

PROPUESTA DE UN SISTEMA DE AVISO PÚBLICO SOBRE LA RED MÓVIL DE ETECSA

Lic. José Antonio León Martínez¹, Dr. C René Yañez de la Rivera², Ing. Onelio Michel Delgado Domínguez³

¹Dirección de inversiones, Empresa de Telecomunicaciones de Cuba SA (ETECSA), La Habana, Cuba.

²Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría” Cujae.

³Dirección de Soporte Especializado de la Vicepresidencia de Operaciones, Empresa de Telecomunicaciones de Cuba SA (ETECSA), La Habana, Cuba.

¹e-mail: josea.leon@etecsa.cu

²e-mail: yanez@tele.cujae.edu.cu

³e-mail: onelio.delgado@etecsa.cu

RESUMEN

Cuba enfrenta desafíos crecientes en la gestión de emergencias, desde fenómenos meteorológicos extremos hasta eventos sanitarios. A pesar del reconocimiento internacional del sistema Cell Broadcast como herramienta eficaz para la difusión masiva de alertas en situaciones de emergencia, Cuba aún tiene limitaciones como la imposibilidad de adquisición de tecnología que obstaculizan su implementación. Se plantea la necesidad de implementar un sistema de alertas temprana empleando software libre que utilice la infraestructura de la red celular existente y la tecnología Cell Broadcast.

El presente trabajo propone, a partir del análisis comparativo de dos herramientas de software libre y el desarrollo de esta tecnología en el ámbito global, un sistema de aviso público en Cuba mediante la tecnología Cell Broadcast. Se caracterizó el sistema Cell Broadcast para cada una de las tecnologías móviles existentes. Sobre esta base y haciendo un estudio de las condiciones de la red se realizó la propuesta del sistema para la red de ETECSA utilizando las tecnologías GSM y LTE, y se midió el impacto del recibo de los mensajes enviados. Los resultados obtenidos deben reflejar la efectividad de la implementación de este sistema de aviso público con esta tecnología sobre la red de telecomunicaciones de Cuba.

PALABRAS CLAVES: Cell Broadcast, Cell Broadcast Center, GSM, LTE.

PROPOSAL FOR A PUBLIC NOTIFICATION SYSTEM ON THE ETECSA MOBILE NETWORK

ABSTRACT

Cuba faces increasing challenges in emergency management, from extreme weather events to health crises. Despite the growing international recognition of Cell Broadcast as an effective tool for the mass dissemination of alerts in emergencies, Cuba still faces limitations, such as the inability to acquire the necessary technology, which hinder its implementation. The need arises to implement an early warning system using open-source software, leveraging the existing cellular network infrastructure and Cell Broadcast technology.

This project proposes, based on a comparative analysis of two open-source software tools and the global development of this technology, a public alert system for Cuba using Cell Broadcast technology. The Cell Broadcast system was characterized by each of the existing mobile technologies. Based on this characterization and a study of network conditions, the system was proposed for the ETECSA network using GSM and LTE technologies, and the impact of message reception was measured. The results obtained should reflect the effectiveness of implementing this public alert system with this technology on Cuba's telecommunications network.

INDEX TERMS: Cell Broadcast, Cell Broadcast Center, GSM, LTE.

1. INTRODUCCIÓN

En la era digital actual, la comunicación masiva y efectiva es fundamental para garantizar la seguridad pública y la difusión oportuna de la información crítica. Una de las tecnologías más robustas para este fin es el Cell Broadcast, un sistema de mensajería que permite enviar alertas masivas a todos los dispositivos móviles dentro de una zona geográfica definida, sin depender de infraestructuras centralizadas ni generar congestión en la red [1]. A diferencia de los SMS tradicionales, el Cell Broadcast opera de manera eficiente incluso en situaciones de alta demanda, lo que lo hace ideal para emergencias como desastres naturales, amenazas a la seguridad pública o crisis sanitarias. Su implementación en redes móviles ha cobrado relevancia en los últimos años. Es recomendada por organismos internacionales para sistemas de alerta pública [2], especialmente con la adopción de estándares como 4G LTE y 5G, así como con la integración de sistemas de alerta temprana en diversos países.

En esta investigación se pretende analizar la implementación del Cell Broadcast en la red móvil de ETECSA, evaluando su configuración en las tecnologías GSM y LTE permisible con el software libre seleccionado, entre OsmoCBC y Open5GS, para el diseño de un Cell Broadcast Center. Para llevar a cabo la investigación, se proponen pruebas de envíos de mensajes a través de la red 2G sin Cell Broadcast Center y determinar la compatibilidad del envío de estos mensajes en la tecnología actual de la red de ETECSA. Este proyecto, alineado con los esfuerzos regionales por modernizar los sistemas de alerta [3], permite mejorar la estructura actual del sistema de aviso público implementado por la Defensa Civil de Cuba para situaciones de desastres y contingencias.

A partir de esta necesidad, se presenta el objetivo de la investigación, implementar un sistema de alerta temprana en Cuba utilizando la tecnología Cell broadcast con herramientas de software libre sobre la red celular de ETECSA, para realizar el envío masivo de mensajes de alerta en situaciones de desastres y otras contingencias. Para lograr este objetivo se parte de la hipótesis:

Si se implementa la tecnología Cell Broadcast en segmentos de la red celular de ETECSA, se logra un envío eficiente de alertas tempranas para una determinada cobertura, densidad poblacional e infraestructura local, alertas idóneas para una región afectada por una contingencia.

Esta investigación parte del estudio de los sistemas de avisos que existen a nivel global que, de alguna manera, utilizan la tecnología Cell Broadcast para su implementación. Posteriormente, se estudian los pilares y la estructura funcional del sistema de aviso público en Cuba, además se analizan dos herramientas de software libre y código abierto que están identificadas para proponer el diseño del CBC (*Cell Broadcast Center*) de un sistema de envío de mensajes masivos (OsmoCBC y Open5GS). A partir de este contexto, se implementa una arquitectura que permite el envío de mensajes masivos a través de la arquitectura de red celular en Cuba y se miden los resultados. La propuesta de investigación se distingue por un enfoque profundamente contextual y holístico. Mientras la mayoría de los trabajos que se mencionan a continuación, se centran en un aspecto específico (técnico, social o de políticas), la propuesta intenta unirlos todos en un marco coherente y aplicable a un entorno con desafíos únicos, tomando lecciones de implementaciones a gran escala [4]. Se describen los diferentes enfoques que se tuvieron en cuenta en la investigación:

- **Enfoque en estandarización e implementación:** Estos son documentos de organismos reguladores o informes técnicos que detallan la implementación.

Ejemplo 1: "*The Wireless Emergency Alerts (WEA) Program: Overview and Issues*" (Congressional Research Service, USA).

Aporte: Este informe no es un artículo académico tradicional, es una referencia crucial. Describe la arquitectura, la gobernanza (FEMA, FCC, operadores), los desafíos de implementación y las actualizaciones del sistema (ej., mejoras en la geolocalización). Estudios recientes han extendido este análisis al rendimiento en arquitecturas 5G [5].

Ejemplo 2: "*Japan's J-ALERT System: National Early Warning System*" (Cabinet Office of Japan).

Aporte: Documenta el funcionamiento de uno de los sistemas más rápidos e integrados del mundo, que utiliza CB (*Cell Broadcast*) junto con satélites, sirenas y otros medios para activarse automáticamente tras una alerta sísmica.

- **Enfoque técnico-experimental:** Estos son típicamente artículos de conferencias o revistas de ingeniería.

Ejemplo 1: "*Performance Analysis of Cell Broadcast for Public Warning in the Netherlands*" (Autores: J. O. et al., conferencia IEEE).

Aporte: Este trabajo evalúa experimentalmente el rendimiento del CB (tiempos de entrega) en una red LTE real durante una prueba nacional, identificando cuellos de botella y proponiendo mejoras en la configuración de la red.

Ejemplo 2: "*Design and Implementation of a Cell Broadcast Center for Public Warning Systems*" (Autores: S. Khan, M. Younis, Revista de Ingeniería de software).

Aporte: Propone una arquitectura detallada para un *Cell Broadcast Center* (CBC) [6], el núcleo del sistema que gestiona y envía las alertas a las estaciones base. Incluye protocolos de comunicación y mecanismos de seguridad.

- **Enfoque en usabilidad y percepción pública:** Estos son estudios de ciencias sociales o comunicación aplicados a la tecnología.

Ejemplo 1: "*Public Perception and Effectiveness of Cell Broadcast Alerts during the 2021 Floods in Germany*" (Informe de investigación post-desastre).

Aporte: Evalúa la recepción y efectividad de las primeras alertas CB a gran escala en Alemania. Analiza por qué en algunas regiones fueron efectivas y en otras no, destacando la importancia del contenido del mensaje y la confianza en la fuente. Análisis posteriores y más amplios han confirmado y profundizado estos hallazgos sobre los factores de aceptación en diferentes culturas [7].

Ejemplo 2: "*Accessibility of Emergency Alerts for People with Disabilities: The Case of Cell Broadcast*" (Autores: organizaciones como la ITU u ONGs).

Aporte: Investiga las limitaciones del CB estándar para personas con discapacidades visuales o auditivas y propone, conectividad con aplicaciones de accesibilidad o el uso de tonos de alerta específicos como complementos.

- **Enfoque comparativo y de mejores prácticas:** Estos trabajos analizan múltiples casos para extraer lecciones generales.

Ejemplo 1: "*Comparative Analysis of National Public Warning Systems: Chile, Japan, and the United States*" (Autores: J. Smith, K. Tanaka, en "*International Journal of Disaster Risk Reduction*").

Aporte: Compara los marcos legales, la arquitectura técnica y los protocolos de activación de tres sistemas distintos. Concluye que la simplicidad del mensaje, la autoridad de una sola fuente y las pruebas regulares son factores clave de éxito.

Ejemplo 2: "*Best Practices in Public Warning: Lessons from the Implementation of Cell Broadcast Systems Around the World*" (Informe de la ITU o de "*4C Strategies*").

Aporte: Sintetiza experiencias de docenas de países, listando recomendaciones concretas sobre gobernanza, participación de operadores, educación pública y manejo de falsas alarmas.

- **Enfoque en integración con otras tecnologías:** Estos son artículos más visionarios o de I+D que proponen sistemas futuros.

Ejemplo 1: "*A Hybrid Public Warning System: Integrating Cell Broadcast with IoT and Social Media for Enhanced Situational Awareness*" (Autores: L. Chen et al., Conferencia sobre Internet de las Cosas).

Aporte: Propone un sistema donde una alerta CB inicial activa una red de sensores IoT, en una línea de investigación que sigue siendo muy activa [8].

Ejemplo 2: "*Fusing Cell Broadcast and Mobile Apps for Two-Way Communication in Emergencies*" (Autores: P. Rodriguez, en "*Journal of Emergency Management*").

Aporte: Critica la naturaleza unidireccional del CB y sugiere un sistema híbrido donde el CB dirige a los usuarios a una aplicación o un sitio web seguro para confirmar su seguridad, solicitar ayuda o aportar información (*crowdsourcing*).

Descripción general del servicio Cell broadcast (CBS)

El sistema Cell Broadcast (CB) es una tecnología de difusión de mensajes que permite enviar alertas simultáneamente a múltiples dispositivos móviles dentro de una zona geográfica específica. A diferencia de los servicios punto a punto (como SMS), CB utiliza un enfoque de transmisión unidireccional, lo que lo convierte en una herramienta clave para sistemas de alerta temprana, gestión de desastres y comunicaciones críticas [9]. La especificación técnica ETSI TS 123.041 define la arquitectura, interfaces y flujo de mensajes del sistema CB en redes móviles GSM, UMTS, LTE y 5G como se muestra en la Fig. 1 [10].

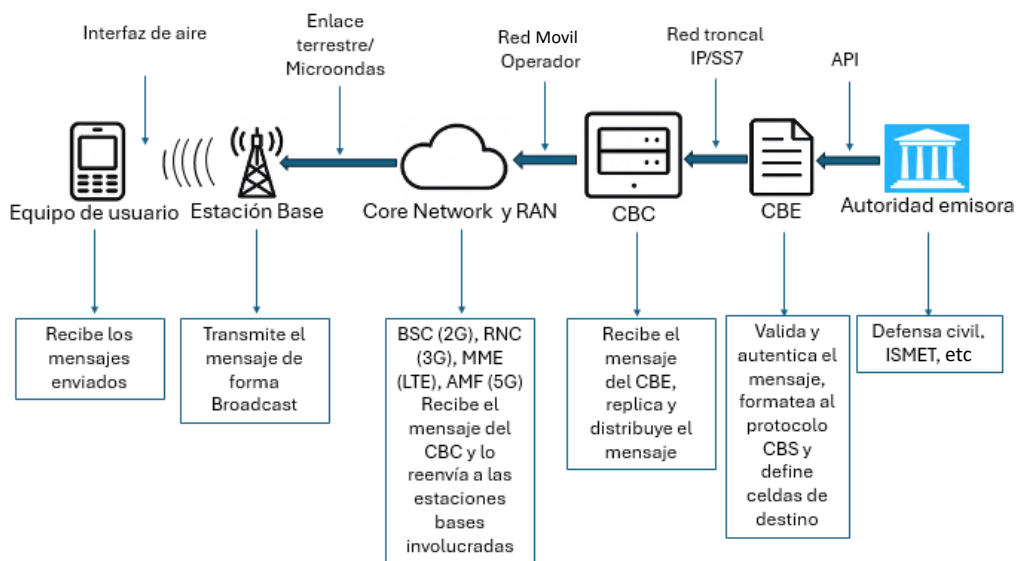


Figura 1: Esquema general de un sistema Cell Broadcast (Elaboración propia).

Cada componente de esta arquitectura tiene una funcionalidad específica como se explica a continuación:

- **Autoridad emisora:** Determina el evento que acontece como organismo especializado según el tipo de evento para ser procesado y describe las características de este.
- **Origen del mensaje (CBE):** Sistema externo que crea el texto, el idioma, la prioridad, la vigencia y el área objetivo del aviso. Suele pertenecer a protección civil, meteorología, etc.
- **Centro de Difusión (CBC):** Nodo de red que valida, segmenta, programa, direcciona por celdas/áreas y coordina la distribución hacia las redes de acceso múltiples (GERAN, UTRAN, E-UTRAN, NR). Gestiona altas, reemplazos y paradas.
- **Núcleo de la red y RAN:** Elementos que intermedian entre el CBC y las estaciones base según la tecnología (p. ej., BSC/RNC/MME/AMF). Aplican las órdenes de difusión y reportan estado.
- **Acceso radio:** Estaciones base (BTS/NodeB/eNB/gNB) que emiten el contenido repetidamente en las celdas seleccionadas.
- **Usuario final (UE):** Terminal que filtra por identificador de mensaje, número de serie y preferencia de idioma, evitando duplicados y mostrando alertas según configuración y prioridad.

Partiendo de la Fig. 1, se explica paso a paso el flujo de mensajes desde la entidad emisora hasta el usuario final [4]:

- 1- Creación del aviso en CBE: El CBE define contenido, codificación DCS, identificador de servicio/mensaje, prioridad, duración/repetición y área de destino por celdas/TA/LA, y lo envía al CBC mediante una interfaz externa acordada.
- 2- Validación y normalización en el CBC: El CBC verifica autorizaciones, solapamientos, parámetros temporales y el ámbito geográfico; segmenta el mensaje en páginas CBS (si aplica) y asigna/actualiza el número de serie para control de duplicados y reemplazos.
- 3- Programación y direccionamiento: El CBC calcula el calendario de emisión (período de repetición, ventana de validez, prioridad de transmisión) y construye las órdenes por tecnología y por conjunto de celdas/áreas seleccionadas.
- 4- Distribución hacia la red de acceso: El CBC envía órdenes a los controladores correspondientes: CBSP hacia BSC en GERAN; SABP hacia RNC en UTRAN; SBc hacia MME en LTE; procedimientos de alerta pública vía núcleo 5G hacia AMF/gNB en NR. Cada orden incluye identificador, número de serie, DCS (*Data Coding Scheme*), paginado/segmentación, área y temporización.
- 5- Admisión y respuesta del controlador: BSC/RNC/MME/AMF validan capacidad, aplican mapeo a celdas, y responden al CBC con aceptaciones, rechazos parciales y/o listas de celdas fallidas, permitiendo al CBC reintentos o ajustes del plan.
- 6- Instrucción a estaciones base: Los controladores ordenan a BTS/NodeB/eNB/gNB la difusión periódica del contenido en las celdas objetivo, conforme a la prioridad y al calendario calculado.
- 7- Emisión por el canal de difusión: Las estaciones base transmiten de forma repetitiva durante la ventana de validez. En GERAN se usa CBCH; en UTRAN/E-UTRAN/NR se emplean procedimientos de difusión definidos por cada RAT (*Radio Access Technology*) para CBS/PWS.
- 8- Recepción y filtrado en el UE: El terminal monitoriza el canal de difusión, aplica filtros por identificador de mensaje/servicio, idioma y categoría, y usa el número de serie para descartar duplicados o aceptar reemplazos (update). Si es nuevo o con mayor actualización, lo presenta al usuario según reglas de prioridad.
- 9- Reemplazo, extensión o parada: El CBC puede emitir “write/replace” para actualizar contenido/ámbito/tiempos (nuevo número de serie/update) o “stop/kill” para cesar la difusión inmediatamente en el área indicada; la RAN (*Radio Access Network*) confirma ejecución al CBC.
- 10- Informes y cierre: La RAN remite al CBC confirmaciones, errores por celda y métricas de cobertura de emisión; el CBC consolida el estado y, si procede, reIntenta en celdas pendientes hasta el fin de la ventana de validez.

Protocolos e interfaces en Cell Broadcast

En el marco de los sistemas Cell Broadcast, la arquitectura de transmisión del servicio se sustenta en un conjunto de protocolos e interfaces que permiten la entrega eficiente y segmentada de mensajes desde el Cell Broadcast Center (CBC) hacia los distintos nodos de red móvil. Estos protocolos se adaptan a las tecnologías GSM, UMTS y LTE definiendo estructuras de trama específicas, mecanismos de direccionamiento, y parámetros de repetición que garantizan la propagación simultánea de información crítica a múltiples usuarios [11].

El análisis detallado de estas interfaces resulta esencial para comprender la interoperabilidad entre capaz de red, la codificación de mensajes y la implementación práctica de soluciones abiertas como OsmoCBC en entornos de telecomunicaciones resilientes. En la Fig.2, se muestra la estructura de árbol que permite observar los protocolos que intervienen en el tráfico entre los distintos elementos de la red móvil.

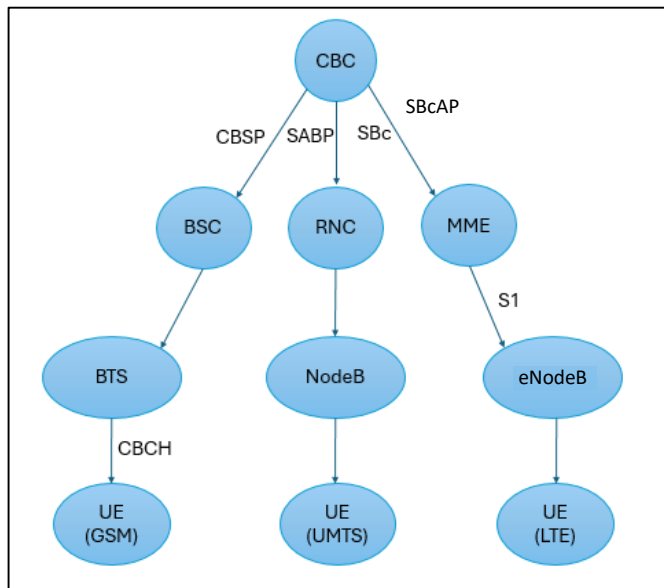


Figura 2: Diagrama simplificado de flujo de los principales protocolos e interfaces en Cell Broadcast.

Cada uno de estos protocolos tiene sus funciones específicas dentro del sistema Cell Broadcast las que se resumen en la tabla 1.

Tabla 1: Función de los protocolos e interfaces en Cell Broadcast.

Protocolo/Interfaz	Ubicación	Función
CBSP (<i>Cell Broadcast Service Protocol</i>)	CBC-BSC en redes GSM	Enviar, gestionar y eliminar mensajes CB del CBC al BSC
CBCH (<i>Cell Broadcast Channel</i>)	Canal físico en la interfaz aérea entre la BTS y el UE	Canal lógico dedicado para transmitir mensajes CB a todos los móviles en una celda
SABP (<i>Service Area Broadcast Protocol</i>)	CBC-RNC en redes UMTS	Similar al CBSP, pero adaptado al entorno 3G. Permite definir áreas de servicio, codificación, repetición, etc.
Interfaz SBc (<i>S Broadcast Control</i>)	CBC-MME en redes LTE	Transmite mensajes de alerta (ETWS, CMAS) desde el CBC al MME para su distribución a las eNodeBs.
SBcAP (<i>SCTP-based Broadcast Control Application Part</i>)	CBC-MME en redes LTE	Facilita la interacción entre el CBC y el MME (<i>Mobility Management Entity</i>).
Interfaz de referencia S1	MME-eNodeB en redes LTE	Distribuye los mensajes CB desde el MME hacia las estaciones base (eNodeBs) para su emisión.

Cell Broadcast Center (CBC)

El CBC es el centro de control y distribución del sistema Cell Broadcast. Es el elemento encargado de recibir mensajes de entidades autorizadas (protección civil, operadoras, gobierno), procesar y formatear los mensajes según estándares, y distribuir los mensajes a las estaciones base (BTS) a través de la red móvil. La Fig. 3, muestra la estructura básica de un CBC [12].

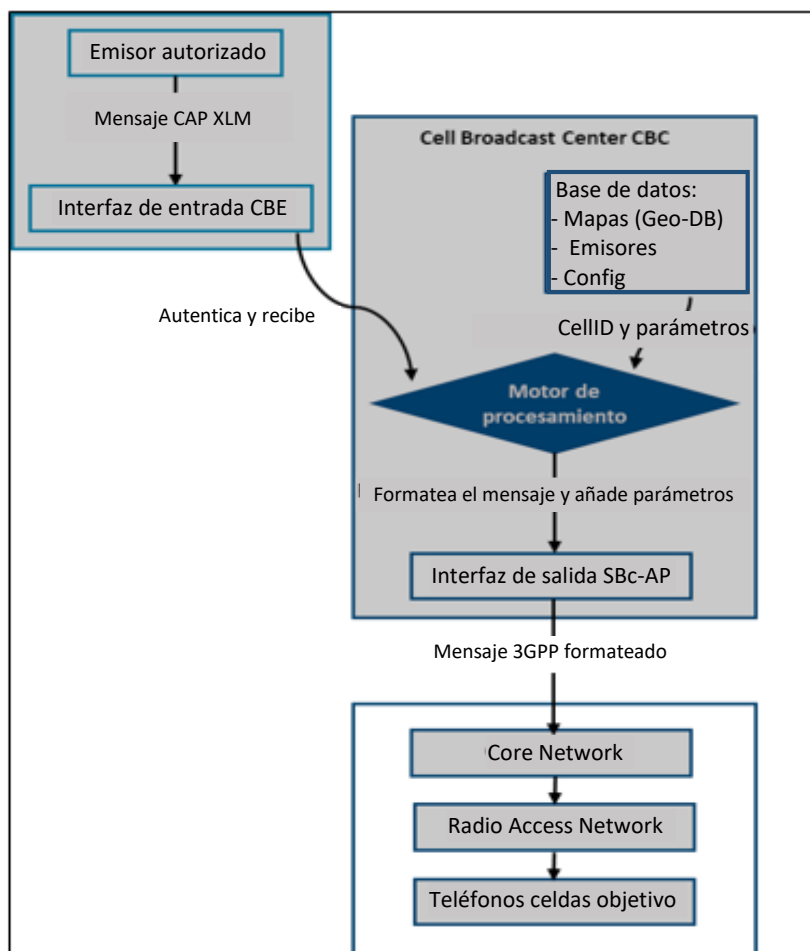


Figura 3: Estructura básica de un CBC (elaboración propia).

En 3GPP, el CBC está integrado como un nodo en la red central, puede conectarse a varios BSC/RNC/MME/PWS-IWF y además puede conectarse a varios CBE.

La CBC será responsable de la gestión de los mensajes de la CBS, incluidos:

- Asignación de números de serie.
- Modificar o eliminar mensajes CBS almacenados en el nodo BSC/RNC/eNodeB/NG-RAN.
- Iniciar la transmisión enviando mensajes CBS de longitud fija a un nodo BSC/RNC/eNodeB/NG-RAN para cada idioma proporcionado por la celda y, cuando sea necesario, rellenar las páginas hasta una longitud de 82 octetos.
- Determinar el conjunto de celdas a las que se debe transmitir un mensaje CBS, e indicar dentro del Serial Number el alcance geográfico de cada mensaje de CBS.
- Determinar la hora en que debe comenzar a transmitirse un mensaje de la CBS.
- Determinar el momento en el que un mensaje de la CBS debe dejar de transmitirse y posteriormente dar instrucciones a cada uno. El nodo BSC/RNC/eNodeB/NG-RAN dejará de transmitir el mensaje CBS.
- Determinar el período en el que debe repetirse la transmisión del mensaje CBS.
- Determinar el canal de difusión celular en GSM, en el que debe transmitirse el mensaje CBS.

Cuando el sistema Cell Broadcast transmite mensajes de emergencia, se asigna una "indicación de emergencia" para diferenciarlo de los mensajes CBS normales, incluyendo la "Lista de ID de celda/ID de área de servicio", el "tipo de advertencia" y el "mensaje de advertencia". Si el "tipo de advertencia" es "prueba", solo los UE diseñados específicamente para pruebas podrán mostrar el mensaje de advertencia. Para trabajar eficientemente en las interfaces, el BSC/RNC, que normalmente controla más de una celda en un área de difusión, debe utilizarse como concentrador

en lo que respecta al manejo de mensajes CBS. Por lo tanto, el CBC debe trabajar con listas de celdas al emitir solicitudes relacionadas con CB hacia el BSC/RNC. Los elementos internos fundamentales del CBC (*Cell Broadcast Center*) se listan a continuación [13].

1- Interfaces de Entrada (CBE):

- API REST/SOAP: Para integración con sistemas externos.
- Interfaz Web: Para entrada manual de mensajes.
- Protocolos Especializados: SMPP, HTTP/HTTPS.
- Autenticación inicial: Verificación de fuentes autorizadas.

2- Núcleo de Procesamiento (CBMC):

- Módulo de Autenticación (Verificación de credenciales, control de acceso por roles, validación de certificados digitales)
- Motor de Validación (Longitud del mensaje (≤ 139 caracteres), codificación de caracteres (GSM 7-bit, UCS2), validación de parámetros (prioridad, duración))
- Gestor de Geozonas (Mapeo de áreas geográficas, asignación de celdas por ubicación, definición de áreas de broadcast)
- Sistema de Programación (Temporizador para envío inmediato o diferido, gestión de periodicidad (si aplica), control de la duración de la difusión).
- Formateador CBSP (Encapsulación en protocolo Cell Broadcast, asignación de *Message Identifier* y *Serial Number*, codificación según estándar 3GPP).

3- Base de datos interna:

- Mensajes Programados: Cola de mensajes pendientes.
- Configuraciones: Parámetros del sistema.
- Logs de Actividad: Auditoría y trazabilidad.
- Plantillas: Mensajes predefinidos para emergencias.

4- Interfaz de salida (CBSP):

- Protocolo CBSP para la red móvil.
- Balanceo de carga hacia múltiples BSCs.
- Retransmisión en caso de fallo.
- Confirmación de entrega a la red.

5- Consola de Administración:

- Monitorización en tiempo real.
- Gestión de usuarios y permisos.
- Reportes y estadísticas.
- Configuración del sistema.

Estructura del sistema de alerta temprana (SAT) para contingencias en Cuba

Cuba es reconocida internacionalmente por su eficaz Sistema de Alerta Temprana para Ciclones Tropicales, que es un componente crucial de su Defensa Civil Nacional y un modelo de referencia en la región. Su implementación se basa en un enfoque comunitario y descentralizado, que combina tecnología moderna con una amplia participación ciudadana [14]. Existen pilares fundamentales para la implementación del sistema SAT en Cuba, estos son:

1- Estructura Organizativa:

- Defensa Civil: Todo el sistema está integrado y dirigido por la Defensa Civil Nacional de Cuba [15]. Esta estructura, que va desde el nivel nacional hasta el municipal, permite que las alertas se emitan de forma organizada y que las órdenes de protección lleguen a toda la población de manera coherente.

2- Proceso de Emisión de Alertas:

- **Detección y Pronóstico:** El Instituto de Meteorología de Cuba (INSMET) [16] es la entidad técnica encargada de monitorear, analizar y pronosticar los fenómenos hidrometeorológicos. Emiten avisos, alertas y boletines especiales sobre la trayectoria, intensidad e impacto potencial de ciclones tropicales, fuertes lluvias y otros eventos.
- **Decisión y Comunicación:** La Defensa Civil, basándose en los pronósticos del INSMET, es la única entidad autorizada para declarar las fases del sistema de alerta (Informativa, Alerta, Alarma y Recuperativa) para cada territorio. Esto evita mensajes contradictorios.

3- Comunicación y Disseminación a la Población:

- **Medios de Comunicación Masiva:** Se utilizan intensivamente la televisión nacional (con interrupciones de programación), la radio y los periódicos para informar a la población.
- **Sistema de Altoparlantes:** En comunidades sin cobertura total de radio/TV, se usan redes de altoparlantes y vehículos con megáfonos para transmitir las alertas, especialmente en la fase crítica.
- **Mensajes de Texto (SMS):** Se envían mensajes masivos y gratuitos a todos los teléfonos móviles en las zonas de riesgo.
- **Autoridades Locales:** Los representantes del gobierno y de la Defensa Civil en cada cuadra (consejos populares) son responsables de informar directamente a sus vecinos y organizar las evacuaciones.

4- Preparación y Respuesta Comunitaria:

- **Ejercicios Meteoro:** Anualmente, se realiza el ejercicio "Meteoro", un simulacro nacional que pone a prueba todo el sistema de alertas, los planes de evacuación, la protección de recursos económicos y la preparación de la población. Esto fortalece la cultura de riesgo.
- **Evacuación Organizada:** El proceso de evacuación masiva es uno de los puntos más fuertes. Las personas son trasladadas a casas de vecinos en zonas seguras o a albergues estatales previamente identificados y preparados.

5- Enfoque Integral:

- Aunque es más conocido por los huracanes, el sistema también se activa para otros eventos como intensas lluvias, sequías, y sismos. Para estos últimos, Cuba participa en el Sistema de Alerta de Tsunamis del Caribe y tiene estaciones sismológicas para la detección temprana [17].

2. IMPLEMENTACIÓN DE LA TECNOLOGÍA CELL BROADCAST EN CUBA

La principal innovación de esta investigación no radica en la tecnología CB en sí, sino en la metodología de implementación adaptada a redes móviles en Cuba, abordando de frente los cuellos de botella legales, operativos y de aceptación social. Además, garantiza la reducción de costos de implementación e independencia tecnológica como pilares fundamentales. Del estudio realizado sobre las herramientas de software libre (Osmo-CBC y Open5GS) para el diseño de un CBC (*Cell Broadcast Center*) se determina la solución aplicable de Osmo-CBC de Osmocom, la razón se explica a continuación:

- Osmocom no es solo un proyecto de código abierto [18]; es la suite completa para implementar redes celulares con software libre.
- El Osmo-CBC (*Cell Broadcast Center*) está específicamente diseñado para hacer una sola cosa y hacerla bien: gestionar y enviar mensajes de Cell Broadcast a la red de acceso radio.

- Evita la complejidad de integrar con núcleos de red propietarios.
- La estrategia con OsmoCBC es más inteligente: se conecta directamente a los controladores de estaciones base. Esto es a menudo, más directo y da un control más fino sobre el despliegue geográfico de las alertas.
- Osmocom tiene una comunidad activa de desarrolladores y operadores. Tienes acceso al código fuente, a listas de correo, wikis y a personas que han enfrentado desafíos similares.

En el caso de Open5GS es un proyecto que proporciona una implementación de código abierto del núcleo 5G y 4G (EPC). Es una suite completa que incluye AMF, SMF, UDM, AUSF, etc. Incluye el módulo CBCF (*Cell Broadcast Control Function*), que es el nombre que recibe la entidad CBC en la arquitectura 5G. En cambio, para un sistema de alerta temprana dedicado tiene sus limitaciones:

- Componente integrado, no autónomo: El CBCF de Open5GS no es un producto independiente.
- Menor madurez en la función Cell Broadcast: Aunque el núcleo de Open5GS ha madurado, la función CBCF es relativamente reciente y tiene menos historial de despliegue en entornos de producción críticos que OsmoCBC.
- Enfoque diferente: Open5GS se centra en ofrecer una plataforma 5G NSA/SA (*Not Stand Alone/Stand Alone*) completa para investigación y despliegues privados.
- Complejidad y despliegue aislado: Desplegar solo el módulo CBCF de Open5GS separado del resto de sus componentes es difícil y no está diseñado para eso. OsmoCBC, por el contrario, es un servicio independiente y ligero.

La investigación se centra en cuatro fases:

Fase 1: Laboratorio (Prueba de concepto): En esta fase se parte de un trabajo de diploma que diseña un *Cell Broadcast Center* en un ambiente de laboratorio conectado a la red GSM.

Fase 2: Piloto controlado (Prueba en red real): Este es el mayor desafío técnico-práctico: Conectar la instancia de OsmoCBC a una BSC de la red comercial de ETECSA en una zona geográfica acotada, para ello se requiere coordinación con el equipo técnico de ETECSA. Realiza envíos de prueba controlados y mide el éxito.

Fase 3: Expansión y robustecimiento: Una vez probado el piloto, escalar la solución conectando el OsmoCBC a más BSCs a nivel provincial y luego nacional. Desarrollar o integrar una interfaz web amigable (usando las APIs de OsmoCBC) para que Defensa Civil pueda enviar alertas sin tocar la línea de comandos. Comenzar a trabajar en la integración con otros controladores.

Fase 4: Implementación y despliegue de la conexión del CBC con los MME para el envío de mensajes de aviso a través de la red LTE.

La decisión de combinar Osmocom (OsmoCBC) con un despliegue inicial en 2G, es estratégica y pragmática. Desde el punto de vista técnico es sólida, basada en estándares, y se sustenta en la viabilidad demostrada de soluciones de código abierto en núcleos de red [19]. Desde el punto de vista de implementación permite un avance por fases y maximiza el impacto inicial. Desde el punto de vista económico y de soberanía tecnológica apuesta por el software libre, un paradigma que otorga autonomía estratégica [20], lo que da control total sobre el sistema y elimina costos de licencias. Para la implementación del CBC se necesita como requisito recomendado la utilización del sistema operativo Ubuntu en su versión 22.04 LTS o superior. Para la instalación del CBC se parte de los repositorios oficiales de Ubuntu y Osmocom.

En el instante de escribir este artículo, la investigación se encuentra en la fase 2, se obtuvieron resultados de la primera parte de esta fase donde se hacen pruebas de envíos de mensajes de alertas directamente a BSC en producción sin la inclusión de un CBC (*Cell Broadcast Center*). Además, se realizaron pruebas satisfactorias de la comunicación y tráfico de la interfaz web con el OsmoCBC virtualizado.

3. RESULTADOS OBTENIDOS EN LA PRIMERA PARTE DE LA FASE 2

La estrategia seguida en la investigación se basa en validar por fases de implementación para demostrar el progreso metódico de la implementación del sistema completo Cell Broadcast, con componentes críticos de la cadena de entrega ya validados. Como primer hito en la implementación del sistema completo, se priorizó la validación del eslabón final de la cadena: la capacidad del BSC para procesar y enviar mensajes CB. Se ha verificado experimentalmente que el BSC objetivo puede enviar exitosamente mensajes Cell Broadcast y que los dispositivos móviles en la celda los reciben correctamente, incluso sin la capa CBC intermediaria, este resultado es crucial porque confirma que el componente de red más crítico para la entrega final está operativo y comprende los comandos CB, eliminando una variable crítica del proyecto.

Se probó el envío de mensajes por los principales identificadores de mensajes, obteniendo los siguientes resultados:

- **Canal 50**, la URL solo admite texto, Ejemplo: www.cubadebate.cu, donde aparece como un mensaje de información con el texto www.cubadebate.cu, sin aviso sonoro, sin repetir (Fig. 4).

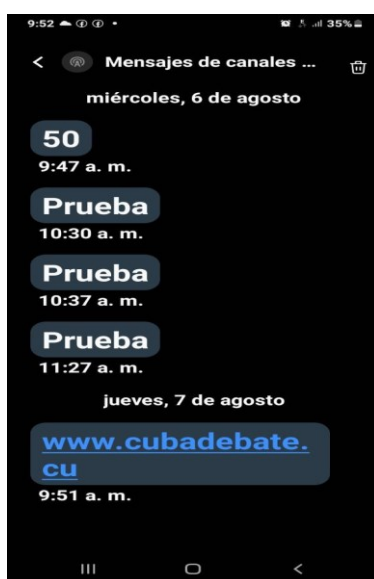


Figura 4: Prueba MID 50.

- **Canal 4383**, mensaje de alerta presidencial, con aviso sonoro e icono triangular rojo, texto “prueba 4383 ENGLISH <http://www.gramma.cu/>” (Fig. 5).

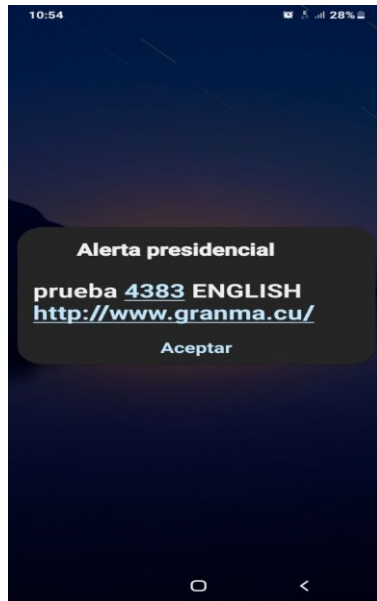


Figura 5: Prueba MID 4383.

- **Canal 4371**, mensaje de alerta de emergencia: extrema, con aviso sonoro e icono triangular rojo, texto “prueba 4371 SPANISH <http://www.granma.cu/>” (Fig. 6).

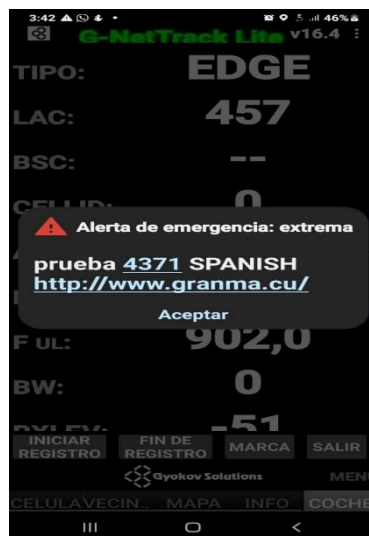


Figura 5: Prueba MID 4371.

Los resultados preliminares obtenidos no responden directamente a la hipótesis final (la implementación del sistema completo con CBC basado en software libre), sin embargo, son cruciales para validar la metodología y despejar incógnitas críticas en el camino hacia ella. El enfoque se sitúa en la implementación de la arquitectura estándar (CBC-BSC) utilizando software de código abierto (OsmoCBC). La comparación es relevante, en cambio la transparencia y control total al usar OsmoCBC, siguiendo arquitecturas abiertas documentadas [6], donde se puede analizar, instrumentar y modificar, desde el punto de vista comercial soluciones propietarias de grandes proveedores (Ericsson, Huawei, Nokia), son cajas cerradas, con alto costo y poca flexibilidad. En cambio, la transparencia y control total al usar OsmoCBC donde se puede analizar, instrumentar y modificar (si es necesario) el comportamiento del CBC, es

algo imposible con soluciones comerciales. Esto es valioso para la investigación y para entornos que requieren personalización.

4. CONCLUSIONES

Los resultados preliminares con el BSC no son el destino final, sino la confirmación de que se sigue el camino correcto y se ha elegido una estrategia sólida. El núcleo de la contribución original de este proyecto es demostrar y documentar la viabilidad de un sistema de alertas CB robusto y accesible basado en código abierto y con una reducción de costos considerable respecto a las soluciones propietarias que se comercializan en el mercado. La originalidad de este trabajo se mantiene sólida, pero se redefine con mayor precisión:

- **Originalidad en la aplicación de tecnología de código abierto:** Mientras el mercado se mueve con soluciones propietarias, este proyecto es original al explorar e implementar la pila completa de Cell Broadcast usando OsmoCBC. Se sientan las bases para futuras integraciones con IoT y otros medios coincidiendo con lo planteado en [12], se documentan esfuerzos prácticos de integración con un BSC y un MME real. Este conocimiento es escaso y de alto valor para la comunidad.
- **Originalidad en el proceso de validación metódica:** La estrategia de validar el componente final (BSC) de forma aislada antes de la integración total es una contribución metodológica que permite aislar variables y garantizar que, al surgir problemas durante la integración con el CBC, se sepa que el BSC no es la causa. Este rigor es poco común en proyectos de integración.
- **Originalidad en la generación de conocimiento práctico:** El resultado final no será solo un sistema funcionando, sino un conjunto de hallazgos, procedimientos y mejores prácticas documentadas para la integración de OsmoCBC. Esto llena un vacío de conocimiento práctico y facilita la integración posterior de la tecnología 5G aún en desarrollo en Cuba dentro del sistema de aviso público, constituyendo el verdadero aporte de la investigación.

A pesar de que las recomendaciones 3GPP definen el sistema de aviso público para las tecnologías GSM, UMTS, LTE y 5G, en este proyecto se logra implementar OsmoCBC para GSM y LTE por ser las dos tecnologías dentro de la red con mayor impacto en Cuba. Como una segunda fase del proyecto, se pretende implementar OsmoCBC sobre 5G en pruebas de laboratorio, considerar los resultados de otros proyectos sobre Open5GS que pueden vincular a OsmoCBC y lograr una arquitectura virtualizada íntegramente.

RECONOCIMIENTOS

Los autores desean agradecer a los especialistas del grupo de expertos de la Vicepresidencia de operaciones de la red de ETECSA por su apoyo en la facilitación de los recursos necesarios para realizar las pruebas iniciales de validación de los elementos de la red.

REFERENCIAS

- [1] ETSI, 5G; Technical realization of Cell Broadcast Service (CBS), Standard TS 123.041 V17.5.0, 2023.
- [2] ITU, Framework for public warning systems using mobile technologies, ITU-T Recommendation, Geneva, Switzerland, 2022.
- [3] S. R. G. de la Torre, J. L. G. Cedeño, and A. P. del Campo, "Análisis de los sistemas de alerta temprana por celulares en América Latina y el Caribe," Revista Iberoamericana de Tecnologías del Aprendizaje, vol. 17, no. 3, pp. 245-252, 2022.
- [4] Federal Emergency Management Agency (FE-MA), Integrated Public Alert and Warning System (IPAWS) Program Plan, Washington, DC, USA, 2023.
- [5] K. Sato, Y. Kato, and T. Matsuzaki, "Enhancement of Cell Broadcast for Disaster Information Delivery in 5G Networks," in Proc. IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM), Madrid, España, 2021, pp. 1-6.
- [6] M. A. Paredes and R. Silva, "Implementación de un sistema de alertas tempranas utilizando tecnología Cell Broadcast en redes 4G," Ingenius, Revista de Ciencia y Tecnología, no. 23, pp. 77-88, ene-jun. 2023.
- [7] C. Reuter, M. A. Kaufhold, and V. Knipp, "Cell Broadcast for Public Warning in Europe: A Cross-Country Analysis of Adoption and Perception," International Journal of Disaster Risk Reduction, vol. 86, p. 103535, marzo 2023.

- [8] L. F. Herrera, D. M. Llanos, and C. E. Montenegro, "Hacia un sistema híbrido de alertas públicas: integración de Cell Broadcast, IoT y redes sociales," Revista Facultad de Ingeniería, vol. 31, no. 60, p. e15489, abril 2022.
- [9] M. A. Ullah et al., "A Comprehensive review of public warning systems: Design, challenges, and future trends," IEEE Access, vol. 10, pp. 107153-107175, 2022.
- [10] 3GPP, Technical realization of Cell Broadcast Service (CMS), TS 23.041. 2024.
- [11] R. Gupta, S. Kumar, and M. Chen, "Comprehensive protocol analysis of Cell Broadcast Systems: From legacy networks to 5G NR", IEEE transactions on vehicular technology, vol. 71, No. 8, pp. 8235-8250, agosto 2022, doi: 10.1109/TVT.2022.3178901.
- [12] S. D. Park and H. S. Oh, "Design and Implementation of a Cell Broadcast Center for Public Warning Systems in 5G Networks," Electronics, vol. 11, no. 3, p. 456, 2022.
- [13] P. Rodríguez and M. Schmidt, "Internal architecture of Cell Broadcast Centers: Component design and integration", Modern emergency warning systems: From architecture to implementation, Springer International Publishing, 2023, pp. 67-94, doi: 10.1007/978-3-031-24567-8_4.
- [14] United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR), "Cuba's Early Warning System: A success story..." 2018.
- [15] Defensa Civil Nacional de Cuba, "Sistema de Medidas de la Defensa Civil," 2023.
- [16] Instituto de Meteorología de Cuba (INSMET), "Boletines de Vigilancia y Avisos," 2023.
- [17] Granma, "Cuba se consolida como referente mundial en la reducción de riesgos de desastres," 2022.
- [18] Osmocom, OsmoCBS: Open Source Cell Broadcast Center, 2024. [Online]. Available: <https://osmocom.org/projects/osmocbc/wiki/OsmoCBS>
- [19] A. García et al., "Open-source solutions for 5G network slicing: A practical implementation," IEEE Access, vol. 10, pp. 45678-45691, 2022.
- [20] T. D. R. A. de Souza, H. O. Almeida, and F. B. de Lima Neto, "Software libre en infraestructuras críticas: estudio de caso em redes de telecomunicaciones," in Anais do X Simpósio Brasileiro de Engenharia de Sistemas Computacionais, Porto Alegre, Brasil, 2022, pp. 137-144.

SOBRE LOS AUTORES

José Antonio León Martínez: Nació en La Habana, Cuba, el 18 de septiembre del 1967, en el año 1996 obtiene título en la licenciatura de Ciencias de la computación en la Universidad de La Habana, actualmente cursa Maestría en telecomunicaciones en la Universidad tecnológica de La Habana José Antonio Echevarría, en este centro educativo imparte clases en la asignatura de programación como profesor con categoría docente de asistente. Entre otros estudios recibidos participo en postgrado en el instituto Sibir, Nueva Delhi, India. En la actualidad trabaja en la Empresa de telecomunicaciones de Cuba ETECSA como especialista en proyectos de planeamiento de tecnología y software y desarrollador de aplicaciones. Ha investigado en temáticas asociadas a redes y virtualización publicando dos artículos científicos en la Revista Telemática: "Análisis de la gestión en las redes vehiculares" y "Propuesta de implementación del núcleo de una red móvil LTE virtualizada". ORCID: 0009-0007-3847-7735

René Yañez de la Rivera: Nació en La Habana el 10 de septiembre del 1948, graduado de ingeniería en Telecomunicaciones y Electrónica en la Universidad Tecnológica de La Habana. Doctor en Ciencias Técnicas (CUJAE) en 1989 con la temática de verificación de circuitos integrados lineales mediante procesamiento digital de señal. Actualmente imparte docencia en la CUJAE y en la Universidad de Pinar del Río. Tiene la categoría docente de Profesor titular. Ha investigado en las temáticas de procesamiento digital de señales y comunicaciones ópticas, con publicaciones en estos campos. Ha trabajado además impartiendo clases en universidades de Bolivia y Angola. En México estuvo vinculado a un grupo de investigación de modelación matemática, en la BUAP (Benemérita Universidad Autónoma de Puebla) en la temática de análisis de señales electrocardiográficas. ORCID: 0000-0002-4045-4512

Onelio Michel Delgado Domínguez: Nació el 12 de diciembre de 1975, graduado de ingeniero en Telecomunicaciones en el año 2002. Ha trabajado por más de 20 años en la operación y mantenimiento de redes móviles. Ha tutorado tesis de grado. Participa en el despliegue, pruebas y puesta en marcha de múltiples nodos de red. Se desempeña como director de Soporte Especializado de la Vicepresidencia de Operaciones. Amplia experiencia en los protocolos de comunicación de las interfaces del núcleo de red CS y PS. Ha participado en varios eventos regionales de roaming internacional, sector en el que tiene vasta experiencia en el trabajo con los documentos regulatorios y establecimiento de acuerdos entre operadores. ORCID: 0009-0003-4328-3400

CONFLICTO DE INTERESES

No existen conflictos de intereses.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

- **Autor 1:** Preparación, creación y desarrollo del artículo, revisión crítica de cada una de las versiones del borrador del artículo (50%).
- **Autor 2:** Aprobación de la versión final a publicar, sugerencias acertadas para la conformación de la versión final (25%).
- **Autor 3:** Conceptualización, contribución a la idea y organización del artículo (25%).

Esta revista provee acceso libre inmediato a su contenido bajo el principio de hacer disponible gratuitamente investigación al público. Los contenidos de la revista se distribuyen bajo una licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 Unported License. Se permite la copia y distribución de sus manuscritos por cualquier medio, siempre que mantenga el reconocimiento de sus autores y no se haga uso comercial de las obras.

