technol. 2015;49:12087–12093.

- [2] Tom M. Shane Rattenbury considers ACT polystyrene ban [Internet]. 2015. Available from: <http://www.canberratimes.com.au/act-news/shane-rattenbury-considers-act-polystyrene-ban-20150201-133kvb>
- [3] Matthew D. More cities ban polystyrene foam, citing environment [Internet]. 2013. Available from: <http://www.usatoday.com/story/news/nation/2013/12/21/polystyrene-foam-ban/4141835/>
- [4] Walker, Stuart, and Rachel Rothman. "Life cycle assessment of bio-based and fossil-based plastic: A review." *Journal of Cleaner Production* 261 (2020): 121158.
- [5] Guanyi Chen, Jianyuan Li, Yunan Sun, Zhi Wang, Gary A. Leeke, Christian Moretti, Zhanjun Cheng, Yuan Wang, Ning Li, Lan Mu, Jinyu Li, Junyu Tao, Beibei Yan, Li'an Hou, Replacing Traditional Plastics with Biodegradable Plastics: Impact on Carbon Emissions. *Engineering*, Volume 32, 2024, Pages 152-162, ISSN 2095-8099
- [6] Ho, B. T., Roberts, T. K., & Lucas, S. (2017). An overview on biodegradation of polystyrene and modified polystyrene: the microbial approach. *Critical Reviews in Biotechnology*, 38(2), 308–320. <https://doi.org/10.1080/07388551.2017.1355293>.
- [7] Kaplan DL, Roy H, Jim S. Biodegradation of Polystyrene, poly(methyl methacrylate), and phenol formaldehyde. *Appl Environ Microbiol*. 1979;38: 551–553
- [8] Albertsson AC, Karlsson S. Aspects of biodeterioration of inert and degradable polymers. *Int Biodeterior Biodegrad*. 1993;31:161–170.
- [9] Palmisano AC, Pettigrew CA. Biodegradability of plastics. *Bioscience*. 2006;42:680–685.
- [10] Albertsson AC, Andersson SO, Karlsson S. The mechanism of biodegradation of polyethylene. *Polym Degrad Stab*. 1987;18:73–87
- [11] Blazejczyk A, Jastrzebski C, Wierzbicki M. Change in Conductive-Radiative Heat Transfer Mechanism Forced by Graphite Microfiller in Expanded Polystyrene Thermal Insulation-Experimental and Simulated Investigations. *Materials (Basel)*. 2020 Jun 9;13(11):2626. doi: 10.3390/ma13112626. PMID: 32526870; PMCID: PMC7321605.