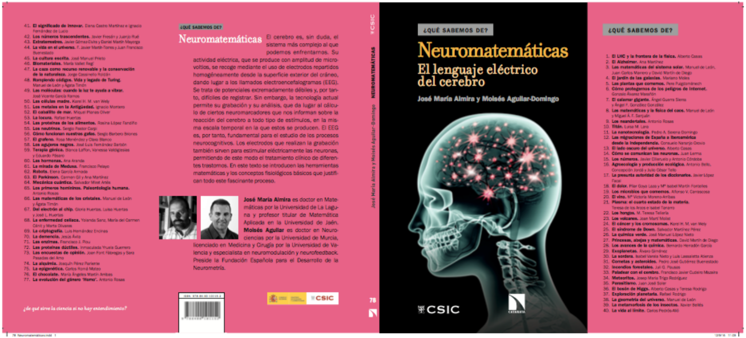
J. M. ALMIRA, M. AGUILAR,

.Neuromaths. The electrical language of the brain, In "What do we know about...?" Volume 78, CSIC Books (2016)



41. **El significado de innovar.** Elena Castro Martínez e Ignacio Fernández de Lucio
42. **Los números trascendentes.** Javier Fresán y Juanjo Rué
43. **Extraterrestres.** Javier Gómez-Elvira y Daniel Martín Mayorga
44. **La vida en el universo.** F. Javier Martín-Torres y Juan Francisco Buenestado
45. **La cultura escrita.** José Manuel Prieto
46. **Biomateriales.** María Vallet Regí
47. **La caza como recurso renovable y la conservación de la naturaleza.** Jorge Cassinello Roldán
48. **Rompiendo códigos. Vida y legado de Turing.** Manuel de León y Ágata Timón
49. **Las moléculas: cuando la luz te ayuda a vibrar.** José Vicente García Ramos
50. **Las células madre.** Karel H. M. van Wely
51. **Los metales en la Antigüedad.** Ignacio Montero
52. **El caballito de mar.** Miquel Planas Oliver
53. **La locura.** Rafael Huertas
54. **Las proteínas de los alimentos.** Rosina López Fandiño
55. **Los neutrinos.** Sergio Pastor Carpi
56. **Cómo funcionan nuestras gafas.** Sergio Barbero Briones
57. **El grafeno.** Rosa Menéndez y Clara Blanco
58. **Los agujeros negros.** José Luis Fernández Barbón
59. **Terapia génica.** Blanca Laffon, Vanessa Valdiglesias y Eduardo Pásaro
60. **Las hormonas.** Ana Aranda
61. **La mirada de Medusa.** Francisco Pelayo
62. **Robots.** Elena García Armada
63. **El Parkinson.** Carmen Gil y Ana Martínez
64. **Mecánica cuántica.** Salvador Miret Artés
65. **Los primeros homininos. Paleontología humana.** Antonio Rosas
66. **Las matemáticas de los cristales.** Manuel de León y Ágata Timón
67. **Del electrón al chip.** Gloria Huertas, Luisa Huertas y José L. Huertas
68. **La enfermedad celiaca.** Yolanda Sanz, María del Carmen Cénit y Marta Olivares
69. **La criptografía.** Luis Hernández Encinas
70. **La demencia.** Jesús Ávila
71. **Las enzimas.** Francisco J. Plou
72. **Las proteínas dúctiles.** Inmaculada Yruela Guerrero
73. **Las encuestas de opinión.** Joan Font Fàbregas y Sara Pasadas del Amo
74. **La alquimia.** Joaquín Pérez Pariente
75. **La epigenética.** Carlos Romá Mateo
76. **El chocolate.** María Ángeles Martín Arribas
77. **La evolución del género 'Homo'.** Antonio Rosas

¿de qué sirve la ciencia si no hay entendimiento?

¿QUÉ SABEMOS DE?

Neuromatemáticas

El cerebro es, sin duda, el sistema más complejo al que podemos enfrentarnos. Su actividad eléctrica, que se produce con amplitud de microvoltios, se recoge mediante el uso de electrodos repartidos homogéneamente desde la superficie exterior del cráneo, dando lugar a los llamados electroencefalogramas (EEG). Se trata de potenciales extremadamente débiles y, por tanto, difíciles de registrar. Sin embargo, la tecnología actual permite su grabación y su análisis, que da lugar al cálculo de ciertos neuromarcadores que nos informan sobre la reacción del cerebro a todo tipo de estímulos, en la misma escala temporal en la que estos se producen. El EEG es, por tanto, fundamental para el estudio de los procesos neurocognitivos. Los electrodos que realizan la grabación también sirven para estimular eléctricamente las neuronas, permitiendo de este modo el tratamiento clínico de diferentes trastornos. En este texto se introducen las herramientas matemáticas y los conceptos fisiológicos básicos que justifican todo este fascinante proceso.

José María Almira es doctor en Matemáticas por la Universidad de La Laguna y profesor titular de Matemática Aplicada en la Universidad de Jaén. **Moisés Aguilar** es doctor en Neurociencias por la Universidad de Murcia, licenciado en Medicina y Cirugía por la Universidad de Valencia y especialista en neuromodulación y neurofeedback. Preside la Fundación Española para el Desarrollo de la Neurometría.

CSIC

José María Almira y Moisés Aguilar-Domingo NEUROMATEMÁTICAS

78

¿QUÉ SABEMOS DE?

Neuromatemáticas

El lenguaje eléctrico del cerebro

José María Almira y Moisés Aguilar-Domingo

CSIC

¿QUÉ SABEMOS DE?

1. **El LHC y la frontera de la física.** Alberto Casas
2. **El Alzheimer.** Ana Martínez
3. **Las matemáticas del sistema solar.** Manuel de León, Juan Carlos Marrero y David Martín de Diego
4. **El jardín de las galaxias.** Mariano Moles
5. **Las plantas que comemos.** Pere Puigdomènech
6. **Cómo protegernos de los peligros de Internet.** Gonzalo Álvarez Marañón
7. **El calamar gigante.** Ángel Guerra Sierra y Ángel F. González González
8. **Las matemáticas y la física del caos.** Manuel de León y Miguel Á. F. Sanjuán
9. **Los neandertales.** Antonio Rosas
10. **Titán.** Luisa M. Lara
11. **La nanotecnología.** Pedro A. Serena Domingo
12. **Las migraciones de España a Iberoamérica desde la Independencia.** Consuelo Naranjo Orovio
13. **El lado oscuro del universo.** Alberto Casas
14. **Cómo se comunican las neuronas.** Juan Lerma
15. **Los números.** Javier Cilleruelo y Antonio Córdoba
16. **Agroecología y producción ecológica.** Antonio Bello, Concepción Jordá y Julio César Tello
17. **La presunta autoridad de los diccionarios.** Javier López Facal
18. **El dolor.** Pilar Goya Laza y Mª Isabel Martín Fontelles
19. **Los microbios que comemos.** Alfonso V. Carrascosa
20. **El vino.** Mª Victoria Moreno-Arribas
21. **Plasma: el cuarto estado de la materia.** Teresa de los Arcos e Isabel Tanarro
22. **Los hongos.** M. Teresa Tellería
23. **Los volcanes.** Joan Martí Molist
24. **El cáncer y los cromosomas.** Karel H. M. van Wely
25. **El síndrome de Down.** Salvador Martínez Pérez
26. **La química verde.** José Manuel López Nieto
27. **Princesas, abejas y matemáticas.** David Martín de Diego
28. **Los avances de la química.** Bernardo Herradón García
29. **Exoplanetas.** Álvaro Giménez
30. **La sordera.** Isabel Varela Nieto y Luis Lassaletta Atienza
31. **Cometas y asteroides.** Pedro José Gutiérrez Buenestado
32. **Incendios forestales.** Juli G. Pausas
33. **Paladear con el cerebro.** Francisco Javier Cudeiro Mazaira
34. **Meteoritos.** Josep Maria Trigo Rodríguez
35. **Parasitismo.** Juan José Soler
36. **El bosón de Higgs.** Alberto Casas y Teresa Rodrigo
37. **Exploración planetaria.** Rafael Rodrigo
38. **La geometría del universo.** Manuel de León
39. **La metamorfosis de los insectos.** Xavier Bellés
40. **La vida al límite.** Carlos Pedrós-Alió

https://www.amazon.co.uk/gp/product/8490972192/ref=dbs_a_def_rwt_bibl_vppi_i5

Dr Moises Aguilar-Domingo

Neurons, electrochemical cells

$$
\begin{aligned}
C_m \frac{dV}{dt} &= -g_k(V - V_K) - g_{Na}(V - V_{Na}) - g_L(V - V_L) + I(t) \\
g_K &= G_k n^4 \\
g_{Na} &= G_{Na} m^3 h \\
\frac{dn}{dt} &= \alpha_n(1 - n) - \beta_n n \\
\frac{dm}{dt} &= \alpha_m(1 - m) - \beta_m m \\
\frac{dh}{dt} &= \alpha_h(1 - h) - \beta_h h
\end{aligned}
$$

Figure: Hodgkin-Huxley model (1952; Nobel Prize in Physiology 1963)

This is the first mathematical model, using Newton's classical mechanics (that is, based on differential equations) that faithfully reflected a purely biological phenomenon.

EEG Electrode

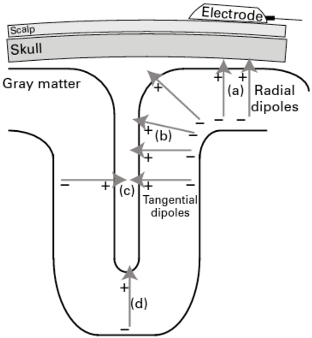


Figure 5.1

Illustration of dipoles in different orientations with respect to the skull. The dipoles illustrated in (a) will contribute the strongest signal to EEG, whereas the dipoles illustrated in (b) will contribute the strongest signal to MEG. The dipoles illustrated in (c) are unlikely to be measured because the dipoles on opposing sides of the sulcus produce electrical fields that are likely to cancel each other. The dipole illustrated in (d) will make a smaller contribution to EEG than dipole (a) because it is further away from the electrode. (This figure is inspired by figure 1 of Scherg 1990.)

Brain Rhythms

A sine wave, shown in Figure 2, is an example of an oscillation.

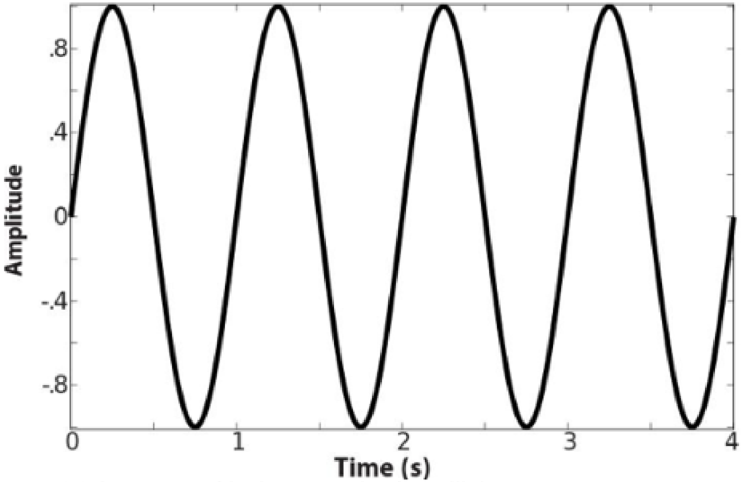
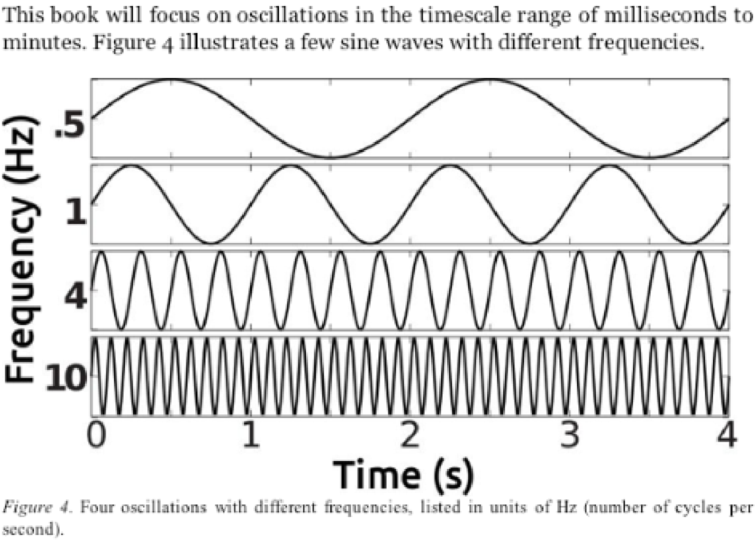


Figure 2. A sine wave, one of the clearest examples of an oscillation.

Brain rhythms (2)



This book will focus on oscillations in the timescale range of milliseconds to minutes. Figure 4 illustrates a few sine waves with different frequencies.

Figure 4. Four oscillations with different frequencies, listed in units of Hz (number of cycles per second).

Brain rhythms (3)

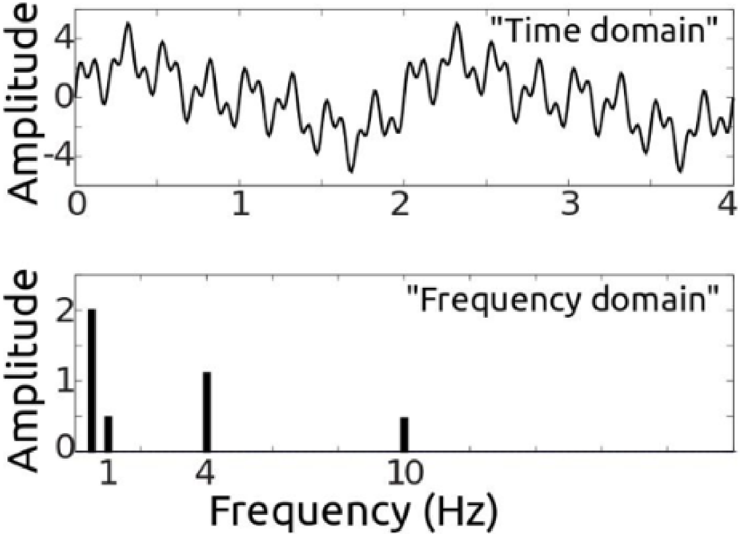
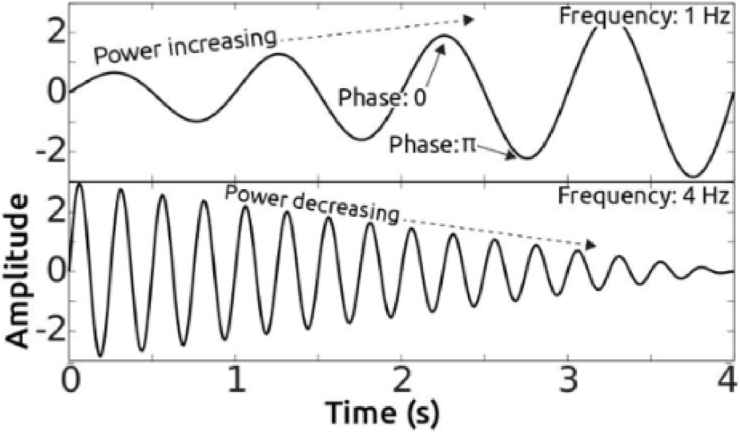
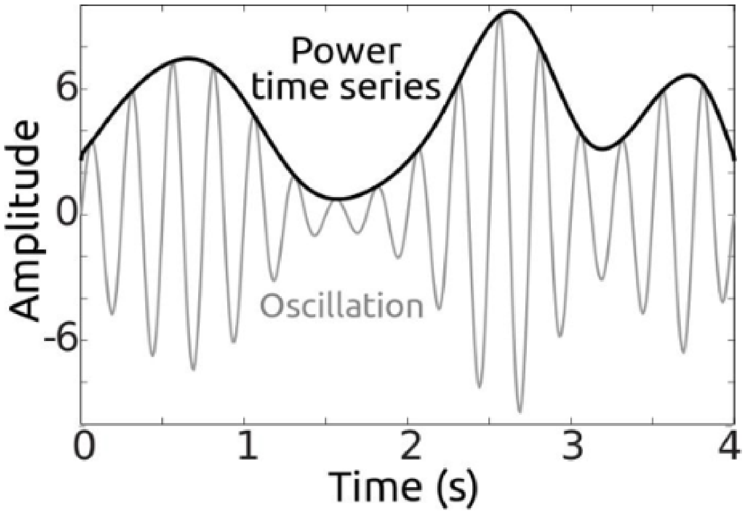


Figure 7. Several sine waves can be summed to create a more interesting-looking pattern. The Fourier transform (bottom panel) can be used to understand how the time-domain signal is made up of the individual sine wave components. You can see that the signal contains four sine waves with different frequencies. Can you see each individual sine wave component in the top plot?

Brain rhythms (4)



Brain rhythms (5)



Brain rhythms (6)

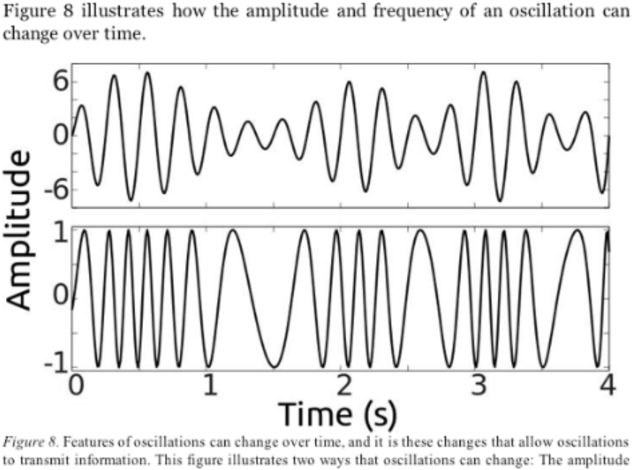
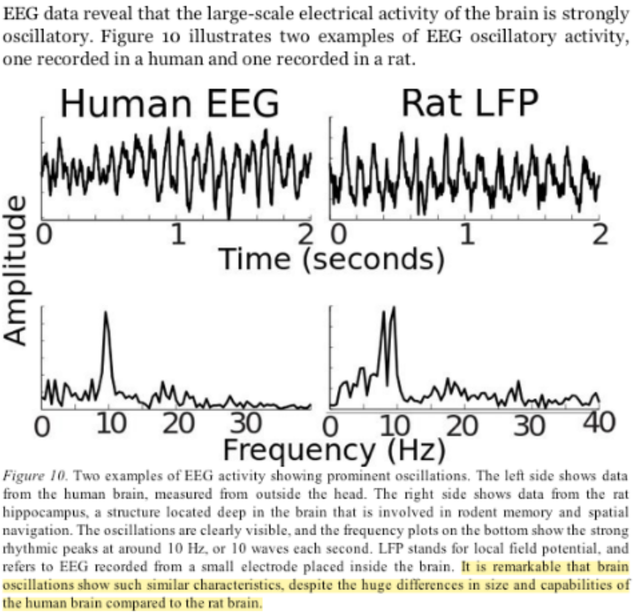


Figure 8 illustrates how the amplitude and frequency of an oscillation can change over time.

Figure 8. Features of oscillations can change over time, and it is these changes that allow oscillations to transmit information. This figure illustrates two ways that oscillations can change: The amplitude

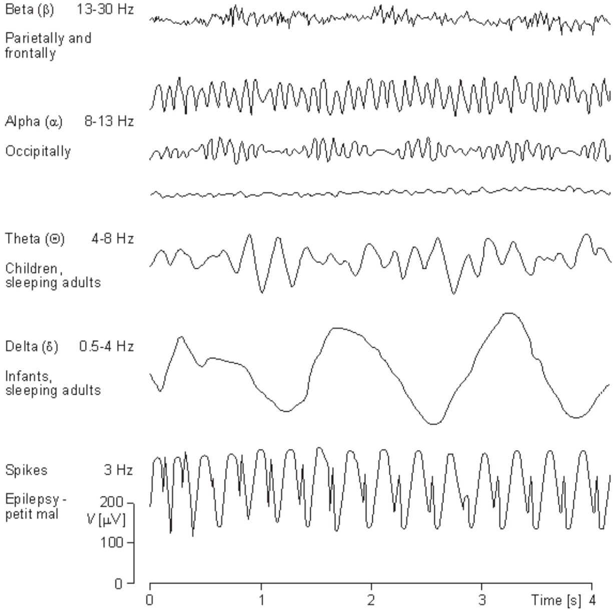
Brain rhythms (7)



EEG data reveal that the large-scale electrical activity of the brain is strongly oscillatory. Figure 10 illustrates two examples of EEG oscillatory activity, one recorded in a human and one recorded in a rat.

Figure 10. Two examples of EEG activity showing prominent oscillations. The left side shows data from the human brain, measured from outside the head. The right side shows data from the rat hippocampus, a structure located deep in the brain that is involved in rodent memory and spatial navigation. The oscillations are clearly visible, and the frequency plots on the bottom show the strong rhythmic peaks at around 10 Hz, or 10 waves each second. LFP stands for local field potential, and refers to EEG recorded from a small electrode placed inside the brain. It is remarkable that brain oscillations show such similar characteristics, despite the huge differences in size and capabilities of the human brain compared to the rat brain.

Brain rhythms (8)



Frequency and time-frequency analysis