

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 683 835**

51 Int. Cl.:

**G06F 17/00** (2006.01)

**G06F 9/46** (2006.01)

**G06F 17/30** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **07.01.2014 PCT/US2014/010451**

87 Fecha y número de publicación internacional: **25.09.2014 WO14149145**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **07.01.2014 E 14769597 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **16.05.2018 EP 2972983**

54 Título: **Gestión dinámica de números de miembros en máquinas de estado replicadas en un entorno informático distribuido**

30 Prioridad:

**15.03.2013 US 201313838639**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

**28.09.2018**

73 Titular/es:

**WANDISCO, INC. (100.0%)  
Suite 270 Bishop Ranch 8 5000 Executive  
Parkway  
San Ramon, CA 94583, US**

72 Inventor/es:

**AAHLAD, YETURU;  
PARKIN, MICHAEL y  
AKHTAR, NAEEM**

74 Agente/Representante:

**VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro**

ES 2 683 835 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**

Gestión dinámica de números de miembros en máquinas de estado replicadas en un entorno informático distribuido

5 **Antecedentes**

En un sistema informático distribuido de procesos que alojan máquinas de estado replicadas, puede desearse cambiar la asociación de una máquina de estado a una colección de procesos que participan en la operación de la máquina de estado.

10 El documento US 2006/155729-Aahlad et el describe una máquina de estado replicada que comprende un gestor de propuesta, un gestor de acuerdo, un temporizador de colisión/retroceso y un recuperador de almacenamiento. El gestor de propuesta facilita la gestión de propuestas emitidas por un nodo de una aplicación distribuida para posibilitar la ejecución coordinada de las propuestas por todos los otros nodos de la aplicación distribuida. El gestor de acuerdo facilita el acuerdo de las propuestas. El temporizador de colisión/retroceso impide anticipaciones repetidas de rondas al intentar conseguir acuerdo sobre las propuestas. El recuperador de almacenamiento recupera almacenamiento persistente utilizado para almacenar al menos uno de los acuerdos de propuesta y las propuestas.

20 **Sumario de la invención**

De acuerdo con un primer aspecto de la presente invención se proporciona un método implementado por ordenador de acuerdo con la reivindicación 1.

25 **Breve descripción de los dibujos**

La Figura 1 es un diagrama de bloques que muestra un motor de acuerdo/coordinación que entrega acuerdos a un manejador de acuerdo de cada máquina de estado replicada, de acuerdo con una realización.

30 La Figura 2 es un diagrama que muestra manejo de acuerdo, suponiendo ningún cambio de número de miembros, de acuerdo con una realización.

La Figura 3 es un diagrama de flujo que ilustra cambios de número de miembros dinámicos, de acuerdo con una realización.

35 La Figura 4 es un diagrama de flujo un método de acuerdo con una realización.

La Figura 5 es un diagrama de flujo de aspectos adicionales de un método de acuerdo con una realización.

40 La Figura 6 es un diagrama de bloques de un dispositivo informático con el que pueden ponerse en práctica aspectos del número de miembros dinámico, de acuerdo con una realización.

**Descripción detallada**

45 **Definiciones**

**Sistema distribuido:** un sistema distribuido comprende una colección de procesos distintos que pueden estar separados de manera espacial, y que pueden comunicar entre sí a través del intercambio de mensajes.

50 **Máquina de estado replicada:** un enfoque máquina de estado replicada es un método para implementar un servicio tolerante a fallos replicando servidores y coordinando interacciones de cliente con réplicas de servidor. Estas máquinas de estado se "replican" puesto que el estado de la máquina de estado evoluciona idénticamente en todos los aprendices. Las réplicas de un único servidor se ejecutan en procesadores separados de un sistema distribuido, y se usan protocolos para coordinar interacciones de cliente con estas réplicas. Un ejemplo e implementación de una máquina de estado replicada es una máquina de estado determinista que consume su estado de una manera determinista.

55 **Secuencia global de acuerdos:** en el enfoque de máquina de estado, se procesan solicitudes por la máquina de estado una cada vez, en un orden que es consistente. Por lo tanto, para que las réplicas de la máquina de estado permanezcan consonantes entre sí, es necesaria una secuencia de comandos acordada globalmente para asegurar que la misma secuencia de comandos se reproduce en el mismo orden en cada réplica. De acuerdo con una realización, el procesamiento y entrega de los acuerdos a una máquina de estado replicada puede desacoplarse del aspecto de propuesta de la misma a través de la implementación de una cola separada, y la secuencia global de acuerdos puede entregarse a la máquina de estado replicada a través de un concepto denominado la secuencia de propuesta de salida. La secuencia global de acuerdos entregada por la secuencia de propuesta de salida a la aplicación de software (por ejemplo, un sistema de control de versión de software) puede ordenarse totalmente, de acuerdo con una realización, por una clave. *Kúltima\_salida* (que puede implementarse, de acuerdo con una realización,

como un número entero monótonicamente creciente).

**Motor de acuerdo/coordinación distribuido:** una realización solicita un motor de acuerdo o de coordinación para generar la secuencia global de acuerdos necesaria para conseguir réplicas consistentes de máquinas de estado. Un motor de coordinación a modo de ejemplo se describe en la solicitud de patente de Estados Unidos en trámite junto con la presente y comúnmente asignada, solicitud de Estados Unidos N.º 12/069.986 presentada el 13 de febrero de 2008, que se incorpora en el presente documento por referencia en su totalidad. De acuerdo con una realización, sin embargo, un motor de coordinación usado para número de miembros dinámico puede soportar identidades de acuerdo únicas que contienen la identidad “ $d$ ” de la máquina de estado replicada bajo la que se realizó un acuerdo, la identidad del número de miembros “ $m$ ” bajo la que se realizó el acuerdo y una clave única “ $k$ ” del acuerdo, clave única  $k$  que corresponde, de acuerdo con una realización, a la posición ocupada por el acuerdo en la secuencia global de acuerdos. De acuerdo con una realización, por lo tanto,  $d$ ,  $m$  y  $k$  posibilitan identificar de manera inequívoca cada acuerdo realizado por el motor de acuerdo para una máquina de estado replicada  $d$ , bajo el número de miembros  $m$ , la clave de acuerdo  $k$ . En el presente documento, la identidad de acuerdo se indica como la tripleta  $\langle d, m, k \rangle$ .

**No bloqueo:** en el presente documento, la expresión ‘no bloqueo’ hace referencia a la capacidad de un conjunto de procesos para permanecer completa o parcialmente disponibles mientras se realizan cambios a ese conjunto.

**Proponentes:** de acuerdo con una realización, proponentes son procesos que están configurados y posibilitados para sugerir cambios (es decir, para realizar propuestas) al estado futuro de la máquina de estado replicada. En las realizaciones que comprenden un sistema de control de versión de software replicado, los proponentes pueden ser aquellos procesos que se les permite realizar cambios a los repositorios de software gestionados por el sistema.

**Aceptores:** de acuerdo con una realización, los aceptores son procesos que están configurados para participar al decidir sobre el orden de las propuestas realizadas por los proponentes. De acuerdo con una realización, únicamente cuando una mayoría de aceptores han determinado que una propuesta toma un lugar particular en la secuencia global de acuerdos se vuelve acordada. Como aceptores, de acuerdo con una realización, pueden estar configurados para participar únicamente en decidir sobre el orden de acuerdos y no razonar / preocuparse acerca de los contenidos subyacentes de los acuerdos (como se describe en el presente documento, el valor del acuerdo es opaco para el motor de acuerdo/coordinación). Los aceptores pueden estar configurados como entidades independientes de la aplicación.

**Aprendices:** de acuerdo con una realización, los aprendices aprenden de los acuerdos realizados entre los proponentes y aceptores y aplican los acuerdos en un orden determinista a la aplicación a través de su secuencia de propuesta de salida. En las realizaciones que comprenden un sistema de control de versión de software replicado, los aprendices pueden comprender aquellos procesos que están configurados para alojar una réplica de los repositorios de software gestionados por el sistema.

**Número de miembros:** un número de miembros especifica un conjunto de nodos o procesos, y los papeles que cada uno desempeña en el conjunto de nodos especificado. De acuerdo con una realización, un número de miembros adecuado para su uso en números de miembros dinámicos de acuerdo con las realizaciones puede comprender como un conjunto de aceptores, un conjunto de proponentes y un conjunto de aprendices.

Se describen en el presente documento realizaciones para posibilitar y conseguir cambios *de número de miembros dinámicos* de una máquina de estado replicada que permite cambios de número de miembros de no bloqueo (es decir, el sistema siempre está disponible), flexible (pueden eliminarse y añadirse procesos arbitrarios al número de miembros) y determinista (el mismo cambio ocurrirá en todos los nodos en el mismo punto en la operación de la máquina de estado replicada), incluso en la presencia de entrega de acuerdos asíncronos y desordenados para el proceso por un motor de coordinación distribuido y sin reclasificar medidas de rendimiento-degradación tales como la propuesta de las operaciones nulas de máquina de estado.

Por consiguiente, una realización mejora la secuencia global de acuerdos, tal como la descrita y reivindicada en la solicitud de patente de Estados Unidos anteriormente mencionada, solicitud de Estados Unidos N.º 12/069.986 con soporte para cambios de número de miembros dinámicos y para asociación selectiva de papeles a nodos en el entorno informático distribuido. De acuerdo con una realización se proporciona una identidad de acuerdo, como es un almacén persistente que permite que se registre de manera persistente, para cada máquina de estado replicada, una secuencia de acuerdos para cada aplicación. El almacén persistente, de acuerdo con una realización, mapea la identidad del número de miembros bajo el que se realizaron los acuerdos con claves que son tuplas de la clave del acuerdo,  $k$ , y valor asociado,  $e$ . Por lo tanto, de acuerdo con una realización, el manejador de acuerdo para cada máquina de estado replicada puede estar configurado para mantener múltiples secuencias de acuerdos para múltiples números de miembros a la vez y, en el punto apropiado en la secuencia global de acuerdos, conmutar entre ellos.

**Propuestas, acuerdos y manejo de acuerdo**

Antes de detallar los componentes de una realización de número de miembros dinámico y la manera en que tales componentes interactúan, se explica el concepto de una propuesta, que incluye qué información contiene una propuesta, cómo una propuesta puede convertirse en un acuerdo y cómo el *manejador de acuerdo* procesa acuerdos. Con estos conceptos a mano, se expondrán realizaciones para conseguir números de miembros dinámicos de no bloqueo, flexibles y deterministas. De acuerdo con una realización, la funcionalidad del número de miembros dinámico puede implementarse en paralelo a través de múltiples (por ejemplo, de 1000) máquinas de estado replicadas ya que las realizaciones no están limitadas a una única instancia. Como se ha descrito anteriormente y de acuerdo con una realización, este paralelismo puede conseguirse comprendiendo cada acuerdo la identidad de acuerdo  $\langle d, m, k \rangle$ . Es decir, una máquina de estado replicada  $d$  está correlacionada a  $m$ , el número de miembros bajo el que se realizó el acuerdo, y  $k$ , la clave única del acuerdo para ese número de miembros.

De acuerdo con una realización, el mecanismo de propuesta, acuerdo y manejo de acuerdo para una única máquina de estado replicada puede llevarse a cabo como sigue, y repetirse según sea deseado para cualquier número de una multiplicidad de máquinas de estado replicadas. La realización se describe a continuación con respecto a una única máquina de estado replicada; la  $d$  en la tripleta  $\langle d, m, k \rangle$  se dejará fuera.

Inicialmente, un proceso  $n$  que está permitido a sugerir cambios al estado de la máquina de estado replicada (un proponente) construye una propuesta  $e$  y la emite a la máquina de estado replicada  $d$ . La máquina de estado replicada  $d$  no necesita interpretar la propuesta  $e$  de ninguna manera, es decir, la propuesta  $e$  puede ser opaca para  $d$ .

La máquina de estado replicada  $d$  construye la identidad de acuerdo  $\langle d, m, k \rangle$  como sigue:

- $d$  es su propia identidad;
- $m$  es la identidad del número de miembros con la que está actualmente asociada;
- $k$  es la siguiente clave viable; por ejemplo, un número natural, uno mayor que el más grande de:
  - a. la  $x$  más grande de acuerdos alcanzados,  $\langle d, m, x \rangle$
  - b. la  $y$  más grande de acuerdos a los que  $d$  ha propuesto bajo el número de miembros  $m$ ,  $\langle d, m, y \rangle$ .

Una vez construida, la propuesta  $e$  se almacena de manera persistente por la máquina de estado en una estructura de datos que almacena la propuesta de acuerdo con la clave y valor de número de miembros  $e$ . Es decir, cada propuesta puede identificarse de manera inequívoca usando la tripleta  $\langle m, k, e \rangle$ .

Una vez almacenada, la propuesta puede emitirse a la instancia de acuerdo identificada por  $\langle d, m, k \rangle$ .

Una vez que se ha enviado la propuesta a la instancia de acuerdo identificada por  $\langle d, m, k \rangle$ , el número de miembros  $m$  acuerda, mediante el motor de coordinación de acuerdo, que la propuesta debería o no debería ser el acuerdo en la  $k$ -ésima posición en la secuencia global de acuerdos. Si se acuerda la posición, se vuelve un acuerdo en la identidad de acuerdo  $\langle d, m, k \rangle$  y puede entregarse por el motor de acuerdo/coordinación al manejador de acuerdo de máquina de estado replicada  $d$  y (eventualmente) a la secuencia de propuesta de salida para  $d$ . Esta secuencia se muestra en la Figura 1 para tres máquinas de estado replicadas; en concreto, A, B y C. De hecho, la Figura 1 es un diagrama de bloques que muestra un motor de acuerdo/coordinación 102 que entrega acuerdos al manejador de acuerdo de cada máquina de estado replicada, que procesa y ordena los acuerdos para entrega a respectivas secuencias de propuesta de salida. Como se muestra, un *acuerdo* se entrega por el motor de *acuerdo / coordinación* 102 a la máquina de estado replicada A ( $d = A$ ) 104, a la máquina de estado replicada B ( $d = B$ ) 106 y a la máquina de estado replicada C ( $d = C$ ) 108, que procesan y ordenan los acuerdos para entregar a respectivas secuencias de propuesta de salida 110, 112 y 114, ordenadas de acuerdo con la clave  $K_{\text{última\_salida}}$ .

La duplicación de eventos acordados al manejador puede evitarse, por ejemplo, compartiendo un compromiso transaccional entre el motor de acuerdo/coordinación 102 y el manejador de acuerdo 104, 106, 108 (aunque la duplicación de eventos acordados puede evitarse de otras maneras también). Sin embargo, puesto que los procesos distribuidos son autónomos y asíncronos y los procesos implicados en el proceso de acuerdo pueden ejecutarse a diferentes velocidades, el motor de acuerdo/coordinación 102 puede estar configurado para entregar acuerdos a los manejadores de acuerdo 104, 106, 108 desordenados. Los manejadores de acuerdo 104, 106, 108 de las máquinas de estado replicadas, por lo tanto, pueden estar configurados para mantener la variable  $K_{\text{última\_salida}}$ , que puede definirse como el valor de  $k$  que se proporcionó en último lugar a la secuencia de propuesta de salida para mediar entre los manejadores de acuerdos 104, 106, 108 y las respectivas secuencias de propuesta de salida 110, 112, 114.

**Manejo de acuerdo sin ningún cambio de número de miembros**

El manejo de acuerdo puede comprender lógica para determinar qué acción tomar dependiendo de la clave observada  $k$  del acuerdo. La lógica de la manera en la que pueden procesarse los acuerdos, de acuerdo con una realización, se describe a continuación.

El conjunto global totalmente ordenado de acuerdos para el número de miembros  $m$  entregados a la secuencia de propuesta de salida puede representarse como el conjunto de acuerdos  $A_m = \{a_1, \dots, a_k\}$  donde la clave de acuerdo  $k$  puede pertenecer, de acuerdo con una realización, al conjunto de números naturales (es decir,  $\{\forall k : k \in N\}$ ).

Cada acuerdo en la secuencia de propuesta de salida,  $a_k$ , tiene la identidad  $\langle d, m, k \rangle$  donde  $d$  es la identidad de la máquina de estado replicada y  $m$  es la identidad del número de miembros bajo el que se acordó el acuerdo. Sin embargo, de acuerdo con una realización, el motor de acuerdo puede entregar acuerdos a los manejadores de acuerdo de la máquina de estado replicada en un orden no determinista y el manejador de acuerdo puede, por lo tanto, ser responsable de poner acuerdos en la secuencia de propuesta de salida en el orden correcto. Para hacer esto, tras observar un acuerdo entregado desde el motor de acuerdo/coordiación, el manejador de acuerdo puede extraer, de acuerdo con una realización,  $k$ , la clave del acuerdo, y procesarla de acuerdo con la siguiente lógica:

- Si  $k < K_{\text{última\_salida}}$  el acuerdo es inválido para esta secuencia actual.
- Si  $k = K_{\text{última\_salida}}$  el acuerdo se marca como listo para procesamiento.
- Si  $k > K_{\text{última\_salida}}$  el acuerdo se pone en cola (de manera persistente) para entrega posterior a la secuencia de propuesta de salida.

La Figura 2 es un diagrama que muestra manejo de acuerdo, suponiendo ningún cambio de número de miembros, de acuerdo con una realización. Como se muestra en la misma, el proceso de manejo de acuerdo puede comenzar en 202, tras lo cual el manejador de acuerdo puede observar y caracterizar el siguiente acuerdo (es decir, uno de  $\{a_1, \dots, a_k\}$ ) en 204. La caracterización, de acuerdo con una realización puede basarse en una comparación de la clave de acuerdo recibida  $k$  con relación a la clave de acuerdo actual o  $K_{\text{última\_salida}}$ . Si la clave recibida  $k$  está detrás de la última emitida como se muestra en 208, es de facto inválida como se muestra en 210, ya que es más antigua que la clave del acuerdo actual  $K_{\text{última\_salida}}$ . Si la clave recibida está en (igual a) la clave actual como se muestra en 212, se pone en cola en la secuencia de propuesta de salida, como se muestra en 214. Si, sin embargo, la clave recibida  $k$  está delante de la última entrada (mayor que la clave actual  $K_{\text{última\_salida}}$ ), como se muestra en 216 puede ponerse en cola simplemente en la secuencia de acuerdo como se muestra en 218 hasta tal tiempo que su clave  $k$  sea igual a la clave actual  $K_{\text{última\_salida}}$ , momento en el cual puede ponerse en cola en la secuencia de propuesta de salida. El proceso puede volver a continuación a 202 para esperar la recepción del siguiente acuerdo.

**Manejo de acuerdo con número de miembros dinámico**

De acuerdo con una realización, los valores acordados son opacos para el motor de acuerdo/coordiación. De acuerdo con una realización, por lo tanto, un acuerdo para cambiar un número de miembros de la máquina de estado replicada es 'solo otro acuerdo' y puede tener lugar en cualquier punto en la secuencia global de acuerdos hecha bajo un número de miembros particular. Por consiguiente, no se requieren tipos especiales de máquinas de estado o manejadores para realizar un cambio de número de miembros. Se ha de observar, sin embargo, que una secuencia global de acuerdos y los acuerdos constituyentes de la misma, están únicamente asociados a el número de miembros bajo la que surgieron.

En vista de lo anterior, por lo tanto, puesto que los acuerdos se reciben asincrónicamente pueden recibirse desordenados, un proceso puede construir, y haber acordado, una propuesta con una clave de acuerdo  $k'$  mayor que la clave de un cambio del número de miembros acordado,  $k$ . El conjunto de acuerdos con una clave de acuerdo  $k'$  mayor que la clave  $k$  del cambio de número de miembros (es decir, el conjunto de acuerdos definido por  $\{\exists a_k \in A : k' > k\}$ ), por lo tanto, se vuelven acuerdos inválidos que siguen el procesamiento de acuerdo  $a_k$ , ya que se realizaron bajo un número de miembros no asociado a la máquina de estado replicada después de que se procese  $a_k$ .

Puesto que los acuerdos pueden entregarse, de acuerdo con una realización a un manejador de acuerdo de la máquina de estado replicada en un orden no determinista, los acuerdos realizados bajo el siguiente número de miembros (y el número de miembros después de ese, etc.) pueden proporcionarse al manejador de acuerdo antes de que cambie el mismo número de miembros. Es decir, puede entregarse uno o más acuerdos bajo un nuevo número de miembros a un manejador de acuerdo que está aún procesando acuerdos realizados bajo el número de miembros antiguo.

Como se ha detallado anteriormente y de acuerdo con una realización, el motor de acuerdo puede garantizar que para la misma máquina de estado replicada, no se emiten nunca dos acuerdos para la máquina de estado  $d$  con el mismo número de secuencia global  $k$  para el mismo número de miembros  $m$  - es decir, el identificador de acuerdo  $\langle d, m, k \rangle$  debe ser único.

5 Como, de acuerdo con una realización, la operación determinista de la máquina de estado determinista puede únicamente conseguirse si la máquina de estado determinista únicamente emite propuestas acordadas bajo su número de miembros, la propiedad deseable anterior puede conseguirse haciendo todos los acuerdos hechos y observados para el número de miembros actual  $m$  con  $k' > k$  inválida, ya que tales acuerdos tuvieron lugar bajo el número de miembros antiguo. Para que se acuerden tales propuestas, deben volverse a proponer y acordarse bajo el nuevo número de miembros  $m'$ . Sin embargo, tales propuestas (acuerdos realizados y observados para el número de miembros actual  $m$  con  $k' > k$ ) no necesitan volverse a proponer, si tales propuestas no se vuelven a proponer bajo el nuevo número de miembros  $m'$ , nunca pueden acordarse y por lo tanto pueden ignorarse.

10 Como acuerdos, de acuerdo con una realización, pueden hacerse a diferentes velocidades por diferentes procesos, los eventos realizados bajo el siguiente/nuevo número de miembros ( $m'$ ) pueden llegar en otro proceso antes de que el acuerdo para cambiar el número de miembros llegue al mismo proceso. Por lo tanto, el manejador de acuerdo puede estar configurado para recordar los acuerdos realizados bajo  $m'$ . De esta manera, los acuerdos realizados bajo  $m'$  pueden entregarse a la secuencia de propuesta de salida después de que se acuerde el cambio de número de miembros (de  $m$  a  $m'$ ), incluso si el proceso que recibe el acuerdo no conoce (aún) cuándo tendrá lugar ese cambio de número de miembros.

20 De acuerdo con una realización, esto puede conseguirse por el manejador de acuerdo de cada estado replicado haciendo persistir los acuerdos en un almacén que es un mapeo de la identidad de número de miembros bajo la que se realizó el acuerdo con claves que son tuplas de la clave del acuerdo,  $k$ , y valor asociado,  $e$ . De esta manera, el manejador de acuerdo de cada máquina de estado replicada puede mantener simultáneamente múltiples secuencias de acuerdos para múltiples números de miembros.

### 25 Formalismo de número de miembros dinámico

De acuerdo con una realización, el motor de acuerdo entrega un acuerdo con identificación  $\langle d, m, k \rangle$  para cambiar el número de miembros de la máquina de estado replicada  $d$  de  $m$  a  $m'$  en la posición  $k$  en la secuencia global de acuerdos para el *manejador de acuerdo*. El *manejador de acuerdo* procesa el acuerdo entregado en el punto correcto en la secuencia global de acuerdos. De acuerdo con una realización:

- 30 - Cada proceso invalida el conjunto de acuerdos con una clave de acuerdo mayor que la clave de la propuesta de cambio de número de miembros (es decir, el conjunto de acuerdos que satisface  $\{\exists ak' \in A: k' > k\}$ ) y aquellos acuerdos pueden volverse a proponer por el proponente original a  $m'$  para asegurar que la propuesta que se ha vuelto a hacer tiene lugar únicamente una vez. Si el proponente original no tiene el papel del proponente en el nuevo número de miembros  $m'$  estos acuerdos, de acuerdo con una realización, pueden descartarse y no se vuelven a proponer por otros proponentes.
- 35 - Si el proceso no es un aprendiz en el nuevo número de miembros  $m'$ , entonces debería instalar también la máquina de estado replicada  $d$  (que incluye la secuencia de propuesta de salida de modo que la aplicación no puede aprender de ningún acuerdo nuevo).
- 40 - Si el proceso no es un aceptor en el nuevo número de miembros  $m'$ , entonces ya no debería participar en la operación de la máquina de estado replicada y eliminar cualesquiera referencias a lo mismo.

45 Este comportamiento se muestra en la Figura 3, que extiende la Figura 2 para incluir el número de miembros dinámico de acuerdo con una realización. Se ha de observar que la lógica hace cumplir el requisito de que, de acuerdo con una realización, los proponentes deben ser siempre aprendices para que el número de miembros dinámico funcione correctamente. Un aprendiz, como se ha expuesto anteriormente, aprende de acuerdos realizados entre los proponentes y aceptores y aplica los acuerdos en un orden determinista a la aplicación a través de su secuencia de propuesta de salida. En las realizaciones que comprenden un sistema de control de versión de software replicado, por ejemplo, los aprendices pueden comprender estos procesos que están configurados para alojar una réplica de los repositorios de software gestionados por el sistema. Como se muestra en la Figura 3, y suponiendo que el proponente del acuerdo sea un aprendiz, el proceso de manejo de acuerdo puede comenzar en 302, tras lo cual el manejador de acuerdo puede observar y caracterizar el siguiente acuerdo (es decir, uno de  $\{a_1, \dots, a_n\}$ ) en 304. La caracterización puede basarse, de acuerdo con una realización en una comparación de la clave de acuerdo recibida  $k$  con relación a la clave de acuerdo actual o  $K_{\text{última\_salida}}$ . Si la clave recibida  $k$  está detrás de la última salida como se muestra en 308, es de facto inválida como se muestra en 310, que es más antigua que la clave de acuerdo actual  $K_{\text{última\_salida}}$ . Si la clave recibida  $k$  está delante de la última salida (mayor que la clave actual  $K_{\text{última\_salida}}$ ), como se muestra en 312 puede simplemente ponerse en cola en la secuencia de acuerdo como se muestra en 314 hasta tal momento que su clave  $k$  sea igual a la clave actual  $K_{\text{última\_salida}}$ , tras lo cual puede ponerse en cola a la secuencia de propuesta de salida. A partir de 310 y 314, el proceso puede volver a continuación a 302, para esperar el siguiente acuerdo.

65 Si, sin embargo, la clave recibida  $k$  se encuentra en la clave actual ( $k = K_{\text{última\_salida}}$ ) como se muestra en 316, puede realizarse una determinación, de acuerdo con una realización, en 318 de si ha habido un cambio en el número de miembros. En otras palabras, puede realizarse una determinación de si el número de miembros bajo el cual se

realizó el acuerdo que se está procesando es el mismo número de miembros que el número de miembros actual. Si no ha habido ningún cambio en el número de miembros (rama de NO de 318), el acuerdo puede ponerse en cola en la secuencia de propuesta de salida de la máquina de estado, como se muestra en 320. Si ha habido, de hecho, un cambio de número de miembros (rama de SÍ de 318), puede realizarse una determinación de si el proceso ha propuesto el acuerdo bajo consideración es un proponente en el nuevo número de miembros, como se muestra en 322. Si el proceso que ha propuesto este acuerdo es un proponente en el nuevo número de miembros (rama SÍ de 322), el número de miembros ha cambiado y el proceso de hecho es un proponente en el nuevo número de miembros. Por consiguiente, como se muestra en 324, el número de miembros asociado a esta máquina de estado puede cambiarse y, puesto que este proceso o nodo es un proponente bajo este nuevo número de miembros, todos los acuerdos propuestos por este nodo o proceso pueden volverse a proponer (por los procesos que los propusieron bajo el número de miembros antiguo que aún son proponentes en el nuevo número de miembros) bajo el nuevo número de miembros, como se muestra en 326. El método puede revertir a continuación a 302, para observar siguientes acuerdos.

Si, sin embargo, ha habido un cambio de número de miembros y el proceso que ha propuesto el acuerdo bajo consideración no es un proponente en el nuevo número de miembros (rama de NO de 322), todos los acuerdos propuestos por este nodo bajo el número de miembros previo (que es diferente del número de miembros cambiado recientemente actual), se descartan de acuerdo con una realización como se muestra en 328 ya que todos estos acuerdos se propusieron bajo un número de miembros que ya no es el número de miembros actual. En 330, puede a continuación determinarse, después de haber determinado que el proceso que ha propuesto el acuerdo bajo consideración no es un proponente en el nuevo número de miembros, si el proceso es un aprendiz en el nuevo número de miembros. Si el proceso o el nodo es de hecho un aprendiz en el nuevo número de miembros, el número de miembros asociado a la máquina de estado puede cambiarse como se muestra en 324 y el método puede a continuación revertir de vuelta a 302. Los acuerdos previamente propuestos por este nodo no se vuelven a proponer (en 326), ya que han establecido que este nodo no es un proponente bajo este nuevo acuerdo. Si el proceso que ha propuesto el acuerdo que se evalúa no es un aprendiz en el nuevo número de miembros, la secuencia de propuesta de salida puede desinstalarse, de acuerdo con una realización, como se muestra en 332, ya que la secuencia de propuesta de salida fue para un número de miembros que ya no es el número de miembros. Las correspondientes máquinas de estado de salida pueden, por lo tanto, desinstalarse también, como se muestra en 334.

En esta etapa, es desconocido si el acuerdo se propuso por un proceso o nodo que es incluso un miembro del nuevo número de miembros. Esto puede determinarse en 336, y si el proceso es de hecho un miembro en el nuevo número de miembros (rama de SÍ de 336), que significa que el proceso que ha propuesto este acuerdo es un aceptor en el nuevo número de miembros, el número de miembros asociado a esta máquina de estado puede cambiarse al nuevo número de miembros, como se muestra en 324. Ya que este nodo no es un proponente en el nuevo número de miembros, sus acuerdos no se vuelven a proponer y el método puede revertir de vuelta a 302, para posibilitar que el nodo procese los siguientes acuerdos. Si, sin embargo, el proceso que ha propuesto el acuerdo que se está procesando no es un miembro en el nuevo número de miembros, el proceso no es un proponente, no un aprendiz y no un aceptor (recuérdese que los aceptores participan en decidir sobre el orden de las sugerencias realizadas por los proponentes) en el número de miembros ahora actual como se muestra en 338, y todas las referencias a la máquina de estado pueden eliminarse en 340. El método puede finalizar para este nodo como se muestra en 342 ya que este nodo no tiene papel en el nuevo número de miembros.

#### **Cambiar el conjunto de procesos asociados a la máquina de estado replicada**

El proceso de número de miembros dinámico, de acuerdo con una realización, puede configurarse para posibilitar cambios de número de miembros donde el papel del conjunto de procesos asociados a la máquina de estado replicada en los cambios de número de miembros o el conjunto de procesos asociados a la máquina de estado replicada se reduce o se amplía. Esto puede ser necesario debido a que se eliminan procesos del sistema a medida que fallan, se llevan fuera de línea temporal o permanentemente y se dejan de poner en marcha, o a medida que se añaden nuevos procesos para proporcionar al sistema distribuido con funcionalidad mejorada, mayor tolerancia a fallos o rendimiento. Por lo tanto, cuando se observa un cambio de número de miembros, el proceso de observación puede añadirse o eliminarse como un aceptor, añadirse o eliminarse como un proponente o añadirse o eliminarse como un aprendiz o eliminarse como un miembro en el nuevo número de miembros.

Recuérdese que, de acuerdo con una realización, un cambio de número de miembros es 'solamente otro acuerdo' en la secuencia global de acuerdos observada por una máquina de estado replicada. Cualquier proponente puede, por lo tanto, proponer no únicamente acuerdos no relacionados con el número de miembros sino también puede proponer acuerdos configurados para cambiar un número de miembros usando el mismo mecanismo que se usa para proponer acuerdos y un cambio de número de miembros de este tipo puede eliminar cualquier proceso del papel de proponente. Para implementar tales cambios de número de miembros dinámicos en máquinas de estado replicadas desplegadas en proceso, de acuerdo con una realización, cualquier proceso en el papel del proponente debe tener también un aprendiz (es decir,  $\{\forall p \in P : p \in L\}$ , donde P corresponde al conjunto de proponentes y L corresponde al conjunto de aprendices), de modo que un proceso de propuesta puede observar cambios de número de miembros (si/cuando se acuerdan) y tomar la acción apropiada. Sin embargo, obsérvese que, de acuerdo con una realización los aceptores no necesitan ser aprendices o proponentes y esos aprendices no necesitan ser

proponentes.

Por lo tanto, un número de miembros adecuado para uso en números de miembros dinámicos de acuerdo con las realizaciones puede comprender como un conjunto de aceptores  $Ac$ , un conjunto de proponentes,  $P$ , y un conjunto de aprendices,  $L$  ( $m = \{Ac, P, L\}$ ). Como un proceso para tomar uno o más papeles, el número de procesos en el número de miembros es el número de procesos únicos en los grupos (o, la cardinalidad de la intersección de los conjuntos  $Ac$ ,  $P$  y  $L$ , o  $|Ac \cap P \cap L|$ ), y para que tenga lugar un cambio de número de miembros, debe haber al menos un proponente (por lo tanto, el conjunto de proponentes nunca debería estar vacío, y  $P \neq \emptyset$  debe siempre ser verdadero). Si ningún proceso en el número de miembros fuera un proponente, no habría procesos en el número de miembros que pudieran proponer un cambio al número de miembros, ya que tales cambios, de acuerdo con una realización, se manejan como propuestas de acuerdo. Además, un número de miembros con todos los aprendices o aceptores no sería útil, ya que los procesos en cualquiera o ambos papeles estarían en espera, no teniendo ningún acuerdo propuesto para aceptar o poner en cola en una secuencia de propuesta de salida.

### 15 **Añadir nuevos aprendices**

Cambiar el número de miembros a un número de miembros que contiene un conjunto diferente de aprendices es significativo, como cuando tiene lugar un cambio en el número de miembros, no son únicamente procesos asignados a nuevos papeles, sino también hay un requisito para intercambiar y sincronizar algún estado asociado a ese papel - es decir, el valor actual de la secuencia de propuesta de salida,  $K_{última\_salida}$ , para esa secuencia de acuerdos realizados bajo ese número de miembros. Esto es necesario de modo que la secuencia de propuesta de salida a mantenerse por los nuevos aprendices empieza emitiendo acuerdos a la máquina de estado replicada que empieza desde el punto correcto en la secuencia global (el acuerdo directamente después del cambio de número de miembros que incluía estos nuevos procesos como aprendices). Puede ser también necesario sincronizar el estado de aplicación en el nuevo aprendiz con el de otros aprendices. Por ejemplo, en el caso de un sistema de control de versión de software, el estado de aplicación es el estado de un repositorio de software replicado. Cuando se requiere una nueva réplica de ese repositorio de software (es decir, se ha de añadir un nuevo aprendiz al número de miembros), el estado de repositorio de software debe sincronizarse también junto con el estado de la máquina de estado replicada usado para coordinar cambios.

Por consiguiente, se expone un procedimiento de acuerdo con una realización a continuación que asocia un conjunto de aprendices  $L'$  que contienen uno o más nuevos aprendices en el número de miembros  $m'$  a la máquina de estado replicada  $d$  cuando el número de miembros de la máquina de estado replicada se cambia de  $m$  a  $m'$ .

Significativamente, el procedimiento descrito a continuación y de acuerdo con una realización es *no bloquear* el conjunto de aprendices existente. Es decir, los nuevos aprendices pueden añadirse a un conjunto de procesos sin afectar el conjunto existente, proporcionando de esta manera disponibilidad continua del sistema, sin interrupción para los usuarios del mismo, mientras se añaden nuevos aprendices. Esto es un beneficio significativo para implementaciones que usan número de miembros dinámicos, tal como un sistema de control de versión de software replicado, ya que los usuarios del sistema que funcionan en una localización no se verán afectados cuando, por ejemplo, se añade un nuevo sitio de repositorio de software al conjunto de procesos. De acuerdo con una realización, hay únicamente un punto de donde uno de los aprendices existentes puede pausarse; es decir, para sincronizar cualquier *estado de aplicación* asociado a la máquina de estado replicada, tal como datos de sistema de ficheros.

### 45 **Procedimiento para añadir nuevos aprendices**

De acuerdo con una realización, un método para añadir nuevos aprendices al conjunto de procesos en un sistema informático distribuido puede comprender lo siguiente:

1. Suponer que una máquina de estado replicada  $d$  está instalada en todos los procesos en el número de miembros  $m$ ;
2. Suponer que el número de miembros  $m'$  que contiene un conjunto diferente de aprendices  $L'$  se despliega en todos los procesos en  $m'$ . Tal número de miembros puede desplegarse, por ejemplo, como se ha mostrado y descrito anteriormente para el despliegue de cambio de número de miembros dinámico;
3. La máquina de estado replicada  $d$  se despliega en todos los nuevos aprendices (por ejemplo, todo aprendiz en el conjunto  $\{\forall l \in L'; l \in L\}$ ) y  $d$  está asociada a  $m'$  en aquellos procesos que son nuevos aprendices. Obsérvese que todos los nuevos aprendices no necesitan tener conocimiento acerca del número de miembros que no los incluyen, tal como  $m$ , el número de miembros asociados a la máquina de estado replicada antes del cambio de número de miembros;
4. Cuando  $d$  se despliega en este conjunto de nuevos aprendices, se instala la máquina de estado replicada, de acuerdo con una realización, en un estado *desactivado*. En esta configuración, el manejador de acuerdo de la máquina de estado replicada puede aprender acerca de los acuerdos del motor de acuerdo pero no lo hará, de



acuerdo con una realización, emite acuerdos a la máquina de estado replicada mediante la secuencia de propuesta de salida. Si el nuevo aprendiz también tiene el papel de proponente en el número de miembros  $m'$ , puesto que la máquina de estado replicada recién desplegada  $d$  está en el estado desactivado, este nuevo aprendiz-proponente no está permitido (aún) a hacer propuestas.

5 5. Se realiza una propuesta de cambio de número de miembros por un proceso en el número de miembros  $m$  al número de miembros  $m'$  para cambiar la asociación de máquina de estado replicada  $d$  al nuevo número de miembros  $m'$ .

10 6. La propuesta de cambio de número de miembros se vuelve un acuerdo  $a_k$  (es decir, con identidad de acuerdo  $\langle d, m, k \rangle$ ) en la secuencia global de acuerdos para  $d$  bajo el número de miembros  $m$ .

15 7. Cuando se procesa  $a_k$  en el punto correcto de la secuencia global de acuerdos por el manejador de acuerdo en los nodos en  $m$  cambian su asociación de la máquina de estado replicada  $d$  al nuevo número de miembros  $m'$  de  $m$ .

20 8. Inmediatamente después de observar el cambio de número de miembros a un número de miembros con nuevos aprendices (es decir, donde el número de aprendices en  $m'$  es mayor que el de en  $m$  (o,  $|L'| > |L|$ )), cada proceso que puede proponer en  $m'$  (es decir, los proponentes en el nuevo número de miembros  $m'$ ) emite una propuesta para iniciar los nuevos aprendices que contienen el valor de la siguiente clave de acuerdo disponible  $k$ , (es decir, empezando desde donde debería empezar el punto en la secuencia de propuesta de salida);  
 Obsérvese: cada proponente común a  $m$  y  $m'$  establece la clave de acuerdo deseada de esta propuesta de inicio a  $k_{\text{última\_salida}} + 1$ , que es la clave después de que ocurriera el cambio de número de miembros en  $k$ . Como cada proponente común a  $m$  y  $m'$  está emitiendo una propuesta para la misma clave de acuerdo, únicamente la primera propuesta 'ganará' este intervalo de orden  $k_{\text{última\_salida}} + 1$  en la secuencia global de acuerdos para  $m'$  y, por lo tanto, únicamente se realizará un acuerdo y se observará por los nuevos aprendices, incluso aunque pueda proponerse múltiples veces;

25 9. Cada nuevo *manejador de acuerdo* del aprendiz procesa el acuerdo de inicio con identidad  $\langle d, m', k+1 \rangle$ , extrae el valor de  $k+1$  desde el acuerdo e inicializa  $k_{\text{última\_salida}}$  a  $k+1$  y elimina de cualquier acuerdo puesto en cola una clave de acuerdo  $k$  que está detrás  $k_{\text{última\_salida}}$  ( $k < k_{\text{última\_salida}}$ ).

30 10. Si no hay estado de aplicación existente a sincronizar, la secuencia de propuesta de salida de los nuevos aprendices puede iniciarse y entregarse el acuerdo desde  $k_{\text{última\_salida}} + 1$  a la máquina de estado replicada en orden secuencial.

35 De esta manera, los nuevos aprendices pueden sincronizarse a un punto de inicio común y pueden ahora, avanzar, poner en cola acuerdos que están delante de la última salida ahora sincronizada, poner en cola acuerdos que están en la última salida a la secuencia de propuesta de salida e invalidar acuerdos que están detrás de la última salida, de la manera mostrada y descrita en la Figura 2. Esto no sirve, sin embargo, para entregar acuerdos desde *antes de*  $k_{\text{última\_salida}} + 1$  a la máquina de estado replicada en orden secuencial. Una manera de hacer esto, de acuerdo con una realización, se describe a continuación.

#### 40 **Procedimiento para ayudar a nuevos aprendices a sincronizar estado de aplicación**

45 Como se ha descrito anteriormente, la máquina de estado replicada  $d$  desplegada en un conjunto de nuevos aprendices, puede tener algún estado de aplicación asociado a la misma. Por ejemplo, para un sistema de control de versión de software, el estado de aplicación es el estado de un repositorio de software replicado gestionado por el sistema. Cuando se requiere una nueva réplica de ese repositorio de software, es necesario algún mecanismo para sincronizar este estado mientras también se mantiene el comportamiento de no bloqueo requerido para que el negocio continúe operando como es habitual. De acuerdo con una realización que sincroniza el estado de aplicación asociado a una máquina de estado replicada desplegada en uno o más nuevos aprendices puede comprender:

50 1. Después de la finalización del proceso en el "Procedimiento para añadir nuevos aprendices" anterior, los nuevos aprendices están en una posición para sincronizar su estado de aplicación o para tener su estado de aplicación sincronizado, ya que no pueden hacerlo sin ayuda desde al menos otro aprendiz;

55 2. Por lo tanto, uno o más de los aprendices desde el número de miembros antiguo  $m$  puede elegirse para ayudar a los nuevos aprendices:  $H$  indica este conjunto de procesos (cada ayudante está en el conjunto de procesos  $\{\forall h \in H : h \in L\}$  - es decir, todos los ayudantes eran aprendices en números de miembros antiguos  $m$ ). De acuerdo con una realización, puede especificarse más de un ayudante-aprendiz como, en el caso de un repositorio de control de versión de software replicado, el repositorio puede ser grande (por ejemplo, gigabytes) y requerir una cantidad significativa de tiempo para transferir al nuevo aprendiz. Pueden permitirse múltiples aprendices y es beneficioso por lo tanto que cada nuevo aprendiz pueda ayudarse por un proceso (es decir, un aprendiz del número de miembros actual  $m'$  que también era un aprendiz en el número de miembros antiguos  $m$  que se elige para ayudar a un nuevo aprendiz) que está espacial y/o geográficamente cerca de él, o acoplado a

él por una conexión de banda ancha superior, por ejemplo. Esto ayuda a minimizar el tráfico de red y/o el tiempo requerido para transferir el estado de aplicación al nuevo aprendiz.

3. Un proponente (que también es un aprendiz) en el número de miembros  $m'$  puede a continuación proponer una propuesta *Iniciar\_Ayuda* al número de miembros  $m'$  para informar el conjunto de ayudantes  $H$  que deberían ayudar a los nuevos aprendices.

4. El manejador de acuerdo en cada proceso en  $H$  puede a continuación procesar el acuerdo *Iniciar\_Ayuda* en una posición  $k'$  en la secuencia global de acuerdos para la máquina de estado replicada  $d$  que está después de la posición  $k$  (es decir, el acuerdo *Iniciar\_Ayuda* tiene la identidad de acuerdo  $\langle d, m', k' \rangle$  y  $k' > k$ ) y desactiva su *secuencia de propuesta de salida*. Esto significa que la máquina de estado replicada  $d$  puede continuar aprendiendo acuerdos (poniéndolos en cola según sea necesario) y hacer propuestas si es el papel del proponente en el número de miembros  $m'$ , pero ya no está emitiendo acuerdos a la máquina de estado replicada, que mantiene el estado de aplicación constante.

5. El estado de aplicación del nuevo aprendiz en el nuevo número de miembros  $m'$  puede a continuación sincronizarse usando, por ejemplo, un mecanismo de transferencia de fuera de banda. Por ejemplo, si un sistema de datos de ficheros se está sincronizando, puede tener lugar una transferencia de fichero usando un programa de transferencia de ficheros tal como, por ejemplo, *rcp* (una herramienta de programador que hace más fácil integrar componentes de software independientes) que envía los datos a través de un enlace de red al nuevo aprendiz y al ayudante designado. Sin embargo, pueden usarse otros mecanismos en línea y fuera de línea para transferir el estado de aplicación necesario al nuevo aprendiz, tal como entre iguales, almacenamiento Flash, CD-ROM, cintas u otro acceso aleatorio, acceso secuencial, soportes de datos de medios fijos o giratorios.

6. Cuando la transferencia de ficheros está completa, un proponente en  $m'$  puede emitir una propuesta para *ReActivar* los procesos en  $H$  y los nuevos aprendices. Esta propuesta, cuando se acuerda por una mayoría de aceptores en el nuevo número de miembros  $m'$ , se proporciona la identidad de acuerdo  $\langle d, m', k'' \rangle$  en una posición  $k''$  en la secuencia global de acuerdos para la máquina de estado replicada  $d$  que está después de la posición  $k'$  (o,  $k'' > k'$ ).

7. El manejador de acuerdo en cada proceso en  $H$  procesa el acuerdo *ReActivar* en la posición  $k''$  en la secuencia global de acuerdos para la máquina de estado  $d$  y posibilita su *secuencia de propuesta de salida*. A partir de ahora, la máquina de estado replicada  $d$  inicia el aprendiz de acuerdo en orden secuencial desde  $k''$  (y por lo tanto se permite cambiar una vez más su estado de aplicación) y alcanza los acuerdos que ha perdido desde que se pausara su *secuencia de propuesta de salida* en la etapa 4.

8. El manejador de acuerdo en cada nuevo proceso de aprendiz en  $m'$  procesa el acuerdo *ReActivar* en la posición  $k''$  en la secuencia global de acuerdos para la máquina de estado replicada  $d$  (es decir, el acuerdo *ReActivar* tiene identidad de acuerdo  $\langle d, m', k'' \rangle$  y  $k'' > k'$ ) y posibilita su *secuencia de propuesta de salida*.

9. Sin embargo, el estado de aplicación transferido al nuevo aprendiz en la etapa 5 se tomó en la etapa  $k'$  y el valor  $k_{\text{última\_salida}}$  de la *secuencia de propuesta de salida* del nuevo aprendiz se establece a  $k+1$  (la clave de la identidad de acuerdo del acuerdo inmediatamente después de que tuvo lugar el acuerdo del número de miembros). Por lo tanto, los acuerdos desde  $k+1$  a  $k'$  no se proporcionan a la secuencia de propuesta de salida y únicamente se aplican los acuerdos de  $k'$  a la máquina de estado replicada por lo que el nuevo aprendiz aplica los acuerdos que ha pedido desde  $k$  a la máquina de estado replicada  $d$ , sincronizando de esta manera el estado de aplicación de aprendices que son nuevos para el nuevo número de miembros  $m'$ .

La Figura 4 es un diagrama de flujo de un método implementado por ordenador de acuerdo con una realización. Como se muestra en la misma, el bloque B41 solicita replicar estados de una máquina de estado en una pluralidad de máquinas de estado a través de una red informática para crear una pluralidad de máquinas de estado replicadas. Como se muestra en el bloque B42, la pluralidad de máquinas de estado replicadas pueden estar asociadas con una pluralidad de procesos y con un primer conjunto globalmente ordenado de acuerdos que es visible para y mantiene una consistencia de todas las máquinas de estado replicadas. La pluralidad de procesos asociados a la pluralidad de máquinas de estado replicadas, como se muestra en B43, pueden cambiarse a un punto arbitrario en el primer conjunto de acuerdos globalmente ordenado. Este cambio, por ejemplo, puede comprender añadir o eliminar uno de la pluralidad de procesos a los que están asociadas las máquinas de estado replicadas, cambiar un papel de uno o más de estos procesos o cambiar todos los procesos con los que están asociadas las máquinas de estado replicadas. Por ejemplo, el cambio puede comprender cambiar el número de miembros bajo los que se procesan los acuerdos. Como se muestra en B44, puede posibilitarse que uno o más de la pluralidad de procesos asociados a la pluralidad de máquinas de estado replicadas cambien estados mientras se está haciendo el cambio a la pluralidad de procesos. Por ejemplo, los aprendices pueden continuar emitiendo acuerdos a las máquinas de estado replicadas mientras se cambia el papel de uno o más procesos en el número de miembros. Es decir, el sistema no se bloquea mientras tiene lugar un cambio de número de miembros.

La Figura 5 es un diagrama de flujo que muestra aspectos adicionales de un método implementado por ordenador de acuerdo con una realización. Como se muestra en B51, los acuerdos recibidos a través de una red informática pueden procesarse en una primera máquina de estado replicada desplegada en procesos que pertenecen a un primer número de miembros. Tal procesamiento puede llevarse a cabo en un orden definido por un primer conjunto de acuerdos globalmente ordenados que está asociado a el primer número de miembros. El bloque B52 solicita recibir un acuerdo para cambiar el número de miembros que está configurado para provocar que la primera máquina de estado replicada se despliegue en procesos que pertenecen a un segundo número de miembros que está asociado a un segundo conjunto de acuerdos globalmente ordenados. Como se muestra en B53, el acuerdo para cambiar el número de miembros puede procesarse en un punto (por ejemplo, cualquier punto arbitrario) en el primer conjunto de acuerdos globalmente ordenado.

De acuerdo con las realizaciones, y con referencia continuada a la Figura 5, pueden recibirse acuerdos que están configurados para procesarse en procesos que pertenecen al segundo número de miembros mientras que se procesan acuerdos por procesos que pertenecen al primer número de miembros, como resultado de la recepción asíncrona y desordenada de los acuerdos. Los acuerdos recibidos a procesarse en procesos que pertenecen al segundo número de miembros pueden almacenarse de manera persistente (por ejemplo, de una manera segura en potencia que no pierde datos a través de ciclos de potencia) para procesamiento después del acuerdo para cambiar el número de miembros que se ha procesado. Los acuerdos almacenados a procesarse en procesos que pertenecen al segundo número de miembros pueden procesarse por lo tanto en un punto (por ejemplo, un punto arbitrario) en el segundo conjunto de acuerdos globalmente ordenados. Los acuerdos recibidos en la máquina de estado replicada desplegada en procesos que pertenecen al primer número de miembros pueden continuar procesándose mientras el acuerdo para cambiar los números de miembros se está procesando. Además, los procesos del primer número de miembros pueden añadirse o eliminarse mientras se están procesando los acuerdos recibidos en la máquina de estado replicada desplegada en otros de los procesos que pertenecen al primer número de miembros. El papel de un proceso que pertenece al primer número de miembros puede cambiarse también mientras se están procesando los acuerdos recibidos en la máquina de estado replicada desplegada en otros de los procesos que pertenecen al primer número de miembros. Por ejemplo, cambiar el papel puede comprender cambiar el papel del proceso de un proponente, aceptor y/o aprendiz. Los acuerdos recibidos pueden procesarse en una segunda máquina de estado replicada desplegada en procesos que pertenecen al primer número de miembros en el orden definido por el primer conjunto de acuerdos globalmente ordenado asociado a el primer número de miembros. De esta manera, la primera y segunda máquinas de estado replicadas permanecen consistentes a medida que se reciben acuerdos de manera asíncrona y desordenada.

Ventajosamente, las realizaciones del número de miembros dinámico de una máquina de estado replicada descrita y mostrada en el presente documento posibilitan que se cambie la recopilación de procesos asociados a la máquina de estado en un punto arbitrario en la secuencia global de acuerdos observada por todas las réplicas de la máquina de estado. De hecho, de acuerdo con una realización, un acuerdo para realizar un cambio en el número de miembros puede tener lugar en cualquier punto en la secuencia global de acuerdos y los procesos en el sistema no se bloquean de que hagan progresos (por ejemplo, poner en cola acuerdos en su secuencia de propuesta de salida y cambiar su estado de aplicación) en cualquier punto.

Ya que las realizaciones de los presentes métodos y sistemas de número de miembros dinámico posibilitan que se propongan propuestas y se acuerden en cualquier punto en la secuencia global en acuerdos observados por la máquina de estado y todas las réplicas de la misma, el sistema se mantiene por lo tanto en un estado disponible mientras tienen lugar los cambios de número de miembros. Esto es significativo para empresas, ya que las realizaciones proporcionan continuidad de negocio asegurando que las funciones de negocio críticas estén continuamente disponibles para usuarios finales, sin tiempo de inactividad para proporcionar nuevos nodos en o fuera de línea y sin tiempo de inactividad para cambiar los papeles de los nodos existentes. En consecuencia, las realizaciones también reducen la necesidad de planificación continua de negocio (es decir, planificar tiempo de inactividad o periodos de mantenimiento y comunicar tal tiempo de inactividad y periodos de mantenimiento a usuarios finales a través del entorno informático distribuido). También se mejora la productividad, ya que los usuarios pueden continuar siendo productivos durante tales cambios de número de miembros y mientras que se ponen en línea nuevos nodos y tienen su estado de aplicación sincronizado o a medida que fallan nodos existentes y se sustituyen por los que se ponen en línea. Además, de acuerdo con una realización, no se posibilita únicamente el número de miembros dinámico en un entorno informático distribuido, sino también la asociación selectiva de papeles a los nodos constituyentes de un entorno de este tipo.

La Figura 6 ilustra un diagrama de bloques de un sistema informático 600 en el que pueden implementarse las realizaciones. El sistema informático 600 puede incluir un bus 601 u otro mecanismo de comunicación para comunicar información, y uno o más procesadores 602 acoplados con el bus 601 para procesar información. El sistema informático 600 comprende adicionalmente una memoria de acceso aleatorio (RAM) u otro dispositivo de almacenamiento dinámico 604 (denominado como memoria principal), acoplado al bus 601 para almacenar información e instrucciones a ejecutarse por el procesador o procesadores 602. La memoria principal 604 puede usarse también para almacenar variables temporales u otra información intermedia durante la ejecución de instrucciones por el procesador 602. El sistema informático 600 puede incluir también una memoria de sólo lectura (ROM) y/u otro dispositivo de almacenamiento estático 606 acoplado al bus 601 para almacenar información e

instrucciones estáticas para el procesador 602. Un dispositivo de almacenamiento de datos 607 tal como, por ejemplo, un disco magnético o memoria Flash, puede acoplarse al bus 601 para almacenar información e instrucciones. El sistema informático 600 puede acoplarse también mediante el bus 601 a un dispositivo de visualización 610 para visualizar información para un usuario de ordenador. Un dispositivo de entrada alfanumérico 622, que incluye teclas alfanuméricas y otras, puede acoplarse al bus 601 para comunicar información y selecciones de comando a los procesadores) 602. Otro tipo de dispositivo de entrada de usuario es el control de cursor 623, tal como un ratón, una bola de mando, o teclas de dirección de cursor para comunicar la información de dirección y selecciones de comando al procesador 602 y para controlar el movimiento de cursor en la pantalla 621. El sistema informático 600 puede acoplarse, mediante un dispositivo de comunicación (por ejemplo, módem, NIC) a una red 626 y a uno o más nodos de un sistema informático distribuido.

Las realizaciones se refieren al uso de sistema informático y/o a una pluralidad de tales sistemas informáticos para crear, desplegar y cambiar dinámicamente los números de miembros en máquinas de estado replicadas en un sistema informático distribuido. De acuerdo con una realización, los métodos y sistemas descritos en el presente documento pueden proporcionarse por uno o más sistemas informáticos 600 en respuesta al procesador o procesadores 602 que ejecutan secuencias de instrucciones contenidas en memoria 604. Tales instrucciones pueden leerse en memoria 604 desde otro medio legible por ordenador, tal como el dispositivo de almacenamiento de datos 607. La ejecución de las secuencias de instrucciones contenidas en memoria 604 provoca que el procesador o procesadores 602 realicen las etapas y tengan la funcionalidad descrita en el presente documento. En realizaciones alternativas, puede usarse circuitería de cableado permanente en lugar de o en combinación con instrucciones de software para implementar la presente invención. Por lo tanto, la presente invención no está limitada a cualquier combinación específica de circuitería de hardware y software. De hecho, debería entenderse por los expertos en la materia que cualquier sistema informático adecuado puede implementar la funcionalidad descrita en el presente documento. El sistema informático puede incluir uno o una pluralidad de microprocesadores que funcionan para realizar las funciones deseadas. En una realización, las instrucciones ejecutadas por el microprocesador o microprocesadores son operables para provocar que el microprocesador o microprocesadores realicen las etapas descritas en el presente documento. Las instrucciones pueden almacenarse en cualquier medio legible por ordenador. En una realización, pueden almacenarse en una memoria de semiconductores no volátil externa al microprocesador, o integrarse con el microprocesador. En otra realización, las instrucciones pueden almacenarse en un disco y leerse en una memoria de semiconductores volátil antes de la ejecución por el microprocesador.

Aunque se han descrito ciertas realizaciones de la divulgación, estas realizaciones se han presentado a modo de ejemplo únicamente, y no se pretenden para limitar el alcance de la divulgación. De hecho, los métodos, dispositivos y sistemas novedosos descritos en el presente documento pueden realizarse en otras diversas formas. Adicionalmente, pueden realizarse diversas omisiones, sustituciones y cambios en forma de los métodos y sistemas descritos en el presente documento sin alejarse del espíritu de la divulgación. Las reivindicaciones adjuntas limitan la presente invención. Por ejemplo, los expertos en la materia apreciarán que en diversas realizaciones, las estructuras lógicas y físicas reales pueden diferir de aquellas mostradas en las figuras. Dependiendo de la realización, pueden eliminarse ciertas etapas descritas en el ejemplo anterior, pueden añadirse otras. También, las características y atributos de las realizaciones específicas anteriormente desveladas pueden combinarse de diferentes maneras para formar realizaciones adicionales, todas las cuales caerán dentro del alcance de la presente divulgación. Aunque la presente divulgación proporciona ciertas realizaciones y aplicaciones preferidas, otras realizaciones, que son evidentes para los expertos en la materia, incluyendo realizaciones que no proporcionan todas las características y ventajas expuestas en el presente documento, están también dentro del alcance de esta divulgación. Por consiguiente, el alcance de la presente divulgación se pretende que se defina únicamente por referencia a las reivindicaciones adjuntas.

**REIVINDICACIONES**

1. Un método implementado por ordenador, que comprende:

5 replicar estados de una máquina de estado en una pluralidad de máquinas de estado a través de una red informática para crear una pluralidad de máquinas de estado replicadas;  
 asociar la pluralidad de máquinas de estado replicadas a una pluralidad de procesos y a un primer conjunto de acuerdos globalmente ordenado que es visible para y mantiene una consistencia de todas las máquinas de estado replicadas;  
 10 cambiar la pluralidad de procesos asociados a la pluralidad de máquinas de estado replicadas en un punto arbitrario en el primer conjunto de acuerdos globalmente ordenado cambiando un papel de al menos uno de la pluralidad de procesos a uno del proponente de la propuesta, aceptor de propuesta y aprendiz de propuesta, en donde:

15 un proponente de la propuesta es un proceso asociado a una máquina de estado que está configurada para hacer una propuesta (300) para la ejecución coordinada por todas las máquinas de estado;  
 un aceptor de propuesta es un proceso asociado a una máquina de estado que es receptivo a la propuesta realizada por el proponente de la propuesta, estando configurado cada aceptor de propuesta para votar si la propuesta debería acordarse por el número de miembros; y  
 20 un aprendiz de propuesta es un proceso asociado a una máquina de estado que aprende de acuerdos a propuestas que han sido acordados por los aceptores de propuesta; y

cambiar estados, por al menos alguno de la pluralidad de procesos asociados a la pluralidad de máquinas de estado replicadas, mientras se está realizando el cambio a la pluralidad de procesos.

25 2. El método implementado por ordenador de la reivindicación 1, en el que cambiar la pluralidad de procesos comprende uno de:

- 30 i) cambiar un número de la pluralidad de procesos; y
- ii) cambiar todos procesos asociados a la pluralidad de máquinas de estado replicadas.

3. El método implementado por ordenador de cualquier reivindicación anterior, que comprende adicionalmente completar el cambio a la pluralidad de procesos y asociar la pluralidad de máquinas de estado replicadas a la pluralidad de procesos cambiados y a un segundo conjunto de acuerdos globalmente ordenados.

35 4. El método implementado por ordenador de cualquier reivindicación anterior, en el que la pluralidad de procesos pertenecen a un primer número de miembros y en el que cambiar la pluralidad de procesos comprende cambiar la asociación de la pluralidad de máquinas de estado replicadas a un segundo número de miembros que comprende la pluralidad de procesos cambiados.

40 5. El método implementado por ordenador de cualquier reivindicación anterior, que comprende adicionalmente recibir, en cada una de las máquinas de estado replicadas, acuerdos para ser procesados en un punto en el primer conjunto de acuerdos globalmente ordenados.

45 6. El método implementado por ordenador de la reivindicación 5, en el que recibir comprende recibir los acuerdos para procesar de manera asíncrona y fuera de un orden definido por el primer conjunto de acuerdos globalmente ordenados.

50 7. El método implementado por ordenador de la reivindicación 5, en el que cambiar la pluralidad de procesos asociados a la pluralidad de máquinas de estado replicadas se lleva a cabo en respuesta a recibir un acuerdo para cambiar de un número de miembros actual a un nuevo número de miembros.

55 8. El método implementado por ordenador de cualquier reivindicación anterior, en el que el primer conjunto de acuerdos globalmente ordenados comprende al menos un acuerdo para cambiar procesos asociados a la pluralidad de máquinas de estado replicadas.

60 9. El método implementado por ordenador de la reivindicación 1, en el que cambiar la pluralidad de procesos asociados a la pluralidad de máquinas de estado replicadas comprende añadir un aprendiz a la pluralidad de procesos sin afectar ningún aprendiz existente que aprende desde el primer conjunto de acuerdos globalmente ordenados.

10. El método implementado por ordenador de la reivindicación 9, que comprende adicionalmente sincronizar un estado de aplicación del aprendiz añadido después de que el cambio a la pluralidad de procesos está completado.

65 11. El método implementado por ordenador de cualquier reivindicación anterior, en el que la etapa de cambio de la pluralidad de procesos asociados a la pluralidad de máquinas de estado replicadas comprende adicionalmente

añadir o eliminar un proceso de la pluralidad de procesos asociados a la pluralidad de máquinas de estado replicadas.

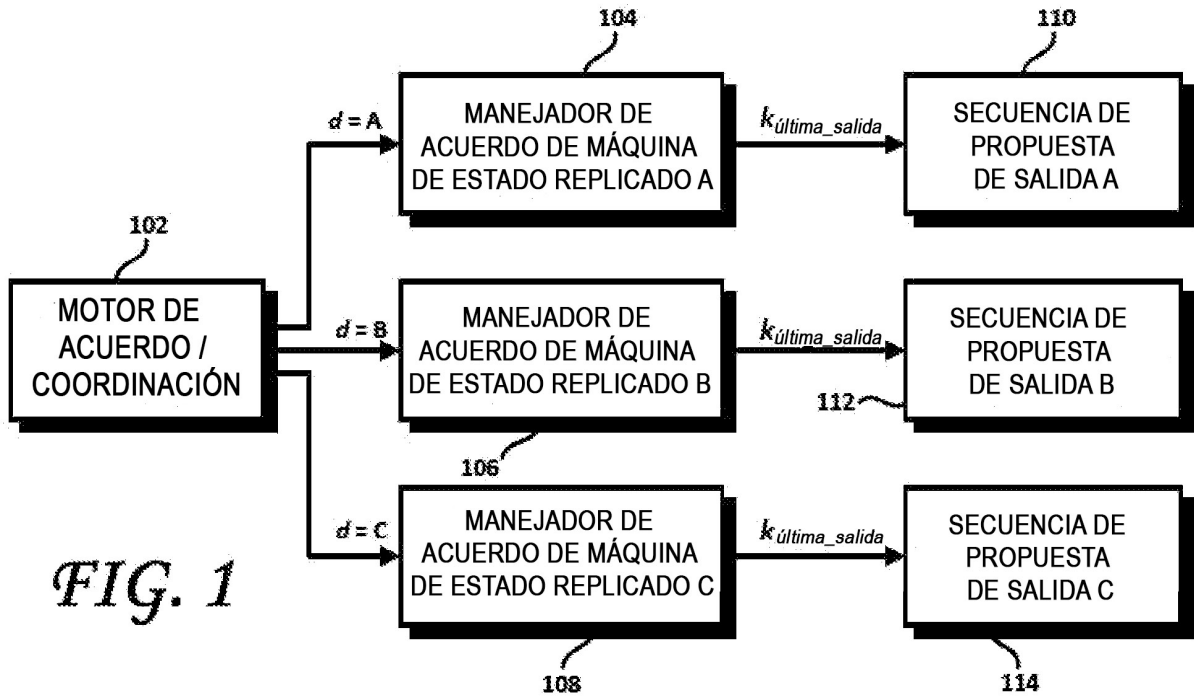


FIG. 1

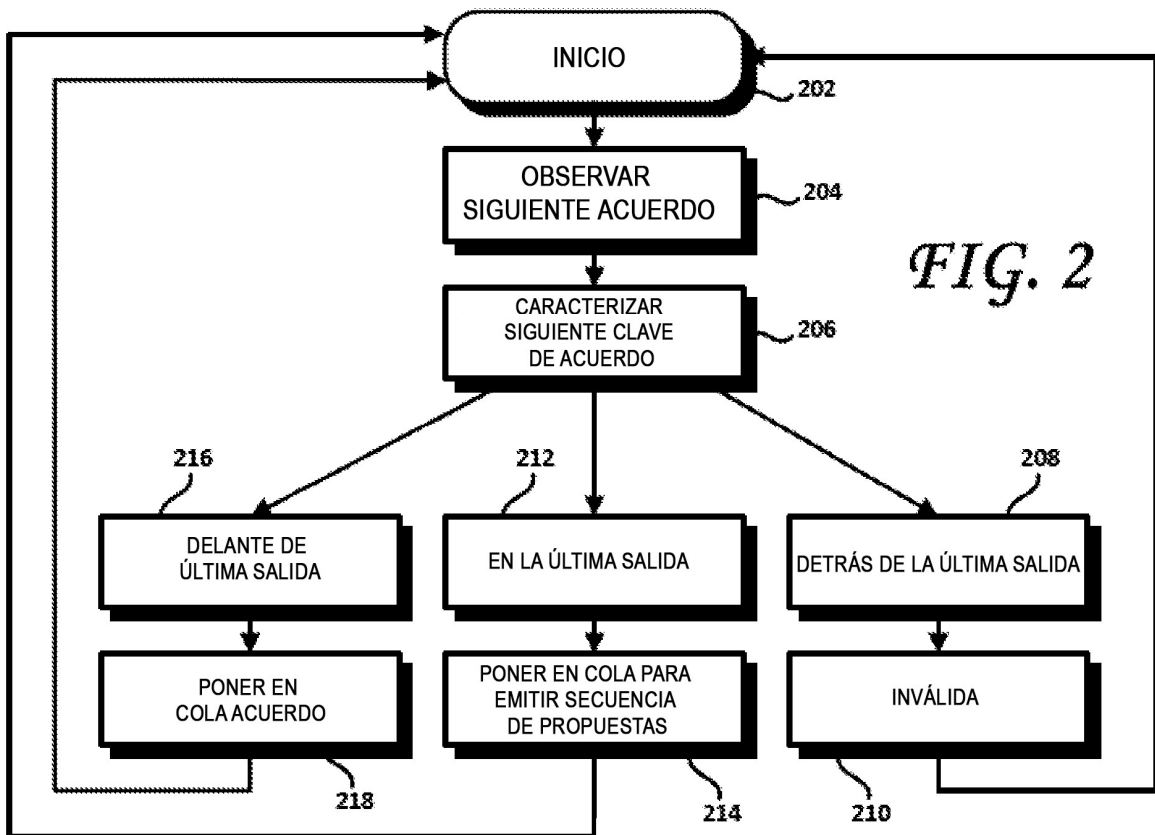
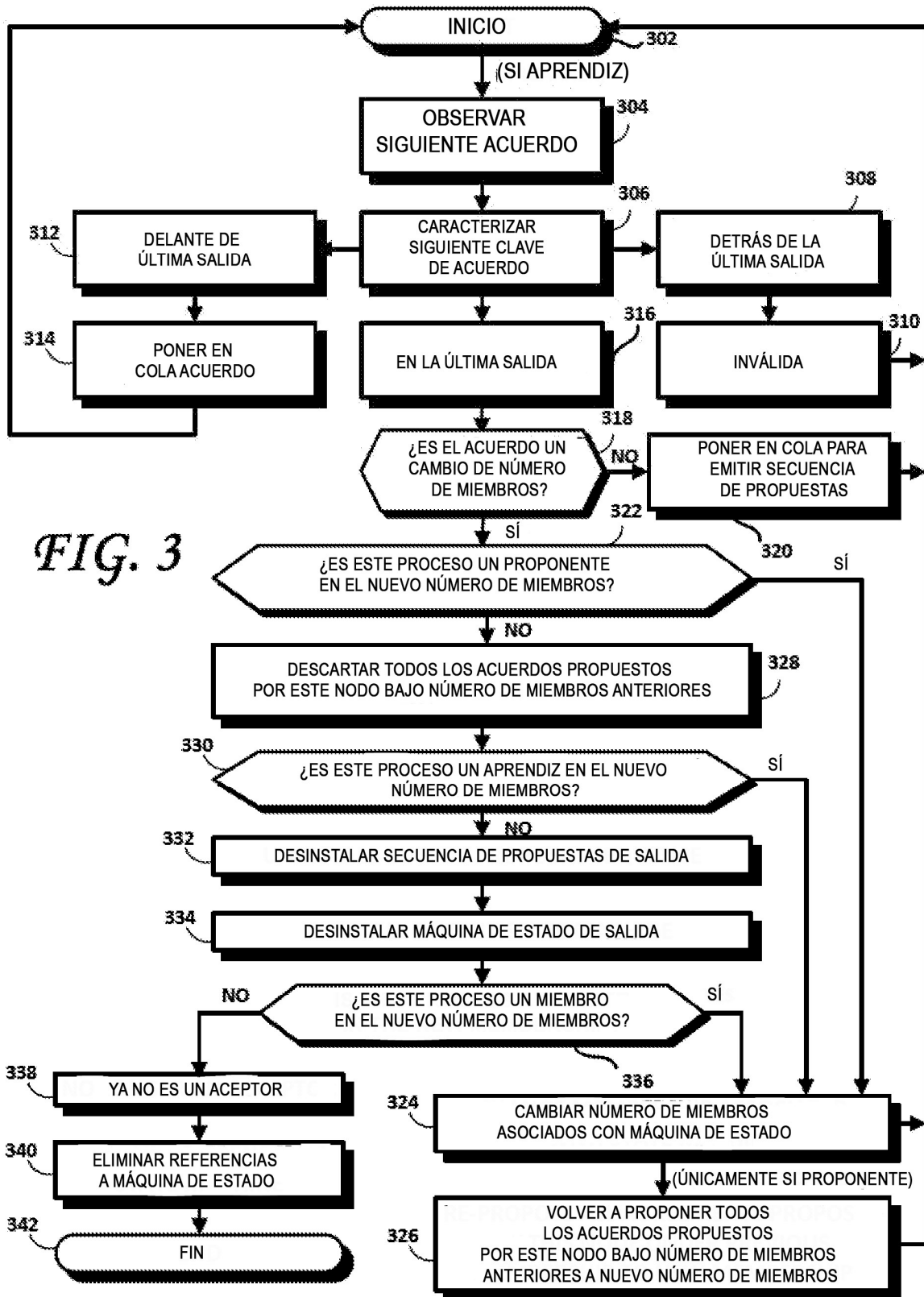
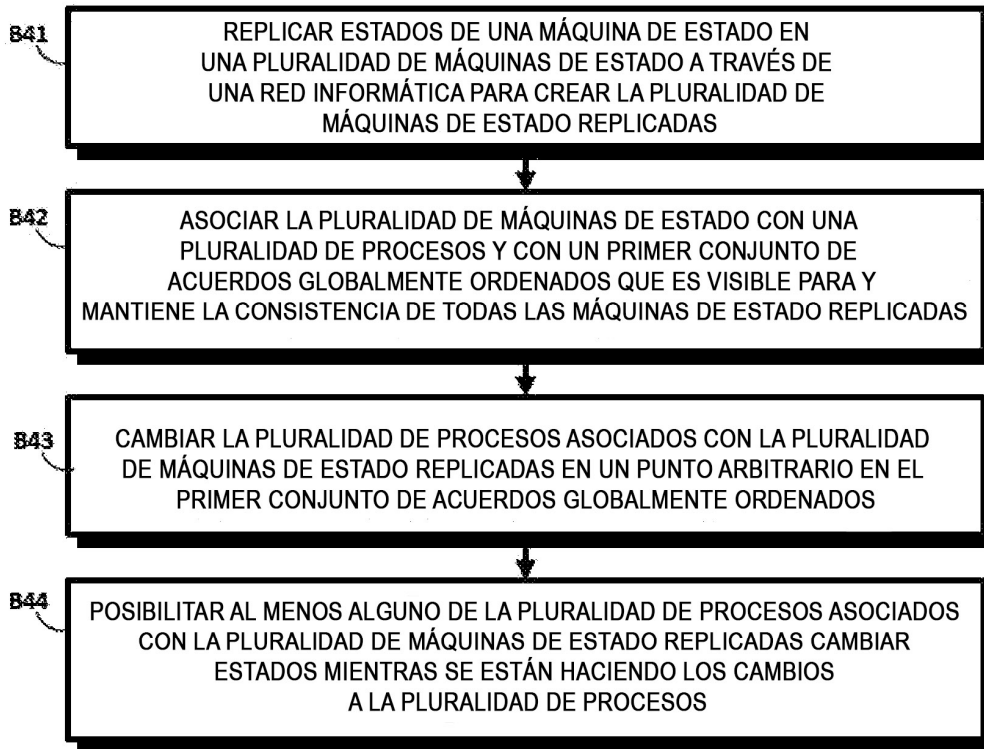


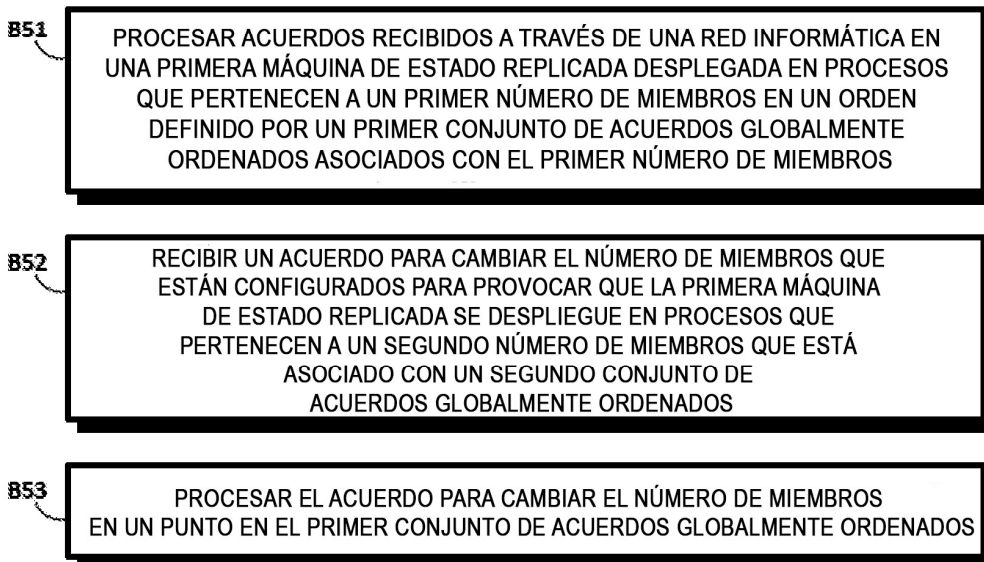
FIG. 2







*FIG. 4*



*FIG. 5*

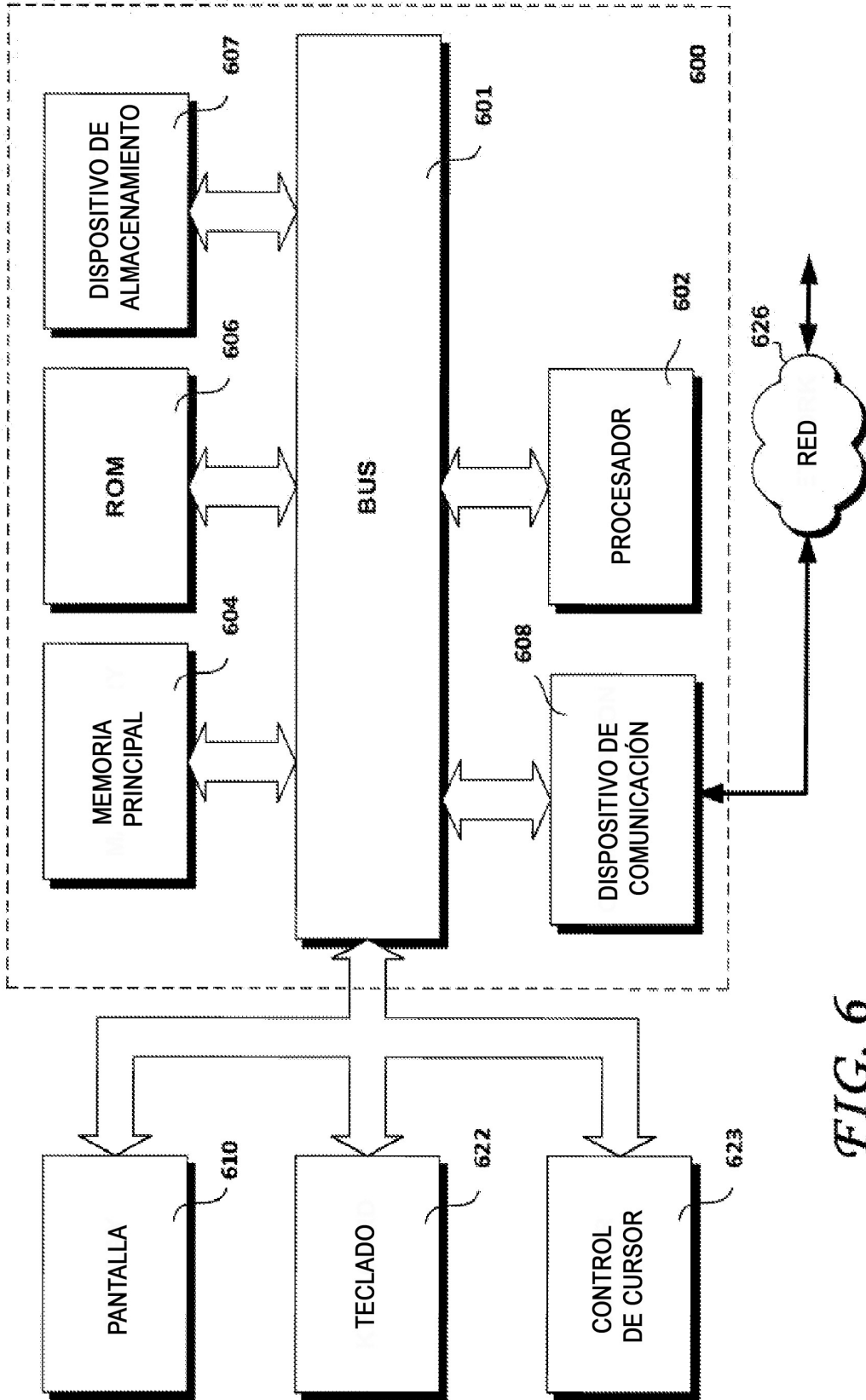


FIG. 6