

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 700 452**

51 Int. Cl.:

H04J 11/00 (2006.01)

H04J 13/00 (2011.01)

H04L 5/00 (2006.01)

H04L 27/26 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **04.03.2015** **E 15382096 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.09.2018** **EP 3065320**

54 Título: **Procedimiento, sistema y dispositivos para reducir interferencias en redes de comunicación inalámbrica de OFDMA**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
15.02.2019

73 Titular/es:
TELEFÓNICA S.A. (100.0%)
C/ Gran Vía 28
28013 Madrid, ES

72 Inventor/es:
LORCE HERNANDO, JAVIER

74 Agente/Representante:
CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 700 452 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

Procedimiento, sistema y dispositivos para reducir interferencias en redes de comunicación inalámbrica de OFDMA

Campo de la invención

5 La presente invención tiene su aplicación dentro del sector de la telecomunicación; especialmente, trata del campo de la minimización de interferencias en sistemas de comunicación inalámbrica de Acceso Múltiple por División Ortogonal de Frecuencia (OFDMA) y, en particular, en redes de Evolución a Largo Plazo (LTE).

Más específicamente, la presente invención propone un sistema y un procedimiento para minimizar las interferencias inter-celulares experimentadas por los dispositivos de usuarios (p. ej., terminales de LTE) situados en fronteras celulares en comunicaciones inalámbricas de OFDM.

10 **Antecedentes de la invención**

El Acceso Múltiple por División Ortogonal de Frecuencia es una técnica de acceso comprobada para el multiplexado eficaz de usuarios y datos en el dominio de la frecuencia. Un ejemplo de un sistema que emplea el OFDMA es la Evolución a Largo Plazo (LTE). LTE es el próximo paso en los sistemas celulares de Tercera Generación (3G), lo que representa básicamente una evolución de anteriores estándares de comunicaciones móviles, tales como el Sistema Universal de Telecomunicación Móvil (UMTS) y el Sistema Global Para Comunicaciones Móviles (GSM). Es una norma del Proyecto de Colaboración de Tercera Generación (3GPP) que proporciona caudales de hasta 50 Mbps en el enlace ascendente y de hasta 100 Mbps en el enlace descendente. Usa un ancho de banda ajustable a escala, desde 1,4 a 20 MHz, a fin de adecuarse a las necesidades de los operadores de redes que tienen distintas asignaciones de ancho de banda. De LTE también se espera que mejore la eficacia espectral en las redes, permitiendo a las portadoras proporcionar más servicios de datos y voz sobre un ancho de banda dado. Otros estándares inalámbricos como WiFi (IEEE 802.11) o WiMAX (IEEE 802.16) también emplean el OFDMA.

Una de las cuestiones más serias al desplegar redes inalámbricas de frecuencia única de Multiplexado por División Ortogonal de Frecuencia (OFDM) es la mayor interferencia padecida por los usuarios en las fronteras celulares, que requieren técnicas especializadas. Uno de los enfoques más sencillos es la denominada Coordinación de Interferencia Inter-Celular (ICIC), en el que los recursos de frecuencia son divididos estáticamente en varios "trozos" designados para distintas celdas, según lo revelado en "LTE, la Evolución a Largo Plazo del UMTS: de la teoría a la práctica", de John Wiley & Sons (2ª edición), pág. 28, 2011.

Otros enfoques más avanzados incluyen la coordinación semi-estática del dominio temporal y/o del dominio de la frecuencia de las celdas, de manera tal que los recursos de tiempo y/o frecuencia estén coordinados entre una agrupación dada de celdas vecinas, a fin de evitar interferencias hacia un usuario dado. Estos enfoques dan auge a la Coordinación de Interferencia Inter-Celular mejorada, basada en la Agrupación de Portadoras (CA-eICIC), o a la Coordinación de Interferencia Inter-Celular mejorada basada en Sub-tramas Casi en Blanco (ABS-eICIC), ambas descritas en "LTE, la Evolución a Largo Plazo del UMTS: de la teoría a la práctica", de John Wiley & Sons (2ª edición), pág. 701, 2011.

Otros ejemplos se presentan en el documento WO2011/079294, que describe la cooperación de células para reducir la interferencia en un contexto OFDM, así como HUAWEI: "Diseño CSI-RSI para soportar medición de múltiples células", Borrador 3GPP; R1-101058, que propone esquemas de aleatorización de interferencia para señales de referencia OFDM. Las soluciones anteriores padecen el inconveniente de determinar cuán grande debe ser la agrupación de coordinación. Las agrupaciones demasiado grandes llevan a una muy alta complejidad en la coordinación de recursos (así como en el intercambio de señalización entre las celdas), mientras que las agrupaciones más pequeñas llevan a prestaciones sub-óptimas y a una significativa interferencia entre agrupaciones. Además, la interferencia desde celdas fuera de toda agrupación de coordinación destruirá parte de la ventaja esperada si es recibida con un nivel de señal suficientemente potente.

Las soluciones de eICIC basadas en CA requieren que al menos dos portadoras componentes sean agrupadas en el sector receptor, y no prevén la coordinación más allá de dos celdas vecinas, a menos que se permitan combinaciones complejas de bandas de frecuencia. La eICIC basada en ABS padece los inconvenientes de requerir patrones complejos de sub-tramas silenciadas/no silenciadas que pueden no ajustarse a escala con agrupaciones crecientemente mayores. Además, las celdas que no operan en la modalidad ABS provocarán una interferencia dañina, ya que sus ocasiones de transmisión chocarán totalmente con las de las sub-tramas protegidas.

Las soluciones basadas en la cancelación de interferencia sucesiva (SIC) en los receptores están principalmente centradas en la cancelación de la interferencia de los canales de control, ya que estos tienen una estructura conocida y no requieren señalización adicional desde la red. Sin embargo, los canales de datos pueden presentar múltiples formatos, según el uso de múltiples antenas, la modulación y el esquema de codificación, etc., y por tanto requieren señalización significativa desde la red para que los receptores realicen la SIC. Esto se traduce en una mayor complejidad en el sector del dispositivo, así como menores oportunidades de cancelar la interferencia más allá de uno o dos interferentes dominantes.

5 Otras soluciones pertenecen a las denominadas técnicas Coordinadas de Multi-Punto (CoMP), donde la transmisión o recepción del plano de datos, desde/a múltiples celdas, es coordinada a fin de evitar interferencias. La principal diferencia con respecto a las soluciones de ICIC/eICIC es que las primeras implican el plano de datos mientras que las últimas tratan solamente con el plano de control. La coordinación del plano de datos es mucho más costosa en términos de recursos de red y de intercambio de información entre los nodos de red, llevando por tanto a soluciones complejas. Además, la interferencia desde celdas fuera de una agrupación de coordinación es muy difícil de mitigar.

Por lo tanto, existe la necesidad en el estado de la técnica de maneras más eficaces de tratar la interferencia inter-celular, a fin de permitir la coordinación de interferencia inter-celular de baja complejidad en redes inalámbricas de OFDM.

10 **Sumario de la invención**

La presente invención resuelve los problemas precitados y supera las limitaciones de trabajo del estado de la técnica, anteriormente explicadas, proporcionando un mecanismo de pre-codificación a aplicar sobre los recursos de tiempo y frecuencia de un conjunto de celdas (indicada en lo que sigue como "agrupación de coordinación") en un sistema inalámbrico de OFDM, a fin de cancelar la interferencia inter-celular dentro de la agrupación y minimizar las interferencias desde otras agrupaciones y desde otras celdas no coordinadas.

El mecanismo propuesto de pre-codificación implica el ensanchamiento y cifrado de los símbolos complejos de banda base, sobre un cierto número de intervalos consecutivos de transmisión temporal (TTI), de modo tal que, cuando se deshacen en el sector receptor, las señales provenientes de las celdas dentro de la misma agrupación aparecen como ortogonales entre sí y por tanto se elimina la interferencia inter-celular.

20 Al mismo tiempo, y a diferencia de las técnicas de la tecnología anterior, la interferencia desde otras celdas fuera de una agrupación de coordinación dada será reducida, porque el procedimiento propuesto también protege las señales de cualquier interferencia provocada por transmisiones no coordinadas. La protección se ve en este caso como una mejora de la razón entre señal y ruido (SNR) que se experimenta en el sector de recepción cuando se deshace la pre-codificación propuesta.

25 El escenario para la aplicación de la invención propuesta es una red inalámbrica de OFDM (p. ej., una red de LTE) que comprende un cierto número de celdas y que padece de significativa interferencia inter-celular en las fronteras celulares. La invención propuesta puede ser aplicada en escenarios homogéneos que comprenden macro-celdas, o en escenarios heterogéneos que comprenden una mezcla de macro-celdas, micro-celdas y/o pico-celdas, según lo desplegado en puntos conflictivos, a fin de aumentar la capacidad.

30 El coste del mecanismo de pre-codificación propuesto es una velocidad reducida de bits (debido a la operación de ensanchamiento) y una latencia aumentada de la interfaz aérea (debido al prolongado tiempo de transmisión requerido para descodificar una única transmisión). Sin embargo, estos no son requisitos graves, ya que los usuarios en las fronteras celulares padecen normalmente de velocidades reducidas de bits, debido a la fuerte interferencia, y la presente invención puede mejorar la detección eliminando la interferencia inter-celular dentro de la agrupación, así como minimizando el efecto de las interferencias externas. La latencia aumentada de la interfaz aérea es comparable a algunas técnicas de extensión de cobertura basadas en la repetición (como la envoltura de TTI en la LTE) y representa una pequeña fracción del retardo de extremo a extremo, en comparación con el efecto combinado de las retransmisiones de L1/L2, los retardos de planificación y el transporte por las redes de retorno y centrales, entre otras.

40 En el contexto de la invención, se usan los siguientes conceptos:

Agrupación de coordinación: conjunto de celdas en las cuales las transmisiones han de ser coordinadas para la evitación de la interferencia inter-celular dentro de la agrupación, y para la protección ante la interferencia desde otras agrupaciones, y desde celdas no coordinadas.

45 Patrón de coordinación: patrón pseudo-aleatorio a usar por parte de las celdas pertenecientes a una agrupación de coordinación, a fin de evitar la interferencia dentro de la agrupación.

Patrón de aleatorización: patrón pseudo-aleatorio a usar por parte de las celdas pertenecientes a una agrupación de coordinación, a fin de reducir las interferencias desde otras agrupaciones y desde otras celdas no coordinadas.

50 De acuerdo con un primer aspecto de la presente invención, se revela un procedimiento para reducir interferencias en redes inalámbricas de OFDM, en el que las transmisiones entre al menos un equipo de usuario y múltiples estaciones base, pertenecientes a distintas celdas, padecen interferencias inter-celulares, y comprende las siguientes etapas:

1. para reducir interferencias en redes inalámbricas de Multiplexado por División Ortogonal de Frecuencia, el procedimiento comprende:

55 - agrupar una pluralidad de celdas en agrupaciones de coordinación, definidas como conjuntos no solapados de celdas, en donde cada agrupación comprende un cierto número de celdas cuyas transmisiones están

sincronizadas en el dominio temporal;

- para cada una de las agrupaciones de coordinación, generar un conjunto de patrones de coordinación pseudo-aleatorios $\{k_i^n; i = 0, \dots, N-1; n = 0, \dots, M-1\}$, en la que k_i^n son números enteros entre 0 y M-1, M es el número de sub-portadoras que están siendo transmitidas, n es un identificador de celda dentro de la agrupación de coordinación y $k_i^n \neq k_i^m \forall n \neq m, i = 0, \dots, N-1$;
- para cada una de las agrupaciones de coordinación, generar un patrón de aleatorización común para todas las celdas dentro de la agrupación de coordinación, comprendiendo el patrón de aleatorización una transformación invertible de los símbolos complejos en el dominio temporal, junto con M intervalos consecutivos de tiempos de transmisión para cada sub-portadora;
- aplicar, por parte de cada celda dentro de la agrupación de coordinación, una operación de ensanchamiento de los símbolos complejos sobre M intervalos consecutivos de tiempos de transmisión (TTI) para cada sub-portadora, de acuerdo con la expresión:

$$b[i, m] = M \sum_{n=0}^{T-1} a[i, n] \exp[-j2\pi(Mn + k_i) \cdot m / (M \cdot T)]$$

en la que T es el número de símbolos complejos en un TTI, $a[i, n]$ indica los símbolos complejos anteriores a la operación de ensanchamiento y $b[i, m]$ indica los símbolos complejos después de la operación de ensanchamiento, k_i son números enteros que comprenden el patrón de coordinación de la celda, con $0 \leq k_i \leq M-1$, e i, m son índices dados por $i = 0, \dots, N-1$, $m = 0, \dots, T \cdot M-1$;

- aplicar, por parte de cada celda dentro de la agrupación de coordinación, una operación de cifrado invertible de los símbolos complejos ensanchados $b[i, m]$ sobre M TTI consecutivos en el dominio temporal para cada sub-portadora, estando la operación de cifrado dada por el patrón de aleatorización, y siendo común para todas las celdas dentro de la agrupación de coordinación; y
- correlacionar (o mapear) los símbolos complejos cifrados sobre todas las N sub-portadoras en el dominio de la frecuencia y los M TTI consecutivos en el dominio temporal, obteniendo símbolos complejos pre-codificados, después de las operaciones de ensanchamiento y cifrado, que están correlacionados con M·T recursos consecutivos en el dominio temporal para cada sub-portadora.

En un segundo aspecto de la presente invención, se revela un sistema que comprende al menos un equipo de usuario y una pluralidad de estaciones base pertenecientes a distintas celdas, para reducir la interferencia inter-celular en redes inalámbricas de OFDMA, comprendiendo además el sistema medios para implementar el procedimiento descrito anteriormente, que son:

a) Al menos una Estación Base que comprende:

- un generador de agrupaciones de coordinación para agrupar las múltiples celdas en agrupaciones de coordinación, definidas como conjuntos no solapados de celdas, en donde cada agrupación comprende un cierto número de celdas cuyas transmisiones están sincronizadas en el dominio temporal, seleccionar un conjunto de patrones de coordinación pseudo-aleatorios $\{k_i^n; i = 0, \dots, N-1; n = 0, \dots, M-1\}$, en la que k_i^n son números enteros entre 0 y M-1, M es el número de celdas en la agrupación de coordinación, N es el número de sub-portadoras que están siendo transmitidas, n es un identificador de celda dentro de la agrupación de coordinación y $k_i^n \neq k_i^m \forall n \neq m, i = 0, \dots, N-1$;
- un generador para seleccionar un patrón de aleatorización, para cada agrupación de coordinación generada, siendo el patrón de aleatorización común para todas las celdas dentro de la agrupación de coordinación, y comprendiendo una transformación invertible de los símbolos complejos en el dominio temporal a lo largo de TTI consecutivos para cada sub-portadora;
- un ensanchador para aplicar, para cada celda dentro de la agrupación de coordinación, una operación de ensanchamiento de los símbolos complejos sobre M TTI consecutivos para cada sub-portadora, de acuerdo con la expresión:

$$b[i, m] = M \sum_{n=0}^{T-1} a[i, n] \exp[-j2\pi(Mn + k_i) \cdot m / (M \cdot T)]$$

en la que T es el número de símbolos complejos en un TTI, $a[i, n]$ indica los símbolos complejos anteriores a la operación de ensanchamiento (32), $b[i, m]$ indica los símbolos complejos después de la operación de ensanchamiento (32), k_i son números enteros que comprenden el patrón de coordinación de la celda con $0 \leq k_i \leq M-1$, e i, m son índices dados por $i = 0, \dots, N-1$, $m = 0, \dots, T \cdot M-1$;

- un cifrador para aplicar, para cada celda dentro de la agrupación de coordinación, una operación de cifrado invertible de los símbolos complejos ensanchados $b[i, m]$ sobre M TTI consecutivos en el dominio temporal para cada sub-portadora, estando el cifrado dado por el patrón de aleatorización, y siendo común para todas las celdas dentro de la agrupación de coordinación;

5 - medios para correlacionar los símbolos complejos cifrados sobre todas las N sub-portadoras en el dominio de la frecuencia y M TTI consecutivos en el dominio temporal, obteniendo símbolos complejos pre-codificados a correlacionar sobre M·T recursos consecutivos en el dominio temporal para cada sub-portadora.

b) Al menos un equipo de usuario que comprende:

10 - medios para la operación de de-correlación de los símbolos complejos pre-codificados, recibidos por el equipo de usuario desde M TTI consecutivos recogidos para cada una de las sub-portadoras de la agrupación de coordinación,

- medios de de-correlación para aplicar la siguiente transformación inversa:

$$\hat{b}[i, m] = c[i, o^{-1}(i, m')] \exp(-j\phi[i, o^{-1}(i, m')]),$$

15 en la que $o^{-1}(i, m)$ indica el inverso de dicho patrón intercalador, $\hat{b}[i, m]$ son los símbolos complejos estimados después de deshacer la operación de cifrado, $m' = o(i, m)$ y $c[i, m]$ son los símbolos complejos recibidos

- medios de des-ensanchamiento para aplicar la siguiente transformación inversa, para obtener los símbolos complejos estimados $\hat{a}[i, n]$ con una razón entre señal y ruido mejorada en un factor M:

$$\hat{a}[i, n] = \sum_{m=0}^{M \cdot T - 1} \hat{b}[i, m] \exp[j2\pi(Mn + k_i) \cdot m / (M \cdot T)]$$

20 en la que $\hat{b}[i, m]$ son los símbolos complejos estimados después de deshacer la operación de cifrado.

En un último aspecto de la presente invención, se revela un programa informático, que comprende medios de código de programa informático, adaptados para realizar las etapas del procedimiento descrito, cuando dicho programa es ejecutado en medios de procesamiento de una entidad de red (estación base o terminal de usuario) de una red de OFDMA, siendo dichos medios de procesamiento un ordenador, un procesador de señales digitales, una formación de compuertas programables en el terreno (FPGA), un circuito integrado específico de la aplicación (ASIC), un microprocesador, un micro-controlador o cualquier otra forma de hardware programable.

25

El procedimiento de acuerdo con los aspectos descritos anteriormente de la invención tiene un cierto número de ventajas con respecto a la técnica anterior, que pueden ser resumidas de la siguiente manera:

- 30 • La invención propuesta permite interferencias inter-celulares reducidas en redes inalámbricas de OFDM, ya que las transmisiones de la capa física son modificadas por las celdas dentro de una agrupación de coordinación, de modo tal que la interferencia inter-celular pueda ser evitada y la experiencia de usuario pueda ser sumamente realzada. Puede ser definido un cierto número de agrupaciones de coordinación, en las que el intercambio de señalización asociado se reduce a acordar un conjunto de patrones de coordinación y aleatorización, evitando así cualquier intercambio de datos del plano del usuario entre nodos de la red. Se propone una operación de pre-codificación, de modo que las señales recibidas desde distintas celdas sean ortogonales y no interfieran entre sí dentro de la agrupación de coordinación.
- 35 • A diferencia de las técnicas de la tecnología anterior, como la eICIC basada en CA, la eICIC basada en ABS o la CoMP, donde la interferencia desde celdas no coordinadas no se evita en las tradicionales estrategias de coordinación del dominio temporal y/o del dominio de la frecuencia, la presente invención también protege las transmisiones de las interferencias provocadas por celdas dentro de otras agrupaciones de coordinación, y desde celdas que no están aplicando la invención propuesta. La pre-codificación propuesta, cuando es deshecha en el sector receptor, puede impulsar el nivel deseado de la señal con relación al nivel de interferencia, en un factor dado por el tamaño de la agrupación de coordinación, y la recepción puede por tanto mejorar en gran medida. Esto hace que la tarea de cuantificar las agrupaciones de coordinación sea menos crítica en comparación con soluciones de la técnica anterior, donde la interferencia dentro de la agrupación no puede ser evitada.
- 40 • La invención propuesta proporciona un mecanismo de coordinación que no requiere que los planificadores estén coordinados dentro de las agrupaciones. Al contrario que otras soluciones conocidas, las transmisiones no requieren estar alineadas en el dominio de la frecuencia, y la pre-codificación propuesta puede ser aplicada sobre los recursos asignados para usuarios de frontera celular, que padecen de fuerte interferencia inter-celular. De tal modo, la presente invención puede ser aplicada según cada usuario, a fin de proteger las señales destinadas para usuarios de frontera celular que están padeciendo de interferencia significativa. Además, las transmisiones desde distintas celdas pertenecientes a una agrupación de coordinación no requieren estar alineadas en el dominio de la frecuencia para que esta invención sea aplicable. La presente invención obtiene
- 45
- 50
- 55 transmisiones hacia distintos usuarios que son ortogonales dentro de la agrupación de coordinación,

independientemente de si los correspondientes recursos asignados están alineados en el dominio de la frecuencia o no.

- La coordinación de las celdas puede ser lograda por la presente invención con un intercambio de señalización muy limitado entre los nodos implicados (o entre ellos y un nodo central), evitando el intercambio masivo de información del plano de datos que en otro caso requeriría enlaces de retorno de alta capacidad. La configuración de las agrupaciones puede ser realizada semi-estáticamente, mediante Operación y Mantenimiento (OyM), de manera centralizada, o usando técnicas de Redes Auto-Organizadas (SON).

Estas y otras ventajas serán evidentes a la luz de la descripción detallada de la invención.

Descripción de los dibujos

- 10 Con el fin de ayudar en la comprensión de las características de la invención, de acuerdo con una realización práctica preferente de la misma, y a fin de complementar esta descripción, se adjuntan las siguientes figuras como parte integral de la misma, con un carácter ilustrativo y no limitador.

La Figura 1 muestra un diagrama esquemático de distintos conjuntos celulares que forman agrupaciones de coordinación, de acuerdo con un posible caso de aplicación de la invención.

- 15 La Figura 2 muestra un diagrama esquemático de las operaciones de pre-codificación básica para reducir la interferencia inter-celular, de acuerdo con una realización preferente de la invención.

La Figura 3 muestra un diagrama de bloques de un procedimiento de pre-codificación de símbolos de OFDM, para reducir la interferencia inter-celular realizada por una estación base perteneciente a una agrupación de coordinación, de acuerdo con una posible realización de la invención.

- 20 La Figura 4 muestra un diagrama esquemático de un patrón de coordinación pseudo-aleatorio como una función del índice de sub-portadora, aplicable a todos los usuarios en un Intervalo de Tiempo de Transmisión, de acuerdo con un posible caso de realización de la invención.

- 25 La Figura 5 muestra un diagrama esquemático de dos celdas distintas de la misma agrupación de coordinación, con usuarios transmisores no alineados en el dominio de la frecuencia, de acuerdo con otro posible caso de aplicación de la invención.

La Figura 6 muestra un diagrama esquemático de la operación de ensanchamiento de DFT, de acuerdo con una posible realización de la invención.

La Figura 7 muestra un diagrama de bloques de las etapas llevadas a cabo por una estación base para una operación de cifrado, de acuerdo con una posible realización de la invención.

- 30 La Figura 8 muestra un diagrama esquemático de dos celdas distintas de la misma agrupación de coordinación, con usuarios de frontera celular cuyas transmisiones son ortogonales en la región de frecuencia solapada, de acuerdo con un posible caso de aplicación de la invención.

- 35 La Figura 9 muestra un diagrama de bloques de la arquitectura de sistema de una estación base que implementa la pre-codificación de símbolos de OFDM para reducir la interferencia inter-celular mostrada en la Figura 3, de acuerdo con una posible realización de la invención.

La Figura 10 muestra un diagrama de bloques de la arquitectura de sistema de un dispositivo de usuario interferido, deshaciendo las operaciones de pre-codificación realizadas en la Figura 3, de acuerdo con una posible realización de la invención.

Realización preferente de la invención

- 40 Las cuestiones definidas en esta descripción detallada se proporcionan para ayudar en una comprensión exhaustiva de la invención. En consecuencia, los medianamente expertos en la técnica reconocerán que pueden hacerse variaciones, cambios y modificaciones de las realizaciones descritas en la presente memoria, sin apartarse del ámbito y el espíritu de la invención. Además, se omiten descripciones de funciones y elementos bien conocidos, por claridad y concisión.

- 45 Por supuesto, las realizaciones de la invención pueden ser implementadas en una amplia variedad de plataformas arquitectónicas, sistemas operativos y servidores, dispositivos, sistemas o aplicaciones. Cualquier diseño o implementación arquitectónica en particular, presentado en la presente memoria, se proporciona con fines de ilustración y comprensión solamente, y no está concebido para limitar aspectos de la invención.

- 50 Es dentro de este contexto que se presentan ahora diversas realizaciones de la invención, con referencia a las FIGs. 1 a 10.

En el contexto de la invención, se define una agrupación de coordinación como un conjunto de celdas cuyas

transmisiones han de ser coordinadas. El tamaño de agrupación, indicado con M, determina el número de los TTI sobre los cuales puede ser aplicado el procedimiento de pre-codificación propuesto de la invención. En lo que sigue, se supone que los nodos que comprenden la agrupación de coordinación están sincronizados en fase en el dominio temporal, de modo tal que las transmisiones desde las celdas pertenecientes a una agrupación de coordinación tengan lugar en instantes temporales sincronizados.

La Figura 1 presenta varios ejemplos de agrupaciones de coordinación con distintos tamaños de agrupación (M): M = 5, M = 6, M = 7 y M = 8.

Múltiples celdas son agrupadas primero en un cierto número de agrupaciones de coordinación, comprendiendo cada una varias celdas cuyas transmisiones han de coordinarse. Las celdas dentro de una agrupación de coordinación se suponen sincronizadas en fase, de modo tal que las transmisiones tengan lugar en instantes temporales sincronizados, de acuerdo con una referencia común de fase. Una operación de pre-codificación propuesta que comprende, a su vez, operaciones de ensanchamiento y cifrado, es aplicada por los transmisores de las celdas de modo tal que las señales deseadas estén protegidas de interferencias provocadas por las otras celdas dentro de la agrupación. Por lo tanto, los usuarios conectados con cualquier celda perteneciente a una agrupación no experimentan prácticamente ninguna interferencia desde las otras celdas en la agrupación. Al mismo tiempo, la interferencia desde celdas pertenecientes a otras agrupaciones es minimizada en virtud de las distintas operaciones de pre-codificación realizadas en cada agrupación, según lo descrito más adelante. La interferencia desde celdas no pertenecientes a ninguna agrupación de coordinación también puede ser minimizada.

Para cada una de las agrupaciones de coordinación definidas, la operación de pre-codificación propuesta comprende seleccionar un conjunto de patrones de coordinación pseudo-aleatoria $\{k_i^n; i = 0, \dots, N-1; n = 0, \dots, M-1\}$, en la que k_i^n son números enteros entre 0 y M-1 y $k_i^n \neq k_i^m \forall n \neq m, i = 0, \dots, N-1$, M es el número de celdas en la agrupación de coordinación, es decir, el tamaño de la agrupación según lo definido anteriormente, N es el número de sub-portadoras y n es un identificador de celda dentro de la agrupación de coordinación.

La estructura básica del TTI de las transmisiones en el OFDM comprende N sub-portadoras en el dominio de la frecuencia (según lo asignado a un usuario dado) y un número T de símbolos de OFDM en el dominio temporal, llevando de tal modo a N x T elementos de recursos físicos, según se muestra en la Figura 2. Los símbolos complejos de información $a[i, n]$ son transformados por una operación de Ensanchamiento por DFT (21) que ensancha los símbolos sobre los M TTI en el dominio temporal, de forma tal que cada celda dentro de la agrupación se someta a una operación de pre-codificación distinta, de acuerdo con un patrón pseudo-aleatorio. Continúa luego una operación de cifrado (22) en el dominio temporal, que es característica de la agrupación de coordinación y que aleatoriza los símbolos complejos a lo largo de los M TTI. La operación combinada, cuando es deshecha por un receptor, llevará a la recepción ortogonal de las señales desde las celdas dentro de la agrupación, evitando así la interferencia inter-celular. Adicionalmente, el efecto de las interferencias desde celdas fuera de la agrupación de coordinación se reducirá gracias al cifrador. Después de determinar el tamaño más adecuado de la agrupación de coordinación, las celdas dentro de la agrupación tienen que acordar un conjunto de patrones ortogonales pseudo-aleatorios a usar para la operación de ensanchamiento. Hay un gran número de patrones ortogonales disponibles, y la selección puede basarse en las identidades celulares o cualquier otro parámetro dependiente de la celda. La ortogonalidad de la operación de ensanchamiento asegura una protección idealmente perfecta dentro de la agrupación, mientras que el cifrador posterior minimiza la interferencia provocada por otras agrupaciones y otras celdas no coordinadas. Esto contrasta con técnicas de la técnica anterior, donde la interferencia desde celdas no coordinadas no es evitada en las tradicionales estrategias de coordinación del dominio temporal y/o el dominio de la frecuencia, como la eICIC basada en CA, la eICIC basada en ABS o la CoMP.

Según se muestra en la Figura 2, cada celda dentro de una agrupación de coordinación aplica una operación de ensanchamiento (21) de los símbolos complejos de OFDM sobre M TTI consecutivos para cada sub-portadora, de acuerdo con la expresión:

$$b[i, m] = M \sum_{n=0}^{T-1} a[i, n] \exp[-j2\pi(Mn + k_i) \cdot m / (M \cdot T)]$$

en la que $a[i, n]$ indica los símbolos complejos de banda base, anteriores a la pre-codificación, $b[i, m]$ indica los símbolos pre-codificados complejos ensanchados, k_i son números enteros que comprenden el patrón de coordinación de dicha celda, con $0 \leq k_i \leq M-1$, y los índices i, m están dados por $i = 0, \dots, N-1$, $m = 0, \dots, T \cdot M-1$.

Luego, como se muestra en la Figura 2, cada celda dentro de una agrupación de coordinación aplica una operación

de cifrado invertible (22) de cada símbolo complejo ensanchado, dado por un patrón de aleatorización sobre M TTI consecutivos en el dominio temporal para cada sub-portadora. Esta operación de cifrado (22) es común para todas las celdas dentro de dicha agrupación de coordinación e implica un patrón intercalador $o(i,m)$ y un patrón de rotación de fase $\varphi[i,m]$ que son característicos de la agrupación de coordinación, de acuerdo con la siguiente expresión:

$$5 \quad c[i,m] = b[i,o(i,m)] \exp(j\varphi[i,m]),$$

en la que m y $o(i,m)$ son números enteros entre 0 y $M \cdot T - 1$, $i = 0, \dots, N - 1$, $b[i,m]$ son los símbolos complejos después de dicha operación de ensanchamiento y $c[i,m]$ son los símbolos complejos después del cifrado.

La Figura 3 ilustra las operaciones básicas a aplicar por parte de las estaciones base pertenecientes a una agrupación de coordinación dada. Tanto las celdas como las agrupaciones se suponen caracterizadas por identificadores adecuados, que pueden ser asignados tras la configuración inicial de la red. En primer lugar, se genera (31) un patrón pseudo-aleatorio, en base al identificador de celda física (ID), el identificador de agrupación (I) y el tamaño de agrupación (M). Los símbolos modulados complejos de banda base (30) son recibidos por la estación base, que realiza una operación de ensanchamiento por DFT (32) que los convierte en un conjunto de símbolos complejos de banda base que abarcan M TTI consecutivos. Se genera (33) un patrón de aleatorización en base al identificador de agrupación (I) y al tamaño de agrupación (M), y se realiza una operación de cifrado (34) de los símbolos ensanchados por DFT, de acuerdo con el patrón de aleatorización generado. Para cada agrupación de coordinación generada, se selecciona un patrón de aleatorización que sea común para todas las celdas dentro de la agrupación, y que comprenda una transformación invertible de los símbolos complejos de OFDM en el dominio temporal, a lo largo de M TTI consecutivos para cada sub-portadora, en donde dicha transformación puede implicar permutaciones, rotaciones de fase o cualquier otra transformación invertible de los elementos de acuerdo con un patrón pseudo-aleatorio. Finalmente, los símbolos pre-codificados son correlacionados (35) con M TTI consecutivos para la conversión a símbolos de OFDM (36) en el dominio temporal, por medio de técnicas estándar de OFDM. La operación de pre-codificación ensancha los símbolos en el dominio temporal antes de correlacionarlos con recursos de tiempo y frecuencia del OFDM. Indicando T como el número de símbolos de OFDM en un TTI, la operación de pre-codificación ensancha los símbolos sobre M TTI consecutivos, de acuerdo con una Transformación Discreta de Fourier, DFT. El número de sub-portadoras en cada símbolo de OFDM, N, permanece invariable. La naturaleza de la DFT de la operación de pre-codificación da como resultado un patrón periódico de símbolos aparentes en el dominio temporal para cada una de las sub-portadoras, lo que es indeseable en presencia de interferencia desde otras agrupaciones. La posterior operación de cifrado destruye este patrón periódico de acuerdo con un patrón de aleatorización pseudo-aleatorio, que es característico de la agrupación de coordinación. Distintas agrupaciones tendrán distintos patrones de aleatorización. Esto destruirá las repeticiones observables provocadas por la operación de ensanchamiento (32) y protegerá las transmisiones ante interferencias desde otras agrupaciones.

Esta operación de pre-codificación propuesta es invertible. De tal modo, en el sector receptor, el procedimiento de pre-codificación propuesto puede ser deshecho y, como resultado de este deshacer, se obtiene que las señales de interferencia desde celdas vecinas dentro de la agrupación sean ortogonales a la señal deseada. Al mismo tiempo, las interferencias desde otras celdas pertenecientes a otras agrupaciones, y desde celdas no coordinadas, aparecen como ruido aleatorio, mientras que la señal deseada es recibida con una SNR reforzada.

En la primera etapa para reducir la interferencia inter-celular, realizada en la estación base, se genera (31) el patrón pseudo-aleatorio. Cada celda dentro de la agrupación está caracterizada por este patrón de coordinación pseudo-aleatorio, que se escoge antes de cualquier operación de pre-codificación. El patrón de coordinación para una transmisión que ocupa N sub-portadoras comprende N números enteros, entre 0 y M-1, que corresponden a desplazamientos temporales a aplicar a los símbolos complejos de banda base (30), como parte de la operación de ensanchamiento por DFT (32):

$$45 \quad Célula_j \rightarrow \{k_i^j \in [0, M - 1], \forall i = 0, \dots, N - 1\} = \{k_0^j, k_1^j, \dots, k_{N-1}^j\},$$

en la que k_i^j representa un desplazamiento temporal entero a aplicar por parte de la celda j en la sub-portadora i, y N es el número de sub-portadoras asignadas para la transmisión. Las celdas pertenecientes a la misma agrupación de coordinación están caracterizadas por patrones de coordinación ortogonales, de manera tal que los desplazamientos temporales para cada sub-portadora sean distintos en las dos celdas:

$$50 \quad (Célula_n, Célula_m) \in agrupación \Rightarrow k_i^n \neq k_i^m \forall n \neq m, i = 0, \dots, N - 1$$

Las celdas pertenecientes a una agrupación de tamaño M tienen que acordar el patrón de coordinación a usar por parte de cada celda. Hay M^N posibles patrones de coordinación dentro de una agrupación de tamaño M. Sin

embargo, no todos ellos son ortogonales y, una vez que un patrón es escogido por una primera celda en la agrupación, habrá $(M - 1)^N$ patrones restantes que son ortogonales al primero. Después de que una segunda celda selecciona uno de estos patrones restantes, habrá $(M - 2)^N$ patrones ortogonales para que escoja la tercera celda, y este procedimiento puede continuar hasta que la última celda en la agrupación escoja el único patrón ortogonal todavía disponible en la agrupación.

Por lo tanto, puede ser ideado un mecanismo de modo que las celdas en la agrupación seleccionen secuencialmente patrones ortogonales, desde una primera celda hasta una última celda (en cualquier orden específico). La selección de patrones puede estar basada en el identificador de celda física (ID) de una de las celdas en la agrupación, o en cualquier otra estrategia, siempre que produzca distintos patrones ortogonales para distintas celdas. Dado el enorme número de posibles secuencias, la probabilidad de que dos celdas pertenecientes a distintas agrupaciones escojan el mismo patrón es despreciable.

Como ejemplo, en el caso en que la agrupación de coordinación tiene longitud $M = 4$ y hay solamente $N = 4$ sub-portadoras asignadas para la transmisión, omitiendo el índice j de celda, un posible conjunto de desplazamientos temporales a aplicar para una celda dada puede ser:

$$\{k_i\} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 1 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 3 \\ 1 \\ 2 \\ 2 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 2 \\ 3 \\ 1 \\ 3 \end{pmatrix}$$

Sin embargo, existen muchas otras posibilidades, manteniendo a la vez la misma elección para la primera celda, p. ej.:

$$\{k_i\} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 2 \\ 2 \\ 2 \\ 2 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 3 \\ 3 \\ 3 \\ 3 \end{pmatrix}$$

La selección puede basarse en las identidades celulares de cualquiera de las celdas dentro de la agrupación, o en cualquier otro criterio. Dada la naturaleza semi-estática de la coordinación de recursos, la selección puede ser realizada de manera centralizada por cualquier entidad de red adecuada, como, p. ej., el Sistema de Soporte de Operaciones, OSS, u otras entidades similares.

Surge un problema cuando distintas transmisiones en una celda ocupan distintos conjuntos de sub-portadoras. En este caso, debe haber tantos patrones pseudo-aleatorios distintos como transmisiones planificadas en un TTI dado, cada una de ellas con números posiblemente distintos de sub-portadoras, complicando de ese modo la selección de patrones. Por lo tanto, es más cómodo considerar N como el número de sub-portadoras en el ancho de banda entero del sistema, de modo que las transmisiones se sometan a patrones pseudo-aleatorios que dependen solamente de los índices de sub-portadora en el dominio de la frecuencia. Esto está ilustrado en la Figura 4 con un ejemplo de cuatro usuarios en un TTI dado, cuyas transmisiones están ensanchadas a lo largo de M TTI, con un patrón pseudo-aleatorio determinado unívocamente por los índices de sub-portadora para cada uno de los usuarios.

Las sub-portadoras planificadas para un usuario dado podrían estar localizadas, o bien distribuidas en el dominio de la frecuencia y, en cualquier caso, las transmisiones desde distintas celdas se mantendrán ortogonales, siempre que los patrones de coordinación sean ortogonales por todo el ancho de banda del sistema. Además, las transmisiones desde distintas celdas dentro de una agrupación no requieren estar alineadas en el dominio de la frecuencia. La Figura 5 ilustra este punto, donde dos celdas pertenecientes a la misma agrupación se mantendrán ortogonales, siempre que los patrones pseudo-aleatorios k_i y k'_i tengan valores distintos para todas las sub-portadoras $i = 0, 1, \dots, N-1$, independientemente de la desalineación de sus respectivas transmisiones en el dominio de la frecuencia.

La operación de ensanchamiento por DFT (32), ilustrada en la Figura 6, adopta la siguiente forma, omitiendo el índice de celda para facilitar la notación:

$$b[i, m] = M \sum_{n=0}^{T-1} a[i, n] \exp[-j2\pi(Mn + k_i) \cdot m / (M \cdot T)]$$

en la que $a[i, n]$ indica los símbolos complejos de banda base antes del ensanchamiento, $b[i, m]$ indica los

símbolos complejos ensanchados, k_i son números enteros que comprenden el patrón de coordinación, con $0 \leq k_i \leq M - 1$, y los índices i, m están dados por $i = 0, \dots, N - 1$, $m = 0, \dots, M \cdot T - 1$. El ensanchamiento adopta la forma de una DFT de longitud $M \cdot T$ de las muestras complejas de banda base, después de la correlación con posiciones periódicas en el dominio temporal, con periodo M y desplazamientos dados por $\{k_i\}$ para cada sub-portadora i . Esta operación puede ser realizada sin recurrir al uso de Transformaciones Rápidas de Fourier (FFT), dada la pequeña longitud T (p. ej., igual a 14 en LTE) que lleva a cálculos de baja complejidad. Los símbolos de información $a[i, n]$ son primero correlacionados (61) con cada M -ésima sub-portadora (dejando $M-1$ nulos entre cada par de sub-portadoras consecutivas no nulas) y luego transformados por DFT (62) sobre los M TTI. En la figura, los recursos de tiempo y frecuencia con transmisión no nula están marcados con una "x", mientras que los recursos con transmisiones nulas están marcados con un "0". Antes de la DFT, esta señal está concentrada en solamente $1/M$ -ésima parte de las sub-portadoras disponibles, por lo que la densidad espectral de la potencia puede ser aumentada en un factor M sin cambiar la potencia transmisora global (de allí el factor M en la ecuación anterior). El patrón de coordinación $\{k_i\}$ determina los desplazamientos temporales a aplicar en cada sub-portadora i . Después de la DFT, la densidad espectral se reducirá, porque la energía estará dispersa sobre los M TTI. Este hecho reducirá la interferencia hacia otras celdas. En el sector receptor, la operación de ensanchamiento puede ser deshecha aplicando la siguiente transformación de DFT inversa:

$$\hat{a}[i, n] = \sum_{m=0}^{M \cdot T - 1} b[i, m] \exp[j2\pi(Mn + k_i) \cdot m / (M \cdot T)] = M \cdot a[i, n]$$

que lleva a los símbolos de información original estimados $\hat{a}[i, n]$, con la SNR mejorada en un factor M .

La operación de ensanchamiento por DFT (32) dispersa los símbolos complejos sobre M TTI consecutivos para cada sub-portadora, apareciendo como M periodos de una secuencia compleja de símbolos con periodo T para cada sub-portadora. Este patrón de repetición es indeseable porque también será aplicable a cualquier interferencia desde una celda perteneciente a una agrupación distinta, y la interferencia será así reforzada después del des-ensanchamiento de la señal tras la recepción. La operación de cifrado (34) descrita más adelante destruye esta periodicidad a fin de minimizar la interferencia entre agrupaciones.

Después de la operación de ensanchamiento, una operación de cifrado (34) es realizada por la estación base sobre los símbolos complejos resultantes, antes de la correlación (35) con recursos de OFDM, a fin de destruir el patrón de repetición observado en el dominio temporal para cada sub-portadora. Un cifrador en la estación base transforma los símbolos en una secuencia aparentemente aleatoria que solamente sería invertible dentro de la agrupación de coordinación, apareciendo por tanto como secuencias aleatorias fuera de ella. La Figura 7 ilustra las etapas de un posible procedimiento de cifrado (34).

Muchas posibilidades pueden ser identificadas para la operación de cifrado (34). Como ejemplo, puede comprender un intercalador (72) seguido por una etapa de rotación de fase (74) a fin de aleatorizar los símbolos complejos. La operación de intercalación (72) puede ser cualquier permutación invertible de índices, de acuerdo con la expresión:

$$\{m\} \xrightarrow{\text{intercalación}} \{o(i, m)\},$$

en la que m y $o(i, m)$ serán números enteros entre 0 y $M \cdot T - 1$.

Para esta intercalación (72), previamente, la estación base genera (71) un patrón intercalador $o(i, m)$ que depende del tamaño (M) de la agrupación y del identificador (i) de agrupación, produciendo así distintos patrones de intercalación para cada una de las agrupaciones.

Los símbolos complejos resultantes de banda base $b[i, m']$, por lo tanto, se obtienen por:

$$b[i, m'] = b[i, o(i, m)],$$

en la que $m' = o(i, m)$ son números enteros entre 0 y $M \cdot T - 1$.

La etapa de rotación de fase (74) aplica luego una secuencia pseudo-aleatoria conocida de rotaciones de fase $\phi[i, m]$ a fin de destruir cualquier correlación entre los símbolos complejos, produciendo de tal modo los símbolos

cifrados $c[i, m']$:

$$c[i, m'] = b[i, o(i, m)] \exp(j\phi[i, m']).$$

Un patrón de rotación de fase $\varphi[i, m]$ es generado (73) por la estación base, siendo también dependiente del identificador (l) de agrupación y del tamaño (M) de agrupación.

Las rotaciones serán deshechas en el receptor aplicando las fases negativas $-\varphi[i, m]$. La operación de desintercalación en el sector receptor puede recuperar los índices originales a partir de los intercalados,

5 $o^{-1}(o(i, m)) = m$ y, por lo tanto:

$$\hat{b}[i, m] = c[i, o^{-1}(i, m')] \exp(-j\varphi[i, o^{-1}(i, m')])$$

en la que $\hat{b}[i, m]$ son los símbolos complejos estimados después de deshacer dicha operación de cifrado.

10 El intercalador (72) acepta los símbolos complejos ensanchados (70) desde el anterior bloque de ensanchamiento por DFT (32) como entrada, y aplica el patrón de intercalación $o(i, m)$ en el dominio temporal. Una rotación de fase (74) se aplica sobre los símbolos intercalados, produciendo así los símbolos complejos cifrados (75) a correlacionar con recursos de tiempo y frecuencia de OFDM.

Otras operaciones de cifrado también son posibles, según las necesidades de implementación, siempre que reduzcan significativamente las correlaciones entre los símbolos complejos que resultan de la operación de ensanchamiento por DFT en el dominio temporal.

15 El cifrado, según se ha mostrado anteriormente, desempeñará el papel de "blanqueo" de las secuencias de símbolos complejos antes de la correlación con recursos de tiempo y frecuencia, apareciendo por tanto como ruido aleatorio. Con referencia a la Figura 7, distintas agrupaciones de coordinación estarán caracterizadas por distintos patrones de intercalación $o(i, m)$ y rotaciones de fase $\varphi[i, m]$, mientras que todas las celdas dentro de una agrupación realizarán idénticas operaciones de cifrado. Esto preserva la ortogonalidad de las transmisiones dentro de la agrupación, mientras que las transmisiones desde otras agrupaciones aparecerán como ruido aleatorio y no presentarán una concentración significativa de energía después del des-ensanchamiento. De manera similar, la interferencia desde celdas no coordinadas aparecerá como ruido aleatorio en el receptor.

Cuando una señal deseada desde una celda dentro de una agrupación de coordinación es recibida por un usuario, y si la señal está corrompida por la interferencia desde otra celda, pueden surgir varias situaciones:

- 25
- Si la señal interferente viene desde otra celda perteneciente a la misma agrupación de coordinación, estará caracterizada por un procedimiento similar de ensanchamiento, pero distintos patrones de coordinación $\{k'_i\}$. Si ambos conjuntos de patrones de coordinación $\{k_i\}$ y $\{k'_i\}$ son ortogonales, los símbolos recibidos aparecerán en posiciones no solapadas en el dominio temporal después del des-ensanchamiento, evitando por lo tanto la interferencia.

30

 - Si la señal interferente viene desde otra celda perteneciente a una agrupación de coordinación distinta, después de deshacer las operaciones de cifrado y ensanchamiento, la interferencia aparecerá como ruido aleatorio sobre los M TTI, mientras que la SNR de la señal deseada será amplificada en un factor M. La interferencia desde otras agrupaciones, por lo tanto, será menos dañina que en las técnicas de la tecnología anterior, en un factor igual a $10 \log M$ dB en promedio.

35

 - Si la señal interferente viene desde otra celda no perteneciente a ninguna agrupación de coordinación, la operación de des-ensanchamiento en el sector receptor reforzará la SNR de la señal deseada, pero la interferencia quedará como ruido aleatorio, limitando así su influencia.

40 Estos posibles casos de aplicación subrayan una diferencia fundamental de la invención en comparación con otras técnicas de la tecnología anterior. La presente invención introduce un mecanismo para hacer ortogonales las transmisiones dentro de una agrupación de coordinación, protegiendo simultáneamente la señal deseada ante interferencias desde otras agrupaciones, o incluso desde otras celdas no coordinadas. Por tanto, el efecto de la interferencia entre agrupaciones no es tan significativo como en las técnicas de la tecnología anterior. Además, la SNR aumentada de la señal deseada no creará interferencia aumentada hacia las celdas fuera de la agrupación de coordinación, porque la operación de ensanchamiento por DFT dispersa la energía sobre M TTI y evita una densidad espectral de energía aumentada en receptores no previstos.

45 La factibilidad de la técnica propuesta en grandes agrupaciones está asegurada aumentando sencillamente el tamaño M de la agrupación de coordinación, al precio de una latencia aumentada y una velocidad de bits reducida. En general, será posible hallar un equilibrio entre las velocidades de datos, la latencia y las capacidades de coordinación, que da el tamaño óptimo de agrupación para cada situación.

50 La coordinación de las celdas dentro de una agrupación no implica que todas las transmisiones deben ser conformes al procedimiento de pre-codificación propuesto. Solamente aquellas transmisiones concebidas para usuarios de frontera celular son candidatas para el mecanismo propuesto en esta invención. El planificador dentro de cada estación base es responsable de aplicarlo o no, según la disponibilidad de recursos y otros factores fuera del ámbito de la presente invención. Esto está ilustrado en la Figura 8, donde los usuarios en buenas condiciones de

radio pueden ser servidos con menor potencia de transmisión, en comparación con los usuarios de frontera celular. Estos últimos se someten al mecanismo de pre-codificación propuesto y, observando los patrones de coordinación de cada celda como una función del índice de sub-portadora, las transmisiones desde distintas celdas se mantienen ortogonales en las frecuencias solapadas, independientemente de las fronteras efectivas entre los recursos asignados.

Al aplicar la técnica de pre-codificación propuesta, las estaciones base también pueden enviar una indicación de control a los usuarios, notificando la estructura específica empleada para la transmisión, incluyendo información implicada, tal como el tamaño (M) de la agrupación de coordinación, el patrón pseudo-aleatorio y el patrón de aleatorización en uso. Esta indicación de control está fuera del ámbito de esta invención.

10 La Figura 9 ilustra una realización ejemplar para la invención propuesta, a implementar en una estación base (p. ej., un eNodoB de LTE) perteneciente a una agrupación de coordinación. La estación base propuesta (91), para la cual han de coordinarse las transmisiones dentro de la agrupación de coordinación, comprende un primer generador (92) del patrón de coordinación a usar para la operación de ensanchamiento, de acuerdo con el tamaño (M) de la agrupación, el identificador (I) de la agrupación y el identificador de celda (ID), según lo configurado por el OSS. El
15 identificador de agrupación puede ser cualquier convención adecuada que identifique las agrupaciones sobre un área de despliegue dada. La estación base propuesta (91) comprende además un segundo generador (93) que genera el patrón de aleatorización a usar por parte de todas las celdas en la agrupación para la operación de cifrado. La operación de cifrado también depende del tamaño de la agrupación y del identificador de la agrupación. Una operación de ensanchamiento por DFT sobre los símbolos complejos de información (S) es realizada por un
20 ensanchador (94) y un cifrador (95) aplica la operación de cifrado, dando así como resultado un conjunto de símbolos complejos a proteger ante la interferencia, de acuerdo con los principios descritos en la invención. Finalmente, se realiza una correlación (96) de los símbolos con M bloques de TTI consecutivos, dando así como resultado los símbolos pre-codificados (PS) complejos a transmitir.

25 La Figura 10 ilustra otra realización para la aplicación de la invención propuesta en un dispositivo de usuario. El equipo de usuario (101) recibe primero información adecuada de señalización con respecto al patrón de coordinación (110) y los patrones de aleatorización (111) en uso, así como el tamaño (M) de la agrupación. Esta información de control puede ser recibida por medio de canales adecuados de control o difusión desde la estación base. Con esta información, el equipo de usuario (101) realiza primero una operación de de-correlación (102), en la que los símbolos complejos (100) de M TTI consecutivos son recogidos para cada una de las sub-portadoras. Se
30 realiza luego una operación de descifrado (103) que reduce la interferencia desde otras agrupaciones o celdas no coordinadas, seguida por una operación de des-ensanchamiento por DFT (104) que elimina la interferencia interior a la agrupación, dando así como resultado los símbolos complejos de información (105) que fueron transmitidos.

Las realizaciones propuestas pueden ser implementadas como una colección de elementos de software, elementos de hardware, elementos de firmware o cualquier combinación adecuada de los mismos.

35 Obsérvese que, en este texto, el término “comprende” y sus derivaciones (tales como “comprendiendo”, etc.) no deben ser entendidos en un sentido excluyente, es decir, estos términos no deben ser interpretados como excluyentes de la posibilidad de que lo que se describe y define pueda incluir elementos, etapas, etc., adicionales.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento para reducir interferencias en redes inalámbricas de Multiplexado por División Ortogonal de Frecuencia, comprendiendo el procedimiento:

5 - transmitir un número N de sub-portadoras y un número T de símbolos complejos en un intervalo de transmisión temporal, desde múltiples estaciones base de una red de Multiplexado por División Ortogonal de Frecuencia;

y estando el procedimiento **caracterizado por** comprender adicionalmente:

10 - agrupar una pluralidad de celdas, a la cual pertenece un equipo de usuario en comunicación con al menos una de las múltiples estaciones base, en agrupaciones de coordinación, definidas como conjuntos no solapados de celdas, en el que cada agrupación comprende un cierto número de celdas cuyas transmisiones están sincronizadas en el dominio temporal;

- generar (31), para cada una de las agrupaciones de coordinación, un conjunto de patrones de coordinación pseudo-aleatorios $\{k_i^n; i = 0, \dots, N - 1; n = 0, \dots, M - 1\}$, en la que k_i^n son números enteros entre 0 y M-1, M es el número de celdas en la agrupación de coordinación, N es el número de sub-portadoras, n es un identificador de celda dentro de la agrupación de coordinación y $k_i^n \neq k_i^m \forall n \neq m, i = 0, \dots, N - 1$;

15 - generar (32), para cada una de las agrupaciones de coordinación, un patrón de aleatorización, común para todas las celdas dentro de la agrupación de coordinación, comprendiendo el patrón de aleatorización una transformación invertible de los símbolos complejos en el dominio temporal, a lo largo de M intervalos consecutivos de tiempos de transmisión para cada sub-portadora;

20 - aplicar, por cada celda dentro de la agrupación de coordinación, una operación de ensanchamiento (32) de los símbolos complejos sobre M intervalos consecutivos de tiempos de transmisión para cada sub-portadora, de acuerdo con la expresión:

$$b[i, m] = M \sum_{n=0}^{T-1} a[i, n] \exp[-j2\pi(Mn + k_i) \cdot m / (M \cdot T)]$$

25 en la que $a[i, n]$ indica los símbolos complejos antes de la operación de ensanchamiento (32), $b[i, m]$ indica los símbolos complejos después de la operación de ensanchamiento (32), k_i son números enteros que comprenden el patrón de coordinación de la celda, con $0 \leq k_i \leq M - 1$, e i, m son índices dados por $i = 0, \dots, N - 1$, $m = 0, \dots, T \cdot M - 1$;

30 - aplicar, por cada celda dentro de la agrupación de coordinación, una operación de cifrado invertible (34) de los símbolos complejos ensanchados $b[i, m]$ sobre M intervalos consecutivos de tiempos de transmisión en el dominio temporal para cada sub-portadora, estando la operación de cifrado (34) dada por el patrón de aleatorización y siendo común para todas las celdas dentro de la agrupación de coordinación; y

- correlacionar (35) los símbolos complejos cifrados con todas las N sub-portadoras en el dominio de la frecuencia y los M intervalos consecutivos de tiempos de transmisión en el dominio temporal, obteniendo símbolos complejos pre-codificados después de la operación de ensanchamiento (32) y la operación de cifrado (34), que están correlacionados con M·T recursos consecutivos en el dominio temporal para cada sub-portadora.

35 2. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el patrón de aleatorización comprende una transformación invertible de los símbolos complejos, que es seleccionada entre permutaciones, rotaciones de fase y cualquier transformación invertible en el dominio temporal, de acuerdo con un patrón pseudo-aleatorio.

40 3. El procedimiento de acuerdo con cualquier reivindicación precedente, en el que la operación de cifrado (34) comprende un patrón intercalador $o(i, m)$ y un patrón de rotación de fase $\varphi[i, m]$, que dependen de la agrupación de coordinación, de acuerdo con la siguiente expresión:

$$c[i, m'] = b[i, o(i, m)] \exp(j\varphi[i, m'])$$

en la que m y $o(i, m)$ son números enteros entre 0 y $M \cdot T - 1$, $i = 0, \dots, N - 1$, $b[i, m]$ son los símbolos complejos después de la operación de ensanchamiento (32), $m' = o(i, m)$ y $c[i, m']$ son los símbolos complejos después de la operación de cifrado (34).

45 4. El procedimiento de acuerdo con cualquier reivindicación precedente, en el que agrupar la pluralidad de celdas en agrupaciones de coordinación comprende:

- seleccionar un primer patrón de coordinación pseudo-aleatorio k_i^0 para ser aplicado por una primera celda entre la pluralidad de celdas;
- seleccionar un segundo patrón de coordinación pseudo-aleatorio k_i^1 para ser aplicado por una segunda celda entre la pluralidad de celdas, siendo $k_i^0 \neq k_i^1 \forall i = 0, \dots, N-1$;
- 5 - repetir las dos etapas anteriores de generación de un patrón de coordinación pseudo-aleatorio para las celdas restantes en la agrupación de coordinación, cumpliendo el patrón de coordinación pseudo-aleatorio k_i^n seleccionado para la celda $n < M-1$ la relación: $k_i^n \neq k_i^m \forall m < n, i = 0, \dots, N-1$.

10 5. El procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la generación (31) del conjunto de patrones de coordinación pseudo-aleatorios depende de las identidades celulares de las celdas de la agrupación de coordinación.

15 6. El procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende adicionalmente enviar una indicación de control desde las estaciones base al equipo de usuario que pertenece a cualquiera de las celdas de la agrupación de coordinación, conteniendo la indicación de control información acerca del tamaño M de la agrupación de coordinación, cada patrón de coordinación pseudo-aleatorio $\{k_i^n; i = 0, \dots, N-1\}$ generado y el patrón de aleatorización generado usado por la celda a la cual pertenece el equipo de usuario.

7. El procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende adicionalmente aplicar, por parte del equipo de usuario, la siguiente transformación inversa para deshacer la operación de cifrado (34):

$$\hat{b}[i, m] = c[i, o^{-1}(i, m')] \exp(-j\varphi[i, o^{-1}(i, m')])$$

20 en la que $o^{-1}(i, m)$ indica la inversa de dicho patrón intercalador, $\hat{b}[i, m]$ son los símbolos complejos estimados después de deshacer la operación de cifrado (34), $m' = o(i, m)$ y $c[i, m]$ son símbolos complejos recibidos por el equipo de usuario.

25 8. Un procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende adicionalmente aplicar, por parte del equipo de usuario, la siguiente transformación inversa para obtener los símbolos complejos estimados $\hat{a}[i, n]$ después de deshacer la operación de ensanchamiento (32) con una razón entre señal y ruido mejorada en un factor M:

$$\hat{a}[i, n] = \sum_{m=0}^{M \cdot T - 1} b[i, m] \exp[j2\pi(Mn + k_i) \cdot m / (M \cdot T)]$$

en la que $\hat{b}[i, m]$ son los símbolos complejos estimados después de deshacer la operación de cifrado (32).

30 9. Un sistema para reducir interferencias en redes inalámbricas de Multiplexado por División Ortogonal de Frecuencia, que comprende al menos un equipo de usuario (101) y una pluralidad de estaciones base (91) pertenecientes a múltiples celdas, en el que las transmisiones desde la pluralidad de estaciones base (91) comprenden N sub-portadoras y T símbolos en un intervalo de transmisión temporal; estando el sistema **caracterizado porque** la pluralidad de estaciones base (91) comprenden:

- 35 - un generador (92) de agrupaciones de coordinación para agrupar las múltiples celdas en agrupaciones de coordinación, definidas como conjuntos no solapados de celdas, en el que cada agrupación comprende un cierto número de celdas, cuyas transmisiones están sincronizadas en el dominio temporal, y para seleccionar un conjunto de patrones de coordinación pseudo-aleatorios $\{k_i^n; i = 0, \dots, N-1; n = 0, \dots, M-1\}$, en la que k_i^n son números enteros entre 0 y M-1, M es el número de celdas en la agrupación de coordinación, N es el número de sub-portadoras, n es un identificador de celda dentro de la agrupación de coordinación y
- 40 $k_i^n \neq k_i^m \forall n \neq m, i = 0, \dots, N-1$;
- un generador (93) para seleccionar un patrón de aleatorización, para cada agrupación de coordinación generada, siendo el patrón de aleatorización común para todas las celdas dentro de la agrupación de coordinación, y que comprende una transformación invertible de los símbolos complejos en el dominio temporal a

lo largo de M intervalos consecutivos de tiempos de transmisión para cada sub-portadora;

- un ensanchador (94) para aplicar, para cada celda dentro de la agrupación de coordinación, una operación de ensanchamiento (32) de los símbolos complejos sobre M intervalos consecutivos de tiempos de transmisión para cada sub-portadora, de acuerdo con la expresión:

$$b[i, m] = M \sum_{n=0}^{T-1} a[i, n] \exp[-j2\pi(Mn + k_i) \cdot m / (M \cdot T)]$$

en la que $a[i, n]$ indica los símbolos complejos antes de la operación de ensanchamiento (32), $b[i, m]$ indica los símbolos complejos después de la operación de ensanchamiento (32), k_i son números enteros que comprenden el patrón de coordinación de la celda, con $0 \leq k_i \leq M - 1$, e i, m son índices dados por $i = 0, \dots, N - 1$, $m = 0, \dots, T \cdot M - 1$;

- un cifrador (95) para aplicar, para cada celda dentro de la agrupación de coordinación, una operación de cifrado invertible (34) de los símbolos complejos ensanchados $b[i, m]$ sobre M intervalos consecutivos de tiempos de transmisión en el dominio temporal para cada sub-portadora, estando la operación de cifrado (34) dada por el patrón de aleatorización y siendo común para todas las celdas dentro de la agrupación de coordinación;

- medios de correlación (96) para correlacionar (35) los símbolos complejos cifrados con todas las N sub-portadoras en el dominio de la frecuencia y los M intervalos consecutivos de tiempos de transmisión en el dominio temporal, obteniendo símbolos complejos pre-codificados después de la operación de ensanchamiento (32) y la operación de cifrado (34), que están correlacionados con M·T recursos consecutivos en el dominio temporal para cada sub-portadora;

y dicho al menos un equipo de usuario (101) comprende:

- medios de de-correlación para realizar una operación de de-correlación (102) de los símbolos complejos pre-codificados, recibidos por el equipo de usuario (101), a partir de M intervalos consecutivos de tiempos de transmisión, recogidos para cada una de las sub-portadoras de la agrupación de coordinación
- medios de descifrado (103) para aplicar la siguiente transformación inversa, para deshacer la operación de cifrado (34):

$$\hat{b}[i, m] = c[i, o^{-1}(i, m')] \exp(-j\phi[i, o^{-1}(i, m')])$$

en la que $o^{-1}(i, m)$ indica la inversa de dicho patrón intercalador, $\hat{b}[i, m]$ son los símbolos complejos estimados después de deshacer la operación de cifrado (34), $m' = o(i, m)$ y $c[i, m]$ son los símbolos complejos recibidos

- medios de des-ensanchamiento (104) para aplicar la siguiente transformación inversa, para obtener los símbolos complejos estimados $\hat{a}[i, n]$ después de deshacer la operación de ensanchamiento (32), con una razón entre señal y ruido mejorada en un factor M:

$$\hat{a}[i, n] = \sum_{m=0}^{M \cdot T - 1} \hat{b}[i, m] \exp[j2\pi(Mn + k_i) \cdot m / (M \cdot T)]$$

en la que $\hat{b}[i, m]$ son los símbolos complejos estimados después de deshacer la operación de cifrado (32).

10. El sistema de acuerdo con la reivindicación 9, en el que la red inalámbrica de OFDMA es una red inalámbrica de Evolución a Largo Plazo.

11. Una estación base (91) para reducir las interferencias en redes inalámbricas de Multiplexado por División Ortogonal de Frecuencia, que comprende medios de transmisión de un número N de sub-portadoras y un número T de símbolos complejos en un intervalo de transmisión temporal, y **caracterizada por** comprender adicionalmente:

- un generador (92) de agrupaciones de coordinación que son conjuntos no solapados de celdas, en el que cada agrupación comprende un cierto número de celdas, cuyas transmisiones están sincronizadas en el dominio temporal, seleccionando el generador (92) un conjunto de patrones de coordinación pseudo-aleatorios $\{k_i^n; i = 0, \dots, N - 1; n = 0, \dots, M - 1\}$, en la que k_i^n son números enteros entre 0 y M-1, M es el número de celdas en la agrupación de coordinación, N es el número de sub-portadoras, n es un identificador de celda dentro

de la agrupación de coordinación, y $k_i^n \neq k_i^m \forall n \neq m, i = 0, \dots, N-1$;

- un generador (93) para seleccionar un patrón de aleatorización, para cada agrupación de coordinación generada, siendo el patrón de aleatorización común para todas las celdas dentro de la agrupación de coordinación, y que comprende una transformación invertible de los símbolos complejos en el dominio temporal a lo largo de M intervalos consecutivos de tiempos de transmisión para cada sub-portadora;

5 - un ensanchador (94) para aplicar, para cada celda dentro de la agrupación de coordinación, una operación de ensanchamiento (32) de los símbolos complejos sobre M intervalos consecutivos de tiempos de transmisión para cada sub-portadora, de acuerdo con la expresión:

$$b[i, m] = M \sum_{n=0}^{T-1} a[i, n] \exp[-j2\pi(Mn + k_i) \cdot m / (M \cdot T)]$$

10 en la que $a[i, n]$ indica los símbolos complejos antes de la operación de ensanchamiento (32), $b[i, m]$ indica los símbolos complejos después de la operación de ensanchamiento (32), k_i son números enteros que comprenden el patrón de coordinación de la celda, con $0 \leq k_i \leq M-1$, e i, m son índices dados por $i = 0, \dots, N-1, m = 0, \dots, T \cdot M-1$;

- un cifrador (95) para aplicar, para cada celda dentro de la agrupación de coordinación, una operación de cifrado invertible (34) de los símbolos complejos ensanchados $b[i, m]$ sobre M intervalos consecutivos de tiempos de transmisión en el dominio temporal para cada sub-portadora, estando la operación de cifrado (34) dada por el patrón de aleatorización, y siendo común para todas las celdas dentro de la agrupación de coordinación;

15 - medios de correlación (96) para correlacionar (35) los símbolos complejos cifrados con todas las N sub-portadoras en el dominio de la frecuencia y los M intervalos consecutivos de tiempos de transmisión en el dominio temporal, obteniendo símbolos complejos pre-codificados después de la operación de ensanchamiento (32) y la operación de cifrado (34), que están correlacionados con M·T recursos consecutivos en el dominio temporal para cada sub-portadora.

12. La estación base (91) de acuerdo con la reivindicación 11, que es un NodoB mejorado.

13. Un dispositivo de usuario (101) para reducir interferencias en redes inalámbricas de Multiplexado por División Ortogonal de Frecuencia, estando el dispositivo de usuario (101) **caracterizado por** comprender adicionalmente:

- medios de de-correlación para realizar una operación de de-correlación (102) de símbolos complejos pre-codificados, recibidos por el equipo de usuario (101), a partir de M intervalos consecutivos de tiempos de transmisión, recogidos para cada una de las sub-portadoras de una agrupación de coordinación desde una estación base (91);

30 - medios de descifrado (103) para aplicar la siguiente transformación inversa, para deshacer una operación de cifrado (34) realizada por la estación base (91);

$$\hat{b}[i, m] = c[i, o^{-1}(i, m')] \exp(-j\phi[i, o^{-1}(i, m')])$$

en la que $o^{-1}(i, m)$ indica el inverso de dicho patrón intercalador, $\hat{b}[i, m]$ son los símbolos complejos estimados después de deshacer la operación de cifrado (34), $m' = o(i, m)$ y $c[i, m]$ son los símbolos complejos recibidos

35 - medios de des-ensanchamiento (104) para aplicar la siguiente transformación inversa, para obtener los símbolos complejos estimados $\hat{a}[i, n]$ después de deshacer una operación de ensanchamiento (32) realizada por la estación base (91), con una razón entre señal y ruido mejorada en un factor M:

$$\hat{a}[i, n] = \sum_{m=0}^{M \cdot T - 1} \hat{b}[i, m] \exp[j2\pi(Mn + k_i) \cdot m / (M \cdot T)]$$

40 en la que $\hat{b}[i, m]$ son los símbolos complejos estimados después de deshacer la operación de cifrado (32).

14. El dispositivo de usuario (101) de acuerdo con la reivindicación 13, que es un terminal de usuario de LTE.

15. Un producto de programa informático que comprende medios de código de programa que, cuando son cargados en medios de procesamiento de una entidad de red en una red de Multiplexado por División Ortogonal de Frecuencia, hacen que dichos medios de código de programa ejecuten el procedimiento de acuerdo con cualquiera

de las reivindicaciones 1 a 8.

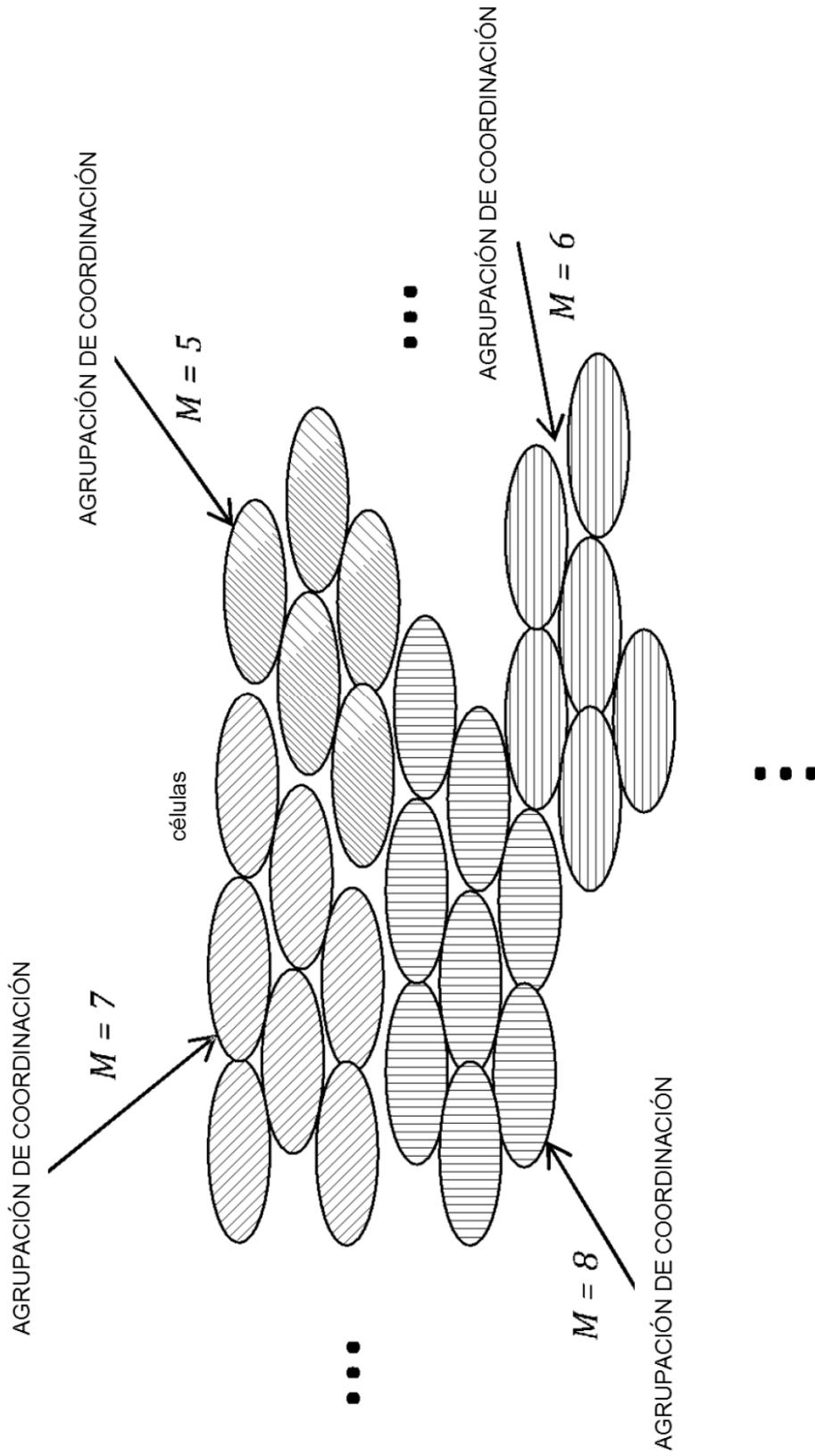


FIG. 1

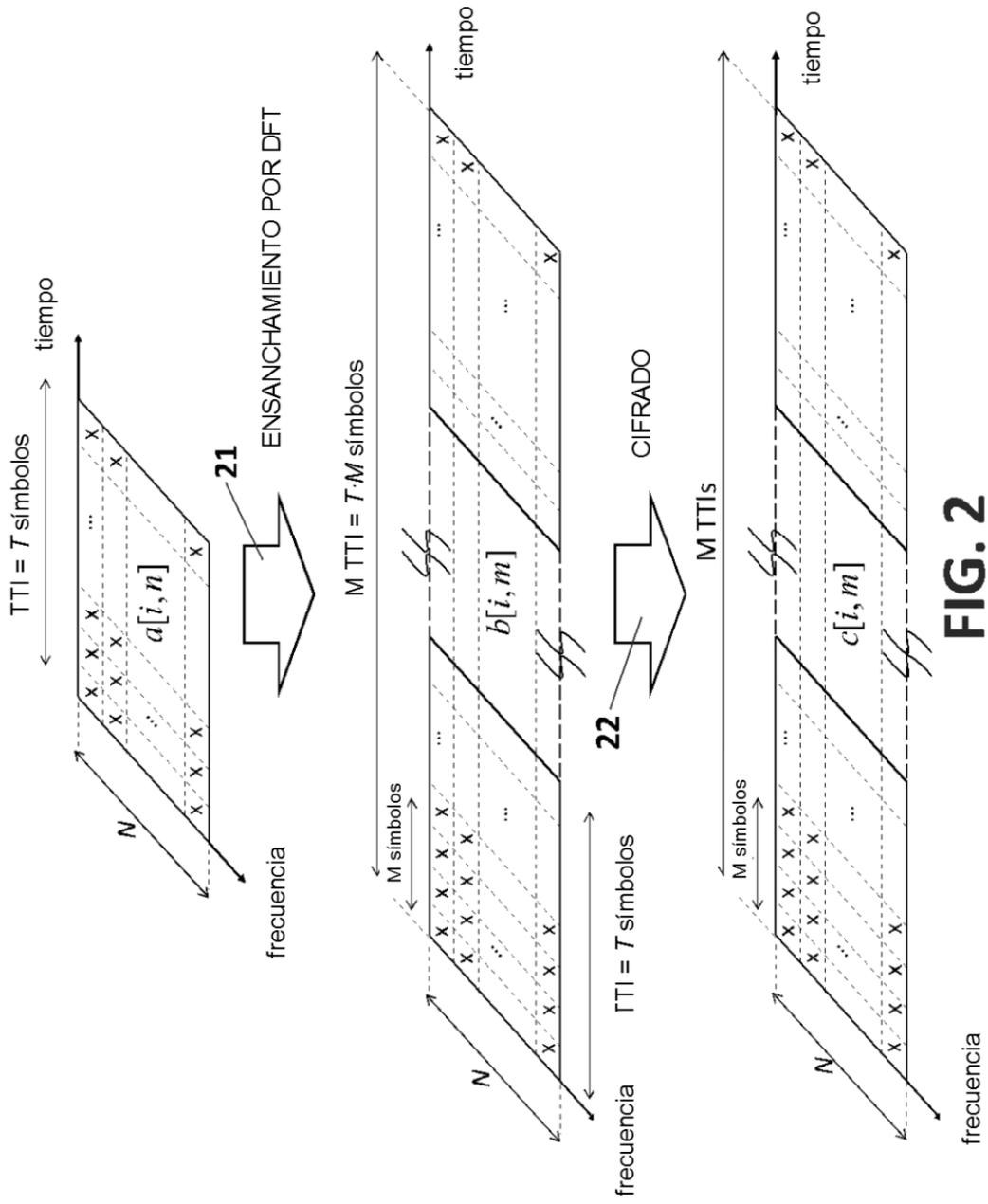


FIG. 2

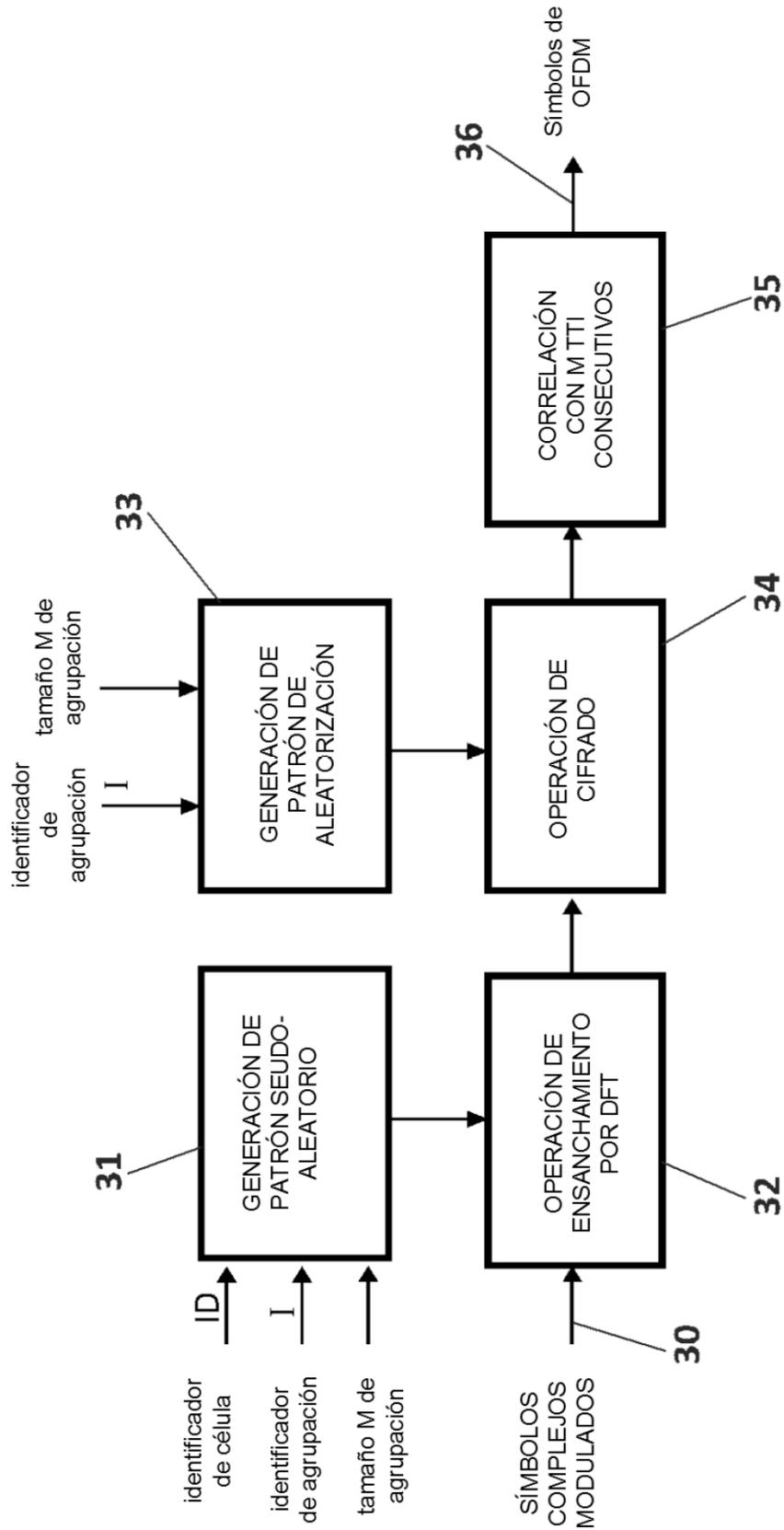


FIG. 3

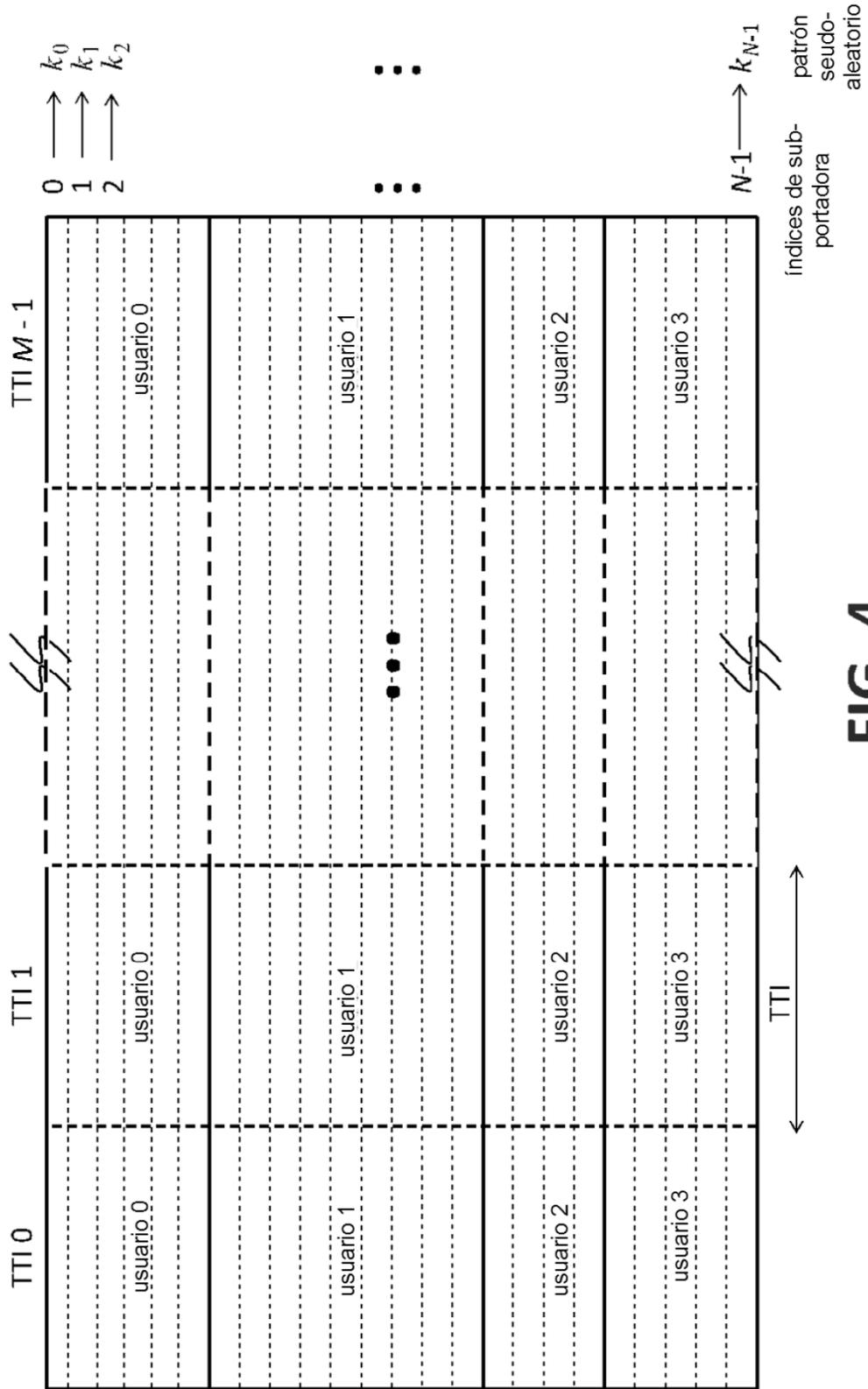


FIG. 4

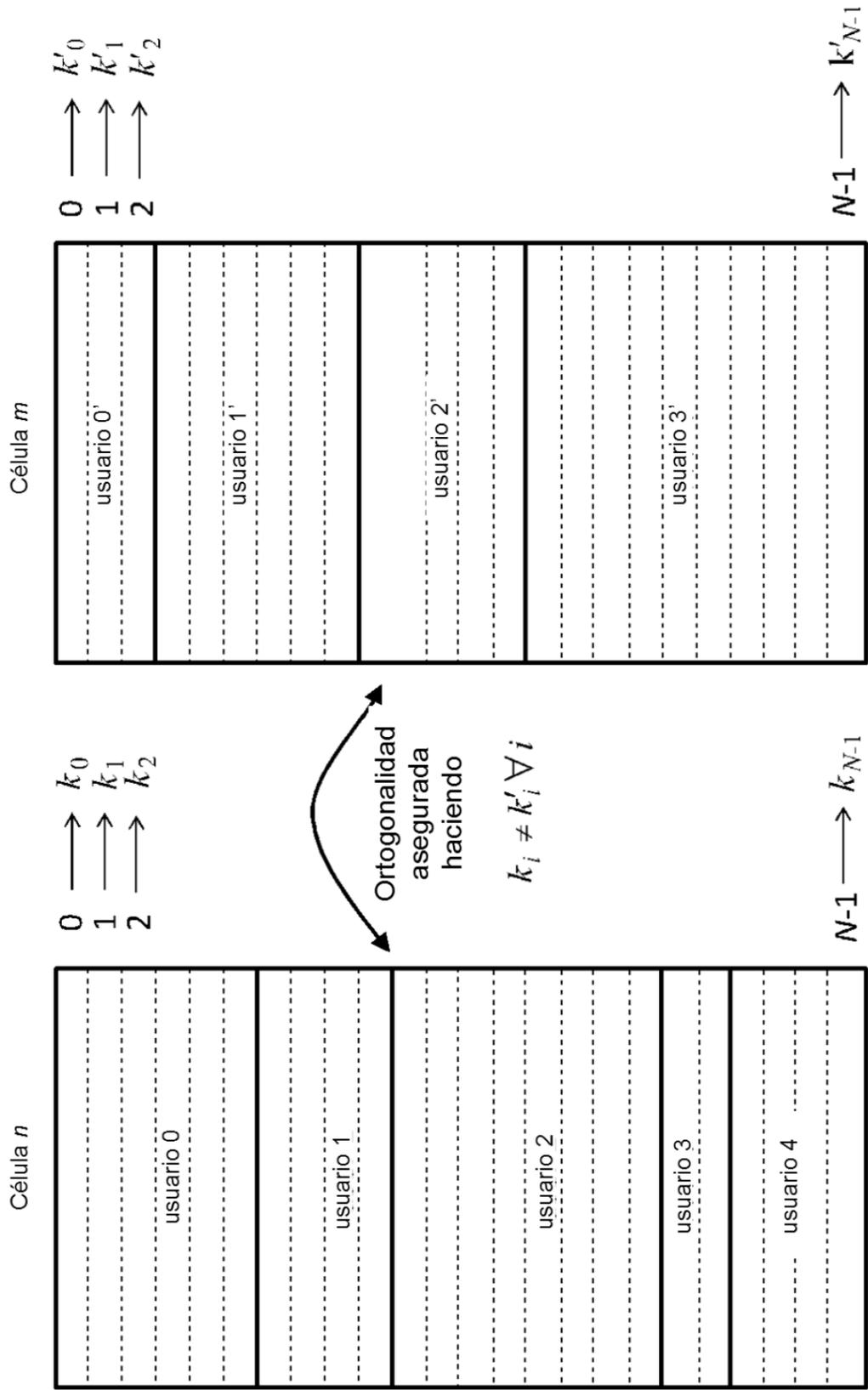


FIG. 5

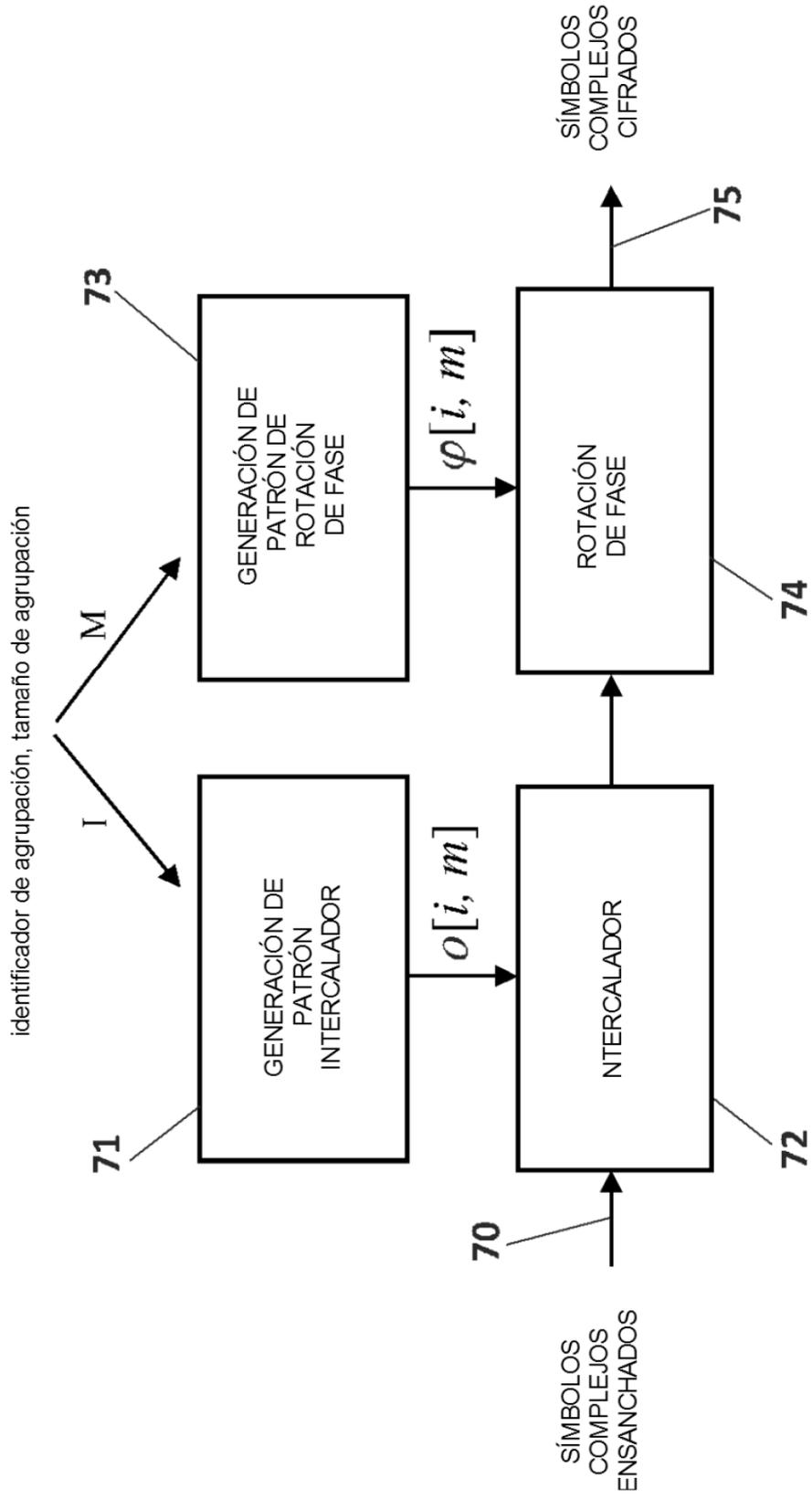


FIG. 7

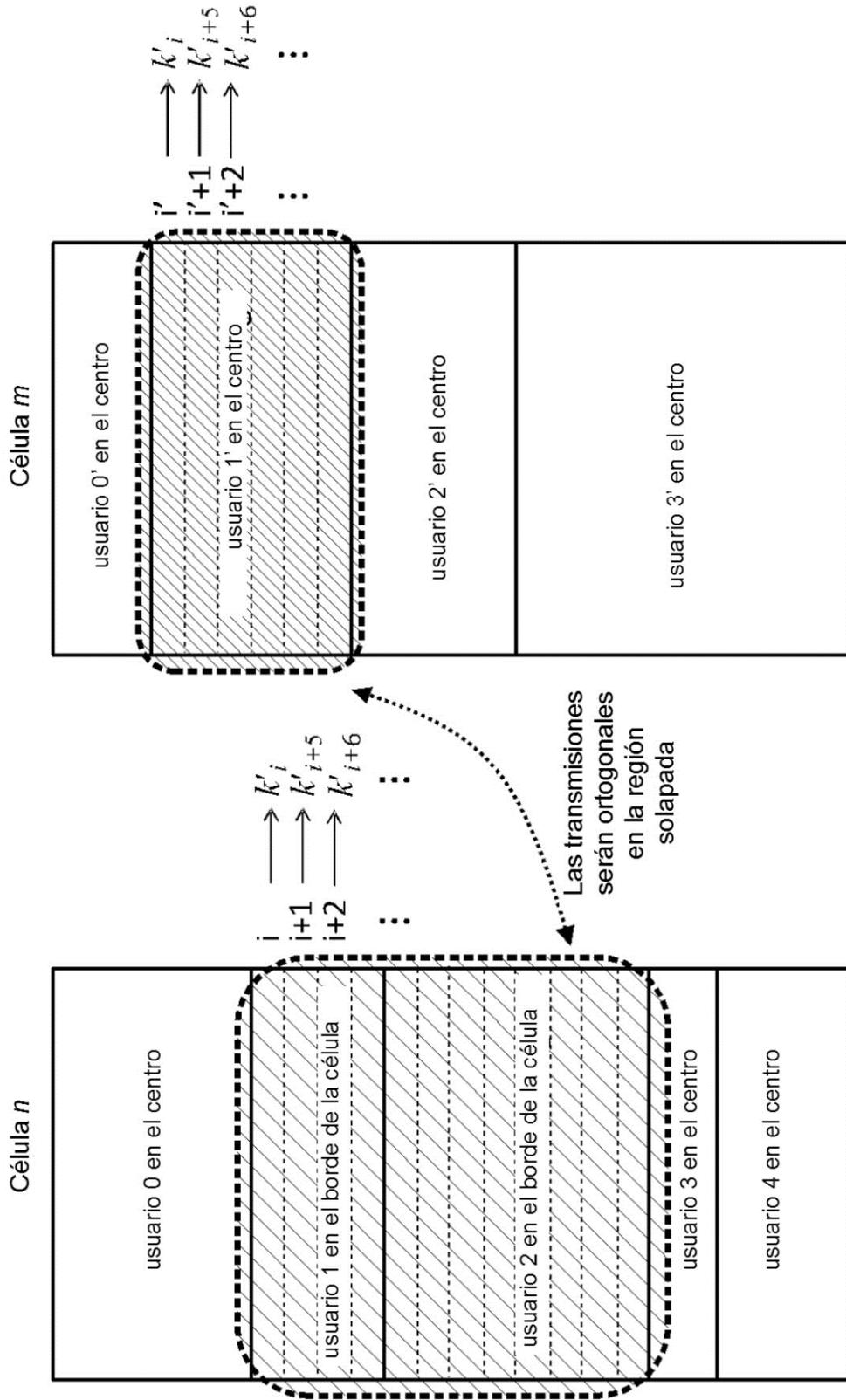
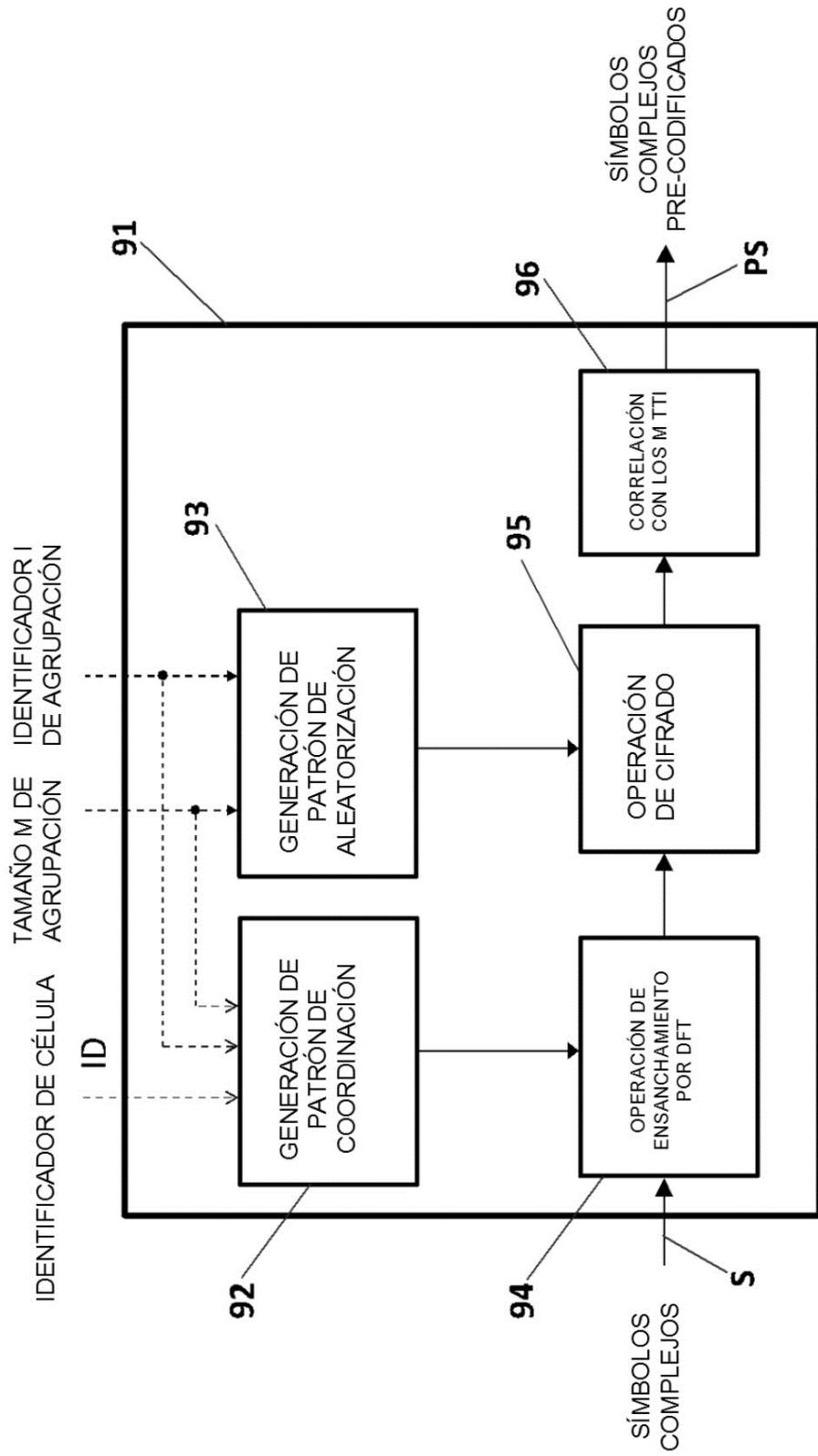


FIG. 8



ESTACIÓN BASE

FIG. 9

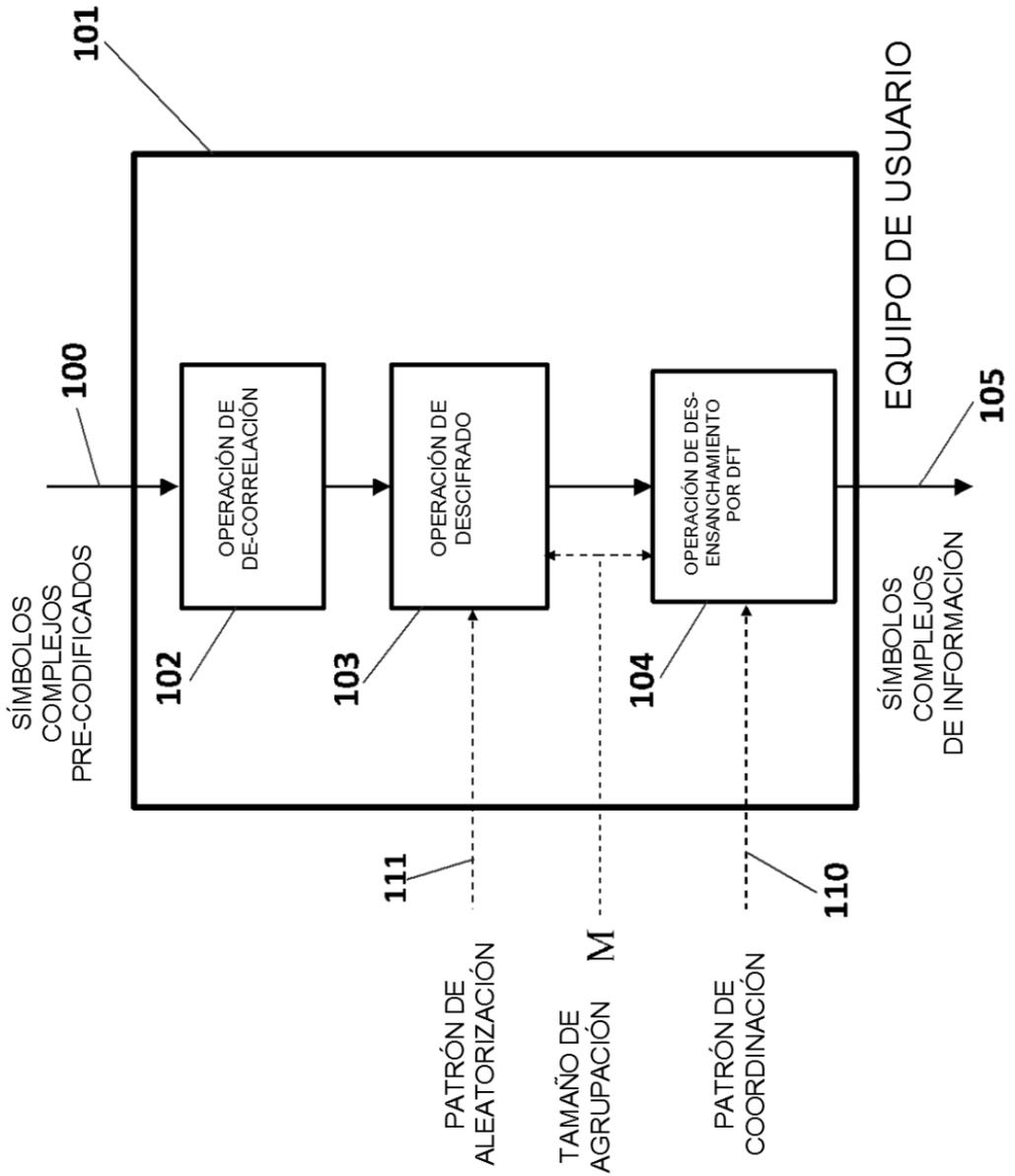


FIG. 10