



Facultad de Ciencias  
Astronómicas  
y Geofísicas  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA



Ezequiel D. Antokoletz<sup>1,2</sup>, Claudia N. Tocho<sup>1</sup>, Diego A. Piñón<sup>2</sup>, Silvia Miranda<sup>3</sup>, Eduardo A. Lauría<sup>2</sup>, María C. Pacino<sup>4</sup>, Sergio R. Cimbaro<sup>2</sup>

# Comparación de modelos de mareas terrestres con grupos de onda teóricos y calculados



<sup>1</sup>Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas de la Universidad Nacional de La Plata

<sup>2</sup>Instituto Geográfico Nacional

<sup>3</sup>Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de San Juan

<sup>4</sup>Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura de Universidad Nacional de Rosario



## 1. Introducción

La corrección de mareas terrestres para el procesamiento de datos gravimétricos puede realizarse de diversos modos, por ejemplo: aplicando modelos o catálogos de distinto orden, utilizando grupos de onda (de amplitud y desfase) teóricos o calculados.

En el presente trabajo se realizaron comparaciones entre los distintos modelos de mareas, teniendo en cuenta las amplitudes y desfases de los grupos de onda. Los grupos de onda fueron calculados con el programa WPARICET (<http://www.eas.slu.edu/GGP/wparicet.html>) inicialmente creado por Hans-Georg Wenzel en 1994 y las correcciones de mareas se realizaron mediante el software ETERNA v.3.40 (Wenzel, 1996). Los catálogos tenidos en cuenta para la comparación fueron los planteados por Doodson (1921); Cartwright y Tayler (1971); Cartwright y Edden (1973); Büellesfeld (1985) y Tamura (1987). Los cálculos se realizaron sobre tres estaciones gravimétricas: el pilar fundamental de gravedad que se encuentra en la Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas de la Universidad Nacional de La Plata; la estación de gravedad absoluta del Instituto Geográfico Nacional y la estación de gravedad absoluta ubicada en el Instituto Geofísico Sismológico Ing. Fernando S. Volponi de la Universidad Nacional de San Juan (Figura 1).

Finalmente, se realizó una comparación de los distintos modelos con el modelo propuesto por Cartwright, siendo este el modelo recomendado en la Resolución N° 16 de la Asociación Internacional de Geodesia en 1983. De esta manera se pudo establecer un criterio que permite seleccionar el modelo de mareas adecuado para realizar reducciones a los datos gravimétricos observados, de acuerdo a la exactitud que se necesite obtener.

## 2. Datos

Las comparaciones fueron realizadas para un período de tres días del año 2012 con un intervalo de 10 minutos.

Los catálogos utilizados para aproximar el potencial de mareas fueron los propuestos por Doodson, Cartwright, Büellesfeld y Tamura (Cuadro 1).

Para calcular los grupos de onda teóricos se utilizaron los valores constantes de 1.15 para las amplitudes y 0.00 para desfases.

Para el cálculo de los grupos de onda con el WPARICET se utilizó el modelo de carga oceánica propuesto por Zhou en 2007. (Royal Observatory of Belgium, 2007)

Catálogo	Coefficientes en Armónicos Esféricos	Descripción
Doodson (1921)	378	Efectos del Sol y la Luna
Cartwright (1971 y 1973)	505	Efectos del Sol y la Luna
Büellesfeld (1985)	656	Efectos del Sol y la Luna
Tamura (1987)	1.200	Efectos del Sol, la Luna, Venus y Júpiter

Cuadro 1

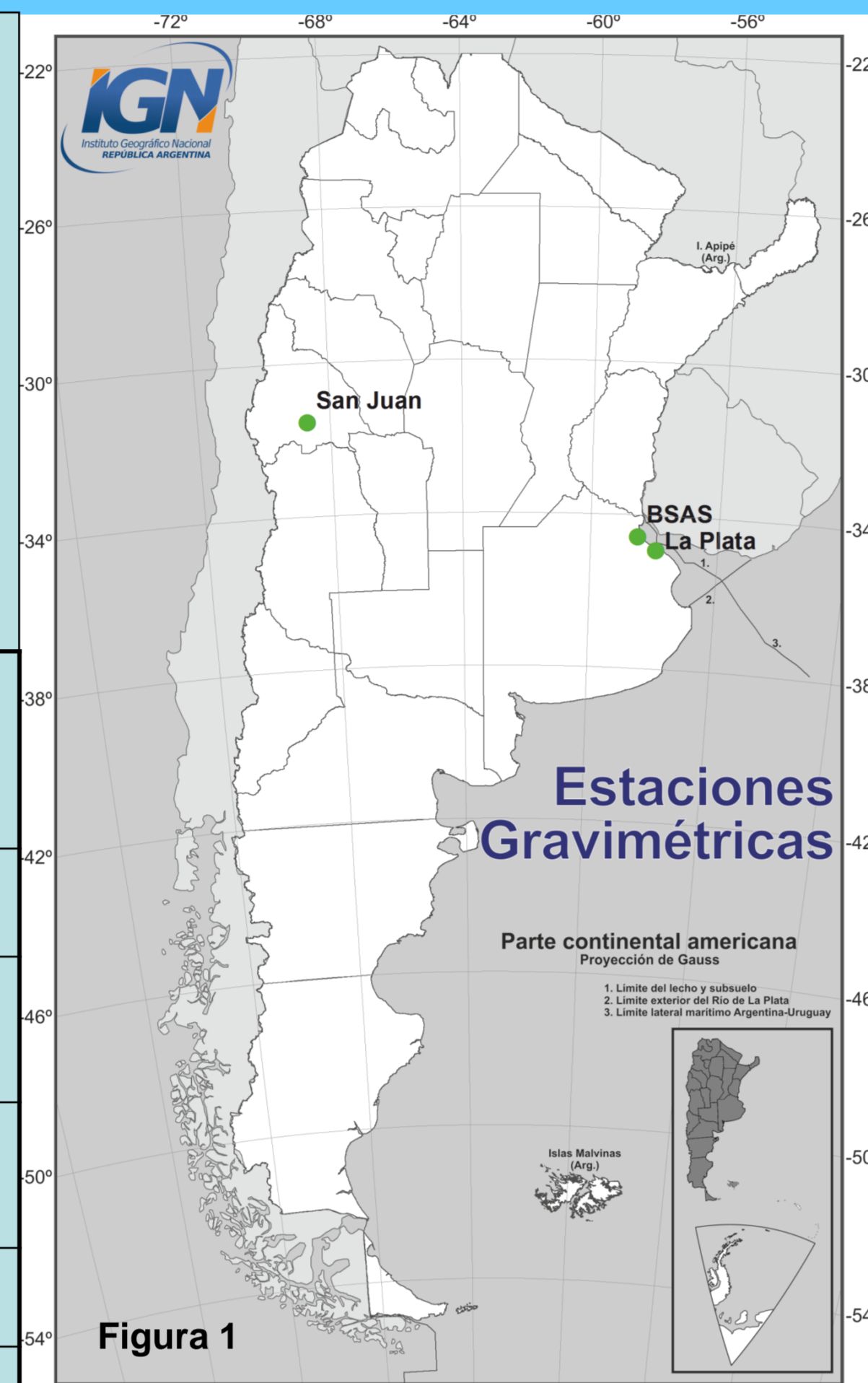


Figura 1

Cabe destacar que si bien los catálogos de Doodson, Cartwright y Büellesfeld tienen en cuenta los mismos efectos, éstos se diferencian en dos cuestiones principales. Por un lado, la precisión con la que se miden las coordenadas del Sol y la Luna para el cálculo del potencial de mareas. Por otro lado, en la expansión del potencial en armónicos esféricos pueden notarse las diferencias entre la cantidad de armónicos utilizados en cada catálogo, esto quiere decir que cambia el orden con el que se consideran los efectos de cada astro.

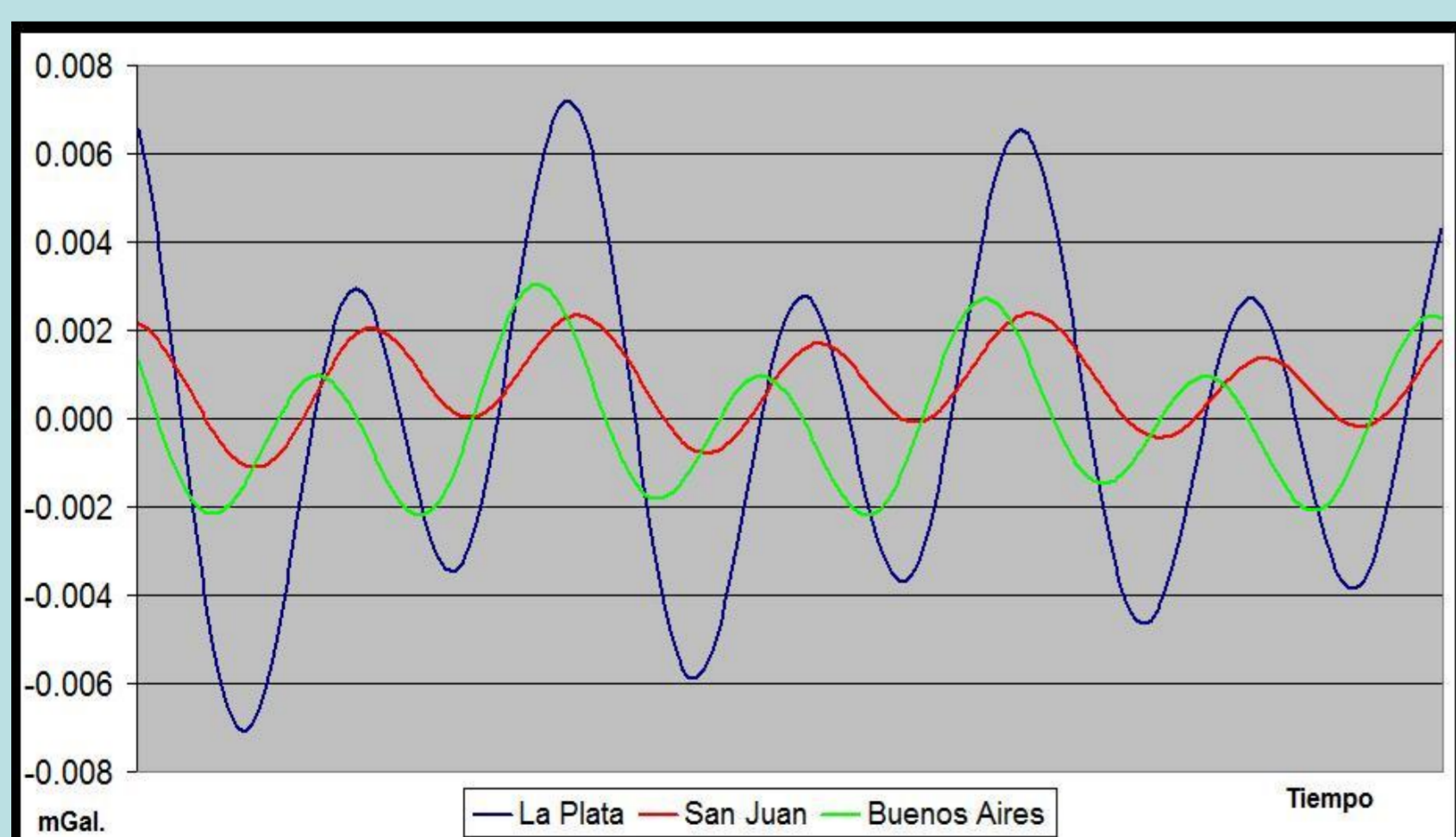
## 4. Resultados

A partir de las comparaciones realizadas se obtuvieron los siguientes resultados para cada estación:

<u>La Plata</u>		Grupos	Máximo (mGal)	Mínimo (mGal)	Desv. Est. (mGal)
Doodson - Cartwright	Teóricos		0.00014	-0.00008	0.00006
	Calculados		0.00014	-0.00009	0.00006
Buellesfeld - Cartwright	Teóricos		0.00006	-0.00011	0.00005
	Calculados		0.00007	-0.00011	0.00005
Tamura - Cartwright	Teóricos		0.00005	-0.00007	0.00003
	Calculados		0.00005	-0.00008	0.00003
<u>Buenos Aires</u>		Grupos	Máximo (mGal)	Mínimo (mGal)	Desv. Est. (mGal)
Doodson - Cartwright	Teóricos		0.00014	-0.00008	0.00006
	Calculados		0.00014	-0.00008	0.00006
Buellesfeld - Cartwright	Teóricos		0.00006	-0.00010	0.00004
	Calculados		0.00007	-0.00010	0.00005
Tamura - Cartwright	Teóricos		0.00004	-0.00006	0.00003
	Calculados		0.00005	-0.00007	0.00003
<u>San Juan</u>		Grupos	Máximo (mGal)	Mínimo (mGal)	Desv. Est. (mGal)
Doodson - Cartwright	Teóricos		0.00014	-0.00009	0.00006
	Calculados		0.00014	-0.00010	0.00006
Buellesfeld - Cartwright	Teóricos		0.00006	-0.00011	0.00005
	Calculados		0.00008	-0.00010	0.00005
Tamura - Cartwright	Teóricos		0.00005	-0.00007	0.00003
	Calculados		0.00005	-0.00007	0.00003

Cuadro 2

Por otro lado, se observan las diferencias entre las correcciones de marea calculadas con grupos de onda teóricos y calculados con el catálogo de Cartwright:



El gráfico muestra las diferencias entre las correcciones de mareas calculadas con grupos de onda teóricos y calculados con el catálogo de Cartwright.

Estación	Máximo (mGal)	Mínimo (mGal)	Desv. Est. (mGal)
La Plata	0.00717	-0.00708	0.00362
Buenos Aires	0.00303	-0.00219	0.00147
San Juan	0.00237	-0.00111	0.00093

Cuadro 3

## 3. Metodología

Para la realización del trabajo se aplicó la siguiente metodología:

I) Primeramente, se calcularon los grupos de onda locales para cada estación con el software WPARICET. Este programa utiliza una grilla mundial de parámetros de marea sintéticos para interpolar los valores de amplitudes y desfases de los grupos de onda de una estación determinada (Royal Observatory of Belgium). El software utiliza un modelo de carga oceánica. Las opciones que da para dicho modelo son: CSR3 (Zhou, 2007) y NAO99 (Melchior et al., 1980). El utilizado para este trabajo fue el propuesto por Zhou.

TIDALPARAM=	0.000000	0.000132	1.00000	0.0000	M0S0	#ETERNA	waveg
TIDALPARAM=	0.000133	0.020884	1.15700	0.0000	SSA	#ETERNA	waveg
TIDALPARAM=	0.020885	0.501369	1.71550	0.0000	MF	#ETERNA	waveg
TIDALPARAM=	0.501370	0.911390	1.25575	3.0055	Q1	#ETERNA	waveg
TIDALPARAM=	0.911391	0.981854	1.24061	0.1950	O1	#ETERNA	waveg
TIDALPARAM=	0.981855	0.998631	1.18457	-1.3619	P1	#ETERNA	waveg
TIDALPARAM=	0.998632	1.035379	1.16474	-1.2598	K1	#ETERNA	waveg
TIDALPARAM=	1.035380	1.071833	1.15600	0.0000	J1	#ETERNA	waveg
TIDALPARAM=	1.071834	1.470243	1.15600	0.0000	O01	#ETERNA	waveg
TIDALPARAM=	1.470244	1.914128	1.30865	-1.0537	N2	#ETERNA	waveg
TIDALPARAM=	1.914129	1.984282	1.22717	-1.9533	M2	#ETERNA	waveg
TIDALPARAM=	1.984283	2.002736	1.15926	-0.2565	S2	#ETERNA	waveg
TIDALPARAM=	2.002737	2.451943	1.15965	0.0677	K2	#ETERNA	waveg
TIDALPARAM=	2.451944	3.381378	1.06630	0.0000	M3	#ETERNA	waveg
TIDALPARAM=	3.381379	4.347615	1.04000	0.0000	M4	#ETERNA	waveg

Figura 2: muestra los grupos de onda calculados para la estación de La Plata.

II) Luego, se realizó el cálculo de las correcciones de mareas con el ETERNA, utilizando los distintos catálogos con grupos de onda teóricos y calculados. Este programa calcula, a partir de ciertos datos de entrada (coordenadas de la estación, catálogo a utilizar, fecha de inicio del cálculo e intervalos de tiempo), dichas correcciones. Se hicieron los cálculos para los cuatro catálogos mencionados en sus dos modalidades: con grupos de onda teóricos y calculados. Para el caso de los grupos de onda teóricos se utilizaron los valores de amplitudes y desfases constantes de 1.15 y 0.00 respectivamente.

III) Por último, comparamos los resultados obtenidos en las dos modalidades con los resultados obtenidos con el catálogo de Cartwright. Se realizaron las comparaciones con entre modelo ya que según la Resolución N°16 de la Asociación Internacional de Geodesia (IAG) del año 1983, éste catálogo es el recomendado por dicha Institución para el cálculo de correcciones de marea.

## 5. Discusión

El cuadro 2 muestra las diferencias de cada catálogo con el catálogo de Cartwright tanto en el caso con grupos de onda teóricos como calculados. Si analizamos los resultados obtenidos a partir de las comparaciones, todas las diferencias son menores a 0.001 mGal, que es la resolución de las lecturas de los gravímetros actuales. A partir de estos resultados, se puede concluir que el catálogo propuesto por Cartwright resulta suficiente para realizar el cálculo de correcciones de mareas.

Ahora bien, si analizamos las diferencias entre las correcciones de marea calculadas con grupos de onda teóricos y calculados con el catálogo de Cartwright (Cuadro 3) podemos notar diferencias de hasta 0.007 mGal. Siendo que estos valores son perceptibles por los gravímetros actuales, puede resultar de gran importancia considerar la utilización de grupos de onda locales para el cálculo de correcciones de marea si se quieren realizar reducciones de valores gravimétricos o estudios de marea terrestre.

Cabe destacar que el software WPARICET utiliza una grilla mundial de parámetros de marea sintéticos para interpolar los valores de amplitud y desfase de una estación por lo que los valores obtenidos a partir de este programa no son los reales de la estación sino que son una aproximación obtenida a partir de una interpolación. Para calcular los grupos de onda reales de una estación es necesario tener observaciones con gravímetros de manera continua por un período de tiempo largo. Por esta razón, las diferencias obtenidas en el presente trabajo podrían variar si se utilizaran parámetros de marea reales de las estaciones.

El trabajo "Análisis de marea para San Juan en base a las series de tiempo del gravímetro automático SCINTREX CG-5 S/N 40484" (Miranda et al., 2014) presenta un análisis con los valores de gravedad observados de manera continua en la estación gravimétrica de San Juan durante treinta días del año 2011 con el gravímetro mencionado. Dicho análisis permite obtener factores de corrección locales para las ondas de marea. Sería de gran interés predecir las señales de mareas terrestres para poder utilizarlos para realizar una correcta corrección de mareas y comparar dichos resultados con los obtenidos en el presente trabajo.

## 6. Conclusiones

- El catálogo de Cartwright no presenta diferencias significativas respecto a otros catálogos, incluyendo catálogos más completos.
- Es importante calcular y utilizar grupos de onda locales de cada estación al momento de calcular correcciones de marea si se quiere obtener valores con la mejor precisión posible.
- Los grupos de onda calculados con el WPARICET se obtienen a partir de una interpolación. Para obtener parámetros de marea locales de una estación es necesario contar con períodos largos de medición continua con gravímetros.

## Referencias

- Büellesfeld, F.-J., 1985. Ein Beitrag zur harmonischen Darstellung des gezeitenerzeugenden Potentials. Deutsche Geodätische Kommission, Reihe C, Heft Nr. 314, München.
- Cartwright, D. E. y Tayler, R. J., 1971. New Computations of the Tide-Generating Potential. Geophys. J. Roy. astr. Soc., 23(1), pp. 45-74, doi:10.1111/j.1365-246X.1971.tb01803.x.
- Cartwright, D.E. y A.C. Edden, 1973. Corrected tables of tidal harmonics. Geophys. J. Int. 33 (3): 253-264. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-246X.1973.tb03420.x>.
- Doodson, A.T., 1921. The Harmonic Development of the Tide-Generating Potential. Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Containing Papers of a Mathematical and Physical Character (1905-1934). 100(704): 305-329. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1098/rspa.1921.0088>.
- Miranda, Silvia et al., 2014. Análisis de marea para San Juan en base a las series de tiempo del gravímetro automático SCINTREX CG-5 S/N 40484. AAGG2014.
- Tamura, Y., 1987. A harmonic development of the tide-generating potential. Bulletin d'Informations Mareés Terrestres, vol. 99, 6813-6855, Bruxelles 1987.
- Wenzel, H.-G., 1996. The nanogal software: Earth tide data processing package ETERNA 3.30. Bulletin d'Informations Mareés Terrestres, vol. 124, 9425-9439, Bruxelles 1996. Disponible en: <http://www.eas.slu.edu/GGP/ETERNA34/>