



Escuela
Politécnica
Superior

Aplicación multiplataforma para el Entrenamiento de Oído



Grado en Ingeniería Informática

Trabajo Fin de Grado

Autor:

Sergiy Kazantsev

Tutor:

Miguel Ángel Teruel Martínez

Enero 2026

Aplicación multiplataforma para el Entrenamiento de Oído

Desarrollo de un entrenador de oído multiplataforma para mejorar las capacidades auditivas

Autor

Sergiy Kazantsev

Tutor

Miguel Ángel Teruel Martínez
Lenguajes y Sistemas Informáticos



Grado en Ingeniería Informática



Escuela
Politécnica
Superior



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

Preámbulo

El desarrollo de este proyecto se llevó a cabo motivado tanto por la investigación de las tecnologías informáticas como por el interés personal sobre la música y harmonía. Actualmente, los niños y adolescentes que cursan estudios musicales asisten a escuelas de música, donde se imparten los conceptos básicos de la estructura de las partituras, el lenguaje musical y el uso de los instrumentos.

Este trabajo tiene como objetivo facilitar el aprendizaje de música para los alumnos a través de una aplicación multiplataforma a la cual se podrá acceder en cualquier momento desde un dispositivo móvil o un navegador, principalmente durante el tiempo libre o a la hora de hacer los deberes musicales en casa. Para ello, se pretende diseñar una interfaz y experiencia de usuario *user-friendly*. Los alumnos podrán poner en práctica los conceptos teóricos aprendidos a través de la realización de tareas cortas basadas en el Aprendizaje Basado en Juegos. Cabe destacar que no es una aplicación para aprender la teoría musical, sino que ha sido creada pensando en el usuario que ya dispone de conocimientos previos, y sirve para el entrenamiento de sus capacidades auditivas y el refuerzo de las lecciones aprendidas en la escuela de música.

Tiene como finalidad abordar varios campos del aprendizaje de música, tales como el reconocimiento de las notas, de los intervalos, modos, tonalidades, acordes, etc. dividido en varios niveles accesibles una vez completado el nivel previo. Como el instrumento musical principal, se usará el piano, generando sus sonidos con MIDI y Soundfont.

El desarrollo de la aplicación se lleva a cabo haciendo uso de las Metodologías Ágiles, aplicando el desarrollo incremental basado en iteraciones. Además, se implementa la integración de gestión de usuarios. Dentro de la aplicación, cada usuario podrá registrarse e iniciar sesión con el fin de poder hacer un seguimiento de su evolución dentro de cada apartado de la aplicación (p. ej. de la sección del reconocimiento de intervalos).

Revisar el alcance una vez hecho el proyecto

Agradecimientos¹

Este trabajo no habría sido posible sin el apoyo y el estímulo de mi colega y amigo, Doctor Rudolf Fliesning, bajo cuya supervisión escogí este tema y comencé la tesis. Sr. Quentin Travers, mi consejero en las etapas finales del trabajo, también ha sido generosamente servicial, y me ha ayudado de numerosos modos, incluyendo el resumen del contenido de los documentos que no estaban disponibles para mi examen, y en particular por permitirme leer, en cuanto estuvieron disponibles, las copias de los recientes extractos de los diarios de campaña del Vigilante Rupert Giles y la actual Cazadora la señorita Buffy Summers, que se encontraron con William the Bloody en 1998, y por facilitarme el pleno acceso a los diarios de anteriores Vigilantes relevantes a la carrera de William the Bloody.

También me gustaría agradecerle al Consejo la concesión de Wyndham-Pryce como Compañero, el cual me ha apoyado durante mis dos años de investigación, y la concesión de dos subvenciones de viajes, una para estudiar documentos en los Archivos de Vigilantes sellados en Munich, y otra para la investigación en campaña en Praga. Me gustaría agradecer a Sr. Travers, otra vez, por facilitarme la acreditación de seguridad para el trabajo en los Archivos de Munich, y al Doctor Fliesning por su apoyo colegial y ayuda en ambos viajes de investigación.

No puedo terminar sin agradecer a mi familia, en cuyo estímulo constante y amor he confiado a lo largo de mis años en la Academia. Estoy agradecida también a los ejemplos de mis difuntos hermano, Desmond Chalmers, Vigilante en Entrenamiento, y padre, Albert Chalmers, Vigilante. Su coraje resuelto y convicción siempre me inspirarán, y espero seguir, a mi propio y pequeño modo, la noble misión por la que dieron sus vidas.

Es a ellos a quien dedico este trabajo.

Cambiar

¹Por si alguien tiene curiosidad, este “simpático” agradecimiento está tomado de la “Tesis de Lydia Chalmers” basada en el universo del programa de televisión Buffy, la Cazadora de Vampiros.<http://www.buffy-cazavampiros.com/Spiketesis/tesis.inicio.htm>

*A mi esposa Marganit, y a mis hijos Ella Rose y Daniel Adams,
sin los cuales habría podido acabar este libro dos años antes*²

Cambiar

²Dedicatoria de Joseph J. Roman en "An Introduction to Algebraic Topology"

*Toda la sabiduría humana
está contenida en estas dos palabras:
Esperar y tener esperanza.*

El Conde de Montecristo,
Alexandre Dumas.

Índice general

1	Introducción	1
1.1	El proceso de enseñanza musical	1
1.2	Entrenamiento del oído	2
1.2.1	Notas musicales	2
1.2.2	Instrumento utilizado	3
1.2.3	Octavas	3
1.2.3.1	Intervalos	3
1.2.4	Melodía	4
1.2.4.1	Modos	4
1.2.5	Armonía	4
1.2.5.1	Tonalidades	4
1.2.5.2	Acordes	4
1.2.6	Ritmo	4
1.3	Problemas de enseñanza tradicional	4
Bibliografía		6

Índice de figuras

1.1	Nombres de las notas musicales	2
1.2	Las octavas del piano (Díaz Caballero y cols., 2013)	3
1.3	Los intervalos de semitonos (<i>Referencia : semitonos cromáticos y diatónicos, s.f.</i>)	4

Índice de tablas

1.1	Los intervalos en música.	4
-----	-----------------------------------	---

Índice de Códigos

1 Introducción

Las aplicaciones de dispositivos móviles se han convertido en una parte importante y esencial en nuestras vidas cotidianas, alcanzando casi 96% de la población en países desarrollados entre la población joven (Atske, 2025). Este fenómeno ha provocado un auge tanto de las tecnologías nativas del móvil, como las de multiplataforma, alcanzando así una mayor cuota del mercado.

Este trabajo tiene como objetivo estudiar el framework multiplataforma Flutter y el proceso de desarrollo de una aplicación compatible con los navegadores Web y el sistema operativo Android.

1.1 El proceso de enseñanza musical

La música, en su manifestación, es una creación artística. Sin embargo, hoy en día, la enseñanza musical, aparte del arte, incluye el estudio teórico, la memorización y repetición de patrones. En España, es una asignatura de estudios primarios y secundarios obligatorios, aunque con el contenido impartido limitado a la lectura de partituras y el uso de instrumentos como la flauta o el ukulele.

Por otro lado, en España también existen docenas de conservatorios y escuelas musicales que tienen un programa de enseñanza más amplio y regulado por el Gobierno de España y de la Comunidad Autónoma. Dichas instituciones de enseñanza musical ofrecen varios niveles de profesionalización, siendo los estudios superiores de música el nivel más alto.

Este Trabajo Final de Grado (TFG) está destinado a las personas estudiantes de música que poseen conocimientos teóricos elementales y profesionales sobre la lectura y reconocimiento de las partituras y del lenguaje musical, que se alcanza durante la realización de estudios por las personas de edades de 8 a 18 años. Según el Real Decreto 1577/2006 (2006), los alumnos deben tener, entre otras, las siguientes habilidades:

- Desarrollar el oído interno tanto en el análisis como en la realización de ejercicios escritos.
- Utilizar el «oído interno» como base de la afinación, de la audición armónica y de la interpretación musical.
- Identificar a través de la audición:
 - Notas
 - Intervalos
 - Acordes
 - Modos

1.2 Entrenamiento del oído

El entrenamiento auditivo es una actividad de desarrollo de la destreza que le permite al músico a reconocer distintas notas, intervalos y modos al escucharlos, sin tener acceso a ninguna herramienta ni partitura. El entrenamiento del oído tiene muchas similitudes con el uso del oído en la vida cotidiana: su propósito es diferenciar y entender auditivamente. En el caso de la música, son los sonidos de un instrumento; en la vida cotidiana serían las palabras e intonaciones de la voz.

Dentro de este trabajo, se tratará sobre los elementos auditivos puramente sonoros, sin considerar los aspectos artísticos y emocionales que transmite la música. Los elementos esenciales del sonido son:

- La altura: definida con un nombre (Do, Re; A, B)
- La intensidad
- La duración

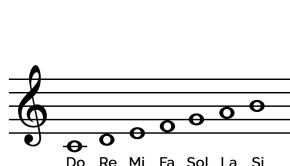
También se van a considerar las estructuras como:

- Estructuras melódicas: modos y escalas
- Estructuras armónicas: tonalidades, acordes
- Ritmos

A continuación se definen los conceptos esenciales del sonido y música.

1.2.1 Notas musicales

Las notas musicales son sonidos con una determinada frecuencia (Hz). La altura de una nota es directamente proporcional a su frecuencia. Cada nota tiene su propio nombre:



(a) Sistema solfeo



(b) Sistema anglo-sajón

Figura 1.1: Nombres de las notas musicales

En este trabajo, se utilizará el sistema solfeo para referirse a las notas. Cada nota musical también puede representarse en un ordenador a través del protocolo Musical Instrument Digital Interface (MIDI), tema que se abordará en los siguientes capítulos.

Cambiar sin negatividad

1.2.2 Instrumento utilizado

Para la mayoría de los estudiantes del conservatorio, el piano se convierte en el primer instrumento con el cual se acostumbran a lo largo de su formación musical. Incluso si el estudiante decide especializarse en otro instrumento, el piano resulta fundamental para impartir las asignaturas de teoría musical y el solfeo¹.

Para el desarrollo de una aplicación de entrenamiento del oído, el piano es una opción adecuada, ya que es un instrumento que se puede virtualizar y representar las notas musicales con precisión y exactitud, incluso cuando el usuario no dispone de periféricos.

1.2.3 Octavas

En el piano hay 88 teclas, cada una de las cuales tiene una frecuencia determinada (desde 20 hz y hasta 20000 Hz). La distancia mínima en frecuencia/altura de cada tecla siempre es la misma, y se denomina "semitono". Gracias a los tonos y semitonos, se puede saber exactamente la distancia entre cada nota, por ejemplo: entre Do y Re la distancia es un tono, entre Do y Do♯ la distancia es un semitono (ver figura 1.2).

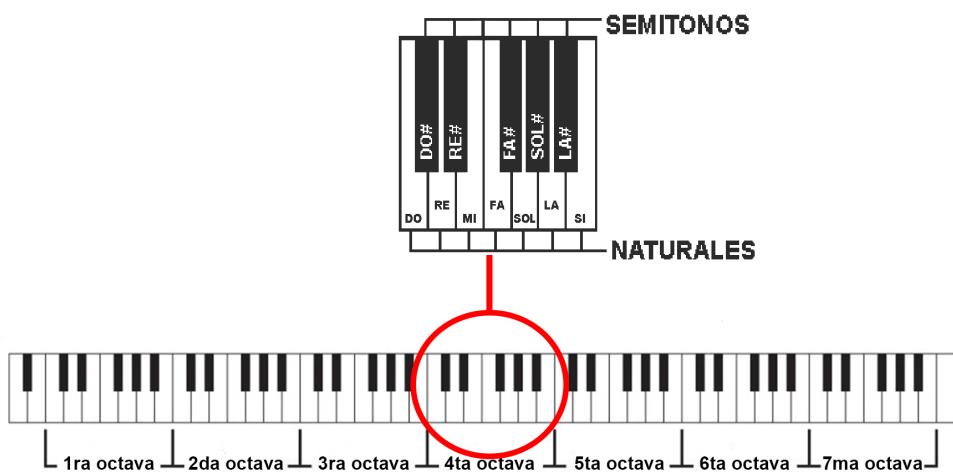


Figura 1.2: Las octavas del piano (Díaz Caballero y cols., 2013)

1.2.3.1 Intervalos

Un intervalo es la diferencia entre dos sonidos aislados, y se puede referir tanto a los acordes (suenan simultáneamente) como a las melodías (sonidos sucesivos).

Los dos tipos de semitonos que existen según el intervalo son:

- **Semitono cromático:** Las dos notas del intervalo tienen el mismo nombre (Ver 1.3. Intervalo entre La-La♯).
- **Semitono diatónico:** Las dos notas del intervalo tienen nombres distintos (Ver 1.3. Intervalo entre La-Si♭).

¹En este TFG, el solfeo se refiere al entrenamiento del oído interno y a la lectura de las partituras

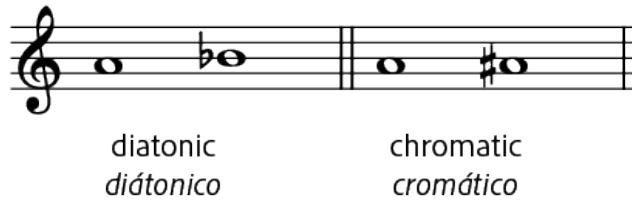


Figura 1.3: Los intervalos de semitonos (*Referencia : semitonos cromáticos y diatónicos, s.f.*)

Los intervalos de más de un semitono se califican en:

Nombre	Cantidad de semitonos
2 ^a Menor	1 Semitono
2 ^a Mayor	1 Tono
3 ^a Menor	1 Tono + 1 Semitono
3 ^a Mayor	2 Tonos
4 ^a Justa	2 Tonos + 1 Semitono
5 ^a Justa	3 Tonos + 1 Semitono
6 ^a Menor	4 Tonos
6 ^a Mayor	4 Tonos + 1 Semitono
7 ^a Menor	5 Tonos
7 ^a Mayor	5 Tonos + 1 Semitono
8 ^a Justa	6 Tonos

Tabla 1.1: Los intervalos en música.

1.2.4 Melodía

1.2.4.1 Modos

1.2.5 Armonía

1.2.5.1 Tonalidad

1.2.5.2 Acordes

1.2.6 Ritmo

1.3 Problemas de enseñanza tradicional

Actualmente, la forma más eficiente del aprendizaje de la música, y la preferida por los tutores, es la asistencia a los conservatorios y escuelas de música de forma extracurricular. En consecuencia, el niño es obligado a asistir tanto a su escuela de primaria/secundaria como, durante su tiempo libre, a la escuela de música. Además, es obligado a la realización

de las tareas académicas de ambas durante su tiempo libre, lo cual podría generar falta de motivación, resentimiento y el síndrome de agotamiento (*burnout*). Por otro lado, los alumnos también informan de la falta de reconocimiento y la falta de apoyo (Orzel, 2010).

Otro problema relevante está relacionado con los estudiantes de música procedentes de familias de bajos recursos económicos. Según Busby (2019), los niños procedentes de familias pobres tienen 3 veces más probabilidades de no participar en actividades extracurriculares, como los estudios musicales. En contraste, la mayoría de los padres de familias de bajos ingresos reconocen el efecto positivo que la música y la formación musical tienen sobre sus hijos (Ho y cols., 2020).

Bibliografía

- AENOR. (1997). *norma une 50136:1997*. Descargado de http://docubib.uc3m.es/CURSOS/Documentos_cientificos/Normas%20y%20directrices/UNE_50136=ISO%207144.pdf
- Akyildiz, I. F., Pompili, D., y Melodia, T. (2005). Underwater acoustic sensor networks: research challenges. *Ad hoc networks*, 3(3), 257–279.
- Alexander, G. E., y Crutcher, M. D. (1990). Functional architecture of basal ganglia circuits: neural substrates of parallel processing. *Trends in neurosciences*, 13(7), 266–271.
- Anderson, J. R. (2013). *The architecture of cognition*. Psychology Press.
- Atske, S. (2025, 12). *Teens and Internet, Device Access Fact sheet*. Descargado de <https://www.pewresearch.org/internet/fact-sheet/teens-and-internet-device-access-fact-sheet/>
- Auld, B. A. (1973). *Acoustic fields and waves in solids*. .
- Baddeley, A. D. (1966). Short-term memory for word sequences as a function of acoustic, semantic and formal similarity. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 18(4), 362–365.
- Barkan, A., Merlino, R. L., y D'angelo, N. (1995). Laboratory observation of the dust-acoustic wave mode. *Physics of Plasmas*, 2(10), 3563–3565.
- Bass, L. (2007). *Software architecture in practice*. Pearson Education India.
- Biot, M. A. (1962). Mechanics of deformation and acoustic propagation in porous media. *Journal of applied physics*, 33(4), 1482–1498.
- Blake, S., Black, D., Carlson, M., Davies, E., Wang, Z., y Weiss, W. (1998). *An architecture for differentiated services* (Inf. Téc.).
- BOE. (2012, marzo). *Resolución de 7 de marzo de 2012, de la universidad de alicante, por la que se publica el plan de estudios de graduado en ingeniería multimedia*. BOE, 22 marzo de 2012. Descargado de <http://www.boe.es/boe/dias/2012/03/22/pdfs/BOE-A-2012-4008.pdf>
- Boll, S. (1979). Suppression of acoustic noise in speech using spectral subtraction. *IEEE Transactions on acoustics, speech, and signal processing*, 27(2), 113–120.
- Burdic, W. S. (1991). *Underwater acoustic system analysis*. Prentice Hall.

- Busby, E. (2019, 7). *Poorest children three times more likely to miss out on extra-curricular activities, study finds / The Independent*. Descargado de <https://www.independent.co.uk/news/education/education-news/poverty-children-school-extracurricular-music-sport-social-mobility-family-a9010936.html>
- Buschmann, F., Henney, K., y Schimdt, D. (2007). *Pattern-oriented software architecture: on patterns and pattern language* (Vol. 5). John wiley & sons.
- Cerjan, C., Kosloff, D., Kosloff, R., y Reshef, M. (1985). A nonreflecting boundary condition for discrete acoustic and elastic wave equations. *Geophysics*, 50(4), 705–708.
- Colton, D., y Kress, R. (2012). *Inverse acoustic and electromagnetic scattering theory* (Vol. 93). Springer Science & Business Media.
- Conrad, R. (1964). Acoustic confusions in immediate memory. *British journal of Psychology*, 55(1), 75–84.
- Cox, T. J., D'antonio, P., y Schroeder, M. (2005). Acoustic absorbers and diffusers, theory, design and application. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 117(3), 988–988.
- Díaz Caballero, J., Canino Ramos, C., y Morejon, G. (2013, 02). Heuristics of the platonic polyhedra for the high restrictions reality research. *Revista Cubana de Ingeniería*, 4. doi: 10.1234/rcl.v4i1.135
- Eisenstein, D. J., Zehavi, I., Hogg, D. W., Scoccimarro, R., Blanton, M. R., Nichol, R. C., ... others (2005). Detection of the baryon acoustic peak in the large-scale correlation function of sdss luminous red galaxies. *The Astrophysical Journal*, 633(2), 560.
- Fahlman, S. E., y Lebiere, C. (1990). The cascade-correlation learning architecture. En *Advances in neural information processing systems* (pp. 524–532).
- Fant, G. (1971). *Acoustic theory of speech production: with calculations based on x-ray studies of russian articulations* (Vol. 2). Walter de Gruyter.
- Fodor, J. A., y Pylyshyn, Z. W. (1988). Connectionism and cognitive architecture: A critical analysis. *Cognition*, 28(1), 3–71.
- Foschini, G. J. (1996). Layered space-time architecture for wireless communication in a fading environment when using multi-element antennas. *Bell labs technical journal*, 1(2), 41–59.
- Fowler, M. (2002). *Patterns of enterprise application architecture*. Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc.
- Griffin, D. R. (1958). Listening in the dark: the acoustic orientation of bats and men.
- Heinz, M., Carsten, y Hoffmann, J. (2014, March). *The listings package, march 2014*. <http://texdoc.net/texmf-dist/doc/latex/listings/listings.pdf>. Descargado 12/12/2014, de <http://texdoc.net/texmf-dist/doc/latex/listings/listings.pdf>

- Heinzelman, W. B., Chandrakasan, A. P., y Balakrishnan, H. (2002). An application-specific protocol architecture for wireless microsensor networks. *IEEE Transactions on wireless communications*, 1(4), 660–670.
- Hennessy, J. L., y Patterson, D. A. (2011). *Computer architecture: a quantitative approach*. Elsevier.
- Hinton, G., Deng, L., Yu, D., Dahl, G. E., Mohamed, A.-r., Jaitly, N., ... others (2012). Deep neural networks for acoustic modeling in speech recognition: The shared views of four research groups. *IEEE Signal Processing Magazine*, 29(6), 82–97.
- Ho, L. L. K., Li, W. H. C., Cheung, A. T., Xia, W., Ho, K. Y., y Chung, J. O. K. (2020, 9). Low-income parents' perceptions of the importance of a musical training programme for their children: a qualitative study. *BMC Public Health*, 20(1), 1454. Descargado de <https://PMC.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7519511/> doi: 10.1186/s12889-020-09568-7
- Hubel, D. H., y Wiesel, T. N. (1962). Receptive fields, binocular interaction and functional architecture in the cat's visual cortex. *The Journal of physiology*, 160(1), 106–154.
- Hubel, D. H., y Wiesel, T. N. (1968). Receptive fields and functional architecture of monkey striate cortex. *The Journal of physiology*, 195(1), 215–243.
- Jia, Y., Shelhamer, E., Donahue, J., Karayev, S., Long, J., Girshick, R., ... Darrell, T. (2014). Caffe: Convolutional architecture for fast feature embedding. En *Proceedings of the 22nd ACM international conference on multimedia* (pp. 675–678).
- Kemp, D. T. (1978). Stimulated acoustic emissions from within the human auditory system. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 64(5), 1386–1391.
- Kushwaha, M. S., Halevi, P., Dobrzynski, L., y Djafari-Rouhani, B. (1993). Acoustic band structure of periodic elastic composites. *Physical review letters*, 71(13), 2022.
- Leighton, T. (2012). *The acoustic bubble*. Academic press.
- McCarthy, B. (2012). *Sound systems: design and optimization: modern techniques and tools for sound system design and alignment*. CRC Press.
- Mitola, J. (2000). Cognitive radio—an integrated agent architecture for software defined radio.
- Muthupillai, R., Lomas, D., Rossman, P., Greenleaf, J. F., Manduca, A., y Ehman, R. L. (1995). Magnetic resonance elastography by direct visualization of propagating acoustic strain waves. *science*, 269(5232), 1854–1857.
- Orzel, H. J. (2010). *Undergraduate music student stress and burnout*. Descargado de https://scholarworks.sjsu.edu/etd_theses/3887?utm_source=scholarworks.sjsu.edu%2Fetd_theses%2F3887&utm_medium=PDF&utm_campaign=PDFCoverPages
- Rao, N., Shukla, P., y Yu, M. Y. (1990). Dust-acoustic waves in dusty plasmas. *Planetary and space science*, 38(4), 543–546.

- Real Decreto 1577/2006. (2006). *Real decreto 1577/2006, de 22 de diciembre, por el que se fijan los aspectos básicos del currículo de las enseñanzas profesionales de música*. Descargado de <https://www.boe.es/buscar/pdf/2007/BOE-A-2007-1221-consolidado.pdf>
- Referencia : semitonos cromáticos y diatónicos.* (s.f.). Descargado de <https://www.teoria.com/es/referencia/c/crom-diat.php>
- Resnick, P., Iacovou, N., Suchak, M., Bergstrom, P., y Riedl, J. (1994). GroupLens: an open architecture for collaborative filtering of netnews. En *Proceedings of the 1994 acm conference on computer supported cooperative work* (pp. 175–186).
- Rosenbaum, J. (1988). *Bulk acoustic wave theory and devices*. Artech House on Demand.
- Shaw, M., y Garlan, D. (1996). *Software architecture: perspectives on an emerging discipline* (Vol. 1). Prentice Hall Englewood Cliffs.
- Simon, H. A. (1991). The architecture of complexity. En *Facets of systems science* (pp. 457–476). Springer.
- Ulrich, K. (1995). The role of product architecture in the manufacturing firm. *Research policy*, 24(3), 419–440.
- Villa, D. (2008, 4). *Latex: Listados de código cómodos y resultones con listings*. <http://crysol.org/es/node/909>. Descargado 12/12/2014, de <http://crysol.org/es/node/909>
- Wolniansky, P. W., Foschini, G. J., Golden, G., y Valenzuela, R. A. (1998). V-blast: An architecture for realizing very high data rates over the rich-scattering wireless channel. En *Signals, systems, and electronics, 1998. issse 98. 1998 ursi international symposium on* (pp. 295–300).