

Proyecciones en el tiempo

6.1. Introducción

Con base en las estimaciones obtenidas en los capítulos IV y V, se construyeron dos indicadores: el Índice de Actividad Humana (IAH) y la Temperatura Media del Planeta Estimada E(YT).

Con estos modelos se hacen proyecciones de 8, 18, 28, 38, 48, 58, 68 y 78 años (2030, 2040, 2050, 2060, 2070, 2080, 2090 y 2100), mediante la construcción de un Modelo Lineal Aditivo (GAM) de grado dos que pronostica el comportamiento IAH, posteriormente, con las estimaciones calculadas se sustituyen en la ecuación 95, y con ello, se contrastan los resultados obtenidos con los del informe que presentó el Grupo Intergubernamental de Cambio Climático IPCC en marzo de 2021.

6.2. Identificación de los modelos

En la figura 45, se ve la presencia de una relación de tipo no lineal entre IAH y el tiempo (X_t), donde se puede conjeturar la presencia de modelos polinomiales, de grado tres y suavizado.

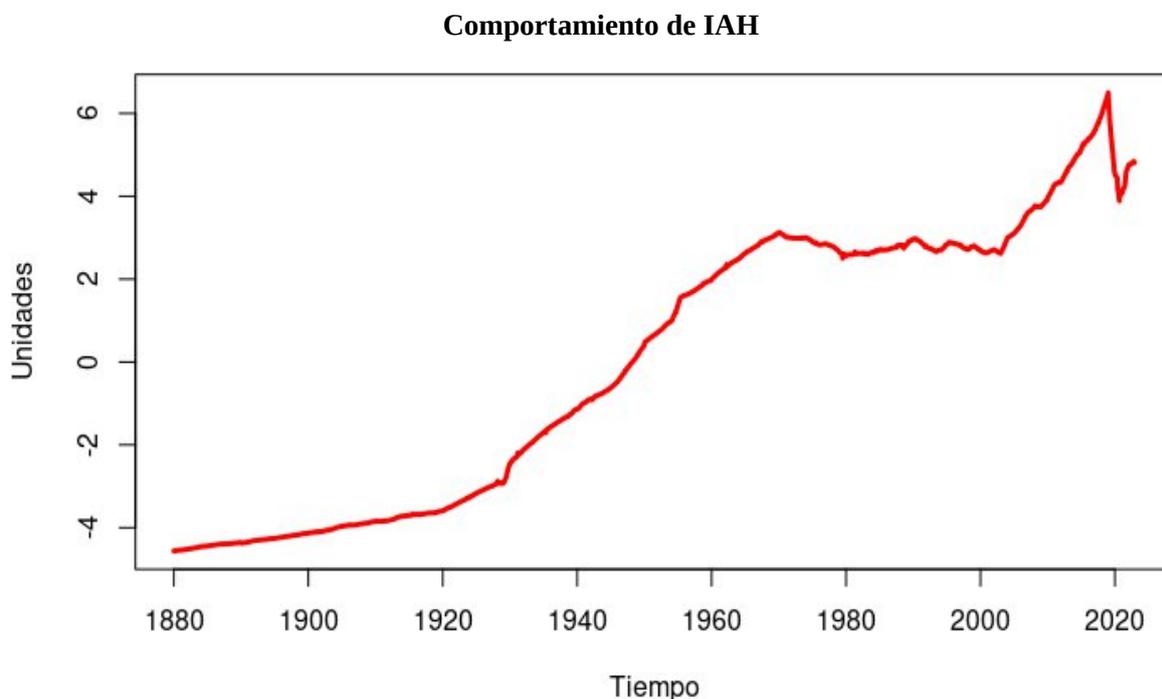


Figura 45. Comportamiento de IAH en el tiempo

Fuente. Elaboración personal

Ajustando y comparando ambos modelos (figura 48):

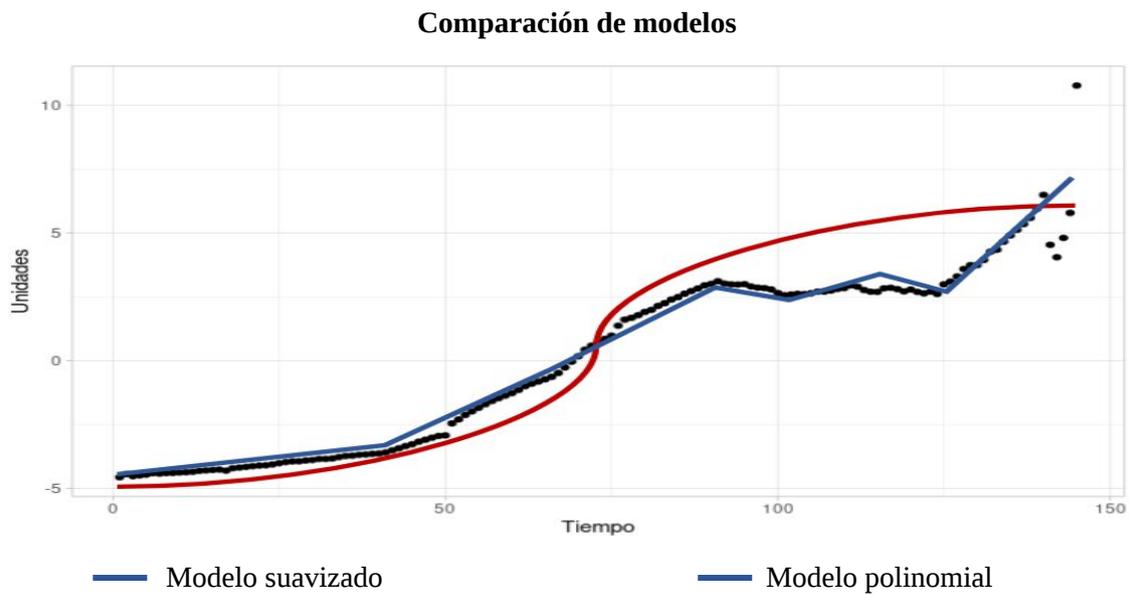


Figura 46. Comparación de modelos

Fuente. Elaboración personal

Suavizado $E(IAH) = f_1(Xt) + f_2(Xt) + f_3(Xt) + \dots + f_n(Xt) + u_i$ (106)

Grado tres $E(IAH) = \hat{B}_0 + \hat{B}_1(Xt) + \hat{B}_2(Xt)^2 + \hat{B}_3(Xt)^3 + u_i$ (107)

Donde:

- $E(IAH)$ es el valor esperado de IAH para ambos modelos.
- $f_i(Xt)$; $i = 1, 2, 3, \dots, n$ Son las ecuaciones que conforman al modelo suavizado.
- \hat{B}_i son los parámetros a estimar, tal que $i = 0, 1, 2$ y 3 .
- u_i es el margen de error del modelo.

La regresión lineal suavizada aditiva son modelos estadísticos que predicen o estiman el efecto que produce una sola variable independiente (X) sobre la variable dependiente (Y), su ajuste involucra la relación no lineal a través de una función desconocida (modelo suavizado), a partir de modelos polinómicos.

6.3. Ajuste y selección del modelo

En el cuadro 44 se puede apreciar lo siguiente:

- El modelo I presenta una devianza (D^2) de 93.7%, donde Xt elevado a la unidad no es significativo.
- El modelo II tiene una devianza (D^2) de 98.6%, y todos sus parámetros son significativos.

- El modelo III tiene una devianza (D^2) 99.5% y todos sus parámetros son significativos.

Modelo I: polinomial grado tres Family: gaussian Link funtion: identity					
Formula: $IAH \sim Xt + I(Xt^2) + I(Xt^3)$					
Parametric coefficients:					
	Estimate	Std. Error	T – value	P - Valor	
Inrrecept	-4.847	0.2983	-16.248	2e - 16	***
Xt	0.009614	0.0163	0.545	0.586	
I(Xt²)	0.001201	0.0002	4.288	3.34e - 05	***
I(Xt³)	-0.000006	0.0000	-4.377	2.38e - 05	***

R – sq. (adj) = 0.936 Deviance explained = 93.7% GCV = 0.7871 Scale est. = 0.7654 n = 145

Modelo II: suavizado Family: gaussian Link funtion: identity					
Formula: $IAH \sim s(Xt, k=10, m=2, bs="ps")$					
Parametric coefficients:					
	Estimate	Std. Error	T – value	P - Valor	
Inrrecept	0.0938	0.0343	2.737	0.007	***
Approximate significance of smooth terms:					
	Edf	Ref. df	F	P - Valor	
s(Xt)	7.602	8.239	1209	2e - 16	***

R – sq. (adj) = 0.986 Deviance explained = 98.6% GCV = 0.1809 Scale est. = 0.1702 n = 145

Modelo III: suavizado Family: gaussian Link funtion: identity					
Formula: $IAH \sim s(Xt, k=20, m=3, bs="ps")$					
Parametric coefficients:					
	Estimate	Std. Error	T – value	P - Valor	
Inrrecept	0.0937	0.0208	4.518	1.43e - 05	***
Approximate significance of smooth terms:					
	Edf	Ref. df	F	P - Valor	
s(Xt)	18.971	19.000	1442	2e - 16	***

R – sq. (adj) = 0.995 Deviance explained = 99.5% GCV = 0.0724 Scale est. = 0.062 n = 145

Cuadro 44. Modelos Lineales Aditivos (polinomial y suavizado).

Fuente. Elaboración personal.

El comparar el GCV (Validación Cruzada Generalizada) de los tres modelos, el III (suavizado con grado 3 y con 20 ecuaciones) presenta mejor ajuste, pues GCV es inferior al II y al I, esto

se pudo corroborar mediante el cuadro 45, el modelo III tiene una AIC menor (29.865) que el modelo I.

	Df	AIC	GCV
Modelo I	5.000	378.667	0.7871
Modelo II	9.6023	165.091	0.1809
Modelo III	20.972	29.865	0.0724

Cuadro 45. Tabla AIC y GCV para elegir el mejor modelo

Fuente. Elaboración personal.

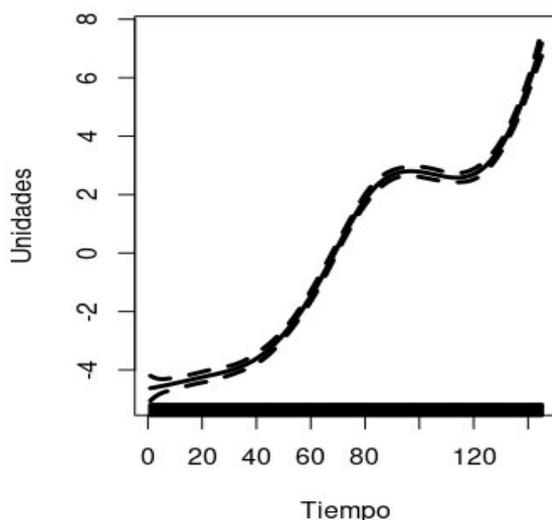
6.4. Cumplimiento de supuestos de inferencia

Un aspecto central de cualquier modelo es el comprobar que no viola los supuestos de los que depende, en el caso de un modelo lineal aditivo (GAM) logitudinal, debe cumplir con lo siguiente:

- Los u_i deben aproximarse a distribución normal.
- Varianza controlada (homocedasticidad): la varianza de IAH no debe variar con los niveles de la predicción.

Gráficamente, el modelo III suavizado con 20 ecuaciones y de grado 3 presenta mejor ajuste, sin embargo, al comparar con los supuestos de inferencia:

Modelo II. Suavizado con $m = 2$ y $k = 10$



Modelo III. Suavizado con $m = 3$ y $k = 20$

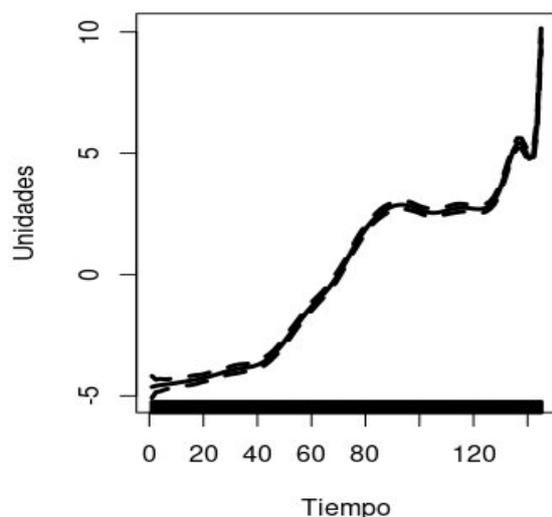


Figura 47. Comparación de modelos suavizados

Fuente. Elaboración personal

A pesar de que el modelo III tiene una D^2 , un AIC y un GCV inferior al modelo II, no cumple con los supuestos de inferencia, es decir, sus residuales carecen de normalidad y tiene problemas de heterocedasticidad, por lo tanto, el modelo de mejor ajuste es el II, pues sus residuales se aproximan a una distribución normal y son homocedasticos (cuadro 46).

Modelo II. Suavizado con $m = 2$ y $k = 10$		
Normalidad	Studentized Breusch - Pagan test Variance formula: fitted.value BP = 1.6894 Df = 1 P – valor = 0.1937	Cumple
Homocedasticidad	D'Agostino skewness test data: residuales Skew = 0.1949 Z = 0.9945 P – valor = 0.3198	Cumple

Cuadro 46. Supuestos de inferencia del modelo II

Fuente. Elaboración personal.

Modelo III. Suavizado con $m = 3$ y $k = 20$		
Normalidad	Studentized Breusch - Pagan test Variance formula: fitted.value BP = 9.6205 Df = 1 P – valor = 0.01924	No cumple
Homocedasticidad	D'Agostino skewness test data: residuales Skew = -1.1064 Z = -4.7610 P – valor = 1.96e - 06	No cumple

Cuadro 47. Supuestos de inferencia del modelo III

Fuente. Elaboración personal.

De lo anterior y con base al cuadro 44, los parámetros del modelo II suavizado con 10 ecuaciones de grado 2 son los siguientes:

Intercept	$f_1(X_t)$	$f_2(X_t)$	$f_3(X_t)$	$f_4(X_t)$
0.0938	-3.7111	-2.3842	-1.9445	0.5302
$f_5(X_t)$	$f_6(X_t)$	$f_7(X_t)$	$f_8(X_t)$	$f_9(X_t)$
4.8509	4.6833	3.9886	7.4074	15.4369

Cuadro 48. Parámetros del modelo II (suavizado).

Fuente. Elaboración personal.

Por tanto, a un nivel de confianza del 0.95 y a un nivel de significancia del 0.05, y cumpliendo con los supuestos de inferencia, el modelo II conserva el 98.6% de la variabilidad de los datos.

6.5. Pronósticos

Partiendo del modelo II suavizado, el comportamiento estimado del IAH en tiempo ha sido de la siguiente forma:

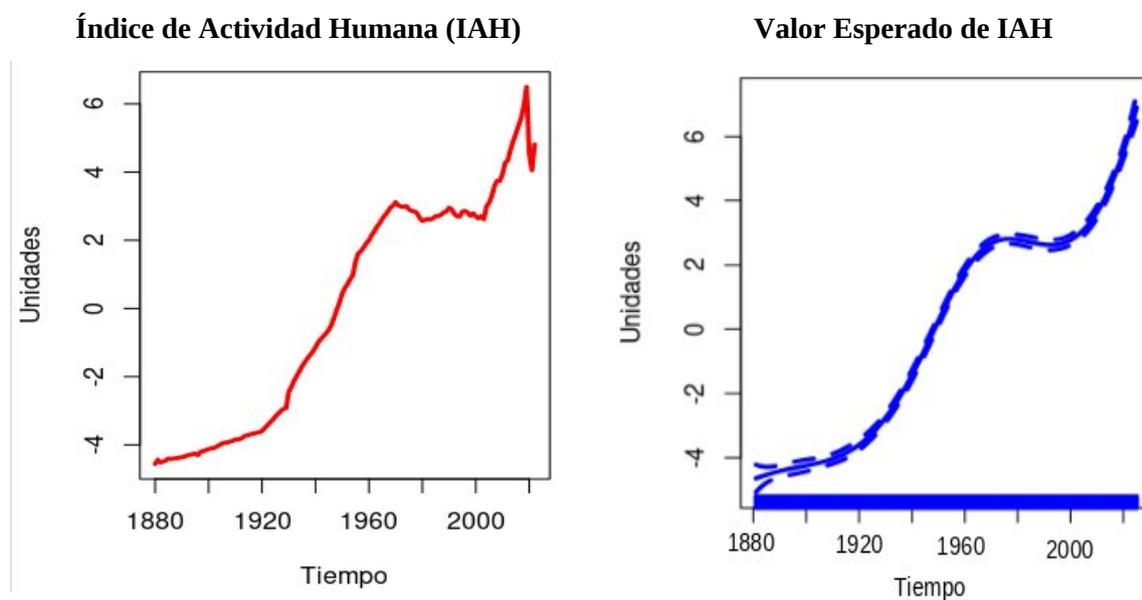


Figura 48 Ajuste de modelo

Fuente. Elaboración personal

Con base en las estimaciones de la IAH en el capítulo IV, este indicador está conformado por índices de IEP, IEC, IAP y ICD, cuyo peso en la variabilidad de la información es la siguiente:

	IEP	IEC	IAP	ICD
Prop. Var	0.877	0.104	0.011	0.007

Cuadro 49. Peso de los índices de IAH

Fuente. Elaboración personal.

Haciendo proyecciones al año 2030, 2040, 2050, 2060, 2070, 2070, 2090 y 2100, el grado de incidencia de cada índice sobre IAH a partir de la varianza, sería el siguiente:

	2030	2040	2050	2060	2070	2080	2090	2100
IAH	8.862	12.058	15.255	18.452	21.648	24.845	28.042	31.238
IEP	7.246	10.575	13.379	16.182	18.985	21.789	24.593	27.396
IEC	0.922	1.254	1.587	1.919	2.251	2.584	2.916	3.248
IAP	0.097	0.133	0.167	0.203	0.238	0.273	0.308	0.344
ICD	0.597	0.096	0.122	0.148	0.174	0.199	0.225	0.250

Cuadro 50. Proyecciones del valor esperado de IAH

Fuente. Elaboración personal.

Aplicando lo del cuadro 50 sobre la ecuación (106), la estimación de YT sería:

$$E(YT) = (3.881 + 0.015IEP - 0.008IEC + 0.013IAP - 0.007IDC)^2 \quad (106)$$

	2030	2040	2050	2060	2070	2080	2090	2100
E(YT)	15.815	16.246	16.567	16.892	17.218	17.551	17.884	18.222

Cuadro 51. Proyecciones del valor esperado de YT

Fuente. Elaboración personal.

Al correlacionar los indicadores que conforman al IAH con respecto YT, en el cuadro 46 se ve que el Índice de Producción y Extracción (IEP), presenta mayor peso en la varianza de los datos, por tanto, su conjetura es la siguiente:

“A mayor IEP de bienes y servicios, mayor YT”

De continuar con esta tendencia, YT para el año 2100 tendrá un valor esperado de 18.22°C, este comportamiento representaría un incremento de 3.22°C, equivalente al resultado presentado por en el informe por el IPCC en marzo de 2021, cuyo intervalo va de 16.5°C a 19.5°C.

6.6. Conclusiones finales

Estos modelos permiten tener un panorama general de las variaciones que experimenta Xa y YT. Con estos modelos se pudo demostrar que Xa es el factor detonante del incremento de YT, y de continuar con esa tendencia, esta tendría un aumento de aproximadamente 1.56°C en el año 2050 y de 3.22°C en el año 2100.

Con estos resultados se afirma que el crecimiento que ha experimentado YT inició en 1963, y desde 1996 se ha profundizado hasta la actualidad, y que estos resultados es consecuencia del crecimiento de Xa, en particular, de las grandes economías del planeta, las cuales se han basado en la explotación del ecosistema de una forma irracional.