

La interpolación y el clima

Estimación con variables climáticas

D. R. Ramírez^{a)}, C. Castrillón^{b)}, J. M. Torres^{c)}

Departamento de Ingeniería, Análisis Numérico, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia

Este informe busca documentar los procesos seguidos y los resultados obtenidos a la hora de realizar el segundo reto del curso de Análisis Numérico. El equipo de trabajo decidió realizar la segunda opción de reto en la que se pide hacer la estimación del valor de alguna de las variables climáticas en un instante de tiempo utilizando interpolación y ajuste de curvas. En una primera instancia se optó por traer a colación cada uno de los terminos y temas que se trataran en todo el documento, y que fueron necesarios entender para poder dar con la respuesta. Posteriormente, se explica el problema que se quiere resolver y cuales vendrian a ser algunas de las alternativas que hay para resolverlo. Luego, se presenta la respuesta obtenida por el equipo y se explica detalladamente el procedimiento seguido. Finalmente, se analizan rigurosamente los resultados obtenidos con la ayuda de graficas y se hacen las conclusiones.

I. MARCO TEÓRICO

1) Variables climáticas

Algunas de las variables más importantes en factores climatológicos son aquellas relacionadas con la lluvia, la nieve y la evapotranspiración[1].

- Lluvia
 - ❖ Intensidad
 - ❖ Duración
 - ❖ Frecuencia
 - ❖ Distribución espacial
 - ❖ Distribución en el tiempo
- Nieve
 - ❖ Manto
 - ❖ Albedo
 - ❖ Densidad
 - ❖ Distribución espacial
 - ❖ Distribución temporal
- Evapotranspiración
 - ❖ Tipo de vegetación
 - ❖ Periodo de crecimiento
 - ❖ Temperatura
 - ❖ Radiación
 - ❖ Humedad
 - ❖ Viento

2) Interpolación lineal

La interpolación es el proceso de encontrar un valor entre dos puntos en una línea o curva. La interpolación, no solo es útil en estadística, sino que también es útil en ciencia, negocios o en cualquier momento en que sea necesario predecir valores que se encuentren dentro de dos puntos de datos existentes[2]. En este caso la interpolación está resultando útil dentro del contexto científico climático.

En matemáticas, la interpolación lineal es un método de ajuste de curvas que utiliza polinomios lineales para construir nuevos puntos de datos dentro del rango de un conjunto discreto de puntos de datos conocidos. El valor desconocido en un punto se encuentra utilizando (1). La fórmula surge de la ecuación de pendientes[3].

$$y = y_1 + (x - x_1) \cdot \frac{(y_2 - y_1)}{(x_2 - x_1)} \quad (1)$$

El error relativo es la relación entre el valor exacto y el valor obtenido en la medición. Este valor se suele dar en porcentaje y se debe usar siempre cuando se realizan cálculos con medidas conocidas.

$$\frac{|\text{Valor teórico} - \text{Valor experimental}|}{\text{Valor teórico}} \cdot 100 \quad (2)$$

II. EXPLICACIÓN DEL PROBLEMA

El enunciado del reto escogido consta de dos partes. Tanto en la primera parte, como en la segunda, se da la libertad de escoger la variable y los territorios con los que se trabajará. Asimismo, en ambas partes se proporcionan unos conjuntos de datos meteorológicos para poder resolver los problemas.

1) Primera parte

Teniendo en cuenta las variables que fueron expuestas en el marco teórico, se busca estimar el valor de la variable escogida en un instante de tiempo y/o lugar utilizando interpolación y ajuste de curvas. La variable escogida por el grupo, para la cual se realizará la estimación, es la temperatura interna. En Fig. 1 Se puede observar la columna (Cuarta columna) de la hoja de cálculo correspondiente a la variable escogida, la temperatura interna.

Año	Día Juliano	Hora	Temp. Interna (°C)	Presión Atmosférica (Pa)	Temp. do Ar 2m (°C)	Unidade Relativa do Ar 2m (%)	Temp. Máxima do Ar 2m (°C)	Temp. Mínima do Ar 2m (°C)	Velocidade do Vento 10m (m/s)
2013	91	100	27.94	1010.2	28.72	78.7	29.01	28.63	4.093
2013	91	200	27.44	1009.2	28.34	78.5	28.74	28.27	3.742
2013	91	300	26.84	1009	28.26	75.5	28.34	27.93	3.332
2013	91	400	26.69	1008.9	28.06	77.2	28.31	27.96	3.517
2013	91	500	26.82	1009.1	28.16	75	28.35	28	3.414
2013	91	600	26.33	1009.5	27.66	77.1	28.15	27.53	2.608
2013	91	700	26.14	1009.8	28.76	76.4	28.76	27.27	1.586
2013	91	800	30.51	1010	28.76	76.4	29.6	28.36	2.575
2013	91	900	34.11	1010.1	30.69	70.8	30.69	28.95	3.748
2013	91	1000	35.78	1009.9	31.01	65.65	31.76	30.05	3.725
2013	91	1100	37.22	1009.1	32.47	60.68	33.19	30.9	3.694
2013	91	1200	36.8	1008.1	32.54	57.79	33.52	31.65	4.659
2013	91	1300	38.43	1007.5	33.04	53.71	33.36	32.31	5.696
2013	91	1400	39.04	1007.1	32.62	54.85	33.18	32.3	6.454
2013	91	1500	39.26	1006.8	31.79	61.65	32.69	31.5	6.111
2013	91	1600	38.96	1006.8	31.2	62.75	32.11	31.13	5.484
2013	91	1700	36.34	1007	30.13	66.85	31.31	30.06	5.039
2013	91	1800	31.05	1007.6	29.15	72	30.1	29.15	4.015
2013	91	1900	28.78	1008.2	28.7	78.2	29.16	28.7	4.558
2013	91	2000	27.98	1008.8	28.59	75.8	28.74	28.58	4.235
2013	91	2100	27.52	1009.4	28.47	76.2	28.68	28.44	3.425
2013	91	2200	27.13	1009.8	28.31	75	28.5	28.2	3.211
2013	91	2300	26.98	1009.8	28.34	75.4	28.43	28.19	3.132
2013	91	2400	26.9	1009.5	28.11	77.2	28.44	28.11	3.072
2013	92	100	26.73	1008.8	28.08	76.4	28.24	28.04	3.184
2013	92	200	26.6	1008.2	28.08	76.8	28.14	27.86	2.852
2013	92	300	26.81	1007.8	28.14	77.7	28.28	28.06	2.485
2013	92	400	26.64	1007.9	28	77.3	28.13	27.66	2.261

Fig. 1: Ubicación de la columna correspondiente a la variable escogida en el libro de datos (Caso Fortaleza)

^{a)}: Daniel R. Ramírez Molina – Correo: ramirezdr@javeriana.edu.co

^{b)}: Cristobal Castrillón – Correo: cristobal.castrillon@javeriana.edu.co

^{c)}: Jose Miguel Torres – Correo: torresj-o@javeriana.edu.co

En este primer libro de Excel, se muestran los diferentes valores de variable para distintas fechas del año 2013. Además de indicar el día, se indica la hora.

2) Segunda parte

En la segunda parte del enunciado se solicita simular una aproximación de los datos entre dos de las distintas estaciones que se presentan en el segundo conjunto de datos, mostrado en Fig. 2.

X	Y	Estaciones
-41.0945498	-3.56830332	Vicosa do Ceara
-40.3447645	-3.66060538	Sobral
-38.9798107	-3.67475045	Sao Goncalo do Amarante
-40.1499328	-4.33295343	Santa Quitéria
-39.7333882	-7.18305902	Santana do Cariri
-39.283696	-5.20076997	Quixeramobim
-39.0333739	-4.96700008	Quixada
-39.272307	-3.79565678	Pentecoste
-38.9979262	-7.68237997	Jati
-39.635984697917443	-4.528938260544027	Itatira

Fig. 2: Segundo conjunto de datos para utilizar en la segunda parte del reto

III. SOLUCIÓN

Para dar con la solución, como se muestra en Fig. 3, Las herramientas que se utilizaron fueron Microsoft Excel y Python.

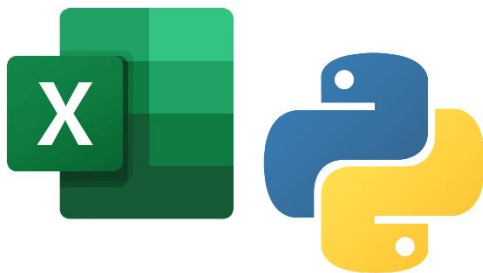


Fig. 3: Herramientas utilizadas para resolver el problema

1) Primera parte

En esta primera parte, lo primero que se hizo fue filtrar los datos de fortaleza para posteriormente escoger de forma aleatoria el 80% de los datos del muestreo. Una vez ya se tenían todos los datos con los que se podía trabajar, se guardaron en un archivo de valores separados por comas (csv). Después, desde la implementación desarrollada en Python se lee este archivo de valores separados por comas para realizar la interpolación lineal. Como fue mencionado previamente, la interpolación realizada en el programa de Python se realizó para hallar el 20% restante de los datos faltantes. En Tabla 1 se muestra el resultado obtenido tras haber realizado la interpolación respectiva. Con la tabla resultante ya se puede hacer una comparación más rigurosa, puesto que además de contar con el valor de la interpolación también cuenta con el error relativo.

20% Datos no sacados en la muestra (Fortaleza)			
Indice	Temperatura real (C°)	Interpolado (C°)	Error relativo (%)
11	37.22	36.29	2.50%
16	38.96	37.8	2.98%
21	27.52	27.555	0.13%
26	26.6	26.77	0.64%
30	26.65	27.11	1.73%

40	36.94	34.78	5.85%
51	24.9	24.66	0.96%
56	32.44	30.265	6.70%
62	39.22	39.03	0.48%
77	25.41	25.255	0.61%
79	26.53	27.895	5.15%
89	31.44	30.77	2.13%
91	26.43	17.20625	34.90%
92	25.45	6.2025	75.63%
93	25.06	12.405	50.50%
95	25.04	24.81	0.92%
103	25.91	26.615	2.72%
105	34.69	23.155	33.25%
106	33.96	16.78	50.59%
132	36.41	37.105	1.91%
135	39.29	38.49	2.04%
140	27.17	27.14	0.11%
143	26.06	25.96	0.38%
152	36.64	28.2375	22.93%
153	38.67	19.975	48.34%
156	39.79	39	1.99%
164	26.74	26.6	0.52%
177	34.96	32.3	7.61%
184	26.95	27.2	0.93%
187	25.65	25.825	0.68%
189	25.15	25.27	0.48%
195	25.44	27.835	9.41%
199	35.4	35.48	0.23%
201	37.61	35.985	4.32%
206	29.93	31.25	4.41%
209	27.41	27.445	0.13%
212	26.64	26.66	0.08%
218	24.59	20.555	16.41%
219	27.61	16.35	40.78%
222	34.5	35.315	2.36%
225	37.46	36.305	3.08%
234	27.61	20.6375	25.25%
235	27.15	13.595	49.93%
239	26.88	26.83	0.19%
247	36.27	36.075	0.54%
250	39.16	38.875	0.73%
263	26.6	26.555	0.17%
268	31.83	30.375	4.57%
270	35.17	26.2625	25.33%
271	35.64	18.055	49.34%
274	38.24	38.08	0.42%
292	33.42	31.255	6.48%
295	36.03	27.5725	23.47%
296	37.1	19.065	48.61%

300	27.04	32.32	19.53%
302	26.12	26.085	0.13%
310	26.55	28.06	5.69%
315	38.15	38.365	0.56%
317	39.99	39.61	0.95%
327	26.74	20.02	25.13%
328	26.67	13.21	50.47%
330	25.76	25.74	0.08%
342	39.63	38.39	3.13%
345	29.96	30.485	1.75%
348	28.04	28.085	0.16%
351	27.38	20.505	25.11%
352	27.03	13.48	50.13%
354	27.02	19.9925	26.01%
355	26.55	13.025	50.94%
357	25.63	28.115	9.70%
359	33.62	33.055	1.68%
365	40.49	38.61	4.64%
375	27.27	27.225	0.17%
394	28.36	21.64	23.70%
395	27.86	13.8	50.47%
399	26.96	26.905	0.20%
402	25.87	25.925	0.21%
407	27.94	29.205	4.53%
409	32.64	31.105	4.70%
412	33.93	32.32	4.75%
414	33.27	23.5275	29.28%
415	32.77	15.315	53.27%
421	26.7	26.81	0.41%
424	25.73	25.415	1.22%
435	35.47	35.945	1.34%
439	32.2	32.47	0.84%
451	23.19	23.37	0.78%
455	27.29	26.26	3.77%
458	35.67	34.425	3.49%
467	26.34	19.8575	24.61%
468	25.82	12.645	51.03%
470	24.99	24.9	0.36%
475	23.63	23.75	0.51%
477	23.32	24.275	4.10%
486	39.24	38.79	1.15%
490	28.16	21.8925	22.26%
491	27.11	13.065	51.81%
494	25.03	25.035	0.02%
503	28.79	29.825	3.59%
515	26.8	27.02	0.82%
517	26.29	14.666875	44.21%
518	25.86	3.02375	88.31%
519	25.07	6.0475	75.88%

520	24.64	12.095	50.91%
530	34.83	34.715	0.33%
532	36.36	36.205	0.43%
534	37.34	34.67	7.15%
541	24.27	24.2	0.29%
543	23.64	23.885	1.04%
548	24.75	26.465	6.93%
552	30.57	21.975	28.12%
553	30.38	14.88	51.02%
555	30.59	31.235	2.11%
564	24.74	24.64	0.40%
566	24.3	24.36	0.25%
570	23.97	25.525	6.49%
572	31.47	30.52	3.02%
575	35.31	35.88	1.61%
577	36.23	36.605	1.04%
582	29.17	30.095	3.17%
585	25.91	26.255	1.33%
589	25.01	24.915	0.38%
600	36.9	36.56	0.92%
609	27.78	27.675	0.38%
612	25.95	26.34	1.50%
615	25.37	18.7775	25.99%
616	24.74	12.235	50.55%
625	37.8	28.315	25.09%
626	38.3	19.59	48.85%
630	30.57	32.395	5.97%
633	27.81	27.855	0.16%
636	26.77	26.575	0.73%
638	25.43	25.665	0.92%
654	25.6	27.58	7.73%
670	39.2	38.225	2.49%
678	25.3	25.415	0.45%
685	24.28	24.57	1.19%
695	30.4	30.675	0.90%
699	25.88	25.955	0.29%
702	25.32	25.25	0.28%

Tabla 1: Contraste entre datos reales y datos resultantes de la interpolación del 20% restante de los datos no tenidos en cuenta en el muestreo para Fortaleza

Posterior, el último paso de esta primera parte consistió en mostrar información adicional acerca de los errores relativos para complementar el resultado obtenido y enriquecer la solución; se sacó el error máximo, el mínimo la mediana de los errores y el promedio de los errores.

Error relativo	
Máximo	88.31%
Promedio	13.22%
Mediana	2.61%
Mínimo	0.02%

Tabla 2: Error relativo Fortaleza

2) Segunda parte

Para esta segunda parte se realizó exactamente el mismo procedimiento que en la primera parte, solo que en este caso para la ciudad de Itatira. En *Tabla 2* se muestra el resultado obtenido tras haber realizado la interpolación respectiva.

20% Datos no sacados en la muestra (Itatira)			
Indice	Temperatura real (C°)	Interpolado (C°)	Error relativo (%)
5	23.39	18.8	20%
6	22.97	13.13	43%
12	36.48	37.6	3%
16	40.78	39.35	4%
25	22.93	23.47	2%
31	26.33	25.93	2%
44	27.34	27.595	1%
48	23.66	24.1	2%
52	22.52	13.355	41%
53	22.39	3.8	83%
54	21.79	7.6	65%
55	25.88	15.2	41%
62	42.8	30.54	29%
63	43.54	21.08	52%
66	33.01	33.34	1%
74	23.46	17.8325	24%
75	23.25	11.825	49%
82	29.95	30.115	1%
95	24.66	24.695	0%
99	22.82	22.99	1%
104	27.98	27.83	1%
106	33.45	32.015	4%
109	36.93	35.93	3%
114	29.11	29.71	2%
117	24.72	18.7625	24%
118	23.76	11.565	51%
127	24.19	18.275	24%
128	28.83	14.83	49%
135	40.78	40.165	2%
137	34.3	22.38625	35%
138	32.13	7.0625	78%
139	29.54	14.125	52%
148	22.62	22.585	0%
156	38.97	37.89	3%
159	43.67	41.81	4%
163	31.29	31.835	2%
168	24.89	25.055	1%
170	23.47	23.67	1%
172	22.82	22.885	0%
181	43.21	41.525	4%
187	30.25	30.465	1%
189	27.5	27.72	1%
192	25.25	25.355	0%
196	24.08	23.945	1%

198	23.3	24.41	5%
218	22.06	22.145	0%
228	36.18	27.16	25%
229	38.84	20.18	48%
241	23.85	23.865	0%
265	24.81	25.055	1%
273	33.01	31.62	4%
280	41.41	22.81125	45%
281	39.44	7.5425	81%
282	33.79	15.085	55%
291	23.23	17.61	24%
292	22.87	11.35	50%
297	32.56	32.185	1%
299	35.67	35.365	1%
303	41.63	40.815	2%
306	34.49	35.965	4%
322	34.7	19.15125	45%
323	36.44	5.5125	85%
324	37.77	11.025	71%
325	41.47	22.05	47%
327	44.85	31.145	31%
328	42.31	18.19	57%
331	31.11	31.08	0%
339	23.46	23.435	0%
346	36.78	36.32	1%
351	44.24	43.3	2%
354	33.9	35.2	4%
357	26.74	26.98	1%
360	25.11	25.155	0%
362	24.32	24.715	2%
370	29.21	32.455	11%
373	34.87	35.68	2%
380	23.89	23.82	0%
385	21.99	22.025	0%
394	34.33	34.84	1%
397	38.74	36.19	7%
399	33.78	33.5	1%
407	23.11	23.265	1%
416	28.84	28.355	2%
428	23.37	23.335	0%
431	22.66	22.66	0%
433	22.35	22.465	1%
448	36.33	36.975	2%
454	25.17	25.155	0%
466	23.52	24.465	4%
468	27.25	28.11	3%
470	29.64	29.765	0%
475	23.44	23.7	1%
487	23.41	25.935	11%

489	32.2	31.41	2%
491	33.28	34.565	4%
499	26.84	27.175	1%
504	24.54	24.605	0%
508	23.69	17.87	25%
509	23.66	11.87	50%
520	34.27	24.2	29%
521	32.1	13.93	57%
533	23.08	23.18	0%
535	22.39	22.62	1%
538	27.4	26.945	2%
541	33.18	31.425	5%
546	29.27	30.58	4%
548	25.22	25.625	2%
552	23.77	24.155	2%
556	22.43	22.43	0%
563	29.84	29.75	0%
567	31.76	30.52	4%
571	24.68	24.795	0%
574	23.02	23.36	1%
578	23.97	23.85	1%
582	21.54	22.755	6%
587	33.26	32.57	2%
591	38.03	35.765	6%
599	23.83	24.18	1%
605	23.57	23.595	0%
613	36.57	21.69625	41%
614	37.52	9.7025	74%
615	38.67	19.405	50%
622	24.76	24.7	0%
626	22.57	22.775	1%
628	23.27	23.02	1%
630	23.17	15.4175	33%
631	24.53	7.545	69%
632	27.31	15.09	45%
638	36.64	37.18	1%
640	35.56	36.2	2%
654	23.01	23.705	3%
661	34.09	35.815	5%
669	25.66	25.885	1%
673	25.01	24.94	0%
676	24.1	24.25	1%
678	24.02	24.145	1%
684	34.16	33.21	3%
686	32.14	34.525	7%
693	25.63	25.24	2%
697	23.04	22.96	0%

Tabla 3: Contraste entre datos reales y datos resultantes de la interpolación del 20% restante de los datos no tenidos en cuenta en el muestreo para Itatira

Posterior, el último paso de esta segunda parte consistió en mostrar información adicional acerca de los errores relativos para complementar el resultado obtenido y enriquecer la solución; se sacó el error máximo, el mínimo la mediana de los errores y el promedio de los errores.

Error relativo	
Máximo	84.87%
Promedio	14.92%
Mediana	2.10%
Mínimo	0.000%

Tabla 4: Error relativo Itatira

IV. ANÁLISIS Y CONCLUSIONES

A continuación, se muestra el análisis y las conclusiones para cada una de las partes de este segundo reto.

Al graficar los datos reales y los datos interpolados se obtienen *Fig.4* y *Fig.5* donde se puede observar que hay varios valores mínimos en la gráfica de la interpolación (serie color rojo y serie color verde), la razón de este comportamiento se atribuye a la existencia de puntos de datos nulos, que por razones de operabilidad se establecieron en ceros, de manera consecutiva, lo cual provocó un aumento del error en la interpolación.

Como se puede ver en *Tabla 2* el error relativo promedio es inferior al 15%, lo cual indica que la interpolación es asertiva. Sin embargo, como se menciona en el párrafo anterior, hay ciertas desviaciones que dan errores muy altos, como se evidencia con el error máximo que es del 88.3%, pero también se obtienen valores muy acertados cuyo error es menor al 1%.

En *Tabla 3* en varios casos el error fue muy pequeño. (menor al 0.0001%)

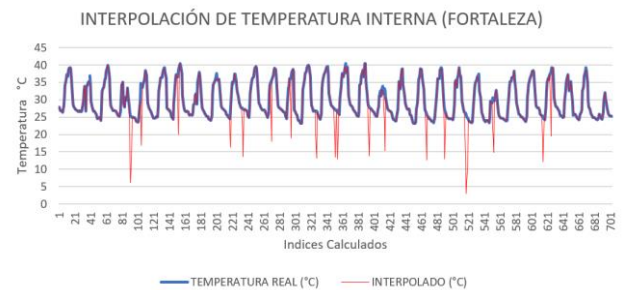


Fig. 4: Interpolación de temperatura interna (Fortaleza)

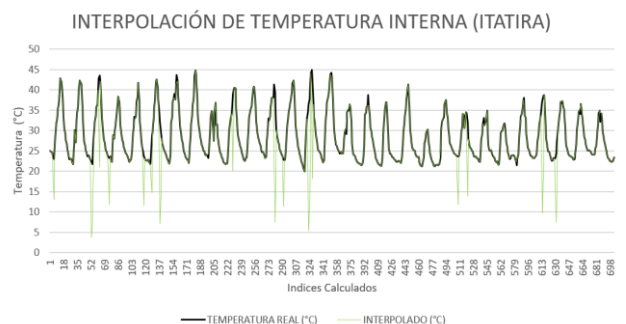


Fig. 5: Interpolación de temperatura interna (Itatira)

V. REFERENCIAS

- [1] “Variables en factores climáticos.” www.columbia.edu.py.
- [2] “Interpolation.” <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/>

[3] B9780124202283000142.
“Linear Interpolation Formula.”

<https://theeducationlife.com/interpolation-formula/>.

