

Geodinámica II GF41D

Denis Legrand

Universidad de Chile, DGF, Santiago

- 1. Tectónica de placas:
 - la cinemática de placas rígidas: movimientos relativos
- 2. Los limites de placas:
 - Descripción de los limites de las fronteras de las placas
- 3. Las deformaciones de las placas:
 - Deformación en las fronteras y global
 - Zonas de deformación concentrada (transformante, dorsales)
 - Zonas de deformación difusa (deformación continental + otros lugares)
- 4. El motor: ¿porque se mueven las placas?
 - convección

Entender lo global a partir del local

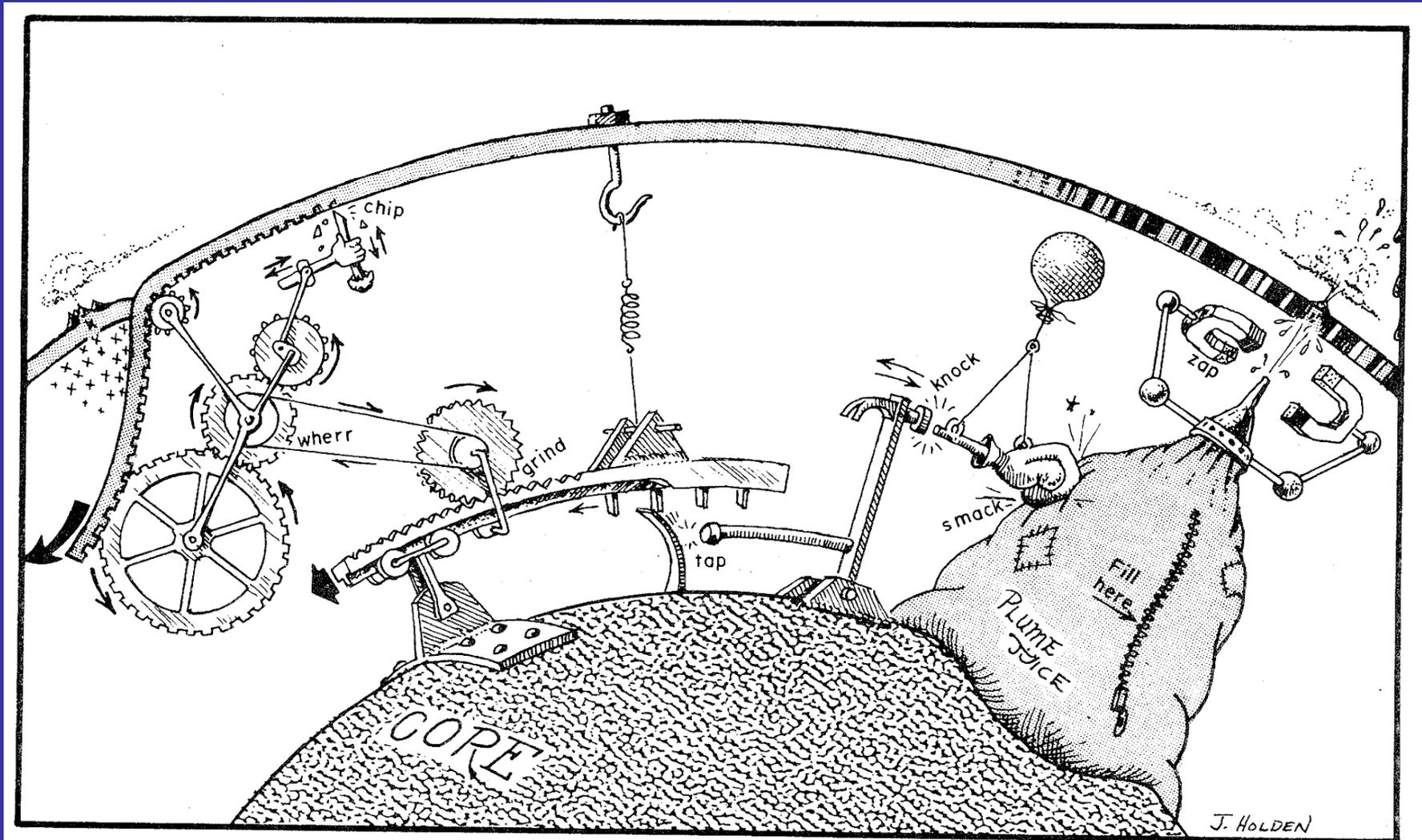
LOCAL

- Campo magnético: inversión
- Campo de gravedad
- Edad de los fondos de los océanos en cada punto (por ejemplo en función de la distancia a una dorsal)
- Topografía de los fondos oceánicos + terrestres
- Flujo de calor
- Terremotos: posición, magnitud, mecanismo y fallas asociadas
- Volcanismo: posición, composición química

GLOBAL

- Placas tectónicas: definirlas, donde están sus fronteras
- Deformaciones de estas placas y/o de sus fronteras
- Predecir movimientos futuros de estas placas (cinemática + dinámica)
- Motor que les hacen mover

Propósito de este curso: intentar entender como todo eso funciona junto: geopoesia + geotécnica

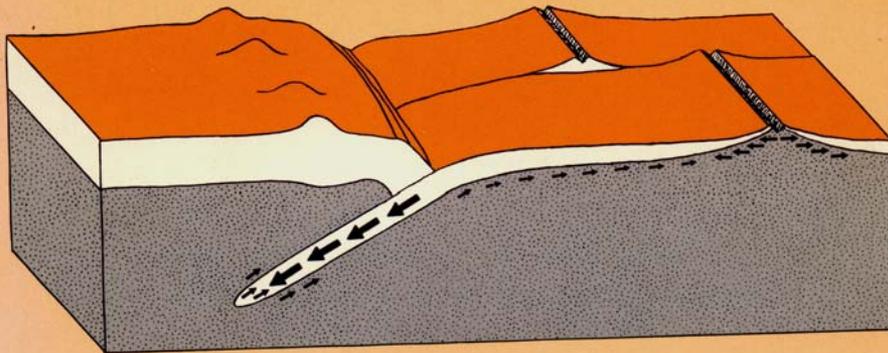


J. HOLDEN

Libros de apoyo (1986)

PLATE TECTONICS How It Works

1986



Allan Cox

Robert Brian Hart

This book is intended for the reader whose imagination has been captured by reading a popular account about plate tectonics and would like to know more. It concentrates on the quantitative side of plate tectonics because most scientifically literate people are already familiar with the qualitative side. The book will enable the reader to answer questions like the following:

How fast is London moving away from New York?

How fast was Los Angeles moving toward San Francisco 50 million years ago?

How are the motions of plates described in mathematical terms?

What geophysical observations are used to determine plate motions?

How are earthquakes related to plate motions?

How are the magnetic poles related to plate motions?

What drives the plates?

The guiding philosophy of this book is that in plate tectonics, as in chess, more insight comes from playing the game than from talking or reading about it. This is a hands-on, how-to-do-it book. Most students find that through learning the nuts and bolts of plate tectonics, they gain new insight into its power and limitations.

Blackwell Scientific Publications

P.O. Box 50009

Palo Alto, CA 94303

Osney Mead, Oxford OX2 0EL, UK

107 Barry Street

Carlton, Victoria 3053, Australia

Libros de apoyo (1994)

THE SOLID EARTH

An Introduction to Global Geophysics

C.M.R. FOWLER

Geophysics is a broad subject that encompasses not only the physics of the earth, but the physics of the atmosphere and oceans. The heart of geophysics, however, is the theory of the solid earth. This book is a general introduction to the study of modern physics of the solid earth, including the workings of both the earth's surface and its deep interior.

The book begins with a brief historical introduction to developments in geophysics. The next chapter discusses the important theory of plate tectonics and is followed logically by a chapter on geomagnetism and paleomagnetism. Subsequent chapters deal with the subjects of seismology, gravity, radioactivity and the age of the earth and heat flow in the earth. The book concludes with chapters on the physics of the oceanic and continental lithospheres.

The emphasis throughout the discussion is on basic physical principles rather than instrumentation or data handling. Many helpful worked examples are given in the text, and, in addition, there are problems of various degrees of difficulty at the end of each chapter. Appendixes explain more advanced mathematical topics and theories of seismology for mathematically inclined students. The book also contains an extensive glossary of geological and physical terms that will be useful to a broad range of physics and geology students, as well as a conversion table to Système Internationale (SI) units.

The Solid Earth is a suitable textbook for undergraduate students enrolled in introductory geophysics classes, who have a general background in the physical sciences, including introductory calculus. It can also be used as a reference book for graduate students and other researchers in the geological and geophysical sciences.

Cover illustration:
SEASAT gravity map
courtesy of W.Haxby

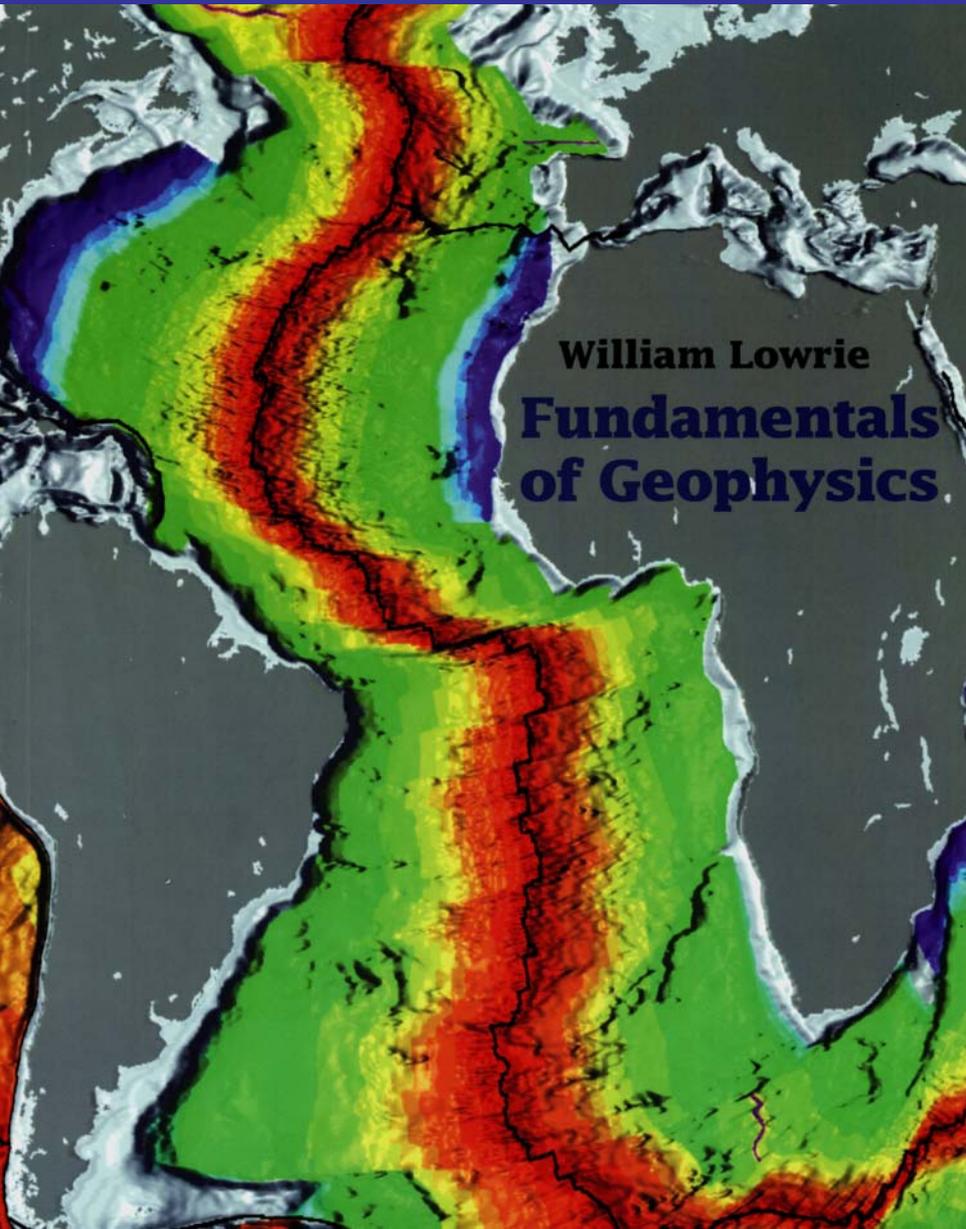
CAMBRIDGE
UNIVERSITY PRESS

ISBN 0-521-38590-3



9 780521 385909

Libros de apoyo (1997)



William Lowrie
**Fundamentals
of Geophysics**

Fundamentals of Geophysics presents a comprehensive overview of the fundamental principles of each major branch of geophysics: gravitation, seismology, dating, thermal and electrical properties, geomagnetism, paleomagnetism and geodynamics. The author explains complex concepts of applied and theoretical geophysics using abundant diagrams, a simplified mathematical treatment and easy-to-follow equations. This book will satisfy the needs of intermediate-level earth science students from a variety of backgrounds, while at the same time preparing geophysics majors for study to a higher level. The book is destined to become a core textbook for geology and geophysics programs.

From reviews of this book

'I have much enjoyed reading this fine textbook on fundamental aspects of geophysics. The writing is entertaining and captivating, the presentation is didactically fine-tuned ... The easy-flow presentation makes the book readily accessible to, perhaps, less mathematically minded geologists whilst geophysicists will find considerable substance throughout the wide coverage of subjects and the succinct overviews of geophysical specialities. ... The presentation of the volume shows superb attention to detail ... Bill Lowrie is to be congratulated with this superb effort. I highly recommend this volume as a must-have, middle-level, highly instructive textbook that makes for enjoyable reading at an easily affordable price.'

Chris Klootwijk, *Tectonophysics*

'This superb textbook manages to bear the weight of the complex mathematics associated with the study of the Earth's surface and interior. ... An excellent textook.'

David Hughes, *New Scientist*

'... will be a useful book for its target audience of undergraduates in earth science ... It is particularly useful for the quality and up-to-date nature of its diagrams and illustrations, and will serve as a helpful text in teaching students.'

Robert S. White, *Geological Magazine*

'... a very welcome addition to available texts in the area of solid earth geophysics ...'

Allan Trench, *The Australian Geologist*

'... a book like this defines the subject ... The scientific treatment is meticulous. Each topic is described precisely and clearly ... an excellent resource for the intermediate student ...'

David Gubbins, *Physics of the Earth and Planetary Interiors*

Cover image: The Age of the Ocean Floor. Age-color overlay image by R. Dietmar Mueller, University of Sydney; combined age-relief images by Peter W. Sloss, NOAA-NESDIS-NGDC. (Contributors: R. D. Mueller, W. R. Roest, J.-Y. Royer, L. M. Gahagan, J. G. Sclater.)

EYROLLES
€44.80
F293.87

CAMBRIDGE
UNIVERSITY PRESS

ISBN 0-521-46728-4



9 780521 467285

1. La tectónica de placas

1.1 Introducción:

1.1.1 Modelo de la Tierra a 2 capas: Manto, Núcleo

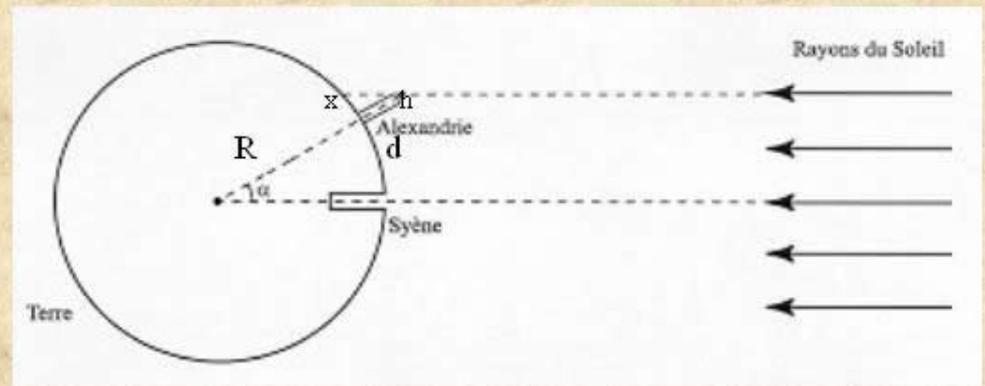
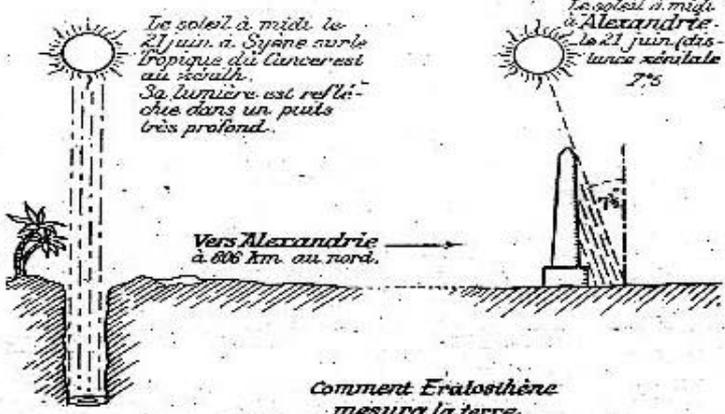
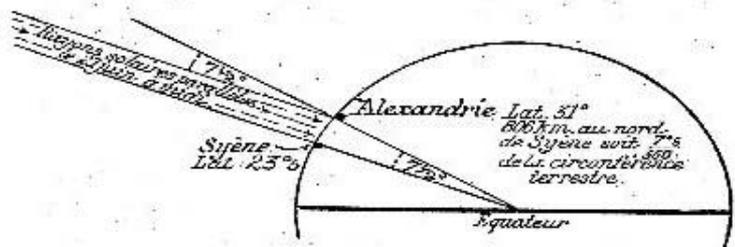
1.1.2 Modelo de la Tierra a 5 capas:

Núcleo (2), manto (2), corteza

1.1.3 El modelo PREM

1.1.4 Placas tectónicas: litósfera, astenósfera y mesosfera

- **Rayo:** estimado 205 AC, por el sabio griego Eratóstenes, usando la diferencia de altura del sol en dos lugares de la superficie de la Tierra al mismo momento. El hizo un error de 15%. Valor actual: 6371 km (en promedio).



$$\text{tg } \alpha = x / h$$

$$d = \alpha R$$

$$R = d / \alpha$$

FIG. 38. — OBSERVATIONS D'ERATOSTHÈNE.
Remarque qu'à midi le soleil est droit au-dessus du méridien de longitude de l'observateur. Syène et Alexandrie ont presque la même longitude. Aussi le soleil, les deux lieux, et le centre de la terre peuvent être dessinés dans le même plan de l'espace.

- Masa: deducida de la ley de gravitación establecida por Newton en 1687.
- g era fácil de medir, por ejemplo con un péndulo
- G la constante universal de gravedad fue medida experimentalmente más tarde, por Cavendish en 1798, más de un siglo después de la ley de Newton.
- Se pudo así calcular la masa de la Tierra:

$$M = \frac{g R^2}{G} = 5.97 \cdot 10^{24} \text{ kg}$$

La masa volumétrica no puede ser constante...

- Entonces, la masa volumétrica promedio de la Tierra es:

$$\rho = \frac{M}{V} = 5.52 \text{ g / cm}^3$$

- Pero, la masa volumétrica de rocas en superficie varia de:
 - 1,5 – 2,5 g /cm³ para rocas sedimentarias
 - 2,7 g /cm³ para granitos
 - 3,2 g /cm³ para las pocas rocas del manto que afloran.

Mucho menos que la masa volumétrica promedio de la Tierra.

→ Entonces hay materiales mucho más densa en profundidad

Los primeros modelos de la Tierra

Se puede suponer una distribución radial y estudiar una estratificación en la Tierra por el momento de inercia de la Tierra. El momento de inercia 'I' de una esfera describe la repartición de las masas respecto a su eje de rotación: mientras más pequeño, más las masas grandes están cercanas de este eje.

Para una esfera homogénea:

$$I = 0.4 M R^2$$

Como el campo de gravedad es función de su momento de inercia, se puede deducirlo por los orbitas de satélites artificiales. Para la Tierra, vale:

$$I = 0.331 M R^2$$

lo que confirma la concentración de material denso en su centro

La masa volumétrica no puede ser constante...

- Esta estratificación se puede deducir también del momento de inercia de la Tierra. El momento de inercia de una esfera describe la repartición de masas respecto a su eje de rotación. Mientras más pequeño, más las masas grandes son cercanas de su eje. Para una esfera homogénea, $I = 0,4 MR^2$ (M masa de la esfera, R su rayo)
 - El campo de gravedad es función de su momento de inercia, se puede deducir I del estudio de orbitas de satélites artificiales. $I = 0,331 MR^2$
- Prueba que materiales densos están cerca del eje de rotación.

Modelo simple de la Tierra al inicio del siglo XX

- A partir de M y de I , se puede inferir un modelo simple de la Tierra con 2 capas de densidad diferente: el manto y el núcleo.
 - Tierra: rayo R volumen V masa M
 - Manto: masa volumétrica ρ_M volumen: V_M
 - Núcleo: rayo R_N , masa volumétrica: ρ_N volumen V_NNo se conocen: ρ_M y ρ_N
- Núcleo: descubierto por R. Oldham en 1906 y bien delimitado por Beno Gutenberg en 1912
- El rayo del núcleo R_N fue calculado por Gutenberg en 1912. Vale 3485 km.

Modelo simple de la Tierra al inicio del siglo XX

- Si manto y núcleo homogéneos:

$$M = M_M + M_N = \rho_M V_M + \rho_N V_N$$

$$(1) \quad M = \rho_M (4/3 \pi R^3 - 4/3 \pi R_N^3) + \rho_N 4/3 \pi R_N^3$$

Momento de inercia: $I = I_M + I_N$

$$I = 0.331 MR^2 = 0,4 M_M R_M^2 + 0,4 M_N R_N^2$$

$$(2) \quad I = 0,4 \rho_M (4/3 \pi R^5 - 4/3 \pi R_N^5) + 0,4 \rho_N 4/3 \pi R_N^5$$

- (1) + (2): $\rho_M = 4,16 \text{ g/cm}^3$ $\rho_N = 12,43 \text{ g/cm}^3$
 $M_M = 0,63 M$ $M_N = 0,37 M$

1. La tectónica de placas

1.1 Introducción:

1.1.1 Modelo de la Tierra a 2 capas: Manto, Núcleo

1.1.2 Modelo de la Tierra a 5 capas:
Núcleo (2), manto (2), corteza

1.1.3 El modelo PREM

1.1.4 Placas tectónicas: litósfera, astenósfera y mesosfera

Modelo actual de la Tierra:

El interior de la Tierra visto gracias a la propagación de ondas sísmicas emitidas durante un terremoto o una explosión:

núcleo interno + externo
manto superior + inferior
corteza

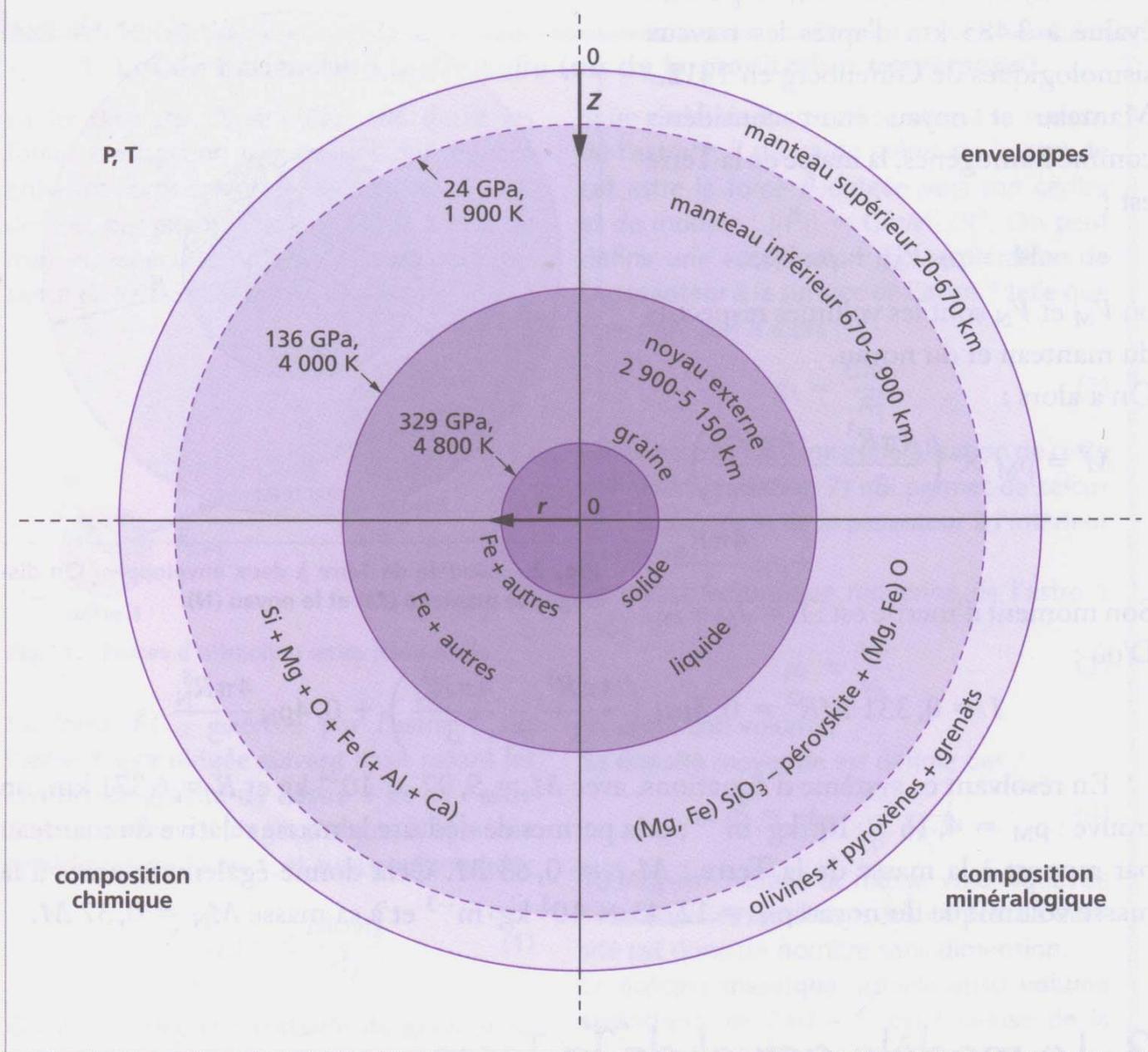


Fig. 3. Représentation schématique de la structure de la Terre profonde. La croûte, qui repose sur le manteau supérieur, ne peut être représentée à cette échelle (son épaisseur moyenne est de 20 km et elle représente 0,5 % en masse de la Terre).

Réservoir	Masse $\times 10^{24} \text{ kg} / \div M_{\text{Terre}}$	Volume $\times 10^{21} \text{ m}^3 / \div V_{\text{Terre}}$	Profondeur (km)	Masse volumique moyenne ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)
Terre globale	5,974/1	1,083/1		$5,52 \times 10^3$
Croûte continentale	0,022/ 0,004	0,008/0,008	0-30	$2,70 \times 10^3$
Croûte océanique	0,006/ 0,001	0,002/0,002	0-10	$3,00 \times 10^3$
Manteau	4,002/0,670	0,906/0,84	30-2 891	$4,48 \times 10^3$
Manteau supérieur	1,062/0,178	0,292/0,27	30-670	$3,64 \times 10^3$
Manteau inférieur	2,938/0,492	0,614/0,57	670-2 891	$4,53 \times 10^3$
Noyau	1,939/0,325	0,177/0,16	2 891-6 371	$10,96 \times 10^3$
Noyau externe	1,841/0,308	0,169/0,156	2 891-5 150	
Noyau interne	0,098/0,016	0,008/0,007	5 150-6 371	

Tableau B.3. Principales caractéristiques des réservoirs terrestres majeurs.

- La sismología pudo mostrar que:
 - El núcleo está compuesto de una parte externa líquida y una parte interna sólida (de radio 1220 km) en su centro
 - El manto está compuesto de dos partes: un manto superior y un manto inferior.

- Presión y temperatura varían sobre varios ordenes:
 - Presión varia de 100 kPa a 360.000.000 kPa
 - Temperatura varia de 14°C a más de 5.000°C
- Condiciones extremas: afectan las propiedades de los materiales. Es importante estudiar los efectos de tales presiones y temperaturas sobre las propiedades físicas de las rocas. Por ejemplo, el fiero bajo una presión de 360 GPa (centro de la Tierra) tiene una masa volumétrica de casi el doble que en condición ambiental.

- Tierra: básicamente 2 capas:
 - Manto: silicatos
 - Núcleo: fiero
- Tierra: imposible ir a dentro.
 - Rocas profundas surgen en la superficie, pero vienen de profundidades inferiores a 300km.
 - Más allá de 300km: no hay información directa
 - Estudió de los terremotos permite ir más allá, pero medidas indirectas: el modelo sismológico principal es el modelo **PREM**
(Preliminary Reference Earth Model
Dziewonski y Anderson, 1981).

- **Corteza**

- 35-40 km bajo continentes
- 7-8 km bajo océano
- Mucho sílice
- Densidad corteza continental: $2,8 \text{ g / cm}^3$

- El moho: frontera (discontinuidad) entre Corteza y Manto, descubierto en 1909 por *Andrya Mohorovicic*

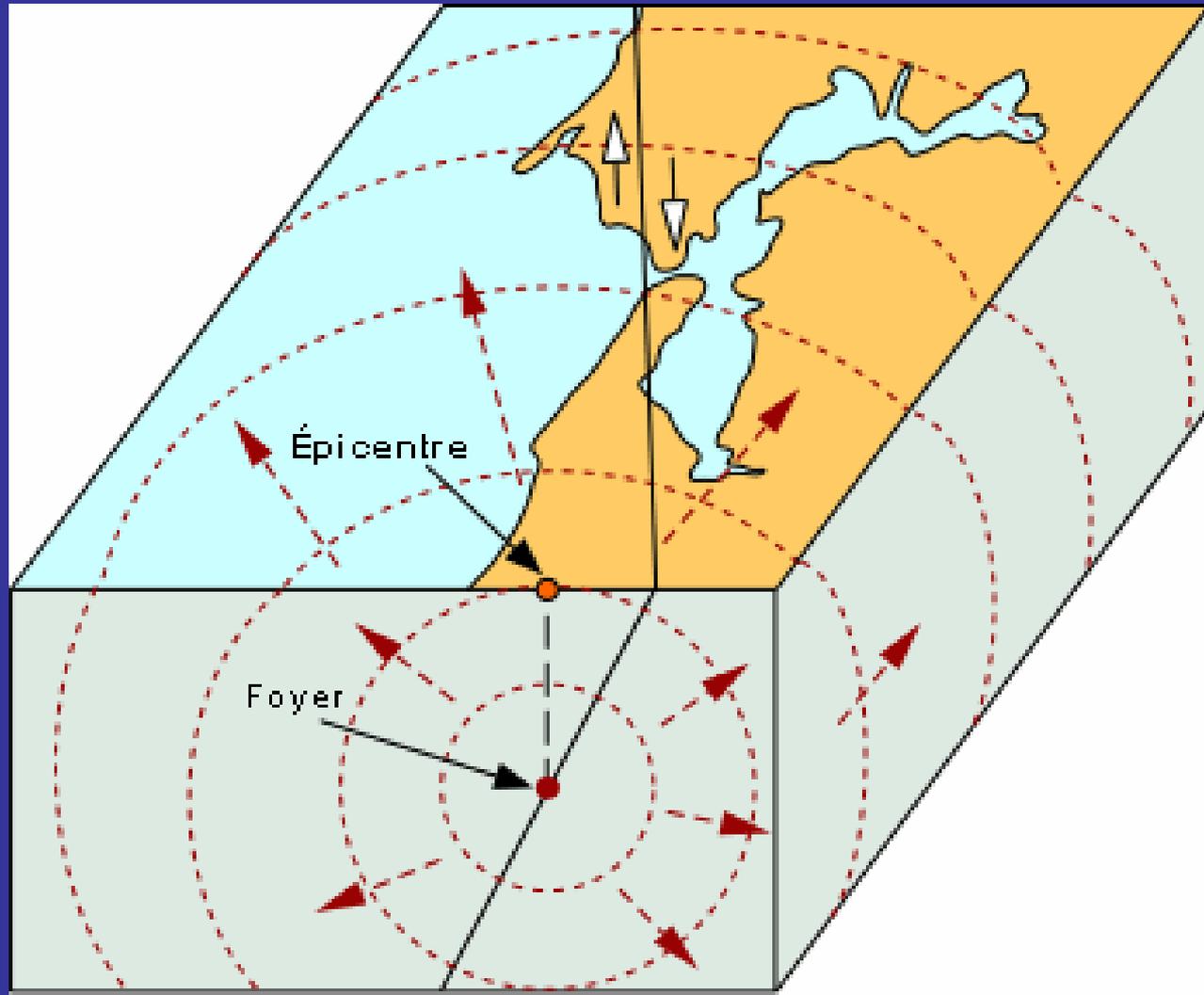
- **Manto**

- viene de Mantel o 'coat' en Alemán
- hasta 2900 km de profundidad
- descubierto por Emil Wiechert en 1897
- es diferente de la corteza, físicamente y geo-químicamente, rico en silicatos de magnesio (Mg, Fe).
- Densidad: $3,3 \text{ g / cm}^3$

- **Núcleo**: descubierto por R. Oldham en 1906 y bien delimitado por Benó Gutenberg en 1912 estudiando datos de terremotos.

Es también completamente diferente del manto y de la corteza, físicamente y químicamente. Es principalmente fiero. Fue primero considerado como fluido en 1926 por Harold Jeffreys. En 1929 ocurrió un terremoto grande en Nueva Zelanda, del otro lado de Europa, lo que permitió a Inge Lehmann, una sismóloga danesa, de decir que había un núcleo 'interno' sólido (Fe), a 5100km de profundidad, al centro del núcleo líquido (Fe, Ni) en 1936.

Ondas nacen con el terremoto y se propagan al interior de la Tierra porque es un medio elástico

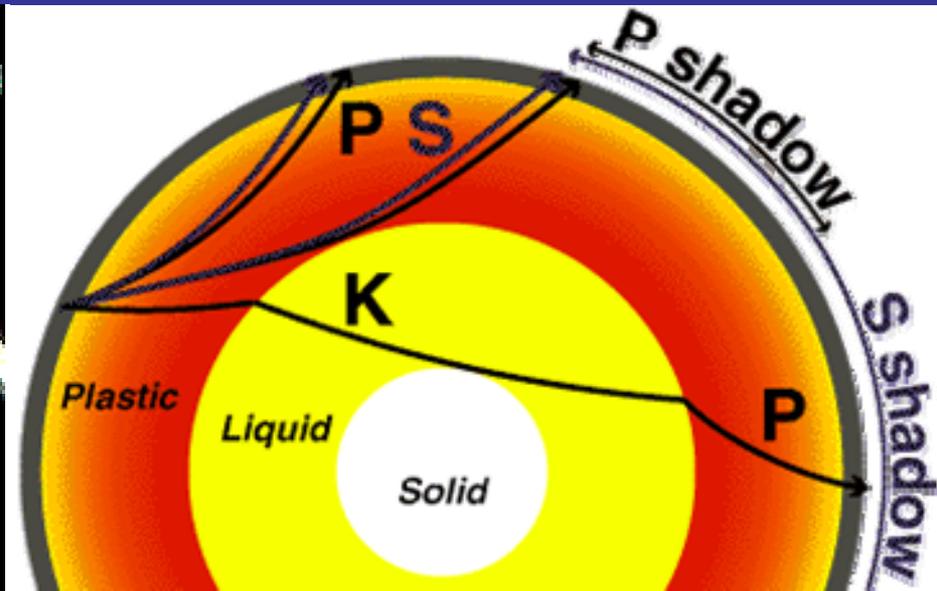


Ley de propagación:
como la luz (ley de Descartes-Snell)

+

Conversión de ondas : (P \rightarrow S)

(porque el medio de propagación es elástico)

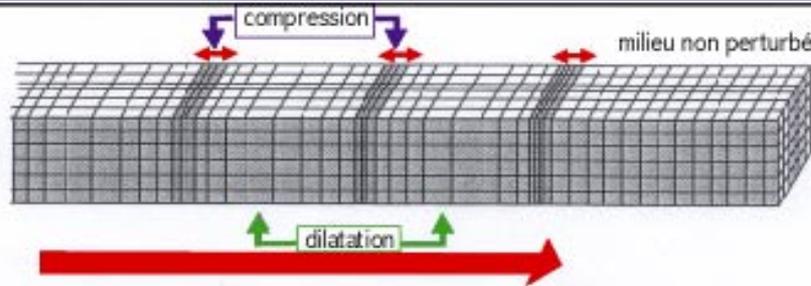


$$V_p > V_s$$



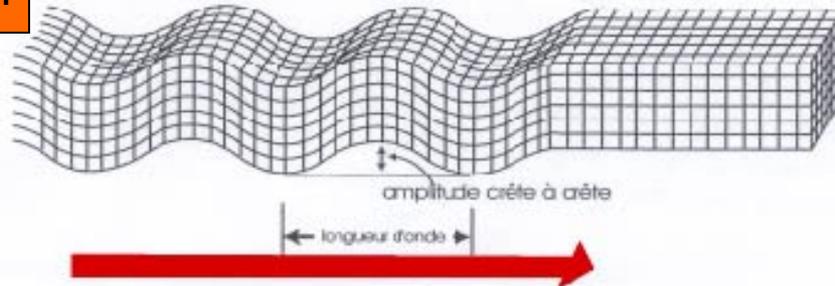
ONDAS SISMICAS

P



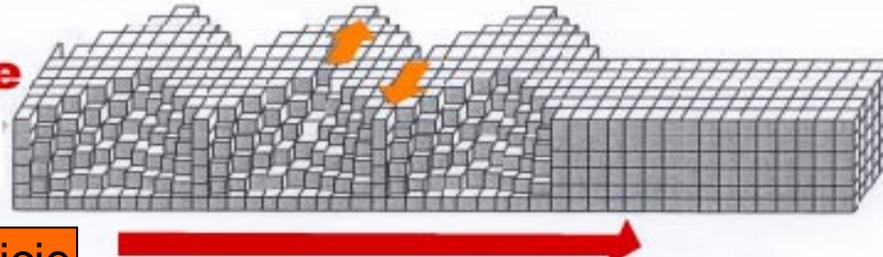
Ondas de volumen

S



$S=SV+SH$

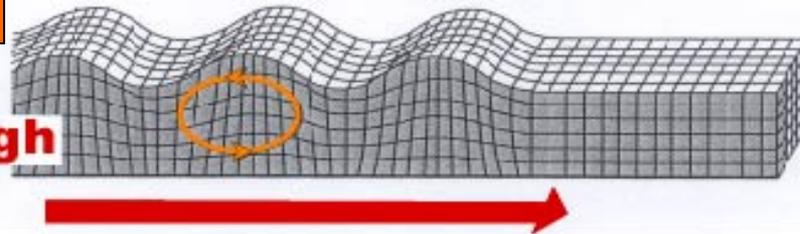
Love



$L=SH+SH$

Ondas de superficie dispersivas

Rayleigh

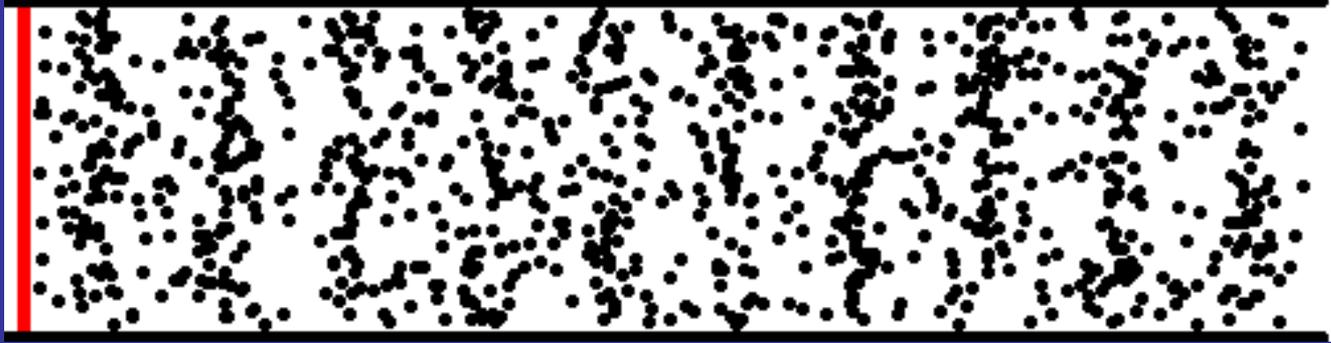


$R=P+SV$

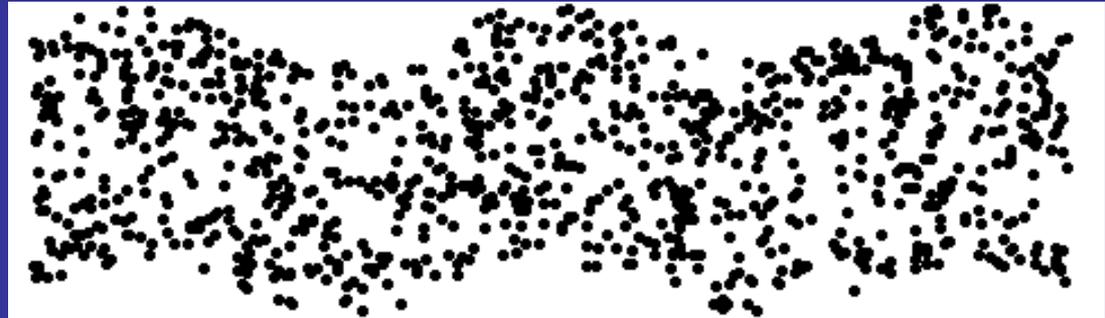


ONDAS ...

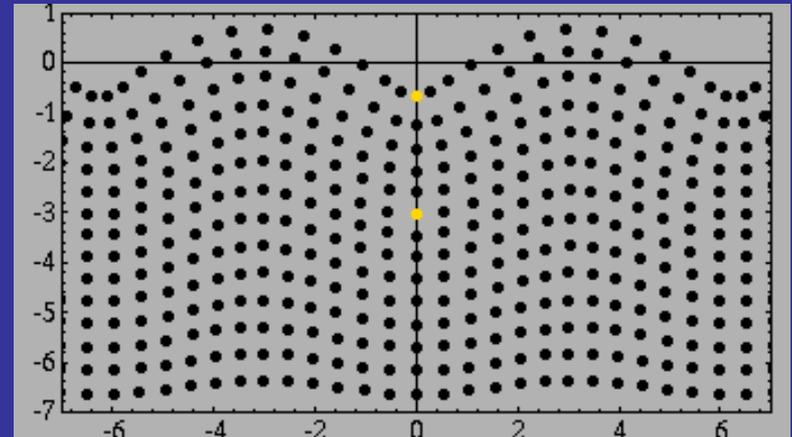
P



S



Rayleigh
P+SV



Velocidad de las ondas elásticas caracterizan el medio de propagación *via* las constantes elásticas y la densidad (dependen de las propiedades elásticas de las rocas)

- Velocidad de las ondas P:

$$V_P = \sqrt{\frac{\lambda + 2\mu}{\rho}}$$

- Velocidad de las ondas S:

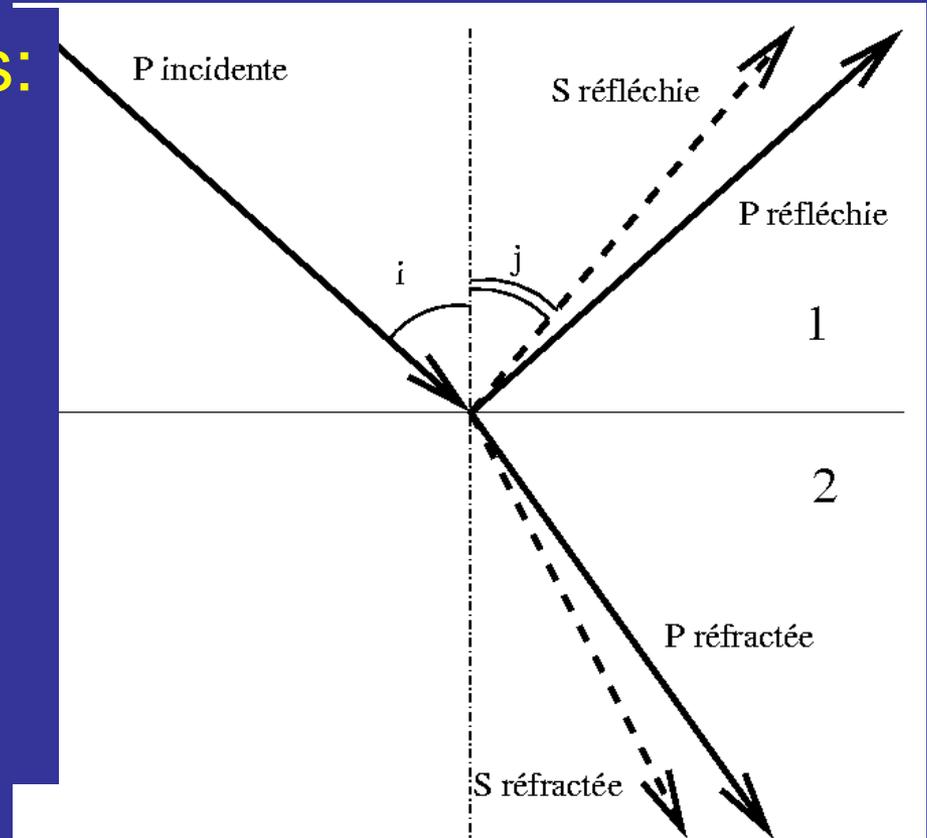
$$V_S = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}$$

es nula en fluidos

(un fluido no se puede 'romper', cizallar)

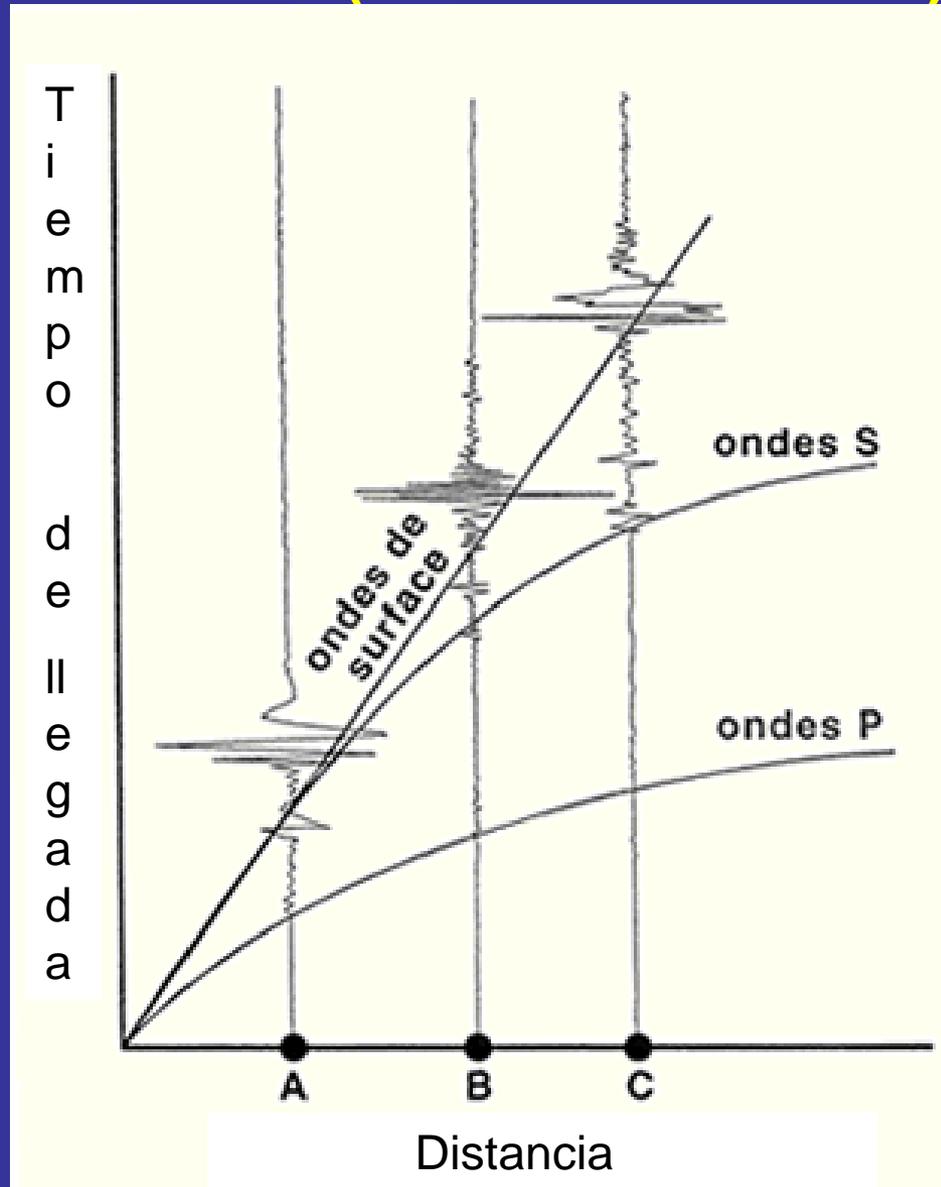
Conversión de ondas elásticas $P \rightarrow S$ (porque tenemos 2 velocidades) típico de un medio elástico

Tenemos 2 tipos de ondas:
una longitudinal (P)
otra transversal (S)
con 2 velocidades
diferentes:
por eso hay conversión
posible

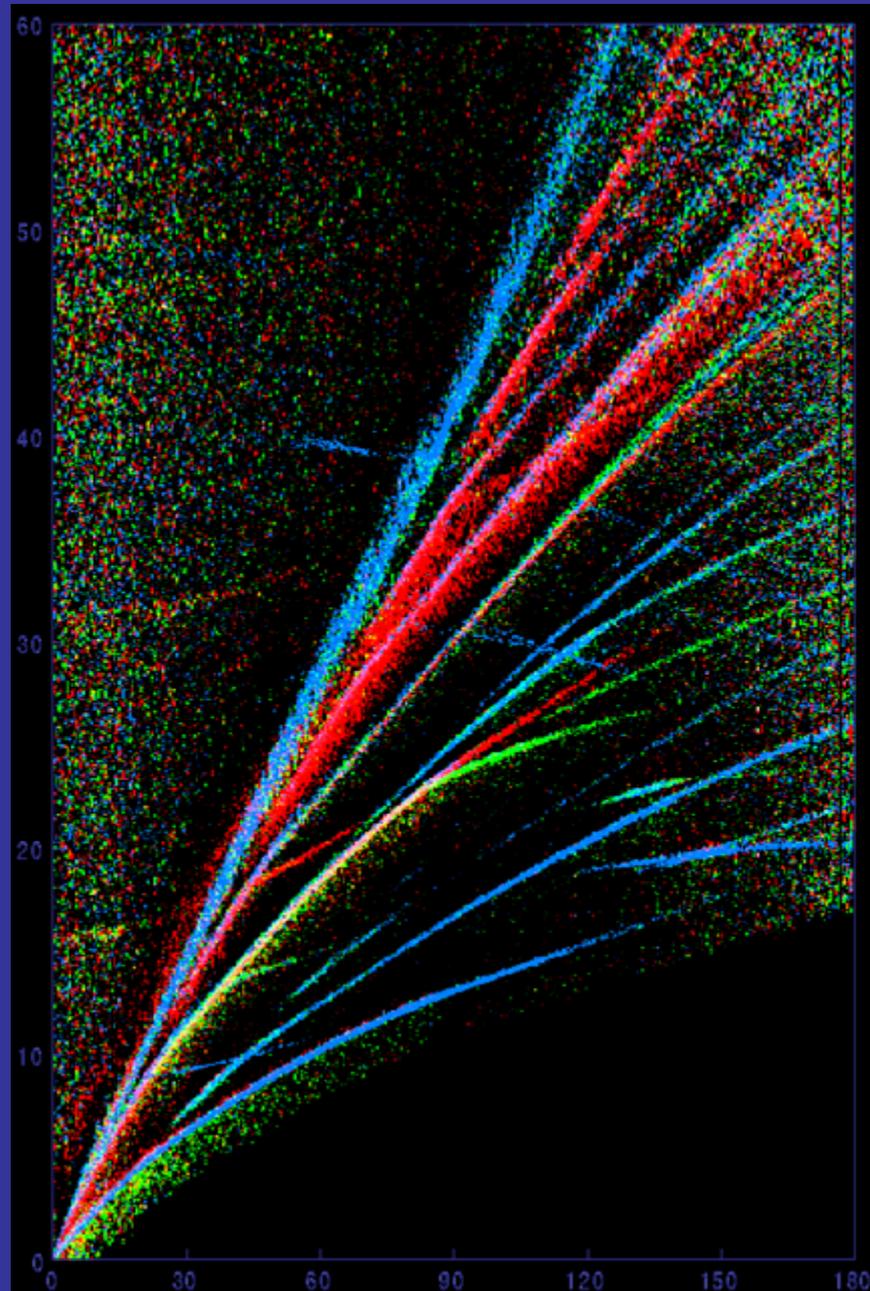


$$\frac{\sin i_1}{\alpha_1} = \frac{\sin i_2}{\alpha_2} = \frac{\sin j_1}{\beta_1} = \frac{\sin j_2}{\beta_2} = c^{te}$$

Hodocronas: identificación de ondas (convertidas)



Hodocronas con datos reales



Conversión de ondas permite determinar la estructura interna de la Tierra

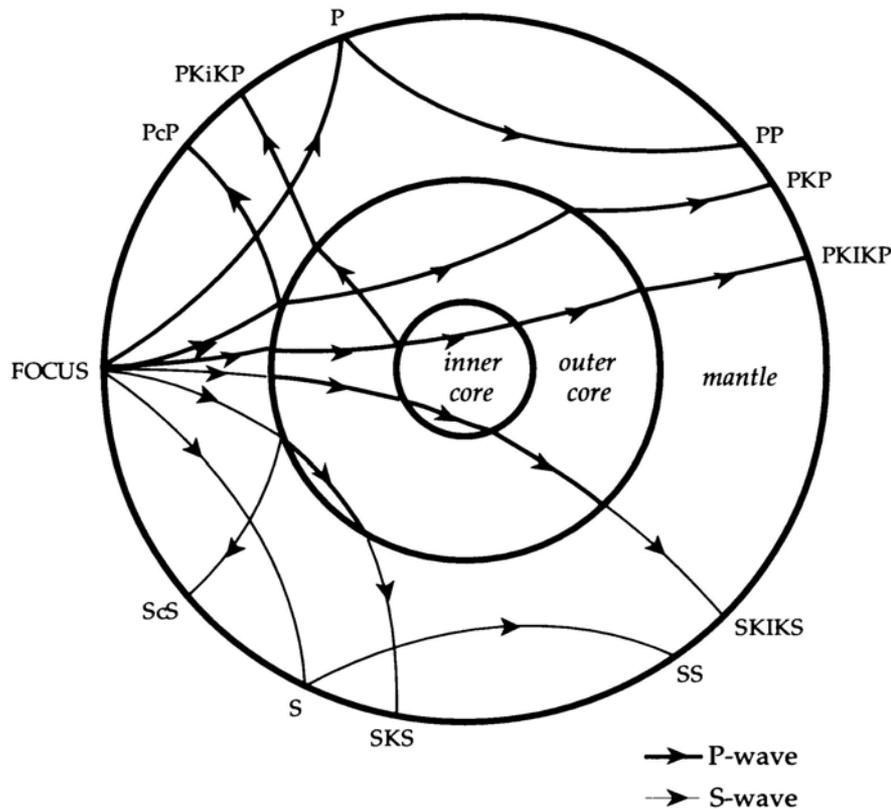
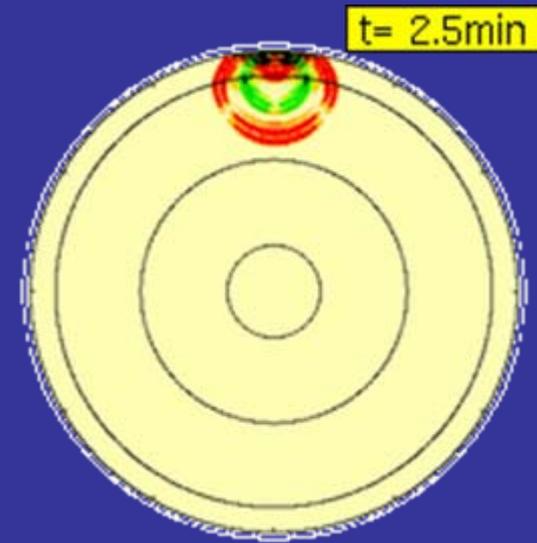
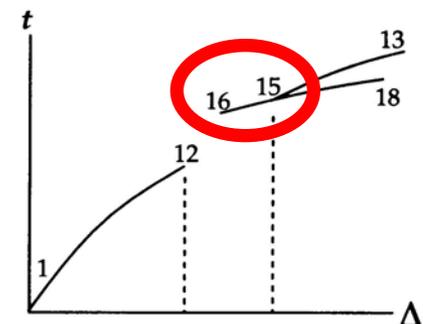
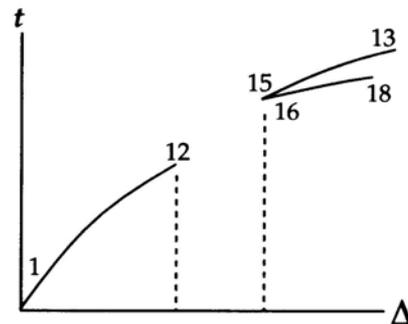
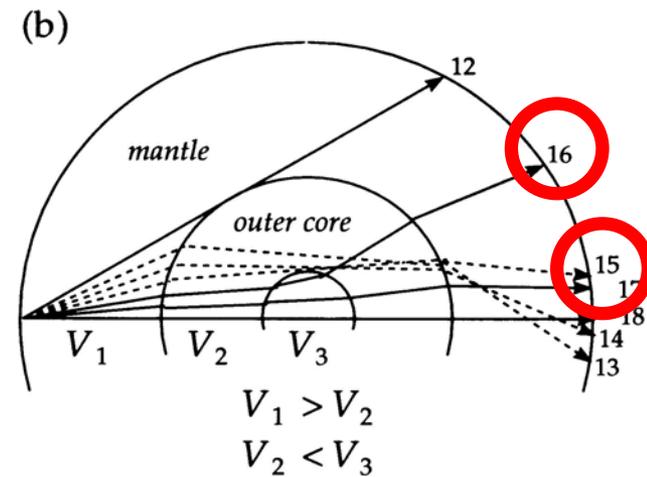
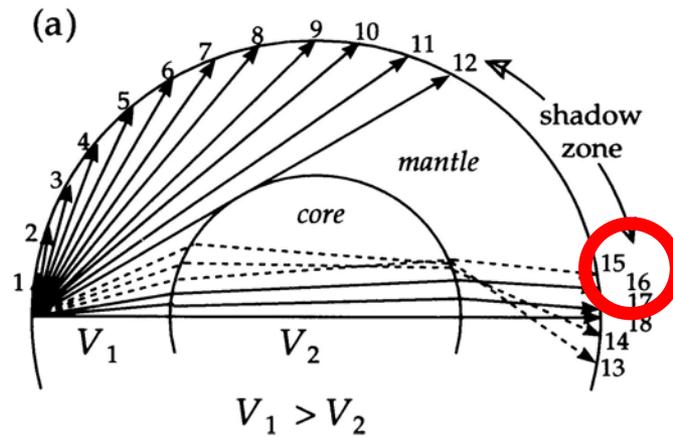


Fig. 3.70 Seismic wave paths of some important refracted and reflected P-wave and S-wave phases from an earthquake with focus at the Earth's surface.



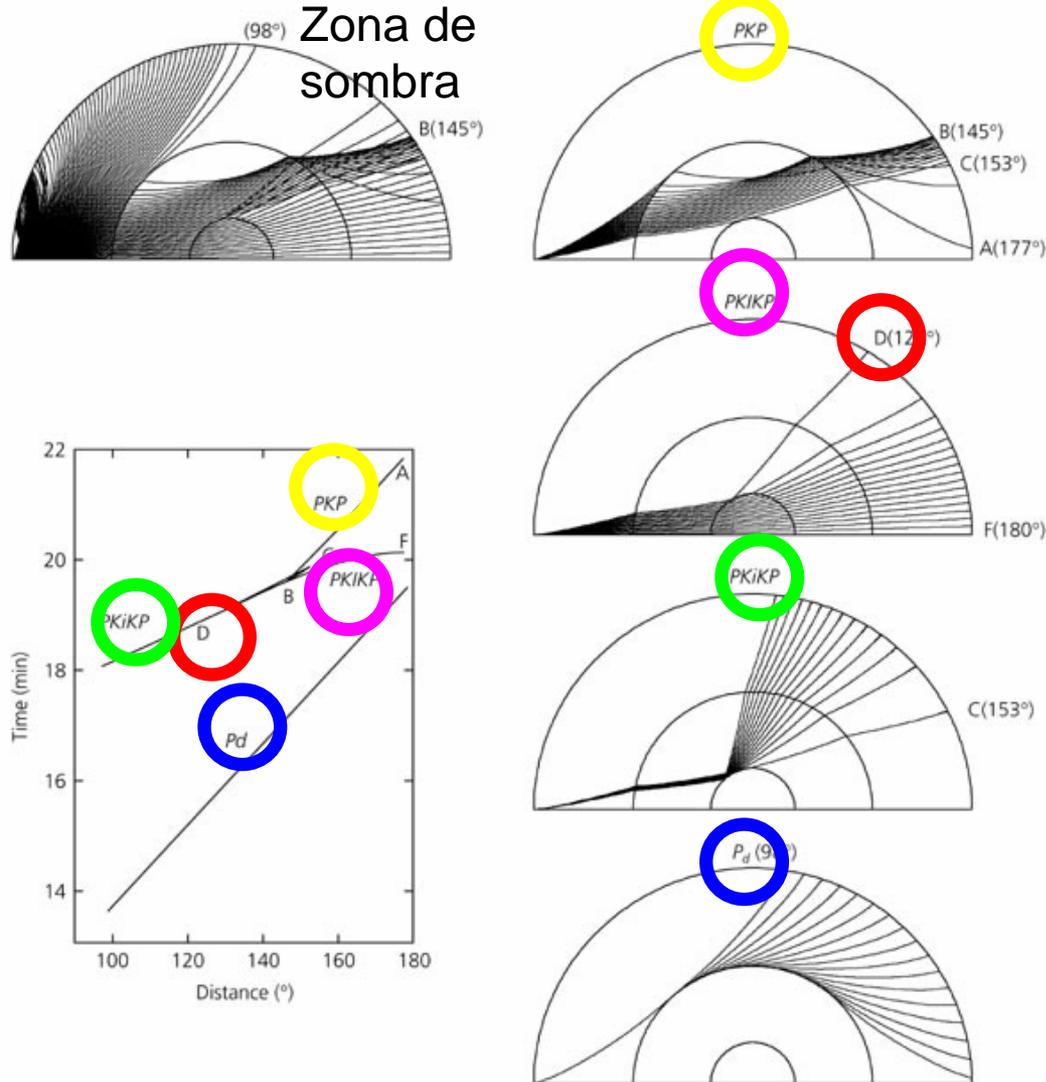
Conversión de ondas permite determinar la estructura interna de la Tierra

Fig. 3.72 Seismic wave paths and their $t-\Delta$ curves for P-waves passing through a spherical Earth with constant velocities in the mantle, outer core and inner core, respectively. (a) Development of a shadow zone when the mantle velocity (V_1) is higher than the outer core velocity (V_2). (b) Penetration of the shadow zone by rays refracted in an inner core with higher velocity than the outer core ($V_3 > V_2$).



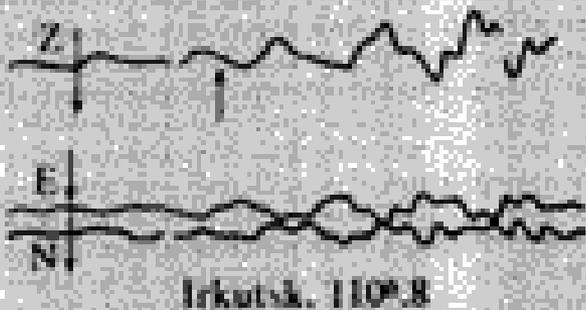
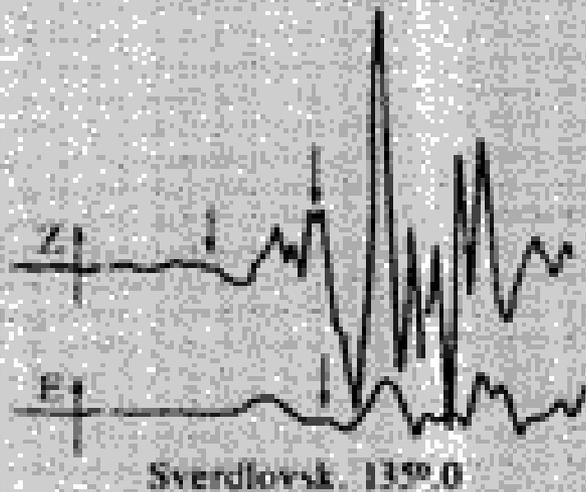
Deducción del interior de la Tierra con RAYOS SISMICOS

Figure 3.5-7: Ray paths and travel times for major core phases.

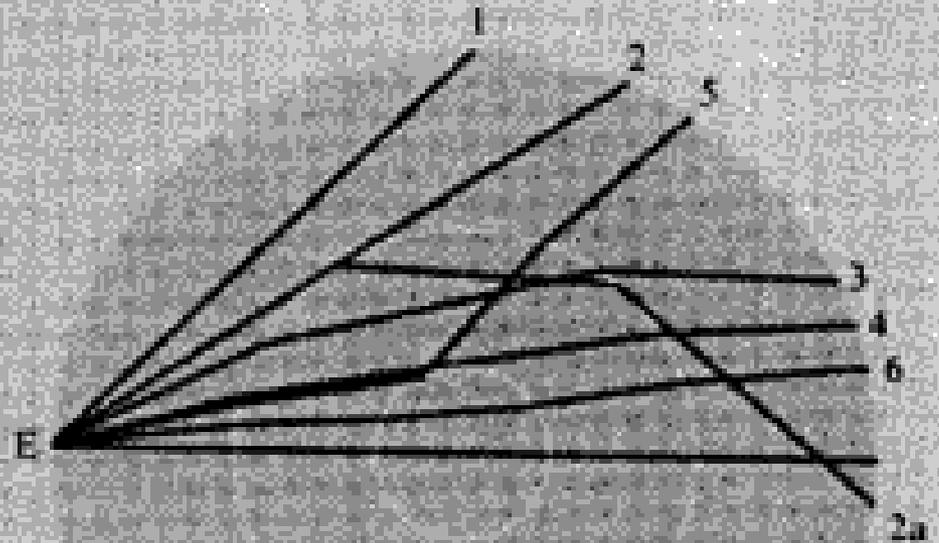


Inge Lehmann (1888-1993)

1936

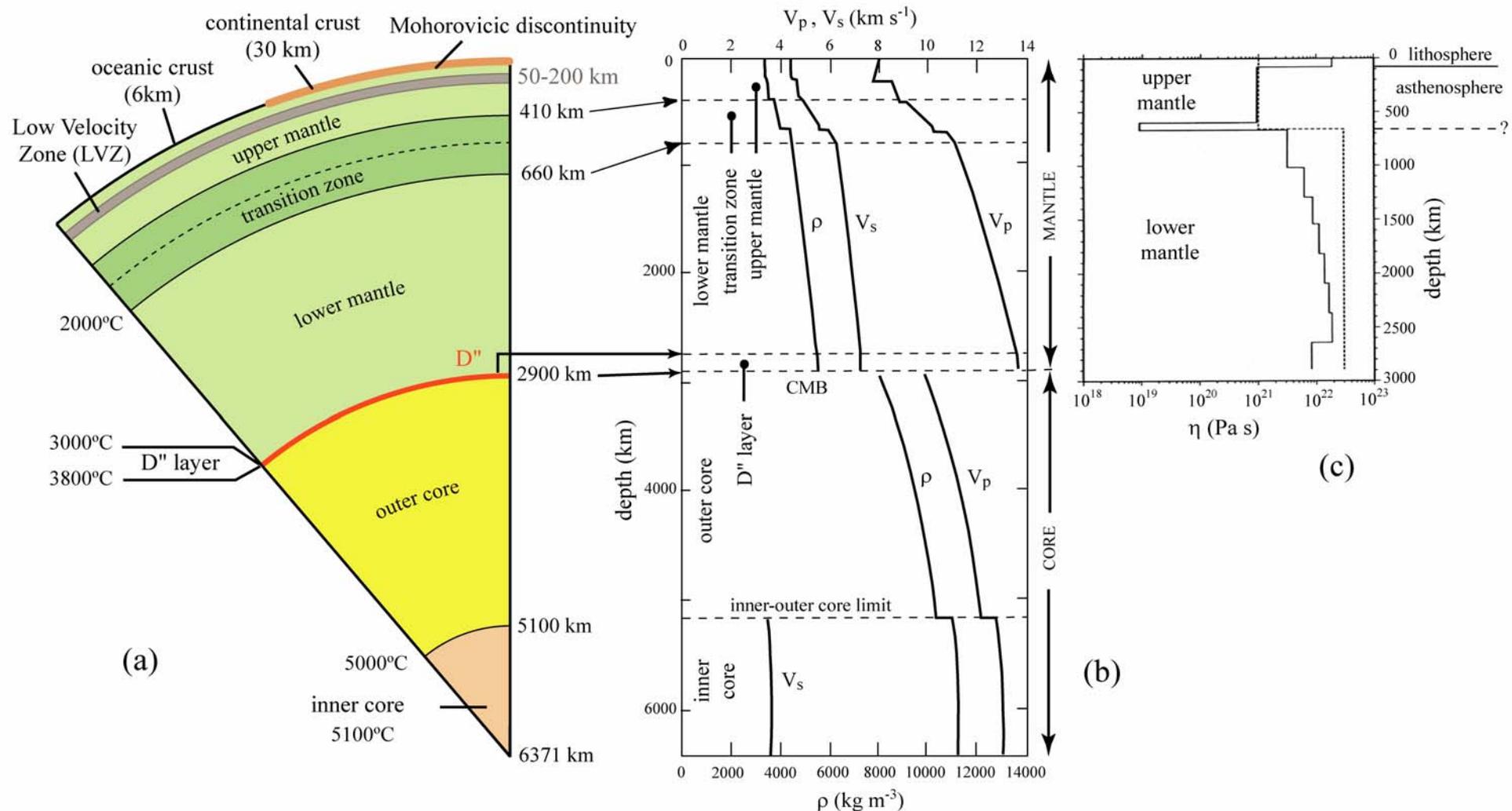


June 16, 1929. P_1' records



Paths through the Earth with
inner and outer cores.
[From Lehmann, 1936.]

Determinar las características del interior de la Tierra con las velocidades de las ondas sísmicas



1. La tectónica de placas

1.1 Introducción:

1.1.1 Modelo de la Tierra a 2 capas: Manto, Núcleo

1.1.2 Modelo de la Tierra a 5 capas:
Núcleo (2), manto (2), corteza

1.1.3 El modelo PREM

1.1.4 Placas tectónicas: litósfera, astenósfera y mesosfera

- V_p y V_s aumentan con la presión P , entonces con la profundidad para un mismo material, porque λ y μ aumentan más rápido que ρ con la presión.
- Una vez conocida $V_p(z)$ y $V_s(z)$, se deduce $\rho(z)$ y $P(z)$. Pero tenemos 2 ecuaciones y 3 incógnitas (λ , μ y ρ). La tercera información viene de los modos de vibración de la Tierra. Son las frecuencias a las cuales vibran la Tierra bajo el efecto de las ondas sísmicas de superficie que permiten calcular $\rho(z)$. Una vez calculada $\rho(z)$, se calcula $P(z)$ con la ecuación del equilibrio isostático:

$$P(z) = \int_0^z \rho(z') g(z') dz'$$

donde $g(z')$ es la gravedad a la profundidad z' deducida del perfil de masa volumétrica

$$g(r) = \frac{G}{r^2} \int_0^r 4\pi \rho(r') r'^2 dr'$$

donde r es el rayo a partir del centro de la Tierra, o sea:

$$r = 6.371.000 - z$$

Entonces el modelo **PREM** da, en el caso de una Tierra homogénea radialmente:

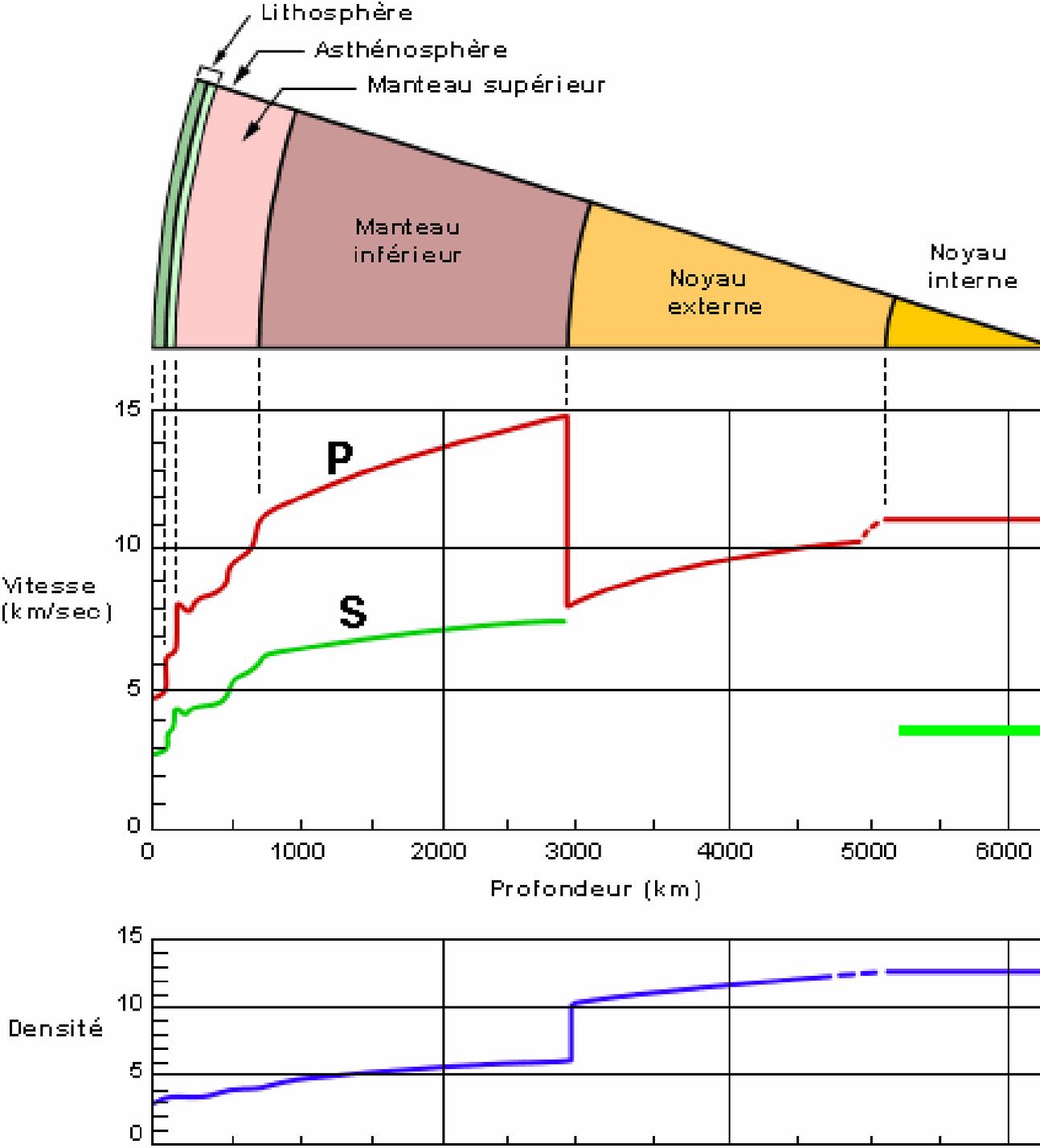
$$V_p(z), V_s(z), \rho(z) \text{ y } P(z)$$

→ El modelo **PREM** NO da $T(z)$ (geoterma), dado él por el modo de transporte del calor y la estimación de la temperatura en algunos puntos precisos.

Modelo PREM

Preliminary Reference Earth Model

Dziewonski
y Anderson,
1981



Masa volumétrica y presión

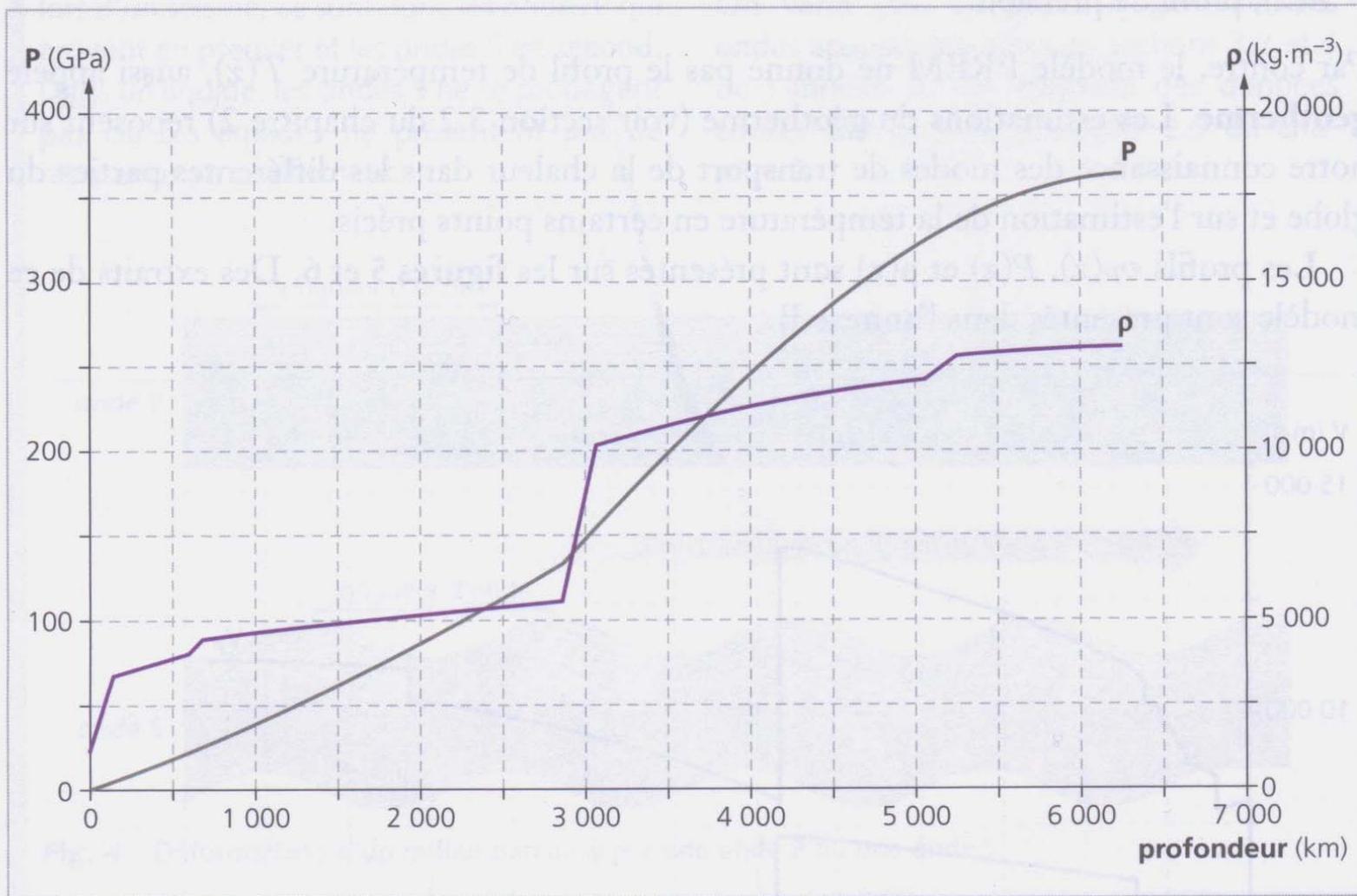


Fig. 6. Profils de masse volumique (ρ) et de pression (P). P et ρ sont représentés en fonction de la profondeur (modèle PREM).

El modelo PREM simplificado

Profondeur (km)	P (GPa)	ρ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	v_p ($\text{km} \cdot \text{s}^{-1}$)	v_s ($\text{km} \cdot \text{s}^{-1}$)	g ($\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$)
Manteau supérieur					
100	3,1	$3,36 \times 10^3$	8,05	4,48	9,86
200	6,5	$3,42 \times 10^3$	8,00	4,43	9,90
300	9,9	$3,48 \times 10^3$	8,69	4,70	9,93
400	13,3	$3,54 \times 10^3$	8,91	4,77	9,97
400	13,3	$3,74 \times 10^3$	9,13	4,93	9,97
500	17,1	$3,87 \times 10^3$	9,65	5,22	9,99
600	21,0	$3,98 \times 10^3$	10,16	5,51	10,00
670	23,8	$3,99 \times 10^3$	10,27	5,57	10,01
Manteau inférieur					
670	23,8	$4,38 \times 10^3$	10,75	5,95	10,01
800	29,5	$4,45 \times 10^3$	11,16	6,28	9,99
1 000	38,6	$4,57 \times 10^3$	11,50	6,41	9,97
1 500	62,1	$4,85 \times 10^3$	12,23	6,70	9,93
2 000	86,9	$5,12 \times 10^3$	12,84	6,95	10,00
2 500	113,4	$5,37 \times 10^3$	13,42	7,17	10,26
2 891	135,8	$5,57 \times 10^3$	13,72	7,26	10,68
Noyau externe					
2 891	135,8	$9,90 \times 10^3$	8,06	0	10,68
3 000	149,5	$10,10 \times 10^3$	8,28	0	10,39
3 500	200,7	$10,79 \times 10^3$	8,99	0	9,17
4 000	243,3	$11,34 \times 10^3$	9,53	0	7,80
4 500	288,5	$11,77 \times 10^3$	9,95	0	6,32
5 000	321,6	$12,10 \times 10^3$	10,28	0	4,79
5 150	328,9	$12,17 \times 10^3$	10,36	0	4,40
Noyau interne					
5 150	328,9	$12,76 \times 10^3$	11,02	3,50	4,40
5 500	346,7	$12,93 \times 10^3$	11,15	3,59	2,73
6 000	360,9	$13,06 \times 10^3$	11,24	3,65	1,28
6 371	363,9	$13,09 \times 10^3$	11,26	3,67	0

Tableau B.4. Extraits du modèle PREM. D'après Dziewonski et Anderson, 1981; ondes sismiques de période 1 s.

- El modelo **PREM** permite constatar que las capas terrestres están separadas por discontinuidades de velocidades:
 - Discontinuidad manto superior/núcleo externo a 2900 km (de Gutenberg)
 - Discontinuidad núcleo líquido/núcleo interno a 5150 km (de Lehman)
- Estas discontinuidades traducen cambios bruscos de las propiedades de materiales de estas capas: el manto inferior, el núcleo externo e interno parecen homogéneos porque las variaciones de V_p y V_s están continuas: V_p y V_s aumentan regularmente con la profundidad

- Es diferente para el manto superior, donde hay varias discontinuidades de velocidades sísmicas.
- El perfil de velocidad muestra que el núcleo externo es líquido, que el núcleo interno es sólido. En el núcleo externo, las ondas S no se propagan porque existe un líquido que se opone a una resistencia al cizalle ($\mu=0 \Rightarrow V_s=0$). La velocidad de las ondas P disminuye cuando pasa del manto al núcleo líquido porque ρ es más grande en el núcleo líquido y μ es nulo.
- \rightarrow ¿Porque hay estos saltos de velocidades?
¿Porque estos valores de ρ ?

Repuesta: Birch y Ringwood (~1950)

- Birch: estudia las propiedades físicas
- Ringwood: estudia las propiedades químicas

de los materiales a alta temperatura y presión. Con estos trabajos, se van a iniciar toda una serie de reproducción en el laboratorio de lo que hay al interior de la Tierra (y planetas). La presión y temperatura cambian a veces mucho las propiedades físicas de la reactivación química de los materiales.

Francis BIRCH (1903-1992)

- Alumno de Bridgman quien recibió el premio Nobel de física en 1946 para sus trabajos sobre el efecto de la presión sobre las propiedades de la materia. Birch, usando las herramientas desarrolladas por Bridgman, en 1952, que es el aumento de la presión que explica cuantitativamente el aumento de la velocidad sísmica en función de la profundidad

Francis BIRCH (1903-1992)

- Dice también:
 - El manto de la Tierra esta compuesto de silicatos ferro-magnesianos parecidas
 - Estos silicatos se transforman de manera radical, por un mecanismo llamado ‘transición de fase’, bajo el efecto de la presión y temperatura entre 300 y 900 km, para explicar las discontinuidades sísmicas observadas a estas profundidades
 - El núcleo terrestre esta constituido de fiero sólido para el núcleo interno y de fiero líquido para el núcleo externo.

Alfred Edward (Ted) RINGWOOD (1930-1993)

- Continúa los trabajos de Birch y los amplía desarrollando la geoquímica de alta presión para entender la formación y la dinámica de la Tierra. Ringwood era australiano y trabajaba con Birch en los Estados Unidos, en Harvard en post-doc.
 - Verifica experimentalmente las predicciones de Birch: la presión de transición de olivino α \rightarrow olivino β corresponde a la discontinuidad sísmica de 400 km de profundidad (1956)
 - Primeros modelos de composición global de la Tierra a partir de la composición de meteoritos

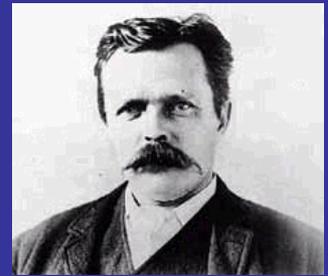
Pregunta

- ¿Cómo puede llegar ondas S en el núcleo interno si han desaparecido en el núcleo externo?

Un poco de historia...

- Corteza: identificada por

John Milne (1850-1913) en 1906



Lord Rayleigh (1842-1919) en 1907



Lord Rutherford en 1907

1. La tectónica de placas

1.1 Introducción:

1.1.1 Modelo de la Tierra a 2 capas: Manto, Núcleo

1.1.2 Modelo de la Tierra a 5 capas:

Núcleo (2), manto (2), corteza

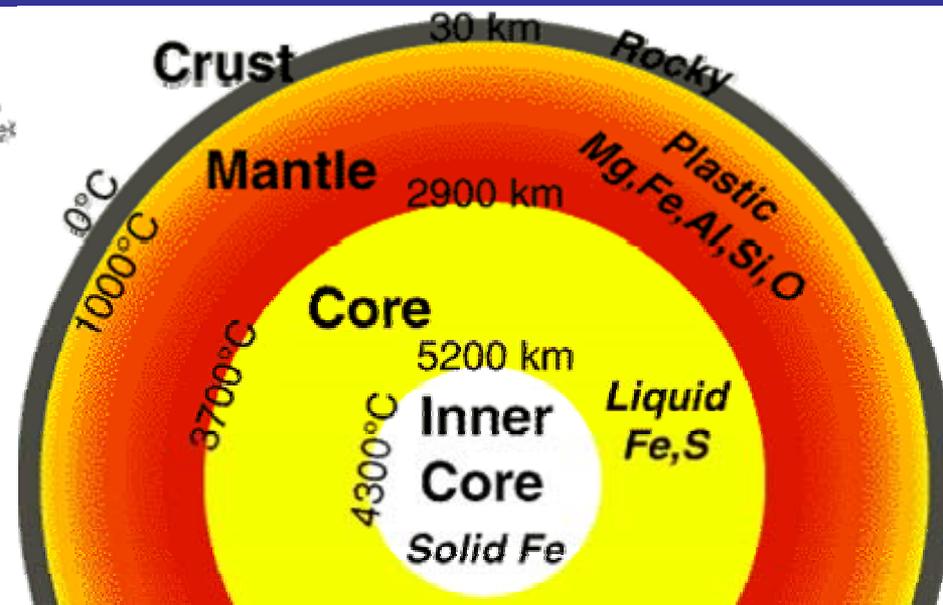
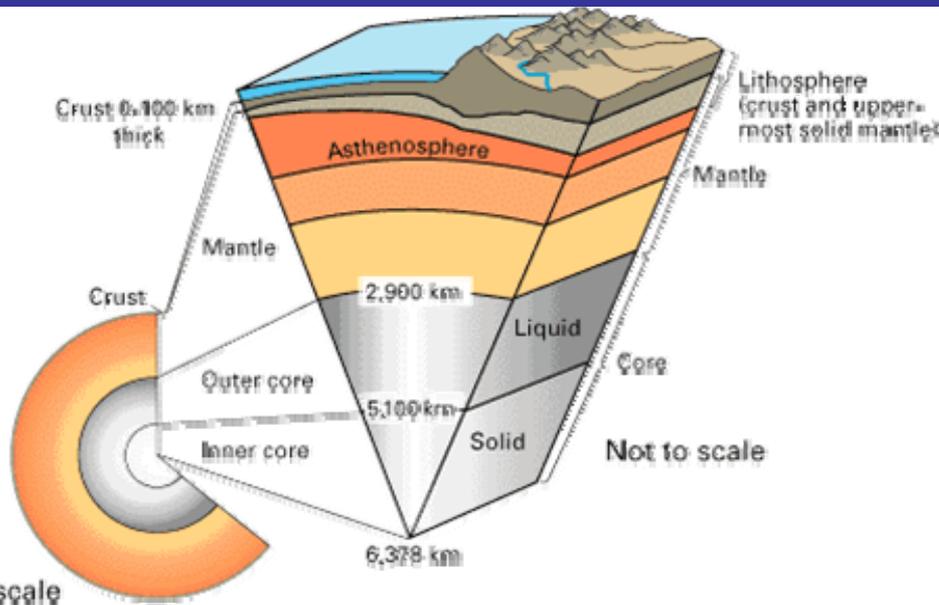
1.1.3 El modelo PREM

1.1.4 Placas tectónicas: litósfera, astenósfera y mesosfera

En este curso: el punto de vista de la tectónica de placas: tiempos largos (Ma)

- **Litósfera**: (griego: *lithos*: roca): ~100km espesor = corteza + manto superior. Menos espeso en las regiones oceánicas y más espeso en las regiones continentales. Dividida en placas litosféricas (tectónicas) casi rígidas que se mueven unas respecto a las otras.
- **Astenósfera**: (griego *asthenia*: débil: porque las velocidades de las ondas P más débil): presión y temperatura suficientemente elevadas para ser responsables de su viscosidad suficientemente baja para generar flujo viscoso en escalas de tiempos geológicos (millón de años y no segundos!!).
- **Mesósfera**:

Dos maneras de ver la misma Tierra



Punto de vista de la tectónica
Escala de tiempo largo
(1 millón de años)

Punto de vista de la sismología:
Escala de tiempo corta
(algunos minutos u horas)

Dos maneras de ver la misma Tierra

- Antes de la teoría de Tectónica de Placas
 - Noción de capas: Núcleo, manto, corteza

Cada capa tiene su composición química diferente. Descubiertas con la sismología (ondas sísmica que se propagan en algunos segundos, minutos, horas, entonces es una visión del interior de la Tierra a corto plazo. En esta visión, el manto es sólido porque las ondas S viajan, es decir que a corto plazo el manto es líquido).

- Noción de Deriva de los Continentes

Dos maneras de ver la misma Tierra

- Después de la teoría de Tectónica de Placas
 - Noción de Expansión de los Fondos Oceánicos
 - Teoría de las Placas Tectónicas: litosfera y noción de astenosfera y mesosfera. Visión a largo plazo (escala de tiempos en millones de años y no segundos, minutos u horas). Movimientos de convección en la astenosfera.

El interior de la Tierra es sólido o líquido???

- Del punto de vista de la sismología:

Ondas P y S se propagan => sólido (salvo donde ondas S no se propagan (núcleo externo))

- Del punto de vista de la tectónica:

Las placas tectónicas se mueven porque movimientos de convección de la astenósfera
=> líquido

1.2 Historia tectónica de placas

Revolución en ciencias de la Tierra en los años 1960: una teoría que unifica las diferentes disciplinas en ciencias de la Tierra (geología, geofísica, geoquímica). Basada en 2 conceptos: deriva de los continentes y expansión oceánica. Antes: todo fijo, después: placas que se mueven.