

2. BALANCE DE MASAS

2.1. INTRODUCCIÓN

Se ha tenido en cuenta el balance de masas mensual durante el periodo 1925-1998 realizado por Golubstov, V.V; Lee, V.I. [2] Dichos autores extrajeron los datos necesarios del SOI (State Institute for Oceanography of the Russian Federation) a partir de los registros de 4 estaciones: Baku, Machachkala, Krasnovodsk y Fort-Shevchenko, así como del Hydrometcenter of the Russian Federation (GMC), teniendo en cuenta los registros de 3 estaciones: Island Gyloi, Coolly Beacon y Kara-Bogaz-Gol.

Las variaciones de nivel del Mar Caspio en función del tiempo se han calculado en función del balance de masas, expresando la variación de nivel del mar como una diferencia entre los factores de entrada de agua al mar (caudal de entrada de aguas superficiales, subterráneas y precipitación) y los de salida (evaporación general y en la bahía de Kara Bogaz Gol).

$$\Delta Z = \frac{W}{\omega(Z)} + \frac{W_g}{\omega(Z)} + P - \frac{W_{kbg}}{\omega(Z)} - E$$

donde:

ΔZ : cambio del nivel del mar.

W : caudal de entrada de ríos al mar.

W_g : caudal de entrada de aguas subterráneas al mar.

P : precipitación sobre la superficie del mar.

W_{kbg} : volumen de salida en la bahía de Kara Bogaz Gol

E : volumen de agua evaporada desde la superficie del mar.

$\omega(Z)$: área del mar en función del nivel.

Los parámetros necesarios para realizar la modelización en intervalos mensuales han sido definidos y aplicados de acuerdo al método elaborado por Smirnova [47] (ver anejo A1). En apartados sucesivos se detallan cada uno de los componentes que forman el balance de masas.

2.2. COMPONENTES DEL BALANCE DE MASAS

2.2.1 Caudal de entrada de aguas superficiales

La entrada de aguas superficiales a la superficie del mar Caspio es el componente de entrada más importante del balance de masas. Como ya se ha comentado la mayor parte de dicho volumen proviene de los ríos Volga, Kura, Ural, Terek, Sulark y Sarmure [48]. El resto del caudal de entrada proviene de los ríos de la costa Iraní así como de los ríos de poco caudal provenientes de las costas Este y Oeste.

El río Volga

Los datos de caudal de entrada presentados hasta el año 1958 se han calculado a partir de registros tomados en las poblaciones de Dubovka y Lebirgje. Los caudales obtenidos a partir de esa fecha hasta el año 1998 se han calculado según datos obtenidos desde una importante

central hidroeléctrica. Para obtener el caudal de vertido directo al mar se ha restado a cada uno de los registros de caudal, obtenidos en los puntos de control mencionados, el caudal perdido en la zona del delta. El cálculo de dicho caudal se ha obtenido mediante la siguiente expresión:

$$Q_p = 0.034Q + 0.22$$

donde:

Q_p : cantidad de agua perdida en el delta del Volga, en Km^3 por mes.

Q : caudal registrado en la central hidroeléctrica de Volgograd

El río Ural

El cálculo del caudal del río Oral se ha llevado a cabo mediante los datos recogidos en el emplazamiento de Kushumsky y el pueblo de Toporovy.

El río Kura

El caudal de este río hacia aguas del Caspio ha sido calculado mediante datos obtenidos de observaciones y medidas hidrométricas en la ciudad de Saljany.

El río Terek

Su caudal ha sido calculado mediante datos observacionales y medidas hidrométricas procedentes de la estación de Kargalinsky.

El río Sulark

Caudal obtenido mediante datos observacionales y medidas hidrométricas en el punto de control situado en el pueblo de Miatly.

El río Samure

Su caudal ha sido calculado mediante datos observacionales y medidas hidrométricas procedentes del punto de control situado en el pueblo de Usuke.

Ríos de la costa iraní

Para los ríos procedentes de la costa de Irán se ha tomado un valor constante de caudal de 14 Km^3 anuales. Dicho valor se ha calculado gracias a las investigaciones de Remisova [21], y tiene en cuenta un total de siete ríos procedentes de la costa iraní.

La figura 8 muestra la variación del caudal de entrada general de aguas superficiales al Mar Caspio en el periodo 1925-1998. Vemos que el tiempo está representado mensualmente y los

datos de caudal se han expresado mediante una curva de acumulación calculada según la expresión $\sum_i (Q_i - \bar{Q})$.

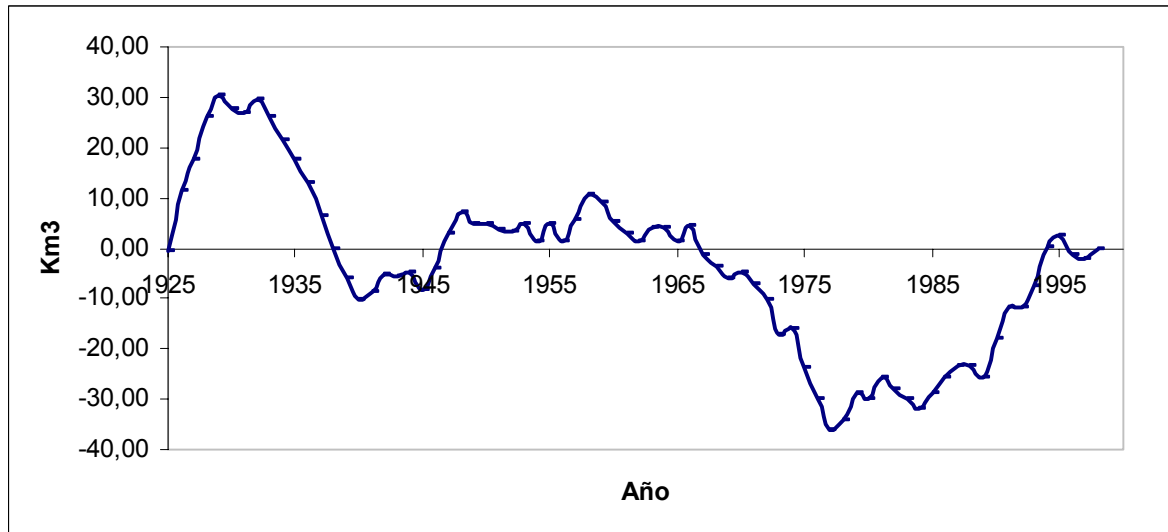


Figura 8: Variación mensual del caudal de entrada (periodo 1925-1998). [2]

2.2.2. Precipitación

Las cifras de precipitación caída sobre la superficie del mar han sido calculadas mediante el método de Smirnova [47] y han sido utilizados los datos obtenidos mediante las siguientes 10 estaciones meteorológicas representadas en la tabla 5.

Tabla 5. Listado de las estaciones meteorológicas estudiadas en el análisis de precipitación del balance de masas.

ESTACIÓN
Island Tjuleni
Island Kulaly
Island Svynoi
Island Ogurchynski
Fort-Shevchenko
Neftearny Stones
Izberbash
Machachkala
Baku
Krasnovodsk

El paso de los datos mensuales obtenidos por estas estaciones a la precipitación media mensual caída en el Caspio se ha obtenido aplicando la siguiente expresión:

$$P_m = 0.98P_c + 1.7(T_a - T_w - 1)$$

donde: P_m es la precipitación total caída en la superficie del mar (mm/mes)

P_c es la precipitación total media observada en las estaciones (mm/mes)

$T_a - T_w$ es la diferencia media entre la temperatura del aire y la temperatura del agua por estación (°C)

El cálculo de la precipitación obtenida se ha corregido en función del grado de imprecisión de los instrumentos utilizados, resultando en un 14% del valor de la precipitación obtenido originalmente (ver figura 9). De la misma que en la figura 8, se ha representado la curva acumulada mediante la fórmula: $\sum_i (P_i - \bar{P})$

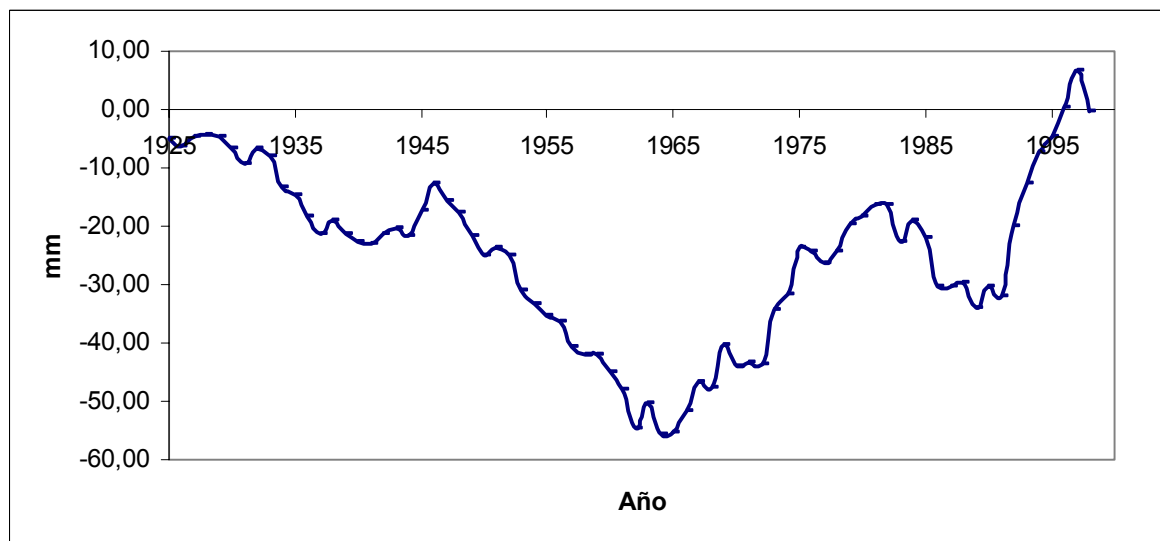


Figura 9. Variación mensual de la precipitación (periodo 1925- 1998) [2]

2.2.3. Evaporación

La evaporación desde la superficie del mar Caspio es el elemento de salida más importante del balance de masas. Se ha calculado en función de la temperatura media mensual del agua registrada en las siguientes cuatro estaciones, y teniendo en cuenta el método de Smirnova.

Tabla 6. Listado de las estaciones meteorológicas estudiadas en el análisis de evaporación del balance de masas.

ESTACIÓN
Mahachkala
Fort-Shevchenko
Baku
Krasnovodsk

La variación de la evaporación efectiva (evaporación menos precipitación) queda representada en la figura 10.

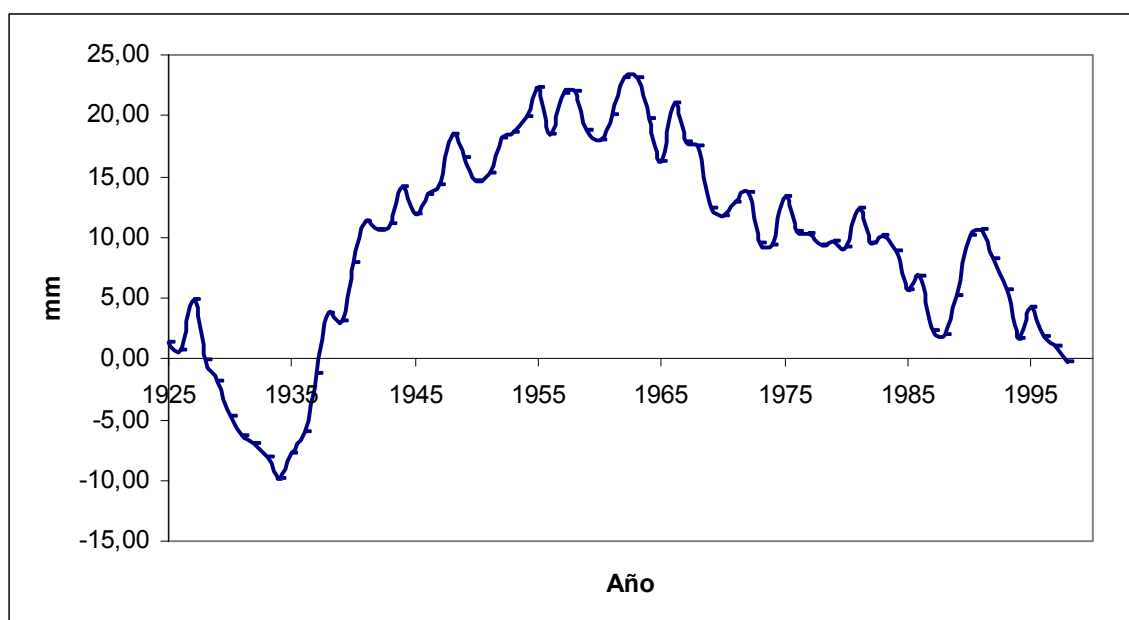


Figura 10 Variación mensual de la evaporación efectiva (periodo 1925-1998) [2]

Es importante resaltar el descenso medio observado de la evaporación iniciado sobre principios de los años 60. Esta fecha coincide plenamente con la aparición de los campos de regadío en las cuencas del mar de Aral.

2.2.4. Evaporación en la bahía de Kara Bogaz Gol

Esta componente del balance de masas se ha determinado mediante medidas directas en la propia bahía. El caudal de entrada está en función de la capacidad de descarga de la misma y del nivel del mar Caspio. Su variación en función del tiempo lo podemos ver en la figura 11

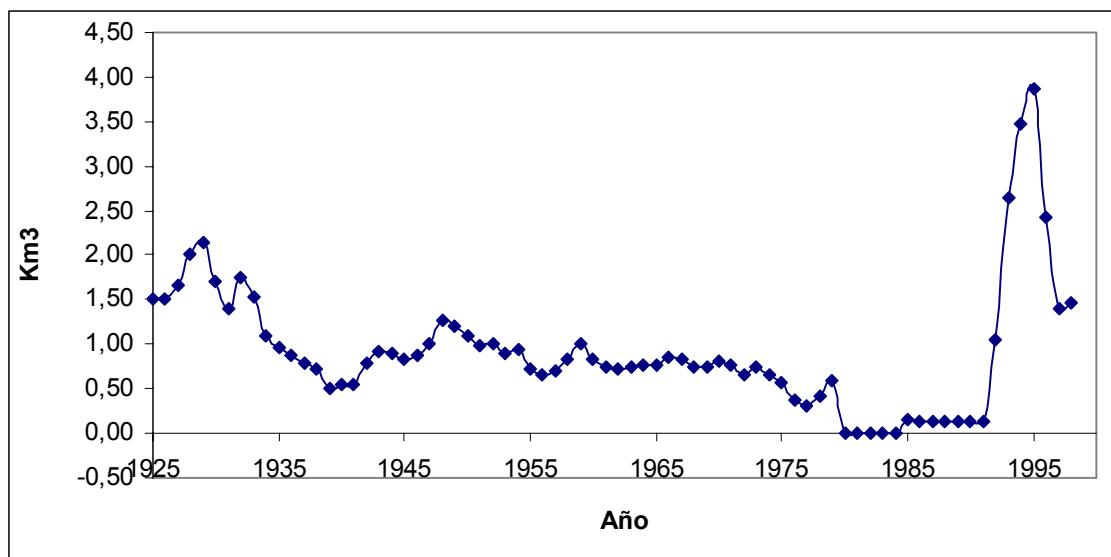


Figura: 11. Variación mensual del caudal de entrada en la bahía de Kara Bogaz Gol (periodo 1925 – 1998) [2]

En la siguiente tabla se muestra una referencia de las diferentes tasas de evaporación registradas a lo largo de la historia de investigación del mar Caspio, así como el año de publicación el nombre de los autores.

Tabla 7. Relación de mediciones de evaporación realizadas sobre el mar Caspio [49] [50]

AÑO	AUTOR	EVAPORACIÓN (CM)
1884	A.I.Voeikov	108.5
1921	N.M.Knipovich	130
1924	S.A.Kovalevskii	112
1927	JLF.Rudovits	104
1928	A.I.Mikhalevskii	105
1933	G.R.Bregman, A.I. Mikhalevskii	
1934	M.D.Dundukov	97.7
1935	B.A.Apollo	111.3
1935	G.R.Bregman, A.I. Mikhalevskii	99.9
1941	V.K.Davydov	100
1946	B.D.Zaikov	98.7
1947	G.P.Ponomarenko	96.2
1955	E.G.Arkipova	98.4
1962	S.S.Remizova	97.7
1963	V.S.Samoilenko	91.1
1963	M.I.Abokarov	92.7
1965	L.S.Evseeva	91
1966	O.I.Sheremetevskaya	101.1
	(sigue)	(sigue)
1970	N.P.Goptarev, G.N.Panin	101.9
1970	EG.Arkipova et al	99.6
1972	K.I.Smimova	101
1976	I.A.Shiklomanov	97
1986	G.N.Panin	96.3

2.2.4. Caudal de entrada de aguas subterráneas

Es el factor de menor relevancia en el balance de masas. Tradicionalmente se le han asignado valores entre 2 y 6 Km^3 por año para la cuenca del mar Caspio. Smirnova tomó un valor constante de 0.46 Km^3 por mes o 5.5 Km^3 por año que ha sido aplicado al balance de masas.

2.3. CÁLCULO DE LA VARIACIÓN DEL NIVEL DEL MAR CASPIO MEDIANTE EL BALANCE DE MASAS

Se ha tenido en cuenta el modelo de variación de nivel de Golubtsov, V.V , y Lee, V.I [2], aplicado a una distribución mensual mediante el método de Smirnova.

En la figura 12 se observa la comparación entre los niveles medios observados y los niveles medios obtenidos mediante el balance de masas. La desviación estándar calculada para los niveles calculados es de 0.08 m. En la figura 13 se observa una pequeña divergencia entre el nivel calculado y el observado.

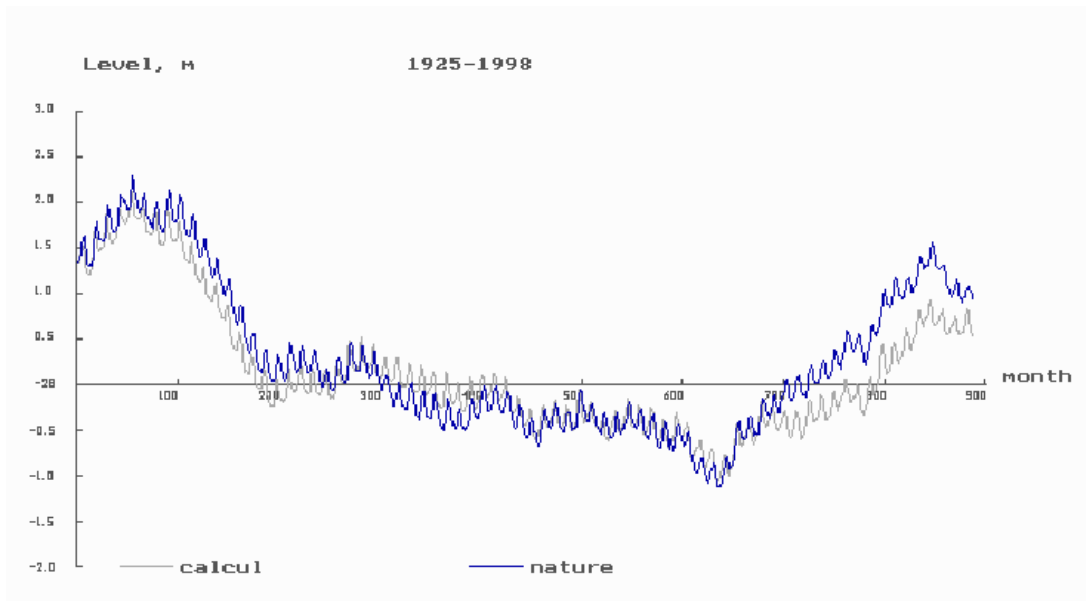


Figura 12. Variación mensual del nivel del mar Caspio. Nivel calculado y nivel observado durante el periodo (1925-1998) [2].

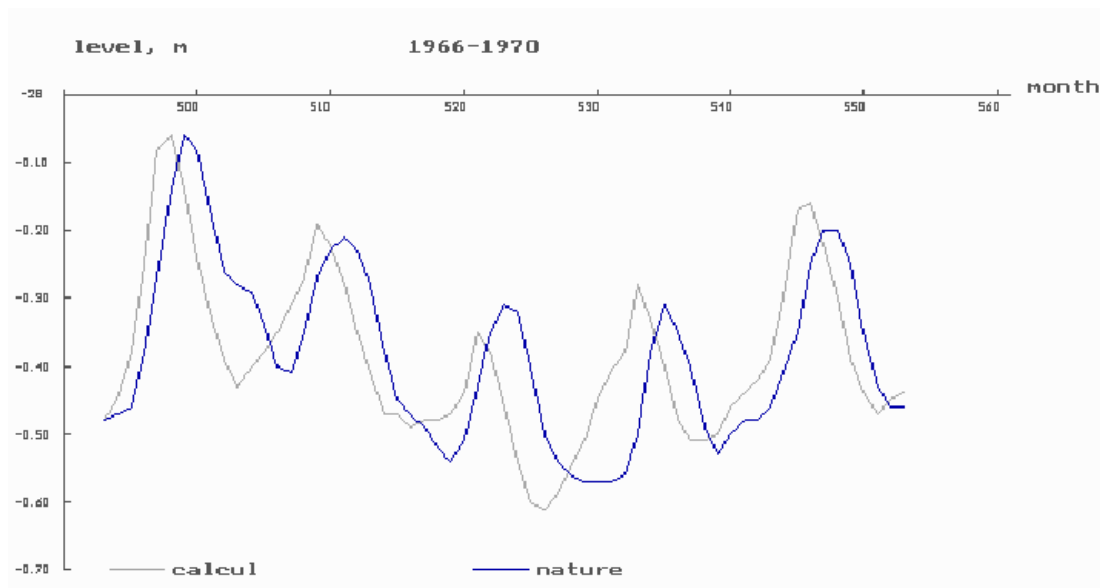


Figura 13. Variación mensual del nivel del mar Caspio. Nivel calculado y nivel observado durante el periodo 1966-1970 [2].

Vemos que los niveles calculados presentan un cierto adelanto temporal respecto a los niveles observados. Este efecto aumenta rápidamente con el tiempo debido al retraso de formación del nivel del mar bajo la influencia de los caudales de entrada.

Dicho retraso está limitado por el retraso temporal del caudal de entrada de los ríos registrado en las estaciones de control así como el nivel medido en la línea de costa aguas abajo del río o en el delta del mismo. En este aspecto también es influyente el tiempo que tarda la masa de agua en expandirse por la superficie del mar de Norte a Sur, desde el momento de entrada desde el delta del río Volga (aproximadamente un 80 % de la aportación total). Además, la distribución de la masa de agua en esa dirección depende de las diferentes tasas de evaporación de las zonas con características diferentes que forman la superficie del mar. Esta es la razón por la que el mar presenta una inclinación de Norte a Sur. La diferencia de altitud entre la zona Norte y La zona Sur fluctúa entre los pocos centímetros de la primera y los 30 centímetros de la segunda. Por lo tanto el retraso temporal del agua en las orillas de los ríos y el tiempo de distribución de las masas de agua sobre la superficie del mar ejercen una cierta influencia en los resultados del cálculo del nivel mediante la ecuación de balance de masas para cortos periodos de tiempo (como por ejemplo, meses).

Como hemos dicho, los análisis muestran un adelantamiento del nivel calculado respecto al nivel observado y los cálculos muestran que dicho adelanto es de aproximadamente dos meses. Por lo tanto, se propone una corrección consistente en un desplazamiento temporal de 2 meses de los niveles medios calculados, o realizar una transformación en los datos de caudal medio de entrada de modo que sean más apropiados para cortos periodos de tiempo. Esto permite encontrar un modelo óptimo mensual para el cálculo del nivel, independientemente de la zona de la zona del mar donde se realice el estudio (figura 14)

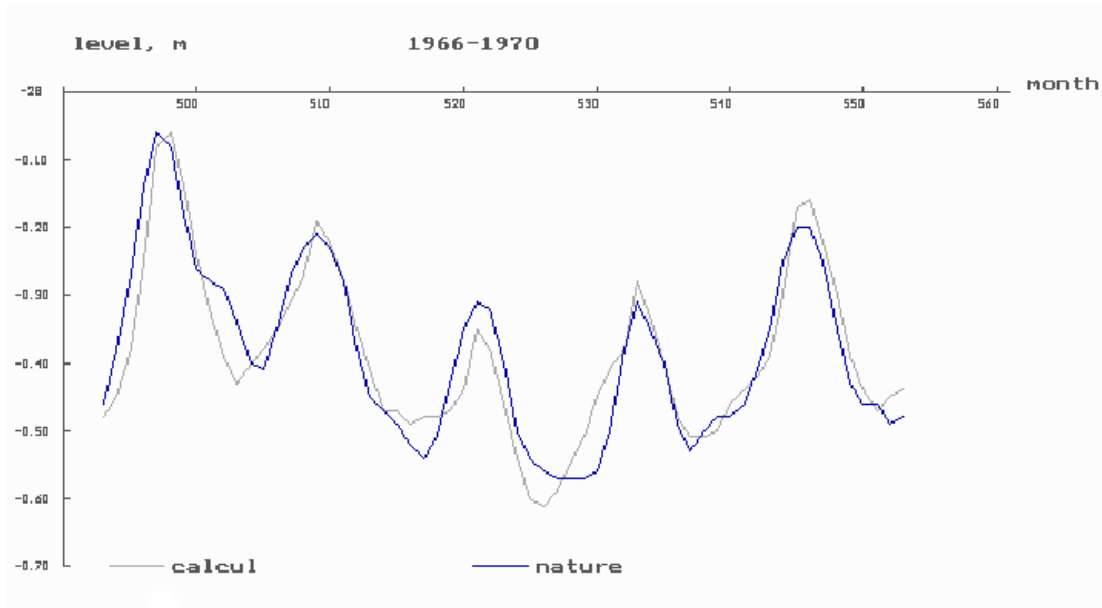


Figura 14: Variación mensual del nivel del mar Caspio. Cálculo ajustado durante el periodo 1966-1970 [2]

Es interesante la comparación entre los datos del balance de masas según su procedencia (SOI o GMC, ver anejo 5). Se puede apreciar una diferencia importante entre los parámetros estadísticos obtenidos por ambos centros. Esta diferencia es especialmente grande para las medias calculadas de precipitación y evaporación. Por otro lado los mayores coeficientes de correlación fueron obtenidos en los datos de entrada de caudal.

Teniendo estos resultados en cuenta se aprecia la necesidad de desarrollar métodos más eficaces de registro de las componentes que forman el balance de masas, especialmente en lo referente a los fenómenos de evaporación y precipitación.