



25 ANIVERSARIO  
1989 - 2014  
ESTUDIOS DE INGENIERÍA  
EN TOPOGRAFÍA Y GEOMÁTICA  
DE LA UNIVERSIDAD DE JAÉN



Instituto  
Geográfico  
Nacional

<http://www.ign.es>

# REd de Gravimetría Absoluta REGA

Eduardo Núñez Maderal

[enmaderal@fomento.es](mailto:enmaderal@fomento.es)





Jaén

16.03.15

Gravedad y  
Gravimetría

Gravimetría  
en el IGN:  
REGA

El IGN

REGA

E. Núñez



## ¡Hablando hoy, aquí, de gravimetría absoluta!

- estudié en esta universidad entre 1998 y 2000
- entré a trabajar en el Instituto Geográfico Nacional(IGN), en 2001, en gravimetría absoluta
- el IGN es centro de referencia en gravimetría en España



# Gravedad y gravimetría

3

Jaén

16.03.15

Gravedad y  
Gravimetría

Gravimetría  
en el IGN:  
REGA

El IGN

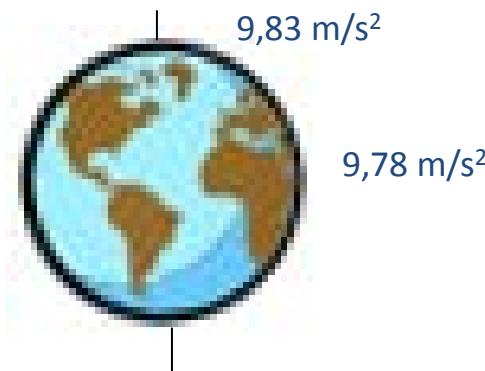
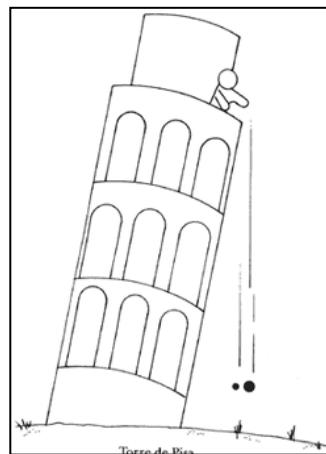
REGA  
E. Núñez



$$F = G \frac{m_1 m_2}{d^2}$$

## Gravimetría

Medición del campo de la gravedad





# Gravedad y gravimetría

4

Jaén  
16.03.15

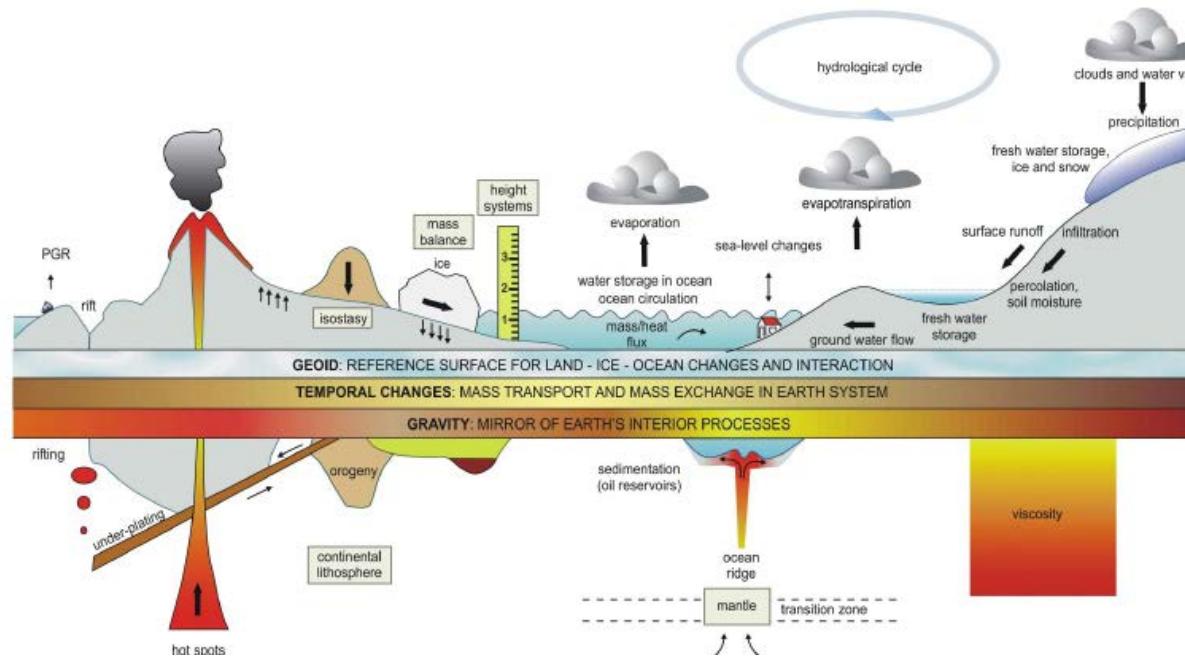
Gravedad y  
Gravimetría

Gravimetría  
en el IGN:  
REGA

El IGN

REGA  
E. Núñez

➤ estudiar el campo de gravedad



Para conocer lo que pasa en el interior de la Tierra





# Gravedad y gravimetría

5

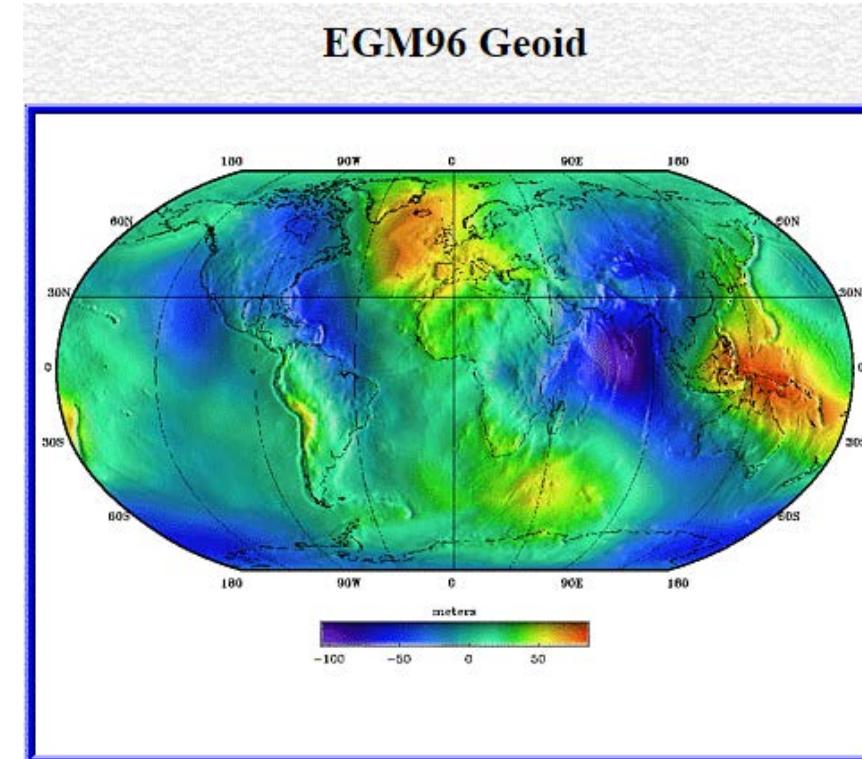
Jaén  
16.03.15

Gravedad y  
Gravimetría

Gravimetría  
en el IGN:  
REGA

El IGN

REGA  
E. Núñez



Para determinar la forma de la Tierra -> el Geoide





# Gravedad y gravimetría

Jaén

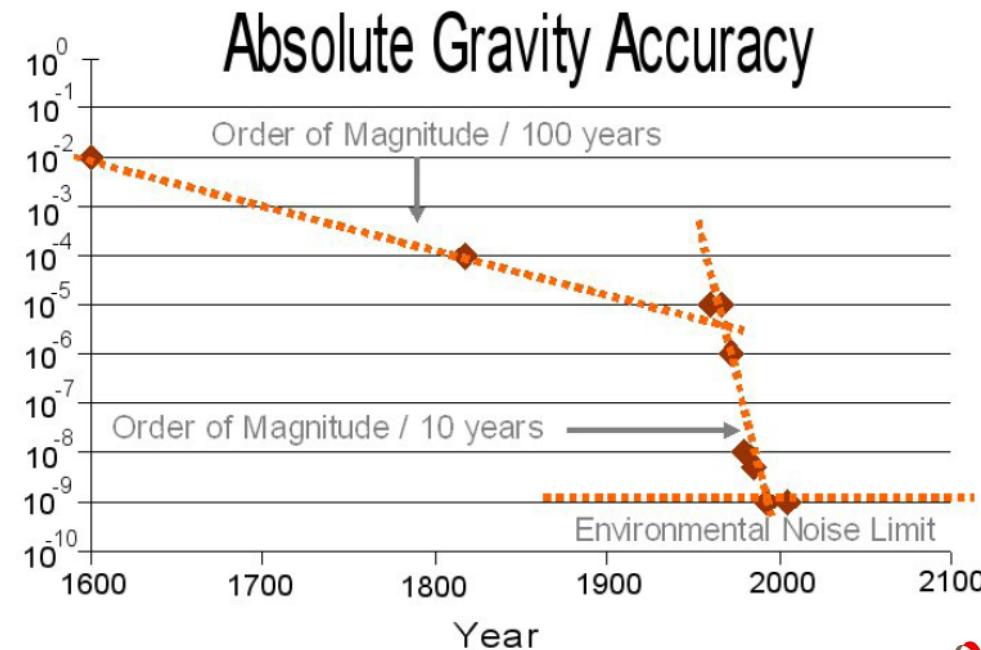
16.03.15

Gravedad y  
Gravimetría

Gravimetría  
en el IGN:  
REGA

El IGN

Desde los días de Galileo la determinación del campo de la gravedad por medidas gravimétricas ha demostrado constantes progresos en la cantidad de datos y en la precisión de los mismos (extraído de Torge,W., Gravimetry)



REGA  
E. Núñez



MICROg  
LA COSTE





# Gravedad y gravimetría

Jaén  
16.03.15

Gravedad y  
Gravimetría

Gravimetría  
en el IGN:  
REGA

El IGN

## El microGal ( $\mu$ Gal)

S.I.      c.g.s.

$$\frac{m}{s^2} \quad \text{Gal} \quad \longrightarrow \quad 1\mu\text{Gal} = 10\text{nm/s}^2$$

$$\frac{m}{s^2}$$

Gal

mGal

$\mu$ Gal

nGal

9,8 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0





# Gravimetría en el IGN

8

Jaén  
16.03.15

Gravedad y  
Gravimetría

Gravimetría  
en el IGN:  
REGA

El IGN

REGA  
E. Núñez

## Objetivos para la gravimetría en el IGN

- Primer objetivo: la REd de Gravimetría Absoluta(REGA), red de orden cero (FG5), uno (A10)
- Superposición de los valores a algunas de las estaciones de la Red de Nivelación de Alta precisión.
- Aplicaciones en volcanología.
- Medidas en mareógrafos para estudios del nivel del mar.
- Calibración gravímetro superconductor de Yebes.
- Restablecimiento de línea de calibración a lo largo de toda la Península.
- Entrar en AGrav: Absolute Gravity Database - Meta-Data (<http://aggrav.bkg.bund.de/aggrav-meta/>)
- Intercomparaciones de gravímetros a nivel mundial y europeo ICAG y ECAG.
- Medidas de gravimetría absoluta de referencia (mediciones en laboratorios de metrología, relacionados con el patrón de masa, “patrón” de gravedad).



# Gravimetría en el IGN

Jaén  
16.03.15

Gravedad y  
Gravimetría

Gravimetría  
en el IGN:  
REGA

El IGN

REGA  
E. Núñez



## Equipos de medición de gravedad en el IGN

- **absolutos:** medida directa de aceleración g (distancia - tiempo)
- Obtenemos directamente los 9,8....m/s<sup>2</sup>



FG5



A10



Micro-g LaCoste Absolute Gravimeters

Absolute Gravimeter Comparison Chart

Meter	Accuracy	Precision	Repeatability	Temp Range	DC	AC	Outdoor Operation
	µGal	µGal/√(Hz)	µGal	°C			
FG-L	10	100	10	15 to 30		×	
A-10	10	100	10	-18 to +38	×	×	×
FG5-X	2	15	1	15 to 30		×	



# Gravimetría en el IGN

10

Jaén  
16.03.15

Gravedad y  
Gravimetría

Gravimetría  
en el IGN:  
REGA

El IGN

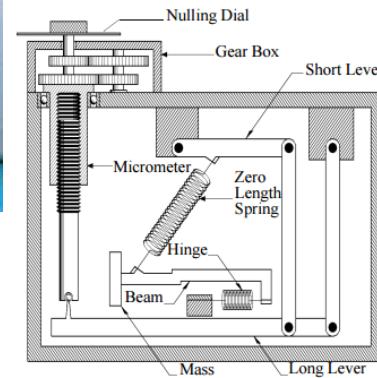
REGA  
E. Núñez



## Equipos de medición de gravedad en el IGN

- **relativos**: medida de variaciones de g (variación de posición de una masa)
- Obtenemos variaciones de gravedad

Lacoste&Romberg  
Precisión: 1 $\mu$ Gal



## Observatory Superconducting Gravimeter (OSG)



The GWR Observatory SG is the world's most sensitive and stable gravity meter

- Lowest noise gravimeter with a sensitivity of 1 nanoGal ( $10^{-3} \mu\text{Gal}$ )
- Lowest noise seismometer below 1 mHz:  $0.1 \mu\text{Gal}/(\text{Hz})^{1/2}$
- Lowest drift: typically 2  $\mu\text{Gal}/\text{year}$  and linear over decades
- Precision: 0.01 to 0.04  $\mu\text{Gal}$  for a one-minute averaging window
- Calibration: Stable to one part in  $10^4$  for decades!
- Insensitive to local environment



# Equipos de gravedad absoluta

Jaén  
16.03.15

Gravedad y  
Gravimetría

Gravimetría  
en el IGN:  
REGA

El IGN

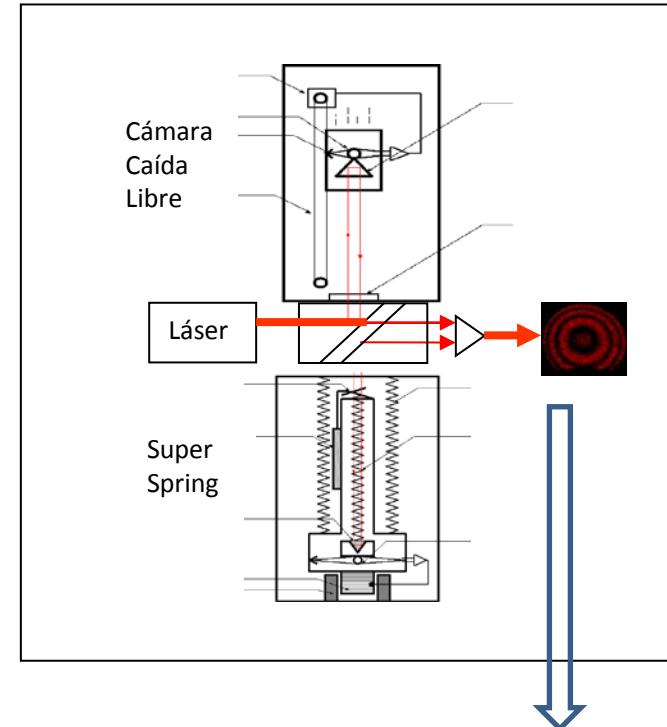
REGA  
E. Núñez

## ¿Cómo funciona un equipo de gravedad absoluta?

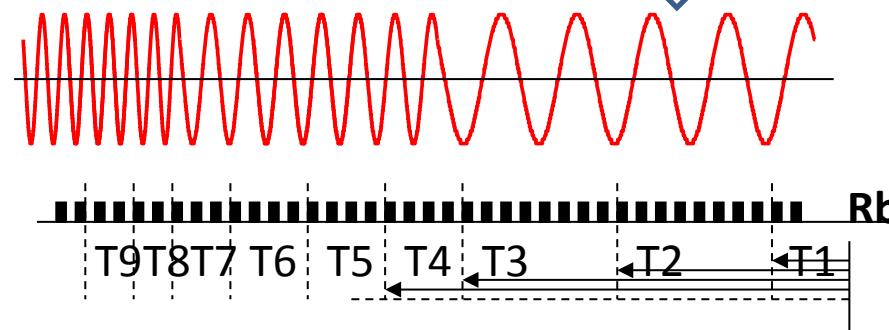
### FG5 Gravimeter



Free-fall gravimeter



Un reloj registra  
cada cuanto  
sucenden  
las orlas



Distancia:  $\lambda/2$  nm  
Tiempo( $T_n$ ): s



# Equipos de gravedad absoluta

Jaén

16.03.15

Gravedad y  
GravimetríaGravimetría  
en el IGN:  
REGA

El IGN

REGA  
E. Núñez

## ¿Cómo se determina el valor de la gravedad?

### FG5 Gravimeter



- > Series de caídas (medida estadística: valor & +/- incertidumbre)
- > Correcciones a la gravedad

### Free-fall gravimeter



$$\sigma_{SET} = 5.72 \mu\text{Gal}$$





# Equipos de gravedad absoluta

13

Jaén  
16.03.15

Gravedad y  
Gravimetría

Gravimetría  
en el IGN:  
REGA

El IGN

REGA  
E. Núñez

## ¿Cómo se determina el valor de la gravedad?

-> Correcciones comunes a la gravedad

Variable física	Orden magnitud
Marea terrestre (MT)	+/- 150 µGal
Carga oceánica (CO)	+/- 3 µGal (Bruselas)
Movimiento polar (MP)	+/- 5 µGal
Variaciones de presión atmosférica (ATM)	-0,3 µGal / hPa
Reducción a datum altimétrico (DATUM)	Incertidumbre gradiente vertical

$$g_j = a_j + \delta g_{MT} + \delta g_{CO} + \delta g_{MP} + \delta g_{ATM} + \delta g_{DATUM}$$



# Equipos de gravedad absoluta

Jaén

16.03.15

Gravedad y  
Gravimetría

Gravimetría  
en el IGN:  
REGA

El IGN

REGA  
E. Núñez

## ¿Cómo se determina el valor de la gravedad?

-> Medida de gradiente asociado a la medida de gravedad absoluta



- Reducción de valores absolutos a un datum.
- Medición de gradiente de la aceleración de la gravedad con exactitud de 1  $\mu\text{gal}$ .
- Medición realizada con sistema de realimentación analógica.



Medida  
gradiente con  
A10



Base para la medida de gradiente  
Para FG5





# Red de gravimetría absoluta del IGN - REGA

15

Jaén

16.03.15

Gravedad y  
Gravimetría

Gravimetría  
en el IGN:  
REGA

El IGN

## Proyecto REGA

**Establecer una infraestructura de referencia de gravimetría en el territorio español.**

- > Orden 0: con gravímetro FG5#211 (u: +/- 1 µGal)
- > Orden 1: con gravímetro A10#006 (u: +/- 10 µGal)



Gravímetro FG5 para REGA Orden 0



Gravímetro A10  
para REGA  
Orden 1





# Red de gravimetría absoluta del IGN - REGA

16

Jaén

16.03.15

Gravedad y  
Gravimetría

Gravimetría  
en el IGN:  
REGA

El IGN

## Primeras medidas con FG5 en 2001

Observatorio Astronómico del IGN (2 gravímetros absolutos)



# Red de gravimetría absoluta del IGN - REGA

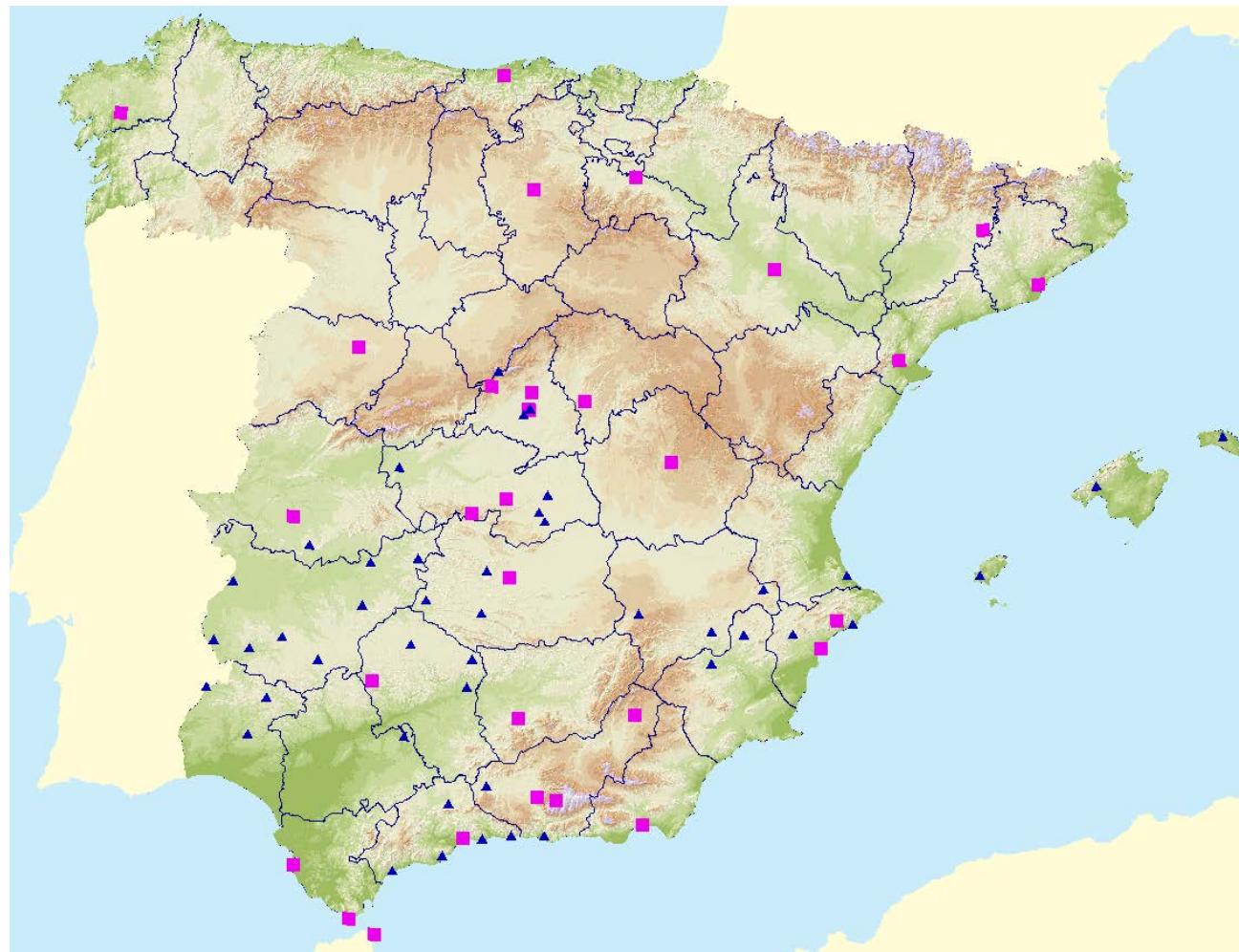
Jaén  
16.03.15

Gravedad y  
Gravimetría

Gravimetría  
en el IGN:  
REGA

El IGN

## REGA Orden 0 y Orden1 en Península





# Red de gravimetría absoluta del IGN - REGA

18

Jaén

16.03.15

Gravedad y  
Gravimetría

Gravimetría  
en el IGN:  
REGA

El IGN

## REGA Orden 0 y Orden1 en Canarias



■ 1 REGA0

▲ 49 REGA1



# Red de gravimetría absoluta del IGN - REGA

19

Jaén

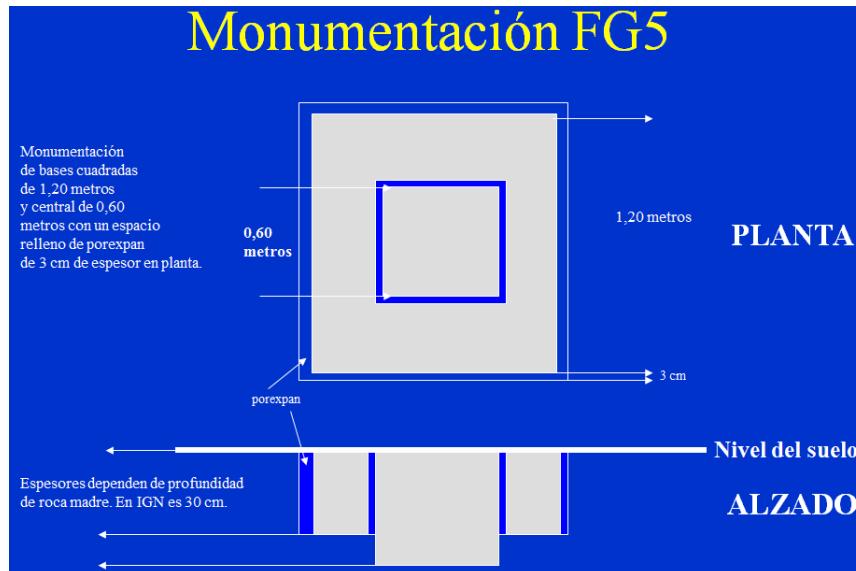
16.03.15

Gravedad y  
Gravimetría

Gravimetría  
en el IGN:  
REGA

El IGN

## Monumentación (pilares de observación)



Pilares REGA Orden0 (FG5)



Laboratorio gravimetría IGN  
(Sede central)



Pilares REGAOrde1( A10) : aprovechamos red  
Acelerógrafos en el Sur de España





# Red de gravimetría absoluta del IGN - REGA

20

Jaén

16.03.15

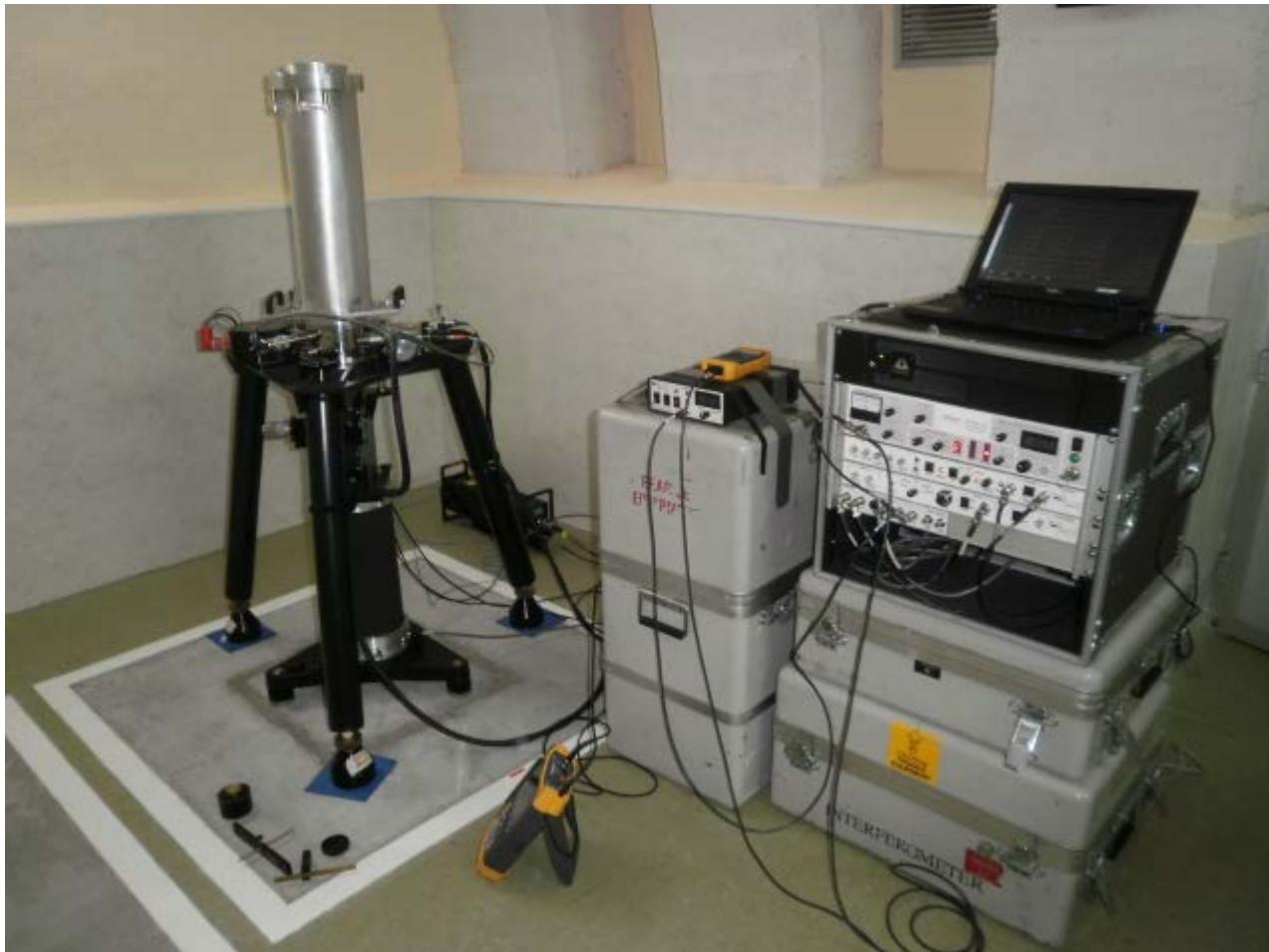
Gravedad y  
Gravimetría

Gravimetría  
en el IGN:  
REGA

El IGN

## Medidas con FG5#211

San Pablo de los Montes (Observatorio Geofísico del IGN en Toledo)





# Red de gravimetría absoluta del IGN - REGA

21

Jaén

16.03.15

Gravedad y  
Gravimetría

Gravimetría  
en el IGN:  
REGA

El IGN

## Medidas con A10



Estación de Cercedilla(Madrid)



Medidas en Ibiza



# Red de gravimetría absoluta del IGN - REGA

22

Jaén  
16.03.15

Gravedad y  
Gravimetría

Gravimetría  
en el IGN:  
REGA

El IGN

## Mantenimiento de equipos

- Comparaciones internacionales

Intercomparación en el  
BIPM-París 2001



9_4 FG5-209 B1.090 8012.28014.5 2.3	0.9	1.08	5698.9	8016.5	-1.3	-2.3	-0.5
10_1 FG5-211 A.090 5694.65701.2 6.6	0.9	1.12	5694.6	8012.2	-5.6	-6.6	-7.3
10_2 FG5-211 A2.090 5693.55706.6 13.1	0.9	1.15	5688.1	8005.7	-12.1	-13.1	-12.5
10_3 FG5-211 B.090 8012.68018.8 6.2	0.9	1.13	5695.0	8012.6	-5.2	-6.2	-7.1
11_1 FG5-213 A.090 5701.05701.2 0.2	0.9	1.09	5701.0	8018.6	0.8	-0.2	-0.9
11_3 FG5-213 B1.090 8010.79014.5 4.2	0.9	1.17	5696.0	8014.5	2.2	4.2	2.5





# Red de gravimetría absoluta del IGN - REGA

23

Jaén

16.03.15

Gravedad y  
Gravimetría

Gravimetría  
en el IGN:  
REGA

El IGN

## Mantenimiento de equipos

- Comparaciones internacionales

Intercomparación en  
Luxemburgo 2003



El FG5#211 obtuvo una diferencia de **-0,3 µGal** respecto a la media  
(*Francis, O.: Results of the International Comparison of Absolute Gravimeters in Walferdange (Luxembourg) of November 2003*)



# Red de gravimetría absoluta del IGN - REGA

Jaén  
16.03.15

Gravedad y  
Gravimetría

Gravimetría  
en el IGN:  
REGA

El IGN

## Mantenimiento de equipos

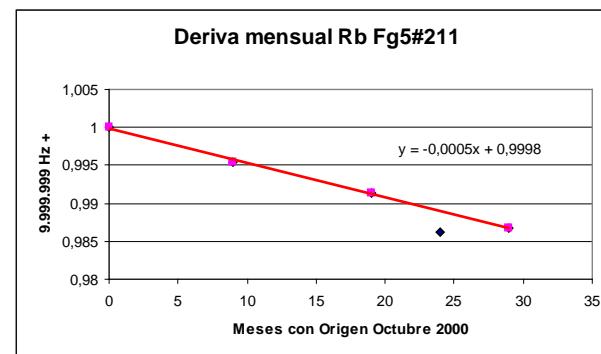
- Limpieza y calibración de componentes



Limpieza y ajustes en el patrón de medida  
(Laser)



Limpieza de óptica



Calibración deriva patrón tiempo  
(Reloj rubidio)



# El Instituto Geográfico Nacional

25

Jaén  
16.03.15

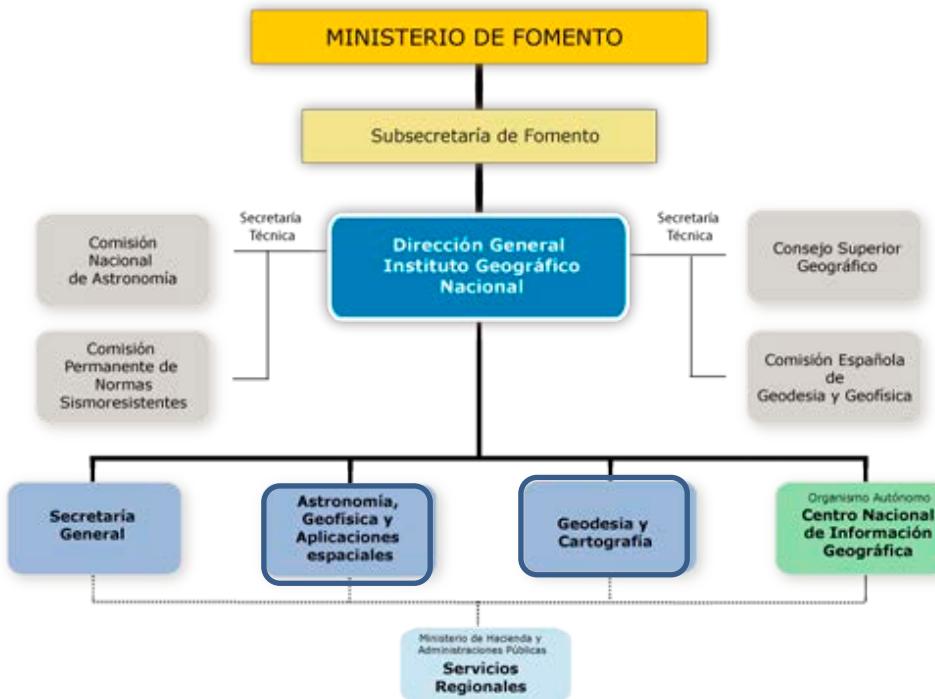
Gravedad y  
Gravimetría

Gravimetría  
en el IGN:  
REGA

El IGN

REGA  
E. Núñez

[Real Decreto 452/2012, de 5 de marzo](#), por el que se desarrolla la estructura orgánica básica del Ministerio de Fomento





# El Instituto Geográfico Nacional

26

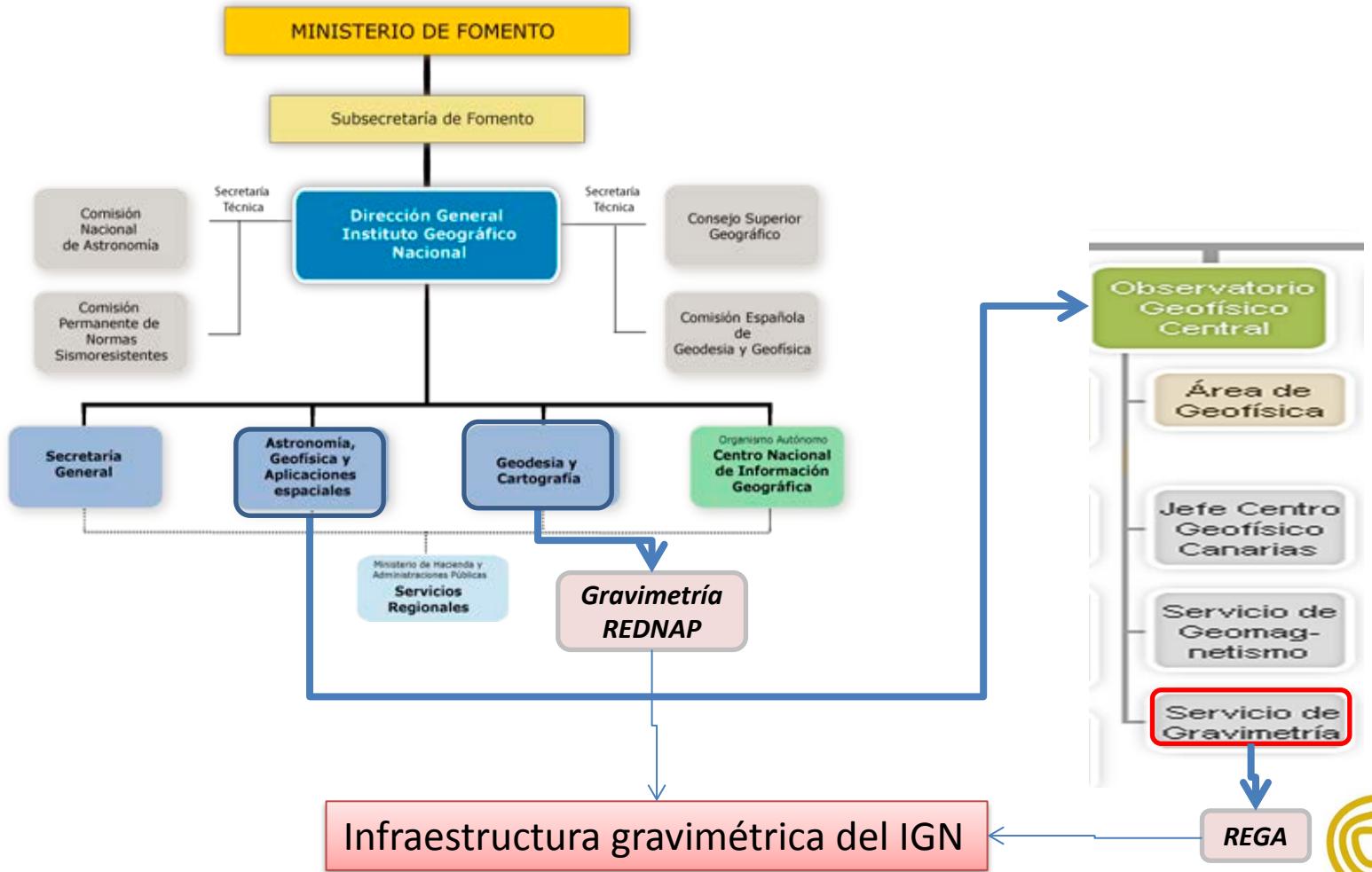
Jaén  
16.03.15

Gravedad y  
Gravimetría

Gravimetría  
en el IGN:  
REGA

El IGN

## INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL - GRAVIMETRÍA





# El Instituto Geográfico Nacional

27

Jaén  
16.03.15

Gravedad y  
Gravimetría

Gravimetría  
en el IGN:  
REGA

El IGN

REGA  
E. Núñez

## Centro de referencia de Gravimetría (Observatorio de Yebes)



# El Instituto Geográfico Nacional

Jaén  
16.03.15

Gravedad y  
Gravimetría

Gravimetría  
en el IGN:  
REGA

El IGN

## Centro de referencia de Gravimetría (Observatorio de Yebes)

Superconductor GWR-OSG-059



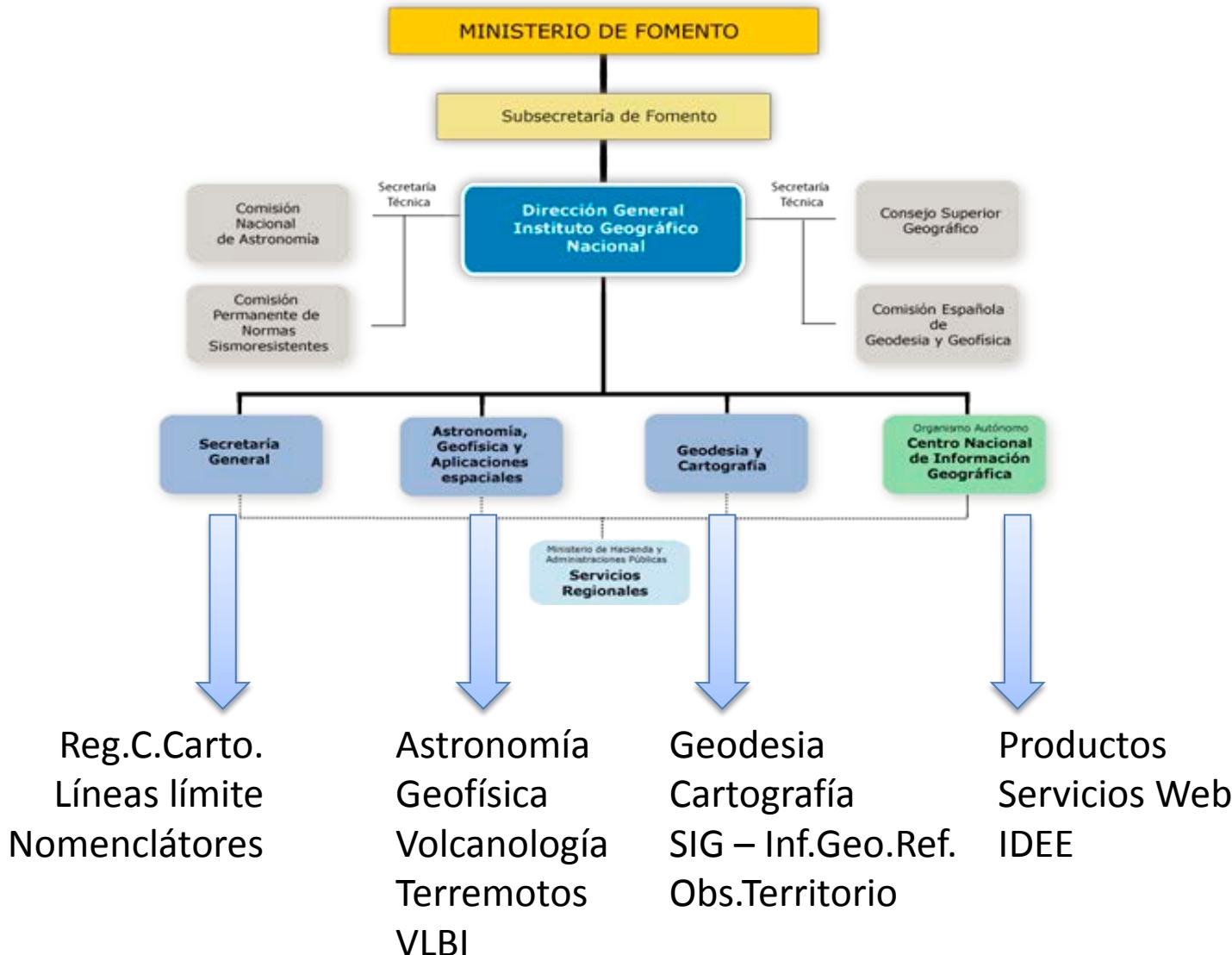
FG5#211



# Instituto Geográfico Nacional - IGN

29

## -> Trabajar en el IGN



Jaén  
16.03.15

Gravedad y  
Gravimetría

Gravimetría  
en el IGN:  
REGA

El IGN

REGA  
E. Núñez





# Red de Gravimetría Absoluta - REGA

30

Jaén  
16.03.15

Gravedad y  
Gravimetría

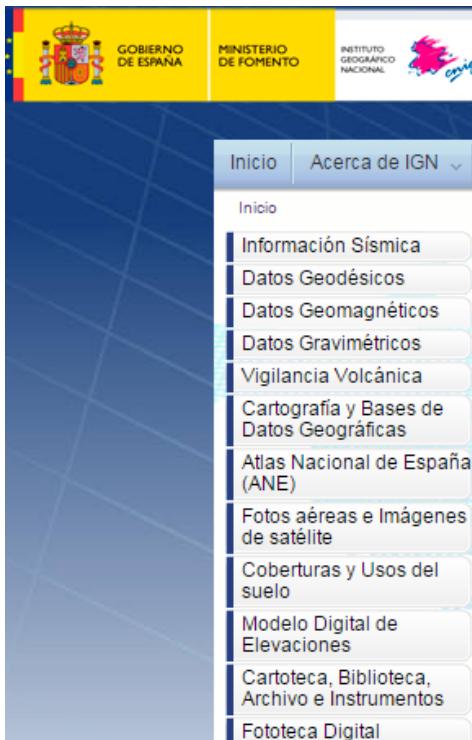
Gravimetría  
en el IGN:  
REGA

El IGN

REGA  
E. Núñez

## ¿Cómo acceder al IGN?

[www.ign.es](http://www.ign.es)



Nº Becas	Áreas	Cuantía	Duración
14	<ul style="list-style-type: none"><li>• Atronomia</li><li>• Geodesia</li><li>• Geofísica</li><li>• Geomática</li><li>• Cartografía</li></ul>	1000€/mes + cursos/viajes + gratificaciones	2 años + 2 años

## OPOSICIONES 2014

- **(2 Libre+2 Interna) Ingeniero Geógrafo**  
(Grupo A1): retribución inicial aproximada de 1.700 €/mes
- **(3 Libre) Ingeniero T. Topografía** (Grupo A2): retribución inicial aproximada 1.300 €/mes



# GRACIAS POR VUESTRA ATENCIÓN

Eduardo Núñez Maderal  
[enmaderal@fomento.es](mailto:enmaderal@fomento.es)

con la colaboración del Observatorio Geofísico  
Central del IGN (Sergio Sainz-Maza, Carmen López)

