

## **“Desarrollo y caracterización de materiales sostenibles con subproductos de la industria del lino para aplicaciones de envasado bajo el marco de la Economía Circular.”**

### **Resumen.**

La realización de esta tesis doctoral se ha desarrollado durante un tiempo en el que los conceptos como el reciclaje, el aprovechamiento de energías renovables o la preocupación medioambiental debido a la acumulación de residuos son una inquietud en el seno de la sociedad. En los últimos años estos conceptos se han ido unificando gracias a su filosofía común, dando lugar a un concepto más general, la economía circular. Con esta evolución en la concienciación ciudadana por el bienestar común del planeta no sólo se considera el buen uso de los recursos disponibles y la adecuada gestión de éstos tras ser empleados, sino que también se busca que esta explotación de los medios sea lo más eficiente posible, intentando incluso conseguir que suponga un efecto positivo sobre el medio. Las ambiciones de un modelo circular consisten en que no solo basta con poder eliminar los residuos y desechos producidos de una forma poco dañina para el medio ambiente, sino que debería buscarse una forma de que estos puedan ser reintroducidos en los ciclos naturales de donde se obtuvieron. Un ejemplo de esto es constante implementación en materiales biodegradables que tras ser utilizados pueden ser enterrados y asimilados por la microfauna del suelo. Del mismo modo, el máximo reaprovechamiento de los recursos también recae sobre la búsqueda de funciones para subproductos o desechos que se obtienen de forma indirecta en muchas industrias. El reaprovechamiento de subproductos permite la valorización de éstos, transformándolos en materias primas secundarias, que podrían ser integradas en los sistemas industriales actuales.

Lejos de ser un planteamiento puramente teórico, podemos afirmar que efectivamente se ha logrado cambiar algunas actividades más cotidianas de la sociedad, como por ejemplo el envasado de productos perecederos. Los envases activos, bolsas, cuberterías de un solo uso, pañales, embalajes, productos de higiene y otros productos similares hechos con materiales biodegradables son un claro ejemplo.

Por otro lado, a nivel industrial, cada vez se les da más importancia a los materiales procedentes de recursos renovables, siendo los polímeros los más destacables en este sentido. Desde hace varios años son una realidad los polímeros obtenidos a partir de polisacáridos vegetales como el almidón o la quitina, de proteínas naturales como el gluten o la caseína, o derivados de la acción de ciertas bacterias como es el caso de los PHAs. Dentro de este campo, resulta necesario destacar el ácido poli(láctico), un polímero biodegradable procedente de recursos renovables que ofrece un balance de propiedades que hacen que pueda ser empleado en diversos sectores industriales con gran demanda, como por ejemplo la fabricación de envases alimentarios y embalajes.

También han adquirido cierta relevancia los recursos renovables como parte constituyente de materiales compuesto, destacando el uso de partículas lignocelulósicas procedente de desechos agroforestales para la obtención de green composites, o el uso de aceites vegetales como ingredientes de resinas termoestables, por ejemplo.

Considerando este marco, en el presente trabajo se aborda el empleo de distintos subproductos de la industria del lino, cuyo aprovechamiento es nulo o muy escaso, para el desarrollo de una serie de materiales compuestos a partir de una matriz de PLA con un rendimiento mecánico mejorado, que permitirían su uso a nivel industrial. Estos materiales han sido fabricados mediante técnicas convencionales de extrusión e inyección. La planta del lino es una de las especias vegetales que mayor explotación recibe, ya sea para el uso de sus fibras en la industria textil, o el empleo del aceite extraído de sus semillas en la industria oleoquímica. Se ha estudiado pues, la utilización de dos subproductos de estas actividades industriales, como es la harina de la semilla triturada (FSF) y la borra de lino descartada (fibra corta, FF). Con cada uno de estos materiales se han producido una familia de compuestos que han sido caracterizados con el objetivo de comprobar su potencial aplicabilidad industrial. Debido a la naturaleza lignocelulósica de estos subproductos y la baja compatibilidad que suelen mostrar éstos con los polímeros, se llevan a cabo una serie de estrategias para reforzar la interacción partícula/matriz. Las técnicas de compatibilización que se han llevado a cabo en este trabajo van desde el tratamiento alcalino de las fibras cortas, al uso de silanos en solución acuosa, así como el uso de agentes compatibilizantes: un oligómero epoxídico (ESAO), un copolímero estireno-metacrilato (PS-co-GMA) y sustancias de origen renovable.

Las compatibilizantes de origen renovable empleados en esta tesis doctoral son dos sustancias procedentes de la planta del lino: el aceite de linaza epoxidado (ELO) y el aceite de linaza maleinizado (MLO). Este último ya ha sido estudiado con anterioridad como un efectivo agente plastificante del PLA, debido a la presencia de grupos maleicos capaces de posicionarse entre las cadenas del polímero, incrementando su volumen libre y fomentando un incremento de la ductilidad. Siendo el PLA un polímero con mucha proyección de futuro, y buscando profundizar el estudio del efecto positivo que produce el MLO sobre este polímero, se estudió la doble funcionalidad que éste puede llevar a cabo al actuar de agente compatibilizante además de plastificar la matriz polimérica. Para ello además de con las partículas lignocelulósicas procedentes de la planta del lino, se estudió su efectividad con partículas silíceas. Las nanoarcillas son una familia de materiales de relleno bastante habituales, siendo varios los trabajos centrados en la combinación de éstas con PLA. Comprobar y optimizar la cantidad de MLO que se puede emplear en este tipo de compuestos resulta interesante desde el punto de vista de la aplicabilidad de esta sustancia de origen vegetal.

Por otro lado, la reciclabilidad de los compuestos desarrollados en este trabajo también ha sido estudiada. Para ello se ha comprobado cómo afecta el reprocesado del PLA a sus características finales.