

ANÁLISIS DE EFICIENCIA DE LA CAPACIDAD DE TRANSPORTE DEL CODEC DE VIDEO H.264/MPEG-4 AVC ENTRE LOS SISTEMAS INALÁMBRICOS 4G: LTE Y WiMAX

María Jesús Ruiz Soto¹, Ernesto Eduardo Quiroz M², José Cruz Núñez Pérez²

¹Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería

Universidad Autónoma de Baja California

Calzada Tecnológico 14418, Mesa de Otay, Tijuana, B. C., CP 22390

(664) 979 7500 ext 54333

ruizm93@uabc.edu.mx

²Centro de Investigación y Desarrollo de Tecnología Digital del Instituto Politécnico Nacional (CITEDI-IPN)

Avenida del Parque 1310, Mesa de Otay, Tijuana, B. C., 22510

Tel. +52 (664) 623-1344, Fax +52 (664) 623-1388

{eequiroz, nunez}@citedi.mx

RESUMEN

LTE y WiMAX son las más representativas de las comunicaciones móviles 4G, y competencia directa entre sí. No obstante, es difícil establecer a simple vista cuál de ellas es preferible, y bajo qué condiciones. Ambas utilizan el método de transmisión OFDM, modulación y codificación adaptativa, anchos de banda escalables, y esquemas de modulación similares. A nivel de la capa de enlace de datos, LTE y WiMAX difieren en el tamaño de sus tramas, número de portadoras y tiempo de duración de los símbolos. En este trabajo se efectúa un análisis comparativo de LTE/WiMAX. Para ello se adoptan modelos de tráfico de video. Se desarrolló un módulo computacional para el cálculo de capacidad de LTE y WiMAX en la plataforma MATLAB. Este módulo permite comparar bajo condiciones similares ambas tecnologías. En general, LTE presenta una mayor capacidad de canal, pero bajo ciertas condiciones de distancia WiMAX es mejor.

1. INTRODUCCIÓN

WiMAX y LTE ya están en despliegue. Actualmente WiMAX se encuentra presente en más de 140 países, ya sea para uso comercial o realización de pruebas. En lo que respecta a LTE este actualmente está teniendo un gran despliegue en los países nórdicos y en Japón [1].

1.1 Aspectos Generales de WiMAX y LTE

1.1.1 WiMAX

WiMAX está basado en la interfaz de radio IEEE 802.16. El promedio de la tasa de bits del sistema WiMAX es de hasta 70Mbps, aunque en la práctica esta cifra es mucho menor (del orden de

los 10Mbps) [2]. El IEEE 802.16 original (IEEE 802.16a) especifica una interfaz de radio operando en el rango de 10 a 66 GHz. El IEEE 802.16d el cual es una evolución del anterior, agrega bandas de operación de 2 a 11 GHz. Su actualización posterior, el IEEE 802.16e define una interfaz de radio adecuada para aplicaciones móviles. IEEE802.16-2005 (WiMAX móvil) provee una mejor calidad de servicio y una movilidad de hasta 120km/h en condiciones NLOS (Sin línea de vista) con cobertura de hasta 50km [1].

1.1.2 Estructura de la Trama de WiMAX

WiMAX soporta tanto TDD (Transmisión Dúplex por División de Tiempo) como FDD (Transmisión Dúplex por División de Frecuencia) en cualquier esquema tanto en OFDM como OFDMA. La estructura de la trama TDD donde las subportadoras están en el eje vertical y los símbolos en el eje horizontal. Consta de 48 símbolos con duración de 102 μ s, equipados en una trama de 5ms.

1.1.3 LTE

LTE es la ruta de migración natural de las tecnologías 3GPP, que representan más del 75% a nivel mundial de los suscriptores de teléfonos celulares. LTE es sólo uno de los últimos pasos de una serie de avances de los sistemas de telecomunicaciones móviles. En términos de movilidad, el sistema LTE está diseñado para mantener comunicaciones con terminales en movimiento a una velocidad arriba de los 350 km/h, o incluso una velocidad mayor que 500km/h, dependiendo de la banda de frecuencia. Esto significa que la acción de *handover* entre celdas puede ser posible sin interrupciones, en

otras palabras, el retraso y la pérdida de paquetes en las llamadas de voz, es imperceptible, y el servicio de transmisión de datos es confiable [3].

1.1.4 Estructura de la Trama LTE

La trama genérica de radio tiene una duración de 10 ms, la cual consiste de 20 ranuras cada una de 0.5 ms. Dos ranuras adjuntas forman una subtrama con duración de 1ms, que también es un TTI (Intervalo de Tiempo de Transmisión). Cada ranura consiste de siete símbolos OFDM con un pequeño/normal prefijo cíclico (CP) o seis símbolos OFDM con CP extendidos. Una subtrama ó TTI tiene una duración de 1ms y está formada de dos ranuras cada una de 0.5ms. Los esquemas de modulación que soporta LTE para la transmisión de datos son QPSK, 16 QAM y 64QAM.

1.1.5 WiMAX y LTE

En la tabla 1, se presenta las tasas promedios para WiMAX y LTE, tanto del enlace ascendente como descendente. LTE emplea SC-FDMA (Acceso Múltiple por División de Frecuencia de una Sola Portadora) para el enlace ascendente, ya que este reduce el valor PAPR (Razón de Potencia Pico a Promedio) en comparación con OFDMA. Sin embargo, debido a las similitudes existentes con OFDMA, los parámetros de LTE en el enlace ascendente y descendente pueden armonizar [1]. LTE provee mayores tasas de datos en comparación con WiMAX, ya que este emplea el sistema MIMO tanto para enlace ascendente como descendente, mientras que WiMAX únicamente lo utiliza para el enlace descendente [1].

Tabla 1. Tasa de datos promedio en LTE y WiMAX [1].

	Enlace Descendente	Enlace Ascendente
WiMAX	75 Mbps	25Mbps
LTE	100Mbps	50Mbps

1.1.6 Modulación Adaptativa en WiMAX y LTE

AMC (Modulación y Codificación Adaptativa) es considerada una de las implementaciones de asignación de la subportadora adyacente. Su principal ventaja consiste en asignar rápidamente la correcta modulación y nivel de codificación para cada suscriptor dependiendo de las condiciones del canal (relación señal a ruido). Con AMC, los suscriptores que están más cerca de la

estación base por lo regular se les asigna el esquema de modulación menos robusto con menos redundancia en la transmisión de datos (por ejemplo 64 QAM con $\frac{3}{4}$ de tasa de codificación), pero el orden de la modulación y/o la tasa de codificación disminuirá a medida que la distancia del suscriptor y la estación base se incremente [4].

1.1.7 Principios Básicos de OFDM

La transmisión por medio de OFDM puede verse como una transmisión de múltiples portadoras. Las características básicas de la transmisión OFDM son:

- Usa un número relativamente grande de subportadoras de banda angosta.
- La transmisión OFDM implica que cientos de subportadoras sean transmitidas por el mismo radioenlace hacia el mismo receptor (Ver figura 1).

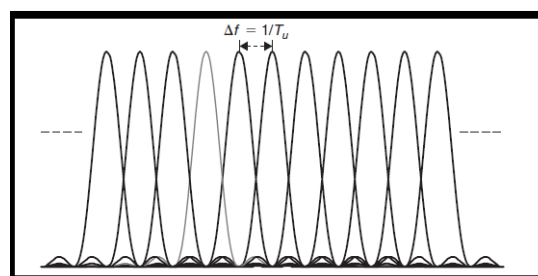


Figura 1. Espaciamiento entre subportadoras OFDM [5].

2. DESARROLLO

El H.264/MPEG-4 AVC (*Advanced Video Coding*) es el último estándar de codificación de video desarrollado de manera conjunta por ITU e ISO [6]- [7]. Esta dirigido para un amplio rango de aplicaciones, que incluyen video a través de telefonía, almacenamiento, *broadcast* y video afluente [8]. H.264/AVC está enfocado en la “calidad de entretenimiento” balanceando la eficiencia de codificación, y complejidad de implementación. También está enfocando en que se emplee en dispositivos móviles, y por lo mismo ha sido estandarizado para diversas aplicaciones. Para el H.264/AVC, la unidad de datos elemental para la encapsulación por el protocolo de transporte (por ejemplo RTP) es llamada unidad de Capa de Abstracción de la Red (NAL). Los formatos de video NAL contienen datos y proveen información de cabecera en la forma requerida para el transporte a través de las capas de transporte particular.

2.1. Envío de Video a Través del Protocolo IP

La figura 2 presenta el envío de video a través del protocolo IP.

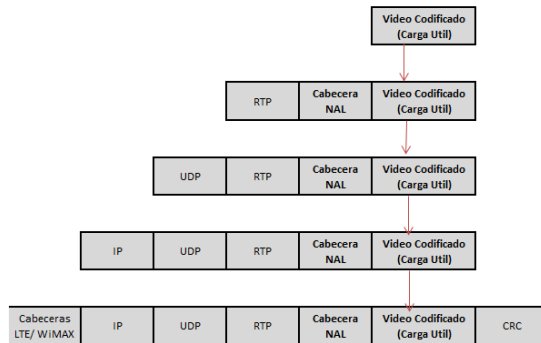


Figura 2. Cabeceras del paquete de video

La descripción de las cabeceras es la siguiente:

- **Video (Carga Útil)**
- **RTP (Real Time Protocol):** Es el estándar que define las comunicaciones de audio y video en tiempo real sobre redes IP, asumiendo la existencia de pérdidas y retardos en la red en el transcurso de la comunicación [9].
- **UDP (User Datagram Protocol):** El protocolo UDP ofrece un servicio no fiable, orientado a no conexión, a las aplicaciones de red. Se utiliza tanto en aplicaciones sencillas que no requieran alta fiabilidad como en entornos locales de alta fiabilidad con el fin de reducir los retardos [9].
- **IP (Internet Protocol):** Es el protocolo de nivel de red y ofrece un servicio sin garantía tipo *best effort* [9].
- **CRC (Código de Redundancia Cíclica):** El funcionamiento se basa en que cuando se envía o almacena un número de bits, se añaden más bits, que ya no incorporan información, sino que son bits de control para detectar errores [10].
- **Cabeceras LTE/WiMAX:** Información de control que cada tecnología agrega.

El tamaño de estas cabeceras es: RTP 12 bytes, UDP 8 bytes y de 20 bytes en el caso de IPv4 y 40 bytes en IPv6, resultando en un total de 40 bytes para IPv4 y 60 bytes en IPv6. Estos valores son elevados si se compara con la carga útil, esto significa que no es eficiente el sistema, ya que se están enviando más bytes de información de control, que de datos. Es por esto que se emplea la técnica de compresión ROHC (*Robust Header*

Compresion) para comprimir la cabecera IP, teniendo como resultado 3 bytes en IPv4 y 5 bytes en IPv6 [11].

En el caso de WiMAX, se agrega una cabecera MAC genérica de 6 bytes, y el CRC de 4 bytes. En LTE se agregan las cabeceras PDCP (*Packet Data Convergence Protocol*) de 1 byte; RLC (*Radio Link Control*) de 1 byte; y por último la cabecera MAC de 1 byte. Los bytes para CRC son 3 [12]- [8].

El análisis consiste en calcular la eficiencia del sistema.

$$\text{Cabecera NAL} = 1 \text{ BYTE}$$

- Tamaño total del paquete
Caso WiMAX

$$\text{Total} = \text{CargaUtil} + \text{Cabecera NAL} + \text{IP} + \text{MAC} + \text{CRC} \quad (1)$$

$$\text{CargaUtil} = \left(\text{Payload} \times \left(\frac{1}{\text{Cod}} \right) \right) + \text{Payload} \quad (2)$$

IP: Versión IPv6 = 5 Bytes

MAC = 6 Bytes

CRC = 4 Bytes

- Caso LTE

$$\text{Total} = \text{CargaUtil} + \text{Cabecera NAL} + \text{IP} + \text{PDCP} + \text{RLC} + \text{MAC} + \text{CRC} \quad (3)$$

PDCP = 1 Byte

RLC = 1 Byte

MAC = 1 Byte

CRC = 3 Bytes

- Eficiencia

$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{Payload}}{\text{Total}} \quad (4)$$

- Porcentaje de Ocupación TTL

$$\text{TTL} = \frac{(\text{PVS} / \text{NoSim})}{\text{NFFT} \times (58.59375 / 100)} \quad (5)$$

PVS: Total de Símbolos del paquete

$\text{PVS} = \text{Total} / K$

K = Número de bits por símbolo de modulación.

NoSim: Número de Símbolos LTE/ WiMAX

$\text{NoSim} = \text{Tiempo} / T_s$

T_s = Tiempo total de símbolo OFDM

Tiempo: Tiempo total de la trama

WiMAX: $\text{Tiempo} = 10 \text{ ms}$

LTE: $\text{Tiempo} = 5 \text{ ms}$

- Número total de llamadas por trama

$$Llamadas = \frac{1}{TTL} \quad (6)$$

Para llegar a esto es necesario realizar una serie de cálculos, que a continuación se mencionan.

a) *Cálculos de los parámetros de operación de OFDM*

- Frecuencia de muestreo de la capa OFDM PHY, definido como:

$$F_s = n \cdot BW \quad (7)$$

Donde n es el factor de muestreo, depende del ancho de banda del canal (BW)

- Espaciamiento entre subportadoras (KHz)
 $\Delta f = F_s / N_{FFT}$ (8)
 N_{FFT} = Número de subportadoras activas

- Tiempo útil de un símbolo OFDM
 $Tb = 1/\Delta f$ (9)

- Prefijo Cíclico
 $CP = Tb \cdot G$ (10)
 Tb = Duración útil de un símbolo
 $G = 1/4, 1/8, 1/16$ y $1/32$, para OFDMA PHY solo $1/8$ es obligatorio.

- Tiempo total de símbolo
 $Ts = Tb + CP$ (11)

b) *Cálculo de la capacidad de transmisión WiMAX y LTE*

- La capacidad bruta del canal:
 $Craw = N_{FFT} \cdot K / Ts$ (12)

- Capacidad Útil del canal:
 $C = Craw \cdot Cod$ (13)

- Eficiencia espectral de la capacidad del canal:
 $E = C / BW \text{ bits/Hz}$ (14)

2.2. Módulo de Análisis

Para el diseño y elaboración del módulo de análisis, el cual se desarrollo en el software MATLAB 7.7.0 (R2008b), por medio de una interfaz gráfica, para de esta manera hacer más interactivo los resultados y poder observar que sucede al aumentar la distancia, empeorar las condiciones del canal.

3. RESULTADOS

En el análisis de video el codec H.264/MPEG-4 AVC presenta diferentes cargas útiles

dependiendo la aplicación y la calidad del video que se quiera transmitir. En este estudio se elige una carga útil promedio de 3200 Bytes. El análisis se realiza con el mínimo y máximo ancho de banda, con las buenas y pésimas condiciones del canal, ya que la eficiencia del LTE/WiMAX es directamente proporcional al ancho de banda, y disminuye al empeorarse las condiciones del canal. En la figura 3 se presenta el número de sesiones por trama, donde LTE supera a WiMAX aun en pésimas condiciones. WiMAX presenta mayor retardo que LTE, y a medida que aumenta el ancho de banda disponible el retraso disminuye, y de igual manera si las condiciones del canal empeoran esto aumentará el retraso como se observa en la figura 4. En la figura 5 se presenta el total de paquetes enviados contra paquetes perdidos.

4. CONCLUSIONES

Con el propósito de desarrollar el presente trabajo, se ubicaron las principales similitudes y diferencias entre los sistemas LTE y WiMAX a nivel de la capa de enlace de datos, las cuales se sintetizan a continuación:

Similitudes:

Tanto LTE como WiMAX emplean un sistema de modulación y codificación adaptativa (AMR), por lo que se observó que a medida que el dispositivo móvil se aleja de la estación base la eficiencia del sistema disminuye, esto es que hay un cambio en el esquema de modulación, si el dispositivo móvil se encuentra cerca de la estación base se emplea 64QAM, ya que este envía una mayor cantidad de bits por símbolo (6 bits) pero con un grado alto de ruido, a una distancia mediana, el esquema cambia a 16QAM, 4 bits por símbolo, y ya cerca del borde de la celda se emplea QPSK, 2 bits por símbolo. Estos cambios de modulación donde a mayor distancia un esquema de modulación menos eficiente se debe a que la probabilidad de error es menor, y es preferible que se envíe menos información en la trama, pero que esta llegue con el menor ruido posible.

El prefijo cíclico es la última parte que se copia del símbolo y se pega al inicio de este, esto se hace para prevenir pérdidas de información, pero tiene como desventaja que el tiempo del símbolo se incrementa, provocando que ocupe un mayor espacio en la trama. El valor de la parte que se copia y pega se le llama valor G , la cual varía dependiendo las condiciones del canal, si un canal

presenta buenas condiciones el valor de G será el mínimo, a medida que las condiciones del canal se vuelven peores este valor de G incrementa y de esta manera las pérdidas de información son mínimas o nulas (en el mejor de los casos). Un aumento en el valor de G, se ve reflejado en una disminución en el número de sesiones que pueden enviarse en la trama, esto se debe a que G aumenta el valor del símbolo y este aumento indica que ocupa un mayor espacio en la trama, por lo que a mayor espacio menos sesiones pueden ser enviadas.

Otro punto importante es que ambas tecnologías tienen un ancho de banda escalable, donde el mínimo es 1.25MHz y va aumentando hasta llegar a 20MHz. Un aumento en el ancho de banda significa que hay una mayor capacidad en el canal, por lo que a mayor ancho de banda mayor envío de sesiones por trama.

LTE presenta una mayor eficiencia debido a que el tamaño de su trama es el doble en comparación con la trama de WiMAX, como consecuencia tiene una mayor capacidad. Otro factor importante es el espaciamiento que existe entre subportadoras, donde el tiempo del símbolo es inversamente proporcional a este espaciamiento, por lo tanto el espaciamiento que tiene LTE entre sus subportadoras es de 15kHz, esto es 66.666µseg, aun sin tomar en cuenta el prefijo cíclico, mientras que en WiMAX este espaciamiento es de 10.94kHz, por lo que el tiempo del símbolo es de 91.4076µseg, sin prefijo cíclico. Observando estos valores, WiMAX tiene la mitad del tiempo de la trama que LTE, y su símbolo es 24.741µseg mayor que LTE, esto significa que el símbolo ocupa mayor espacio en la trama; a mayor tiempo del símbolo mayor espacio en la trama.

Diferencias:

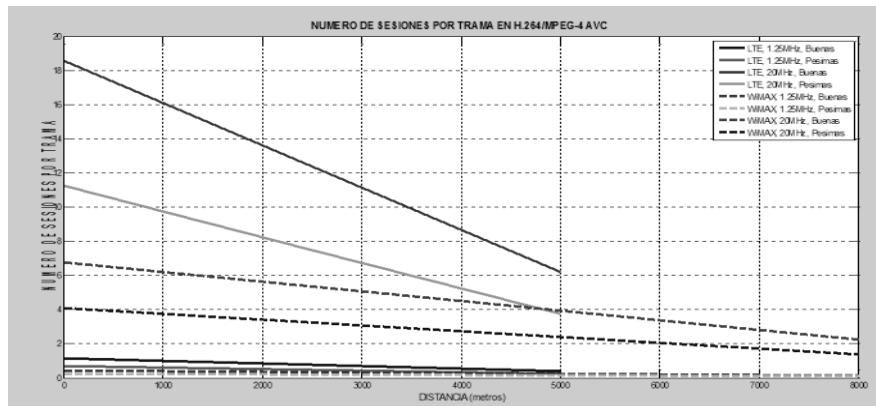


Figura 3. Número de sesiones por trama del codec de video H.264/MPEG-4 AVC en 1.25MHz y 20MHz, con buenas y pésimas condiciones del canal.

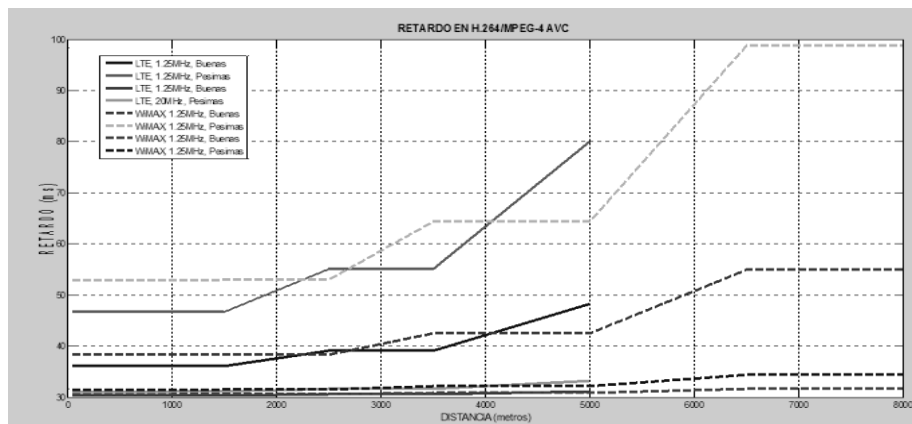


Figura 4. Retardo del codec de video H.264/MPEG-4 AVC en 1.25MHz y 20MHz, con buenas y pésimas condiciones del canal.

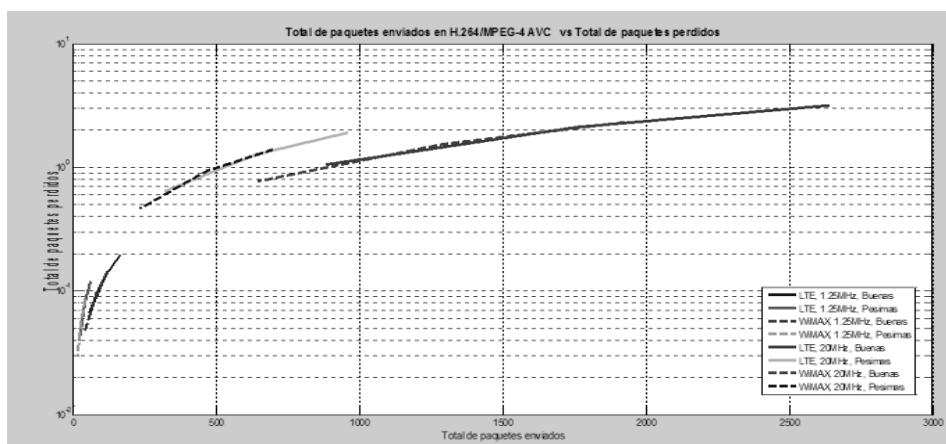


Figura 5. Paquetes enviados versus Paquetes Perdidos en LTE/WiMAX empleando el codec de video H.264/MPEG-4 AVC en 1.25MHz y 20MHz de ancho de banda, con buenas y pésimas condiciones del canal.

D.F: Alfaomega, 2006.

Bibliografía

- [1] V. Horia Muntean and M. Otesteanu, "WiMAX versus LTE - An overview of technical aspects for Next Generation Networks technologies," vol. 10, no. 978-1-4244-8457-7, pp. 225 - 228, 2010.
- [2] A. Shneyderman and A. Casati, Fixed Mobile Convergence: Voice Over Wi-fi, Ims, Uma/gan, Femtocells, and Other Enablers, McGraw-Hill Prof Med/Tech, 2008.
- [3] S. Sesia, I. Toufik and M. Baker, LTE. The UMTS Long Term Evolution, Primera Edición ed., John Wiley & Sons, 2009.
- [4] A. K. Al Tamimi, "Exponential Effective Signal To Noise Ratio Mapping (EESM) Computation For WiMAX Physical Layer," Saint Louis, Missouri, 2007.
- [5] E. Danlman, S. Parkvall, J. Sköld and P. Beming, 3G Evolution. HSPA and LTE for Mobile Broadband, Oxford: Elsevier, 2008, pp. 43-64.
- [6] ITU-T, "Recommendation H.264," International Telecommunications Union, Switzerland, 2012.
- [7] ISO, "Information technology -- Coding of audio-visual objects -- Part 10: Advanced Video Coding," ISO, Switzerland, 2005.
- [8] H. Wang, L. P. Kondi, A. Luthra and S. Ci, 4G Wireless Video Communications, Primera Edición ed., John Wiley and Sons, 2009.
- [9] J. M. Huidobro Moya and R. M. David, Tecnología VoIP y Telefonía IP, Mexico D.F: Alfaomega, 2006.
- [10] M. d. P. Alegre Ramos, Sistemas operativos monopuestos, Madrid: Ediciones Paraninfo, 2010, p. 30.
- [11] N. W. Group, "RObust Header Compression (ROHC): Framework and four profiles: RTP, UDP, ESP, and uncompressed," Network Working Group, 2001.
- [12] M. D. Katz and F. H. P. Fitzek, WiMAX Evolution, Primera Edición ed., Editorial Wiley, 2009.