

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 371 008**

51 Int. Cl.:  
**C08F 38/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **04742489 .0**  
96 Fecha de presentación: **13.04.2004**  
97 Número de publicación de la solicitud: **1611170**  
97 Fecha de publicación de la solicitud: **04.01.2006**

54 Título: **MACROMOLÉCULAS AUTOENSAMBLADAS ALREDEDOR DE NANOTUBOS DE CARBONO, UN PROCEDIMIENTO PARA SU PREPARACIÓN Y SUS APLICACIONES.**

30 Prioridad:  
**10.04.2003 FR 0304492**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**26.12.2011**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**26.12.2011**

73 Titular/es:  
**CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE (CNRS)  
3, rue Michel-Ange  
75794 Paris Cedex 16, FR y  
Université Louis Pasteur**

72 Inventor/es:  
**MIOSKOWSKI, Charles;  
RICKLING, Stéphane y  
SCHULTZ, Patrick**

74 Agente: **Ruo, Alessandro**

ES 2 371 008 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

**DESCRIPCIÓN**

Macromoléculas autoensambladas alrededor de nanotubos de carbono, un procedimiento para su preparación y sus aplicaciones

5 **[0001]** La invención tiene por objeto macromoléculas autoensambladas y fotopolimerizadas alrededor de nanotubos de carbono, un procedimiento para su preparación y sus aplicaciones.

10 **[0002]** Después de su descubrimiento, a principios del año 1990 por Lijima (Nature 354, 56 (1991), los nanotubos y particularmente los nanotubos de carbono, han suscitado un interés creciente debido a sus propiedades físicas, electrónicas o térmicas. La mayoría de las aplicaciones requieren un nivel de pureza muy alto de los nanotubos y se han descrito diversos métodos de purificación, bien por oxidación, por filtración o también por cromatografía. Muy frecuentemente, después de estos procesos, los nanotubos se deterioran (oxidación, recortes en los extremos) o ven su estructura gráfica modificada (funcionalización covalente sobre las partes finales o sobre las paredes laterales de los tubos), lo que a veces provoca una modificación muy considerable de sus propiedades.

15 **[0003]** Se mide por tanto el interés de un método de purificación eficaz y no destructor.

20 **[0004]** Los trabajos de los autores de la presente invención en este campo demuestran que algunos compuestos pueden auto-organizarse alrededor de nanotubos formando anillos y protegerlos así contra cualquier deterioro durante su manipulación. Ventajosamente, estos compuestos pueden separarse de los nanotubos y recuperarse para aplicaciones de interés, obteniéndose entonces los nanotubos con un nivel de pureza muy elevado.

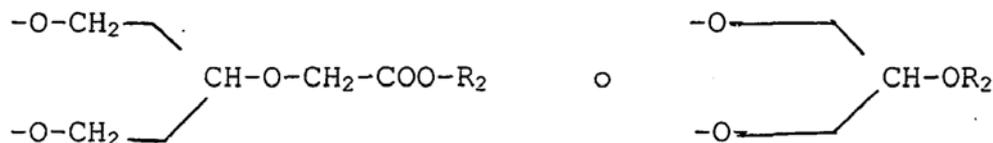
25 **[0005]** La invención tiene por tanto como objeto proporcionar nuevos compuestos que pueden usarse para la protección de nanotubos.

**[0006]** La invención también se refiere a un método de purificación de nanotubos aplicando estos compuestos.

30 **[0007]** De acuerdo con otro aspecto más, la invención se refiere a las nuevas estructuras con autoensamblaje de dichos compuestos alrededor de nanotubos y sus aplicaciones, particularmente para la protección y purificación de nanotubos o también la vectorización de productos activos.

35 **[0008]** Las nuevas estructuras de macromoléculas con auto-organización alrededor de nanotubos se caracterizan porque están esencialmente formadas por anillos de compuestos lipídicos polimerizados rodeando a los nanotubos, obteniéndose estos compuestos polimerizados a partir de compuestos lipídicos, que comprenden una o dos cadenas A unidas a un grupo Z:

- representando A una cadena  $CH_3-(CH_2)_m-C\equiv C-C\equiv C-(CH_2)_n-$
- siendo n y m, idénticos o diferentes, números enteros de 1 a 16, y
- 40 - representando Z una cabeza polar constituida por un grupo  $-COOH$ ,  $-CO-NH-Y$ ,  $-NH_2$  o  $N^+(R)_3$ , siendo R un alquilo C1 a C4 e Y un radical  $-(CH_2)_4-C(R_1)-N(CH_2-COOH)_2$ , representando  $R_1$  H o un radical  $COOH$  en el caso en el que A represente una sola cadena lipídica, o un grupo de estructura:



45 representando  $R_2$  un grupo  $-COOH$ ,  $-CO-NH-Y_1$ , siendo  $Y_1$  un radical  $-(CH_2)_4-C(R_3)-N(CH_2-COOH)_2$ , representando  $R_3$  H o un radical  $COOH$ ,

o Z o  $R_2$  pueden ser también cabezas polares hidrófilas o neutras de tipo azúcar o polisacárido.

50 **[0009]** Los compuestos lipídicos preferidos polimerizables son aminolípidos de fórmula



55 o amonios cuaternarios de fórmula



60 **[0010]** Otros compuestos lipídicos preferidos polimerizables son lípidos ácidos bicatenarios, es decir, con dos cadenas A unidas a Z.

**[0011]** Otros compuestos adicionales son lípidos funcionalizados por un grupo quelante, como el ácido nitrilotriacético (NTA) o el ácido iminodiacético (IDA).

5 **[0012]** La invención también se refiere a un procedimiento de obtención de estructuras definidas anteriormente caracterizado por que comprende las etapas que consisten en:

- poner en contacto nanotubos sin procesar con una solución de lípidos para formar una suspensión estable;
- polimerizar los lípidos que están auto-organizados alrededor de los nanotubos y;
- 10 - recuperar los nanotubos cubiertos por anillos constituidos por los lípidos polimerizados.

**[0013]** Ventajosamente, los nanotubos sin procesar se tratan con ultrasonidos en la solución de lípidos.

15 **[0014]** En el procedimiento de la invención, estos lípidos están en solución en un medio acuoso tamponado que contiene ventajosamente un detergente. Como detergente se citará, el dodecil sulfato sódico (SDS).

**[0015]** Después del tratamiento con ultrasonidos, el detergente se elimina por diálisis.

20 **[0016]** La suspensión de nanotubos en el tampón acuoso se somete a un tratamiento para polimerizar los lípidos.

**[0017]** Se usa una radiación ultravioleta.

25 **[0018]** En un modo de realización de la invención, las estructuras obtenidas se someten a un tratamiento para separar los nanotubos, cubiertos por anillos lipídicos polimerizados, de cualquier impureza contenida en la síntesis de los nanotubos sin procesar.

**[0019]** Esta etapa se realiza, por ejemplo, por cromatografía por exclusión de tamaño.

30 **[0020]** Fases estacionarias constituidas por sílice de porosidad controlada, tal como el producto comercializado con el nombre CPG (por "controlled pore glass") por Millipore Corp., han demostrado ser satisfactorias. Pueden realizarse una o más etapas de purificación y la porosidad puede, ventajosamente, modificarse de acuerdo con la etapa de purificación. De esta manera se obtienen nanotubos de gran pureza.

35 **[0021]** También es posible eliminar los anillos aplicando un campo eléctrico, por ejemplo en un dispositivo de electroforesis.

**[0022]** Los nanotubos cubiertos por macromoléculas polimerizadas obtenidos de esta manera, presentan propiedades ventajosas en numerosas aplicaciones.

40 **[0023]** Los nanotubos cubiertos por hemimicelas fotopolimerizadas permiten efectuar, particularmente, un acortamiento controlado de los tubos por tratamiento con ultrasonidos.

45 **[0024]** Se sabe que los nanotubos monolaminares son sensibles al tratamiento fuerte con ultrasonidos y que una exposición prolongada a ultrasonidos provoca una fuerte degradación de los tubos, esencialmente por un fenómeno de recorte de los nanotubos en sus extremos.

50 **[0025]** Incluso, se ha podido observar que las paredes laterales de los nanotubos están fuertemente deterioradas después de un intenso tratamiento con ultrasonidos, lo que perturba la estructura gráfica de los nanotubos y modifica sus propiedades electrónicas.

**[0026]** Resulta que los nanotubos monopared de la invención, que están cubiertos por macromoléculas polimerizadas, permiten controlar su acortamiento.

55 **[0027]** Los autores de la invención han constatado de hecho que sometiendo muestras de nanotubos mono pared, recubiertos de lípidos polimerizados, tal y como se ha descrito anteriormente, con un tratamiento de ultrasonidos, es posible cortar los nanotubos y obtener, por ejemplo, tamaños promedio del orden de 400 nm después de 2 horas de tratamiento con ultrasonidos.

60 **[0028]** Como se ilustra en los ejemplos, de esta manera pueden obtenerse nanotubos mono pared cortados con tamaños parecidos en forma de tubos aislados o en pequeños haces, lo que de muestra que el corte no se ha realizado por un recorte en los extremos, sino más bien por una rotura en dos de los nanotubos.

**[0029]** Por tanto, el lípido polimerizado en la superficie de los nanotubos sirve para proteger los nanotubos.

**[0030]** Las especies poliméricas de la invención en forma de anillo que se han separado de los nanotubos de carbono por electroforesis constituyen nuevos vectores de moléculas hidrófobas o de proteínas de membrana, ya que el interior de estos anillos presenta una estructura bicapa de membrana.

5 **[0031]** Como se ha indicado anteriormente, las macromoléculas formadas por lípidos polimerizados en la superficie de nanotubos son hidrófobas en su parte interna e hidrófilas en su parte externa.

**[0032]** Constituyen por tanto vectores de interés para moléculas hidrófobas en medios acuosos.

10 **[0033]** La invención contempla por tanto la aplicación de anillos poliméricos separados de nanotubos como vectores de productos hidrófobos.

15 **[0034]** Los productos hidrófobos tendrán tendencia, al ponerse en contacto con dichas macromoléculas polimerizadas, a colocarse en el interior de la bolsa hidrófoba presentada por los lípidos polimerizados. Estos últimos son solubles en medio acuoso debido a su parte hidrófila exterior y el conjunto lípido/producto hidrófobo también será entonces soluble.

20 **[0035]** Esta aplicación utiliza los nanotubos para la fabricación de transportadores de moléculas no hidrosolubles en particular medicamentos y proteínas hidrófobas.

**[0036]** Al usar lípidos de tamaño adecuado, es posible disponer de recubrimientos que imitan la membrana celular, pudiendo aparentar, las macromoléculas polimerizadas alrededor de los nanotubos, bicapas lipídicas.

25 **[0037]** Con lípidos cuyo tamaño es del orden de la magnitud de la de los lípidos de una membrana celular, y con nanotubos de diámetro apropiado, la invención proporciona estructuras cuyos anillos de recubrimiento permiten disolver proteínas de membrana. Poniendo en contacto, en medio acuoso, proteínas de membrana con anillos lipídicos polimerizados de acuerdo con la invención, la parte hidrófoba de las proteínas de membrana se pone en contacto con el interior de los anillos. El complejo macromolécula/proteína es por tanto soluble en fase acuosa, lo que permite disolver proteínas de membrana sin haber usado detergentes que pueda dañarlas o desnaturalizarlas.

30 **[0038]** De acuerdo con otro aspecto de gran interés, la invención contempla la aplicación de nanotubos mono y multi laminares como motores moleculares.

35 **[0039]** Los nanotubos usados comprenden como mucho unos pocos anillos de lípido polimerizado, preferentemente un solo anillo, y se someten o no a un campo eléctrico alternativo para desplazar el anillo (o anillos) a lo largo del nanotubo.

40 **[0040]** Las nuevas estructuras de la invención de macromoléculas con auto-organización alrededor de nanotubos también puede usarse para la vectorización de productos en general, lo que permite su liberación específica o inespecífica. Presentan también un gran interés en diversos campos, particularmente en el farmacéutico, para la encapsulación de principios activos de medicamentos o en cosmética y perfumería para la vectorización de fragancias, aceites esenciales y otros o para la encapsulación de diversos productos activos como feromonas. Por tanto, estas estructuras pueden usarse ventajosamente en las aplicaciones habituales de liposomas.

45 **[0041]** Otras características y ventajas de la invención se proporcionarán en los ejemplos que se indican a continuación haciendo referencia las figuras 1 a 3, que representan, respectivamente, fotografías al microscopio electrónico de transmisión de las estructuras y nanotubos de acuerdo con la invención,

- 50 - las figuras 1a y 1b, corresponden, respectivamente, a una muestra sin procesar de nanotubos monopared y a una muestra después de una 2ª etapa de purificación;
- las figuras 2a y 2b, corresponden, respectivamente, a una muestra sin procesar de nanotubos multilaminares y a una muestra después de una 2ª etapa de purificación; y
- la figura 3 a nanotubos monopared cortados después de un fuerte tratamiento con ultrasonidos durante una hora.

55 **Ejemplo 1: procedimiento de obtención de estructuras de acuerdo con la invención**

60 **[0042]** Se trató con ultrasonidos una muestra de nanotubos mono o multilaminares sin procesar, cualquiera que sea el procedimiento de síntesis, durante 5 min en una solución de lípido (11,8) NTA (lípido con funcionalidad nitrilotriacética), a una concentración de 1 mg/ml de tampón Tris (pH 8) que contenía SDS al 1%. Después del tratamiento con ultrasonidos, los nanotubos estaban en forma de suspensión estable en el tampón acuoso. El detergente se eliminó por diálisis contra Tris sin SDS, durante 48 h, cambiando el Tris cada 12 h. Una vez finalizada la diálisis, se polimerizó el lípido que estaba auto-organizado alrededor de los nanotubos irradiando la muestra con UV ( $\lambda = 254 \text{ nm}$ ) durante 1 h y se recuperaron las estructuras formadas.

65

**Ejemplo 2: procedimiento de purificación de nanotubos**

[0043] Se usó la técnica de cromatografía por exclusión de tamaño usando, como fase estacionaria, CPG, comercializada por Millipore Corp. (Lincoln Park, NJ, EUA).

5 [0044] Se realizó la primera etapa de purificación con CPG 3 000 A, que posee un tamaño promedio de poro de 300 nm. Esta fase estacionaria se colocó en una columna de 14 cm x 0,7 cm y se ajustó con una solución acuosa de SDS a una concentración de 0,25%.

10 [0045] En la columna se depositaron 0,5 ml de suspensión de nanotubos irradiados (1 mg/ml) monopared o multilaminares y se eluyó con SDS acuoso a una concentración de 0,25%. El flujo del eluyente se ajustó a aproximadamente 10 ml/h. Después de un volumen muerto de 4 ml, se recogieron 6 fracciones de 2 ml que se observaron al microscopio electrónico de transmisión (TEM).

15 [0046] Para los nanotubos multilaminares, se observó un máximo de tubos en la primera fracción con algunas impurezas (Fig. 1). Las siguientes fracciones contenían básicamente carbono amorfo y otras impurezas y algunos nanotubos extraños. La primera fracción se incorporó entonces en una segunda etapa de purificación depositando 0,5 ml sobre una columna de 14 cm x 0,7 cm que contenía CPG 1400 A (tamaño promedio de las cavidades: 140 nm). Se usó el mismo eluyente y después de un volumen muerto de 6 ml se recuperaron 6 fracciones de 0,5 ml, ajustándose el flujo del eluyente a aproximadamente 10 ml/h. Las observaciones al TEM demostraron que la  
20 segunda fracción contenía nanotubos multilaminares puros, prácticamente sin impurezas.

[0047] Para la purificación de nanotubos monopared se usó el mismo procedimiento. Después de la primera etapa de purificación sobre la columna CPG 3000 A, se recogieron fracciones de 2 ml después de un volumen muerto de 4 ml.

25 [0048] La observación al microscopio demuestra que la primera de las 6 fracciones contiene los nanotubos más puros (Fig. 2).

30 [0049] Las siguientes fracciones contenían muy pocos nanotubos y gran cantidad de impurezas. La primera fracción se reincorporó a un nuevo ciclo de purificación, usando una nueva columna CPG 3000 A (volumen muerto: 2 ml; fracciones de 0,5 ml). Se recuperaron 6 fracciones. La observación al microscopio demostró que las fracciones 4 y 5 contenían nanotubos monopared con una pureza superior al 95% (Fig. 3).

35 [0050] Las muestras de los nanotubos purificados se agruparon y se centrifugaron hasta obtener un depósito negro y un sobrenadante translúcido. Se eliminó el sobrenadante y los nanotubos depositados se lavaron con agua pura para eliminar el resto del detergente.

40 [0051] Después de 3 min de tratamiento con ultrasonidos, se centrifugó de nuevo la muestra, se retiró el sobrenadante y se repitieron 3 veces las etapas de lavado, tratamiento con ultrasonidos y centrifugación.

[0052] El sólido depositado después de la última centrifugación se liofilizó para proporcionar una muestra seca de nanotubos limpios cubiertos con lípidos polimerizados.

**Ejemplo 3: Procedimiento de obtención de nanotubos desprovistos de polímero lipídico**

45 [0053] Los nanotubos obtenidos en el ejemplo 2 se llevaron a una temperatura superior a 90 °C durante aproximadamente 14 h en un tampón Tris, lo que condujo a la destrucción de los lípidos polimerizados. Un lavado con un disolvente orgánico, como por ejemplo metanol o etanol, permitió eliminar el resto de polímero.

**Ejemplo 4: Procedimiento de obtención de anillos lipídicos polimerizados que pueden usarse como vectores de moléculas o de proteínas hidrófobas**

50 [0054] Los nanotubos cubiertos por macromoléculas poliméricas se sometieron a una electroforesis en gel de agarosa usando un electrolito que contenía un tampón Tris + glicina con SDS al 0,1%. De esta manera, los anillos moleculares pudieron desprenderse de los nanotubos de carbono y recuperarse para usarse en otras aplicaciones.

**Ejemplo 5: Preparación de un nanotubo con anillos de macromoléculas polimerizadas que pueden usarse como motores moleculares**

60 [0055] Se mezcló una pequeña proporción del lípido fotopolimerizable con otro lípido no fotopolimerizable seleccionado entre los lípidos que no formaban micelas mixtas, en solución acuosa, con el lípido fotopolimerizable. Un lípido no fotopolimerizable apropiado contiene un extremo débilmente perfluorado, que solo formará micelas con lípidos del mismo tipo y no formará micelas mixtas con lípidos completamente hidrogenados.

65 [0056] Se procede como se ha indicado anteriormente. Se obtienen nanotubos con dos tipos de micelas y por tanto dos tipos de anillos, siendo solo uno fotopolimerizable. Dado que los lípidos fotopolimerizables se toman en

gran medida por defecto con respecto al otro tipo de lípidos, sólo se forman muy pocas organizaciones polimerizables sobre los nanotubos. Después de irradiación con UV, los productos se lavaron con un disolvente orgánico, como metanol o etanol para retirar cualquier elemento no polimerizado alrededor de los nanotubos.

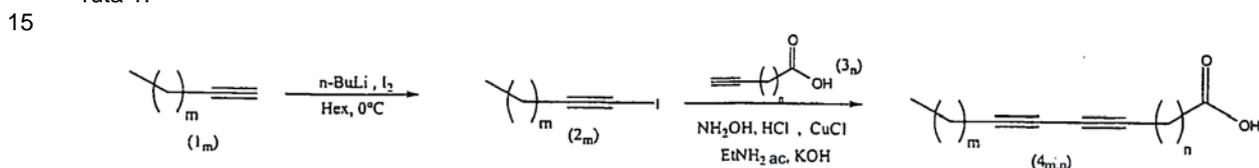
- 5 **[0057]** Sólo quedan entonces algunos anillos, preferentemente un solo anillo, sobre los nanotubos que pueden usarse en la aplicación como nanomotores.

**Ejemplo 6: Síntesis de compuestos lipídicos usados para la fabricación de las estructuras de la invención**

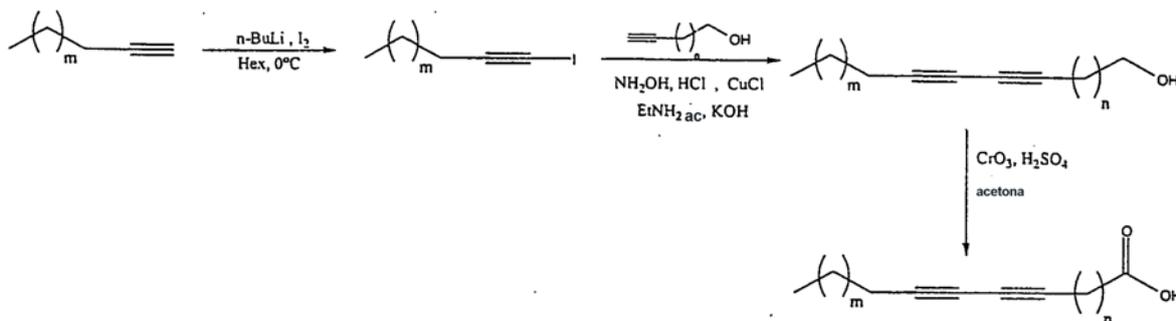
10 Síntesis

Ruta general de la síntesis de ácidos:

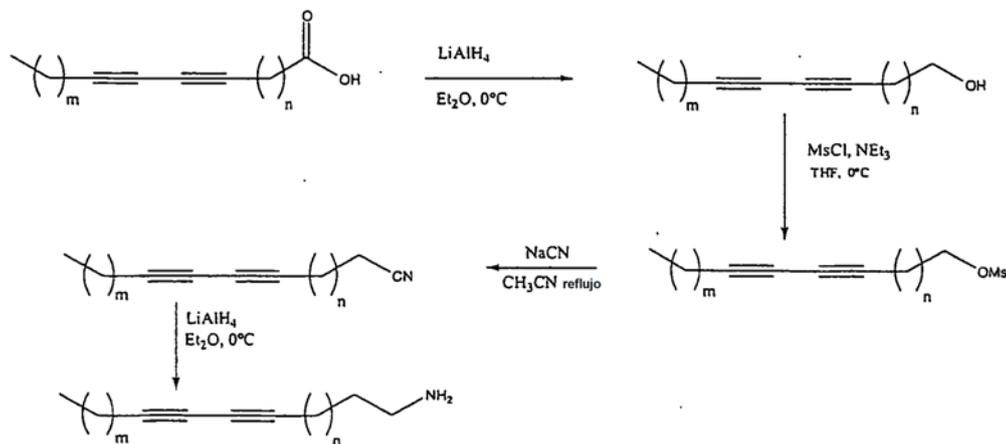
ruta 1:



ruta 2:

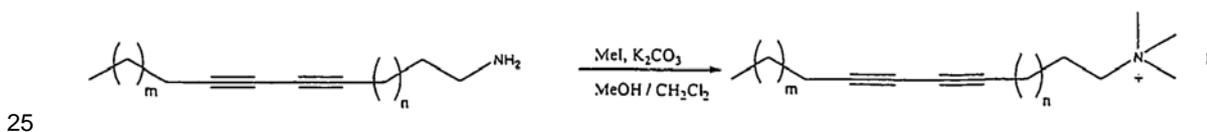


síntesis de aminolípidos:

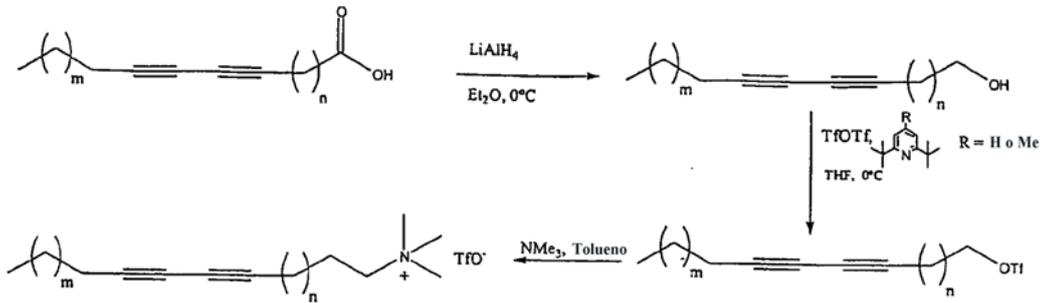


síntesis de amonios cuaternarios:

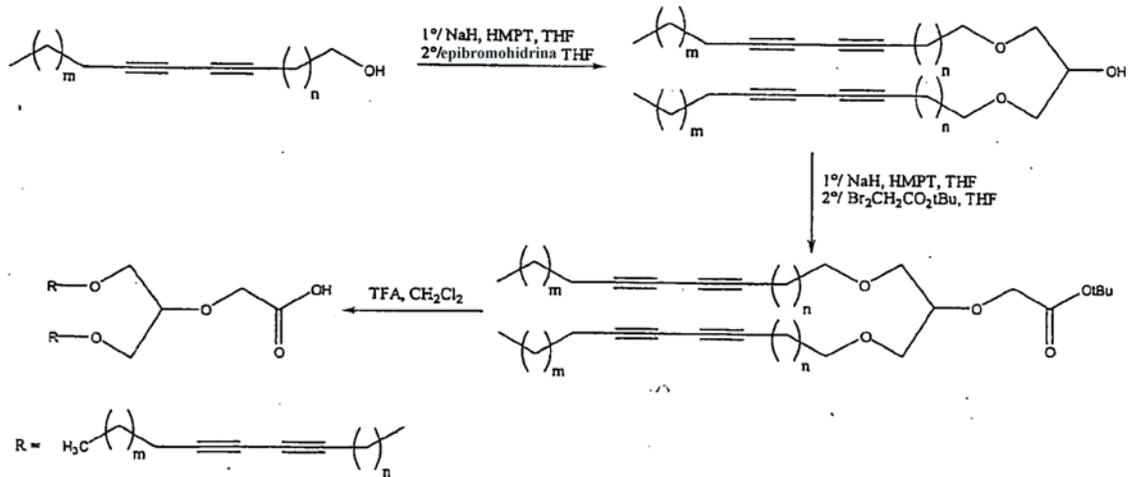
ruta 1:



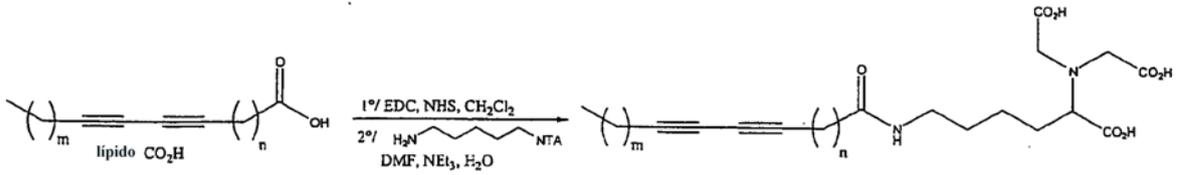
ruta 2:



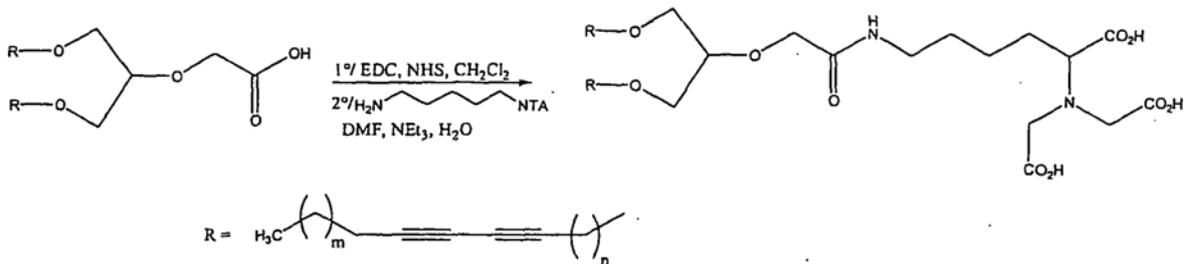
Síntesis de lípidos ácidos bicatenarios



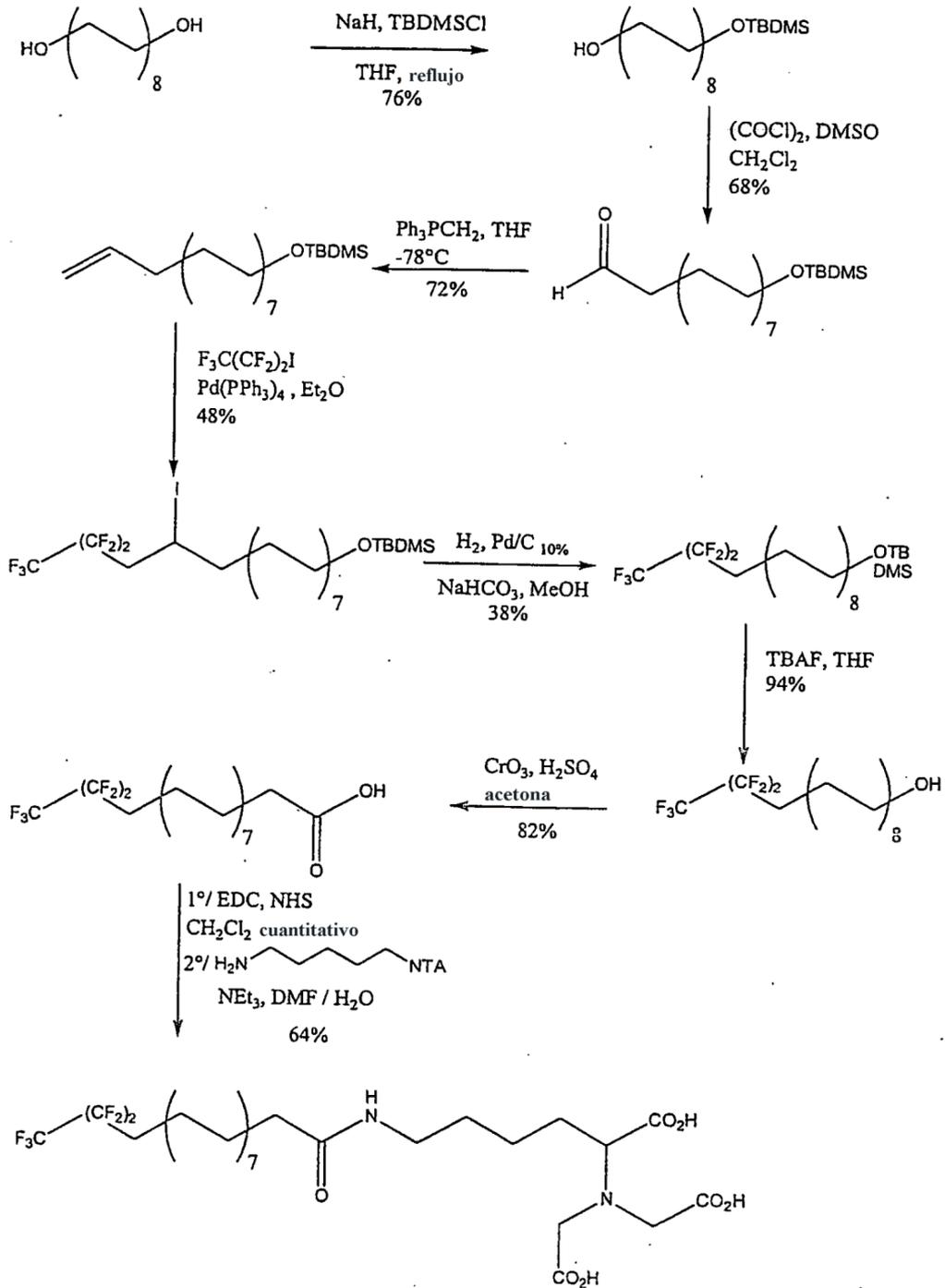
5 síntesis de lípidos NTA:



síntesis de lípidos NTA bicatenarios:



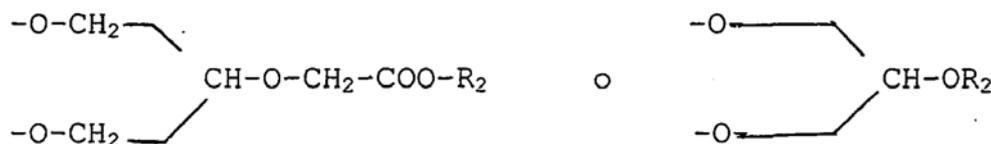
síntesis del lípido fluorado:



REIVINDICACIONES

1. Estructuras de macromoléculas con auto-organización alrededor de nanotubos, caracterizadas por que están esencialmente formadas por anillos de compuestos lipídicos polimerizados rodeando a los nanotubos, obteniéndose estos compuestos polimerizados a partir de compuestos lipídicos que comprenden una o dos cadenas A unidas a un grupo Z:

- Representando A una cadena  $\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_m-\text{C}\equiv\text{C}-\text{C}\equiv\text{C}-(\text{CH}_2)_n-$ , siendo n y m, idénticos o diferentes, números enteros de 1 a 16, y
- Representando Z una cabeza polar constituida por un grupo  $-\text{COOH}$ ,  $-\text{CO}-\text{NH}-\text{Y}$ ,  $-\text{NH}_2$  o  $\text{N}^+(\text{R})_3$ , siendo R un alquilo C1 a C4, e Y un radical  $-(\text{CH}_2)_4-\text{C}(\text{R}_1)-\text{N}(\text{CH}_2-\text{COOH})_2$ , representando  $\text{R}_1$  H o un radical  $\text{COOH}$  en el caso en el que A represente una sola cadena lipídica, o un grupo de estructura:



representando  $\text{R}_2$  un grupo  $-\text{COOH}$ ,  $-\text{CO}-\text{NH}-\text{Y}_1$ , siendo  $\text{Y}_1$  un radical  $-(\text{CH}_2)_4-\text{C}(\text{R}_3)-\text{N}(\text{CH}_2-\text{COOH})_2$ , representando  $\text{R}_3$  H o un radical  $\text{COOH}$ , o Z o  $\text{R}_2$  también pueden ser cabezas polares hidrófilas, neutras, de tipo azúcar o polisacárido. pudiendo también ser Z o  $\text{R}_2$  cabezas polares hidrófilas neutras, de tipo azúcar o polisacárido.

2. Estructuras de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizadas por que los compuestos lipídicos a polimerizar son aminolípidos de fórmula



3. Estructuras de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizadas por que los compuestos lipídicos a polimerizar son amonios cuaternarios de fórmula  $\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_m-\text{C}\equiv\text{C}-\text{C}\equiv\text{C}-(\text{CH}_2)_n-\text{N}^+(\text{R})_3$

4. Estructuras de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizadas por que los compuestos lipídicos a polimerizar son lípidos ácidos con cadenas A unidas a Z.

5. Estructuras de acuerdo una cualquiera de las reivindicaciones 2 a 4, caracterizadas por que los compuestos lipídicos a polimerizar están funcionalizados por un grupo quelante.

6. Estructuras de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizadas por que los compuestos lipídicos a polimerizar están funcionalizados por una calidad hidrófila neutra de tipo azúcar o polisacárido.

7. Procedimiento de obtención de estructuras de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, caracterizado por que comprende las etapas que consisten en:

- poner en contacto los nanotubos sin procesar con una solución de lípidos para formar una suspensión estable;
- polimerizar los lípidos que se han auto-organizado alrededor de los nanotubos; y
- recuperar los nanotubos envueltos con anillos constituidos por los lípidos polimerizados.

8. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 7, caracterizado por que los nanotubos sin procesar se someten a ultrasonido en una solución de lípidos en un medio acuoso tamponado que contiene ventajosamente un detergente, eliminándose este último posteriormente por diálisis y después la suspensión de nanotubos en el tampón acuoso se somete a un tratamiento para polimerizar los lípidos.

9. Procedimiento de purificación de nanotubos, caracterizado por que las estructuras se someten, de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, a un tratamiento para eliminar los anillos de los compuestos lipídicos polimerizados que envuelven los nanotubos.

10. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 9, caracterizado por que dichas estructuras se someten a una cromatografía por exclusión de tamaño.

11. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 9, caracterizado por que para retirar los anillos se aplica un campo eléctrico.

12. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 9, caracterizado por que dichas estructuras se calientan en un tampón Tris a una temperatura superior a  $90^\circ\text{C}$  durante 14 horas aproximadamente para extraer el polímero y restaurar los nanotubos desnudos.

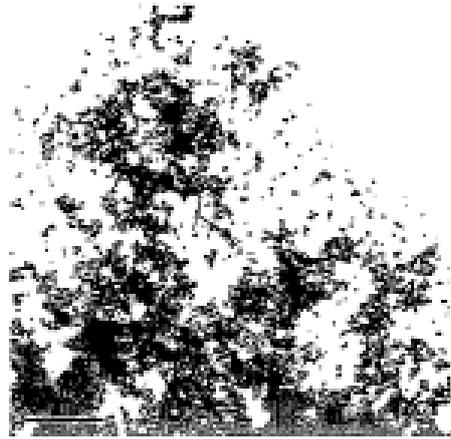
13. Aplicación de las estructuras de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, para proteger los nanotubos y efectuar, si se desea, un acortamiento controlado de estos nanotubos.

14. Aplicación de las estructuras de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, como vectores de moléculas hidrófobas o de proteínas de membrana.

15. Aplicación de las estructuras de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, como motores moleculares.

16. Aplicación de estructuras de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, para la vectorización de productos, particularmente en el campo farmacéutico o cosmético o de perfumería.

Fig 4a



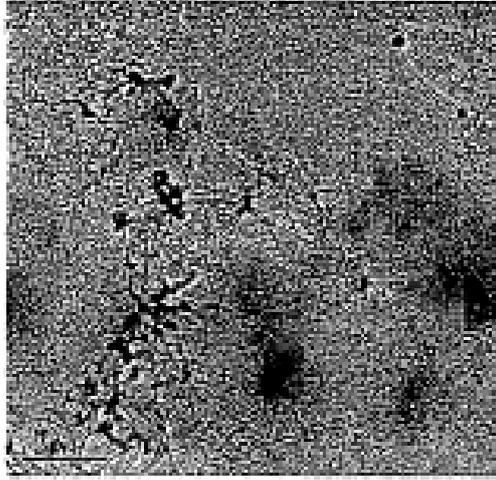
(a)

Fig 4 b



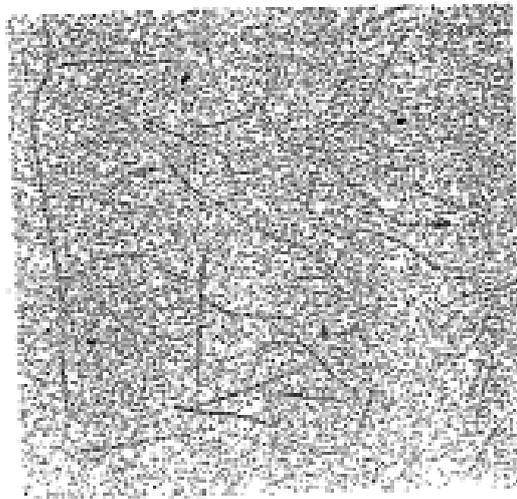
(b)

Fig. 2a



(a)

Fig. 2b



(b)

Fig 3.

